



HAL
open science

Contribution à une théorie de la valeur des actifs physiques

Jean-Pascal Foucault

► **To cite this version:**

Jean-Pascal Foucault. Contribution à une théorie de la valeur des actifs physiques. Gestion et management. Université de Technologie de Compiègne, 2023. Français. NNT : 2023COMP2798 . tel-04700280

HAL Id: tel-04700280

<https://theses.hal.science/tel-04700280v1>

Submitted on 17 Sep 2024

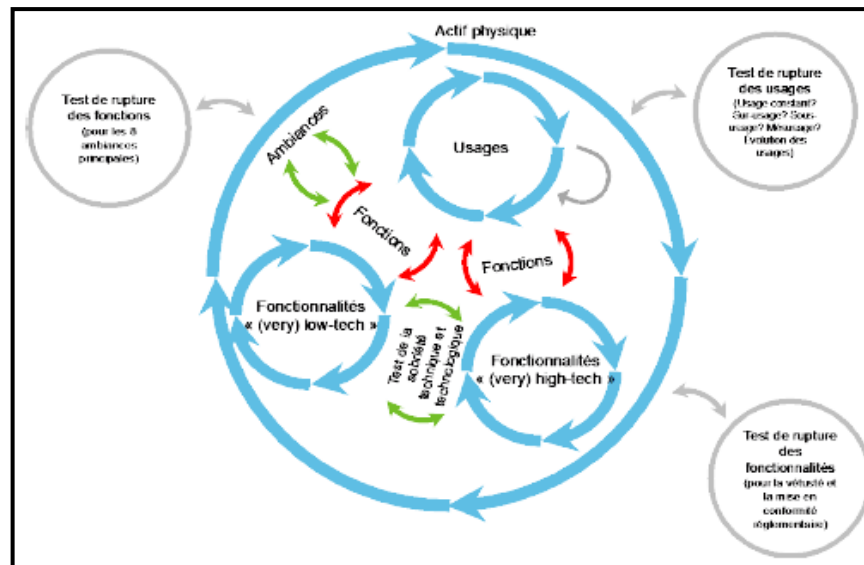
HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Par Jean-Pascal FOUCAULT

*Contribution à une théorie de la
valeur des actifs physiques*

Thèse présentée
pour l'obtention du grade
de Docteur de l'UTC



Soutenue le 27 novembre 2023

Spécialité : Sciences Économiques : Unité de recherche
COSTECH (EA-2223)

D2798

UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE DE COMPIÈGNE

ALLIANCE SORBONNE UNIVERSITÉ

**CONTRIBUTION À UNE THÉORIE DE LA
VALEUR DES ACTIFS PHYSIQUES**

Thèse présentée par

JEAN-PASCAL FOUCAULT

Spécialité : Sciences Économiques

Soutenu le 27 Novembre 2023

Département de Technologie et Sciences de l'Homme

Université de Technologie de Compiègne

En vue de l'obtention du Doctorat en Sciences Économiques

Laboratoire EA 2223, Connaissance, Organisation et Systèmes TECHniques [COSTECH]

Groupe de recherche : Complexité, Réseaux et Innovation [CRI]

UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE DE COMPIÈGNE

ALLIANCE SORBONNE UNIVERSITÉ

Titre de la thèse :

CONTRIBUTION À UNE THÉORIE DE LA VALEUR DES ACTIFS PHYSIQUES

Présentée par : FOUCAULT, Jean-Pascal

en vue de l'obtention du Doctorat en sciences économiques

Présidente du Jury :

Madame Ingrid Nappi, Docteur en sciences économiques, Professeur habilitée à diriger des recherches, École des Ponts ParisTech.

Directeur

Monsieur Yann Moulier Boutang, Docteur en sciences économiques, Professeur émérite des Universités, habilité à diriger des recherches, Université de technologie de Compiègne.

Rapporteur

Monsieur Mathias Glaus, Ph.D., M.Sc., B.Sc., ingénieur civil et économie circulaire, Professeur titulaire, habilité à diriger des recherches, École de technologie supérieure, réseau de l'Université du Québec.

Rapporteur

Monsieur Benoit Beckers, Docteur architecture et physique urbaine, ingénieur civil électricien, Professeur, habilité à diriger des recherches, Université de Pau et des Pays de l'Adour.

Examinatrice

Madame Carine Henriot, Docteur en aménagement de l'espace et urbanisme, Maître de conférences, Université de technologie de Compiègne.

Examineur

Monsieur Éric Gautier, Docteur en sciences de gestion et du management, ingénieur en génie mécanique, Maître de conférences en management et anthropologie, Université Gustave Eiffel.

DÉDICACE

Dans les profondeurs de mon être, où résidait un érudit forgé par le temps et la persévérance, par cet ouvrage, je pose sur le papier mon encre en hommage solennel à ceux qui ont été les architectes passés et présents de ma pensée.

- Jean-Pascal Foucault, 2023

REMERCIEMENTS

À vous, maintenant décédés, qui ne lirez jamais cette thèse et pour qui il n’existait aucun manuel de conseils parentaux pour vous préparer à ma personnalité énergique, fertile et débridée. Vous avez su me rendre autonome et libre. Recevez mon authentique gratitude pour ce legs incommensurable.

À mes frères, ma sœur et mes amis chers, qui, par la dialectique qu’ils m’ont proposée, ont rendu mon chemin singulier et passionnant.

Aux membres passés et présents de l’équipe tbmaestro (vous vous reconnaitrez) auprès de qui je me suis investi depuis tant d’années, sans compter, que j’adore et respecte à un point tel que sans eux cette thèse aurait été terminée deux ans plus tôt ... ;-)...

À Yann, dont j’ai la fierté d’être le dernier doctorant, qui a su faire preuve de patience et de bienveillance jusqu’à l’aboutissement, qui a su me faire comprendre sans jamais l’expliquer que tout bon musicien doit savoir que s’il frappe une fausse note, c’est la note suivante qui déterminera sa médiocrité ou son génie.

Et enfin, à Anne-Marie, une meilleure personne que moi qui me rend meilleur que je suis.

Novembre 2023

RÉSUMÉ

Cette thèse propose une théorie innovante sur la valeur des actifs physiques, centrée sur la dynamique urbaine du XXIème siècle. Son but est d'évaluer comment cette valeur influence la maintenance et la rénovation de l'environnement construit, et offre ainsi des pistes pour une politique cohérente et une stratégie efficiente en matière de bâtiments et d'infrastructures.

La première section retrace l'évolution des milieux urbains depuis les débuts du capitalisme. Elle souligne comment la pandémie de COVID-19 a révélé la fragilité de notre économie, insistant sur l'importance des actifs physiques. Les villes, cœur du pouvoir économique depuis l'essor du capitalisme à Venise, ont constamment adapté leur gestion face aux défis successifs. L'ère actuelle, marquée par une démographie croissante et des défis écologiques sans précédent, appelle une transformation vers l'économie circulaire. Enfin, on introduit un nouveau concept, la « *mathém-éthique* », une fusion de l'éthique et des mathématiques, pour une évaluation multifactorielle et multi-causale de la valeur.

La seconde section propose une contribution originale à une théorie sur la valeur avec le modèle PACKiT, dédié à la gestion d'actifs physiques. Ce modèle expose une vision révolutionnaire de l'évaluation des actifs, axée sur leur valeur d'usage, leur perte de valeur d'usage et leurs caractéristiques, dont le risque. Contrairement aux approches traditionnelles basées sur la dépréciation linéaire ou l'approximation par des cycles de vie industriels, le PACKiT offre une perspective qualitative, traitant la coexistence de trois cycles de vie fondamentaux et s'intégrant facilement aux normes en vigueur. Il est illustré par un exemple concret : la gestion d'un parc de 226 bâtiments scolaires. La thèse suggère l'utilisation d'outils, comme l'indice de vétusté physique, pour une gestion optimale des ressources.

En parallèle, l'auteur explore l'histoire philosophique du capitalisme. Il critique la vision « *calculocentrique* » héritée de Descartes, qui, en combinaison avec le développement du capitalisme, a réduit la valeur humaine à sa capacité de consommation. Face à cette vision, l'auteur s'inspire de la « *pensée complexe* » d'Edgar Morin, qui plaide pour une compréhension holistique et empathique. Ce changement de paradigme est crucial pour repenser la gestion des actifs physiques dans une ère où le capitalisme se trouve confronté aux défis écologiques.

En somme, cette thèse invite à un renouveau radical de la manière dont nous percevons et gérons la valeur des actifs physiques en milieu urbain. Le modèle PACKiT émerge comme un outil clé pour une gestion adaptative des actifs, plaçant l'éthique au centre des décisions. L'auteur conclut en proposant d'élargir la recherche à trente domaines clés qui illustrent la portée future des transformations à attendre de cette démarche.

ABSTRACT

This thesis proposes an innovative theory on physical asset value, centered on 21st-century urban dynamics. Its aim is to assess this value's impact on urban maintenance and renovation, offering coherent policy and strategy avenues for buildings and infrastructure.

The first section traces the evolution of urban environments since the onset of capitalism. It emphasizes how the COVID-19 pandemic has exposed the fragility of our economy, stressing the importance of physical assets. Cities, the heart of economic power since the rise of capitalism in Venice, have consistently adapted their management in the face of successive challenges. The current era, marked by increasing demographics and unprecedented ecological challenges, calls for a shift towards a circular economy. Chapter 4 introduces a new concept, the "*mathem-ethics*", a fusion of ethics and mathematics, for a more systemic, multi-factorial and multi-causal assessment of the value of physical assets.

The second section offers an original contribution to a theory on value with the PACKiT model, dedicated to the physical asset management. This model proposes a revolutionary view of asset valuation, focused on their usage value, their loss of usage value, and their characteristics. Contrary to traditional approaches based on linear depreciation or approximation by industrial life cycles, PACKiT provides a qualitative perspective, addressing the coexistence of three fundamental life cycles and seamlessly integrating with current standards. It is illustrated with a concrete example: the management of a portfolio of 226 school buildings. The thesis suggests the use of innovative tools, like the physical obsolescence index or asset condition index, for optimal resource management.

In parallel, the author explores the philosophical history of capitalism. He criticizes the "*calculo-centric*" vision inherited from Descartes, which, combined with rising capitalism, has reduced human value to its consumption capacity. Against this backdrop, the author draws on Edgar Morin's "complex thinking", which advocates a holistic and empathetic understanding. This paradigm shift is crucial for rethinking the physical asset management in a post-capitalist era.

In summary, this thesis invites a radical reevaluation of how we perceive and manage the value of physical assets in urban built environments. The PACKiT model emerges as a key tool for adaptive asset management, placing ethics at the center of decisions. In conclusion, the author suggests a broader exploration, encompassing 30 key areas, illustrating the transformative scope of this research for the future.

TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACE.....	V
REMERCIEMENTS	VI
RÉSUMÉ.....	VII
ABSTRACT	VIII
TABLE DES MATIÈRES	IX
LISTE DES TABLEAUX.....	XIV
LISTE DES FIGURES.....	XV
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS	XXIV
LISTE DES ANNEXES.....	XXVII
PREMIÈRE PARTIE : VERS UNE VALEUR RENOUVELÉE DES ACTIFS PHYSIQUES AU SEIN DES MILIEUX URBAINS	28
CHAPITRE 1 INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	29
CHAPITRE 2 LE CAPITAL HUMAIN : L'ÈRE INCERTAINE DE L'ANTHROPOCÈNE	
52	
2.1 Introduction	52
2.2 La reconnaissance et la valorisation du capital humain	55
2.3 L'énergie de créer, source de conflits	62
2.4 La valorisation de la vie et de l'instruction	65
2.5 La valorisation de la liberté	68
2.6 La sauvegarde de l'humanité et la quête du bonheur	69
2.7 Conclusion	76
CHAPITRE 3 LE CAPITAL NATUREL: LA PROTECTION DES MATIÈRES PREMIÈRES ET DU VIVANT	79
3.1 Introduction	79
3.2 Les assises historiques du concept de capital naturel	83
3.3 La surface terrestre : répartition et densité	86
3.4 L'eau douce et les barrages: une utilisation liée	91
3.5 Le numérique et les oxydes de terres rares : une pression réciproque	94
3.6 Les véhicules à moteur et les matériaux plastiques : la pollution au quotidien	99
3.7 L'énergie : pour une production de masse et de GES	101

3.8 Conclusion	112
CHAPITRE 4 LE CAPITAL PRODUCTIF : LA PROBLÉMATIQUE DE LA VALEUR	
116	
4.1 Introduction	116
4.2 L'économie libérale, les inventions et l'énergie au service du capital productif	120
4.2.1 1770-1830 : Une économie libérale et mécanisée.....	123
4.2.2 1830-1950 : Une économie instable d'infrastructures à électrifier	125
4.2.3 1950-1975: Une économie de réduction des inégalités et automatisée.....	129
4.2.4 1975-1990 : Une économie de crise énergétique et micro-informatisée.....	137
4.2.5 1990-2007: Une économie globalisée et financiarisée.....	146
4.2.6 2008 à aujourd'hui : Une économie de l'alliance entre la matière, le numérique et le vivant ?	149
4.3 Les valeurs économiques du capital productif	155
4.3.1 La valeur à l'échelle macroéconomique.....	161
4.3.2 La valeur à l'échelle microéconomique	174
4.4 Conclusion	185
DEUXIÈME PARTIE : LE MODÈLE PACKIT POUR LA GESTION D'ACTIFS	
PHYSIQUES ET SON APPLICATION.....	191
CHAPITRE 5 LE CADRE ÉPISTÉMOLOGIQUE ET CONCEPTUEL : LES	
FONDAMENTAUX.....	192
5.1 Introduction	192
5.2 La gestion d'actifs physiques	195
5.3 Les actifs physiques	198
5.4 Le système de gestion des actifs physiques en milieu urbain	203
5.5 Les cycles de vie	214
5.6 Les parties prenantes	228
5.7 La prise de décision	233
5.8 Les approches de la valeur	242
5.9 Conclusion	249
CHAPITRE 6 LE MODÈLE ET PROCÉDÉ PACKIT D'ALIGNEMENT DES	
DÉCISIONS ET DES ACTIONS PAR LA VALEUR D'USAGE	256
6.1 Introduction	256
6.2 Champ d'application	261
6.3 Références normatives	263

6.4	Thésaurus de descripteurs techniques : terminologie et définitions.....	264
6.4.1	Maître d'ouvrage	264
6.4.2	Actif physique	264
6.4.3	Usage	265
6.4.4	Fonctionnalité.....	265
6.4.5	Sobriété.....	265
6.4.6	Fonction.....	265
6.4.7	Ambiance	265
6.4.8	Valeur d'usage (VU)	266
6.4.8.1	Valeur d'usage initiale	266
6.4.8.2	Valeur Actuelle de Remplacement (VAR).....	266
6.4.8.3	Valeur d'usage restante ou résiduelle.....	266
6.4.9	Nomenclature technique.....	267
6.4.10	Allocation des actifs	267
6.4.11	Occupation	267
6.4.12	Densité d'occupation générale	267
6.4.12.1	Densité d'occupation temporelle.....	268
6.4.12.2	Densité d'occupation surfacique	268
6.4.13	Surface de plancher brute (SDPB)	268
6.4.14	Reconstruction.....	269
6.4.15	Besoin de maintien d'actifs (BMA)	270
6.4.16	Maintien d'actifs à 5 ans (MA5)	270
6.4.17	Déficit de maintien d'actifs	271
6.4.18	Maintien d'actifs régulier	271
6.4.19	Indice de Vétusté Physique (IVP)	272
6.4.20	Renouvellement.....	274
6.4.20.1	Remplacement ou renouvellement non modernisant	274
6.4.20.2	Modernisation ou renouvellement modernisant.....	274
6.4.20.2.1	Amélioration ou renouvellement modernisant	274
6.4.20.2.2	Modification ou renouvellement modernisant	275
6.4.21	Estimation des coûts.....	275
6.4.22	Caractérisation du MA5	275
6.4.22.1	Nature d'action de maintien d'actifs	276
6.4.22.1.1	Vétusté physique corrective	276
6.4.22.1.2	Vétusté physique préventive	276
6.4.22.1.3	Mise en conformité.....	277
6.4.22.1.4	Adaptation fonctionnelle	277

6.4.22.2	Horizon temporel ou Durée de vie restante.....	278
6.4.22.3	Risque.....	279
6.4.22.3.1	Source d'origine du risque et évènement	280
6.4.22.3.2	Nature de l'impact.....	280
6.4.22.3.3	Intensité de l'impact.....	281
6.4.22.3.4	Vraisemblance ou probabilité d'occurrence.....	281
6.4.22.4	Intention politique et réglementaire	282
6.4.22.5	Source de financement	282
6.4.23	Indice de maintien des actifs physiques (IMA).....	283
6.4.24	Autres Indices et Indicateurs de performance	284
6.5	Aperçu du PACKiT : procédé d'audit et de suivi des actifs physiques.....	288
6.5.1	Général	288
6.5.2	Protocole et méthodologie de l'audit	288
6.5.2.1	Phase 1 : Préparation de l'audit.....	290
6.5.2.2	Phase 2 : Classification et estimation des VAR.....	293
6.5.2.3	Phase 3 : Collecte de données par un processus itératif d'élicitation.....	294
6.5.2.4	Phase 4 : Simulations, analyse et scénarios.....	298
6.5.2.5	Phase 5 : Stratégie, plan d'action et rapport.....	303
CHAPITRE 7 APPLICATION EMPIRIQUE : PLAN STRATÉGIQUE DE		
RENOUVELLEMENT DES BÂTIMENTS DE L'ORGANISATION SCOLAIRE URBAINE		
(OSU) 310		
7.1	Introduction	310
7.2	Phase 1 : Préparation de l'audit.....	312
7.2.1	Connaissance antérieure (2012) et organisation de l'audit	312
7.2.1.1	Présentation du parc de bâtiments scolaires.....	313
7.2.1.2	Dépenses en travaux de renouvellement pour la période 1999 à 2013	318
7.2.2	Estimation préliminaire de la valeur actuelle de remplacement des bâtiments..	319
7.2.3	Collecte et traitement de données existantes.....	320
7.2.4	Estimation préliminaire de l'indice de vétusté physique (IVP)	326
7.3	Phase 2 : Échantillonnage (2013), classification et estimation de la VAR	331
7.3.1	Objectifs et portées de l'application du PACKiT sur un échantillon.....	331
7.3.2	Choix et description de l'échantillon	332
7.3.3	Tests de la représentativité de l'échantillon retenu	335
7.4	Phase 3 : Collecte de données par inspection et élicitation.....	339
7.4.1	Travail sur site.....	340
7.4.2	Estimation des coûts.....	341

7.5	Phase 4 : Simulations, analyses et scénarios	342
7.5.1	Analyse générale et globale de l'échantillon.....	342
7.5.2	Analyse détaillée des besoins en travaux de renouvellement pour l'échantillon de 2013	346
7.5.2.1	Les catégories techniques (cf. Annexe B).....	347
7.5.2.2	La nature d'action (cf. 6.4.22.1).....	349
7.5.2.3	La durée de vie restante (cf. 6.4.22.2).....	351
7.5.2.4	Le risque (cf. 6.4.22.3).....	354
7.5.2.5	Les intentions politiques et réglementaires, sources de financement et autres indicateurs clés de performance	358
7.5.2.6	Observations spécifiques supplémentaires.....	359
7.6	Phase 5 : Stratégie, plan d'action et synthèse	364
7.6.1	Budget requis et capacité à payer de l'OSU.....	366
7.6.2	Plan pluriannuel d'investissement (PPI) et Schéma directeur immobilier (SDI) pour l'échantillon de 40 bâtiments.....	367
7.7	Conclusion	375
CHAPITRE 8 CONCLUSION GÉNÉRALE ET PROSPECTIVE SCIENTIFIQUE.....		383
8.1	Le lignage historique du Capital : la nécessité d'un changement de paradigme	384
8.2	Au cœur du <i>capital humain</i> : le difficile équilibre entre les pouvoirs et les savoirs	387
8.3	Repenser l'utilisation du <i>capital naturel</i> pour éviter la destruction de la biosphère.....	391
8.4	Transformation économique : discours et langage adaptés pour le <i>capital productif</i>.....	394
8.5	Essence théorique des actifs physiques et principaux apports de la thèse.....	401
8.6	Le modèle et procédé PACKiT : Alignement des décisions et des actions.....	409
8.7	Une application empirique : 226 bâtiments scolaires urbains	415
8.8	Prospective scientifique de la thèse.....	430
RÉFÉRENCES ET BIBLIOGRAPHIE		439
ANNEXE A – LISTE DES OUTILS ET THÈMES DE LA GESTION D'ACTIFS PHYSIQUES.....		474
ANNEXE B – CLASSIFICATION DES FONCTIONNALITÉS, DES USAGES ET DES FONCTIONS : SYSTÈME DE SUIVI DES ACTIFS PHYSIQUES.....		476
ANNEXE C – PRIX DE CONSTRUCTION ET VAR : TROIS ÉCOLES PRIMAIRES (REF 2011).....		481

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2-1 : Principales causes de décès par facteur de risque, France, 2013 (DREES, 2017) ²⁰¹	71
Tableau 2-2 : Décès et taux de mortalité en France – données annuelles de 1982 à 2020 (INSEE, 2021).....	72
Tableau 4-1 : Principes comptables généralement reconnus (<i>GAAP</i>).....	175
Tableau 4-2 : Illustration du compte de résultat pour une société de projet.	180
Tableau 5-1 : Exemple de durées d'utilisation et de taux d'amortissement comptable pour différents composants d'un bâtiment valorisé à 20 M€.	216
Tableau 5-2 : Classification pour le registre des actifs physiques.	218
Tableau 5-3 : Causes de la difficulté à obtenir des données pour les actifs physiques urbains.	219
Tableau 5-4 : Classement des durées de vie d'utilisations.....	222
Tableau 5-5 : Onze difficultés lors de l'utilisation de l'outil BIM pour la gestion du projet de construction d'un bâtiment.....	238
Tableau 5-6 : Biais cognitifs fréquents lors de prises décision pour les actifs physiques.....	240
Tableau 6-1 : Indice de vétusté physique, état et cote pour les actifs physiques.	273
Tableau 6-2 : Taux de renouvellement des actifs physiques et cycle de vie.....	283
Tableau 7-1 : Efforts consentis en travaux de renouvellement des bâtiments, OSU, 1999-2013.	318
Tableau 7-2 : Estimation des besoins en maintien d'actifs à horizon de 5 ans (MA5).....	323
Tableau 7-3 : Échantillon 2013 de 40 bâtiments de l'OSU.....	334
Tableau 7-4 : Résultats (2013) « après PACKiT » et comparaison avec « avant PACKiT » (2012) pour l'échantillon de 40 bâtiments de l'OSU.	343
Tableau 7-5 : 8 Bâtiments de l'objectif n° 1, OSU, 2013	369

Tableau 7-6 : 10 Bâtiments de l’objectif n° 2, OSU, 2013	369
Tableau 7-7 : 13 Bâtiments de l’objectif n° 3, OSU, 2013-2023 (10 ans).....	370
Tableau 7-8 : 9 Bâtiments de l’objectif n° 4, OSU, 2013-2023 (10 ans).....	370
Tableau 7-9 : Plan pluriannuel d’investissement (valeur nominale) pour une période de 10 ans de l’échantillon de 40 bâtiments de l’OSU, scénarios n° 1 et n° 2 (2013).....	373
Tableau 7-10 : Transposition du Plan pluriannuel d’investissement (valeur nominale) pour une période de 10 ans sur l’ensemble des 226 bâtiments (OSU), scénarios n° 1 et n° 2 (2013).	377

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Zone des canaux concentriques du XVIIème siècle à l’intérieur du canal périphérique (Singelgracht) à Amsterdam, Pays-Bas, (UNESCO, 2010).....	34
Figure 1.2 : Plan urbain autour de Regent’s Park à Londres, Royaume-Uni (Arnold, 2006)..	35
Figure 1.3 : Plan orthogonal en damier (grid) du <i>Commissioners Plan 1807-1811</i> , New York, États-Unis (Green, 2016).....	37
Figure 1.4 : Illustration du règlement sur le facteur de hauteur pour une tour (R9) à New York, États-Unis (NYC, 2020) ⁰	39
Figure 1.5 : Vue extérieure, après 1931, du <i>Home Insurance Building</i> conçu par l’architecte William Le Baron Jenney, Chicago, Illinois, États-Unis (Library of Congress, 2020). ..	41
Figure 1.6 : Modèles classiques de morphologie urbaine issue de l’étude de la ville de Chicago (adapté par Schlesinger de Park, Burgess et coll., 1925 ; Hoyt 1939 ; Harris and Ullman 1945).....	43
Figure 1.7 : Période de construction pour les résidences principales d’habitation d’avant 1800 à 1999 (la période haussmannienne est retrouvée en couleur ocre entre 1851 et 1914) .	48
Figure 2.1 : Population, 1800 à 2100 - Estimations historiques de la population, combinées à la population projetée jusqu’en 2100 sur la base du scénario de variante moyenne de l’ONU.	53
Figure 2.2 : Évolution historique des variations de la température mondiale et les causes du réchauffement climatique récent (IPCC, 2021).....	54

Figure 2.3 : Droit de propriété intellectuelle, total des demandes de brevet par bureau de dépôt, en France et aux États-Unis, période 1980 à 2019 (WIPO, 2020).....	59
Figure 2.4 : Inégalité en France au XIXème siècle et retour de la croissance des inégalités depuis 1985 (Piketty, 2019).	60
Figure 2.5 : Urbanisation au cours des 500 dernières années, de 1500 à 2016, pourcentage de la population vivant en milieu urbain.....	63
Figure 2.6 : Pourcentage de la population vivant en milieu urbain et en milieu rural en France pour la période 1950 à 2050.....	64
Figure 2.7 : Santé et éducation dans le monde, 1820-2020 (Piketty, 2019).....	68
Figure 2.8 : Covid19 - Nombre de décès en France, 1 ^{er} mars 2020 au 4 septembre 2021 (Wikipédia, 2021).....	72
Figure 3.1 : Utilisation mondiale des terres pour la production alimentaire en 2019.....	87
Figure 3.2 : Impacts environnementaux de l'agriculture biologique par rapport à l'agriculture conventionnelle en 2017 (Clark et Tilman, 2017).....	88
Figure 3.3 : Utilisation des terres pour 1000 kilocalories par type de nourriture et de production en 2018 (Poore, J. et Nemecek, T, 2018).	89
Figure 3.4 : La tendance mondiale de la production/consommation de papier au cours du XXème siècle (<i>FAO of the United Nations Online Statistics Service</i>).	90
Figure 3.5 : Superficie forestière mondiale (millions de kilomètres carrés) pour la période 1990 à 2016	91
Figure 3.6 : Utilisation mondiale annuelle estimée de l'eau (Shiklomanov, 2010).....	92
Figure 3.7 : Prélèvement d'eau par continent, excluant les réservoirs (FAO, 2015).	93
Figure 3.8 : Nombre de barrages construits par décennie, en fonction de la hauteur (m) du barrage, selon le <i>World Register of Dams</i> (non compris les barrages en Chine et en Russie).	94
Figure 3.9 : Nombre de transistors de puces à circuit intégré de 1950 à 2015 (UN, 2015).	96
Figure 3.10 : Production minière mondiale d'oxydes de terres rares, par pays et année, 1960 à 2012 (U.S. Mines et Geological Survey, 1960-2016).	97

Figure 3.11 : Distribution de la consommation d'énergie finale du numérique par poste pour la production (45 %) et l'utilisation (55 %) en 2017 (Shift Project, 2018).....	98
Figure 3.12 : Volume mondial de production de véhicules à moteur par pays, 1950-2013 (Masaqui, 2014).	99
Figure 3.13 : Production mondiale de plastique primaire (millions de tonnes) de 1950 à 2015 (Islam et coll., 2019).	100
Figure 3.14 : Production mondiale de plastique primaire en 2015 par secteur d'activité, en % (Islam et coll., 2019).	101
Figure 3.15 : Production mondiale d'énergie primaire 1900 à 2016 (USEIA, 2017).....	102
Figure 3.16 : Consommation mondiale d'énergie primaire 1980 à 2016 (USEIA, 2017).	103
Figure 3.17 : Production d'énergie primaire en France, 1900 à 2016 (USEIA, 2017).	104
Figure 3.18 : Consommation d'énergie primaire en France, 1980 à 2016 (USEIA, 2017). ..	105
Figure 3.19 : Émissions mondiales de GES par gaz (% du total en CO ₂ eq en 2014), vert : ; CO ₂ ; jaune CH ₄ ; rouge N ₂ O; bleu : gaz fluorés (PFC, HFC, SF ₆) (GIEC, 2014).....	106
Figure 3.20 : Répartition des 36,2 milliards de tonnes d'émissions mondiales de CO ₂ par continent (Ritchie, 2017).....	107
Figure 3.21 : Émissions de CO ₂ par habitant (pays divers) (combustion de combustibles fossiles pour la production d'énergie et de ciment.) (Ritchie, 2017).	108
Figure 3.22 : Émissions mondiales de CO ₂ par type de carburant (mesurées en tonnes par an) (Ritchie, 2017).....	109
Figure 3.23 : Sources mondiales d'émissions de gaz à effet de serre inégalement réparties selon les pays. Les pays sont classés par groupe de niveau de revenus, selon la nomenclature de la Banque mondiale (Janicot et coll., 2015).	110
Figure 4.1 : Mesure du capital menant à la mesure de la productivité selon le Système Comptable National (ONU, 2004), (OCDE, 2010), le SEC (UE, 2013).	120
Figure 4.2 : PIB par habitant, 1820 à 2018 - Le PIB par habitant est corrigé des variations de prix au fil du temps (inflation) et des différences de prix entre les pays - il est mesuré en dollars internationaux aux prix de 2011 (Madison, 2020).	166
Figure 4.3 : Émissions territoriales et PIB, 2005 à 2019 (Hausfather, 2021).	167

Figure 4.4 : Découplage des émissions territoriales, des émissions de consommation et du PIB pour la période 2005 à 2019, par rapport au niveau de 2005, pour 32 pays dont la population est d'au moins 1 million d'habitants – (Hausfather, 2021).....	168
Figure 4.5 : Corrélation entre les émissions de CO ₂ dues aux combustibles fossiles (Mt/an) et le PIB (milliards de dollars de 2005) de 173 pays en 2005 (Bowen et coll., 2009).....	169
Figure 4.6 : Énergie consommée et PIB en dollars constants pour le monde de 1965 à 2020 (Jancovici, 2021).	170
Figure 4.7 : Différentes corrélations entre la pression environnementale (<i>environmental pressure, EP</i>) et le revenu par habitant (<i>per capita income</i>) (de Bruyn et coll., 1998).	172
Figure 5.1 : Nœud borroméen écologique entre les <i>usages</i> , les <i>fonctionnalités</i> et les <i>fonctions</i> pour concevoir, maintenir et faire évoluer les <i>ambiances</i> d'un actif physique.....	201
Figure 5.2 : Le modèle économique en beignet (<i>Doughnut economic model</i>) (haut) ; les mesures des limites planchers et plafonds à l'échelle de la planète (bas) (Raworth, 2017).	207
Figure 5.3 : Système de gestion d'actifs physiques et processus de prise de décision lors de la transformation de la valeur d'usage.	214
Figure 5.4 : Dialectique décisionnelle pour les actifs physiques et cycles de vie fondamentaux.	221
Figure 5.5 : Bâtiment hospitalier : répartition schématique linéaire du coût pour un cycle de vie de 50 ans.....	224
Figure 5.6 : Bâtiment hospitalier : répartition théorique du coût, cycle de vie de 50 ans.....	225
Figure 5.7 : Bâtiment hospitalier : répartition objective décomptée de la durée, cycle de vie de 50 ans.....	226
Figure 5.8 : Modèle dynamique d'évolution des actifs physiques. Exemple pour deux bâtiments hospitaliers sur un cycle de vie d'usage de 50 ans.	228
Figure 5.9 : SGA - Synthèse du processus de décision pour gestion d'actifs physiques.	235
Figure 5.10 : Données, données dérivées et informations : conforme à la connaissance nécessaire pour répondre aux enjeux.	236
Figure 5.11 : Bilan comptable d'une organisation et principe du collatéral.	243

Figure 5.12 : Schéma de la dynamique humaine de la <i>Smart City-organologique (Note)</i> : captation des flux ascendants et descendants pour amplifier les incitations bidirectionnelles.	245
Figure 5.13 : Schéma du Modèle « Smart City-mécaniste ».	246
Figure 5.14 : Schéma du Modèle défaillant de la « Smart City ».	248
Figure 5.15 : Schéma du métabolisme par la dynamique des flux d'activités d'une organisation de gestion des actifs physiques.....	252
Figure 5.16 : Modèle « <i>Smart City-organologique</i> » : boucle intégrée des approches normatives - ex ante - et positives - ex post - de la captation, de l'extraction et de l'analyse de données.	253
Figure 6.1 : Schéma du procédé normalisé PACKiT d'audit et de suivi des actifs physiques.	289
Figure 6.2 : Illustration de l'application d'aide à la décision (extrait : plateforme 3t evA, copyright © tbmaestro SA, 2022 - tous droits réservés).	298
Figure 6.3 : Illustration de la base de connaissance : information administrative détaillée par bâtiment (extrait : plateforme 3t myA, copyright © tbmaestro SA, 2022 - tous droits réservés).	299
Figure 6.4 : Illustration de la base de connaissance : information sur les surfaces de tous les bâtiments (extrait : plateforme 3t myA, copyright © tbmaestro SA, 2022 - tous droits réservés).	299
Figure 6.5 : Illustration de la base de connaissance : géolocalisation de tous les bâtiments (extrait : plateforme 3t myA, copyright © tbmaestro SA, 2022 - tous droits réservés).	300
Figure 6.6 : Illustration de la base de connaissance : gestion électronique des documents (GED) et stockage (extrait : plateforme 3t evA, copyright © tbmaestro SA, 2022 - tous droits réservés).	300
Figure 6.7 : Illustration de la collecte des données : caractérisation de chacun des besoins en travaux du MA5 pour chacun des bâtiments (extrait : plateforme 3t evA, copyright © tbmaestro SA, 2022 - tous droits réservés).	301

Figure 6.8 : Illustration de la simulation des données : Liste d’inventaire des besoins en maintien d’actifs MA5, par catégorie technique (extrait : plateforme 3t evA, copyright © tbmaestro SA, 2022 - tous droits réservés).	303
Figure 6.9 : Illustration du résultat d’un <i>processus d’analyse hiérarchique</i> avec des décideurs de l’organisation (extrait du résultat : plateforme 3t evA, copyright © tbmaestro SA, 2022 - tous droits réservés).	304
Figure 6.10 : Sept classes de niveaux de risques (classes de <i>risques majeurs</i> constitués des niveaux n°1 et n°2, copyright © tbmaestro SA, 2022 - tous droits réservés).	305
Figure 6.11 : Exemple de la liste d’inventaires des besoins en maintien d’actifs, MA5, pour tous les bâtiments (extrait : plateforme 3t evA, copyright © tbmaestro SA, 2022 - tous droits réservés).	306
Figure 6.12 : Exemple du croisement de la connaissance entre les risques et l’horizon temporel à l’échelle d’un bâtiment (extrait : plateforme 3t evA, copyright © tbmaestro SA, 2022 - tous droits réservés).	307
Figure 6.13 : Exemple d’une fiche de synthèse technique et environnementale pour un bâtiment (copyright © tbmaestro SA, 2022 - tous droits réservés).	307
Figure 6.14 : Exemple d’analyse croisée entre l’aspect technique - environnemental et l’aspect occupationnel - fonctionnelle pour tous les bâtiments de l’organisation (copyright © tbmaestro SA, 2022 - tous droits réservés).	308
Figure 6.15 : Exemple d’une fiche de synthèse globale pour un bâtiment (copyright © tbmaestro SA, 2022 - tous droits réservés).	309
Figure 6.16 : Exemple d’une fiche de synthèse pour une opération immobilière visant plusieurs bâtiments (copyright © tbmaestro SA, 2022 - tous droits réservés).	309
Figure 7.1 : Répartition en nombre de bâtiments et en pourcentage par type d’exploitation des 288 actifs et 1,5 million de m ² « propriétés » de l’OSU (février 2012).	313
Figure 7.2 : Distribution par nombre d’immeubles selon les époques de construction en fonction de leur exploitation pour les 288 actifs « propriétés » de l’OSU (février 2012).	315
Figure 7.3 : Distribution par surface selon les époques de construction en fonction de leur exploitation pour les 1,5 million de m ² « propriété » de l’OSU (février 2012).	316

Figure 7.4 : Répartition des 1,3 milliard \$ de besoins en maintien d'actifs à 5 ans (MA5) en fonction de la source des audits d'évaluation des besoins en travaux pour les 226 immeubles « en exploitation » du parc immobilier de l'OSU (février 2012).....	323
Figure 7.5 : Répartition du MA5 de 1,3 milliard \$ par classe de certitude d'estimation du coût des besoins en travaux des 226 immeubles « en exploitation » du parc immobilier de l'OSU (février 2012).	324
Figure 7.6 : Indice de vétusté physique (IVP) pour une MA5 de 1,3 milliard \$ en fonction de l'âge des 226 immeubles « en exploitation » du parc immobilier de l'OSU (février 2012).	326
Figure 7.7 : Distribution du nombre de bâtiments par intervalle d'indice de vétusté physique (IVP) des 226 immeubles « en exploitation » du parc immobilier de l'OSU (février 2012).	328
Figure 7.8 : Répartition en nombre de bâtiments et en pourcentage par intervalle d'indice de vétusté physique (IVP) des 226 immeubles « en exploitation » du parc immobilier de l'OSU (février 2012).	329
Figure 7.9 : Distribution par époques de construction des 226 immeubles « en exploitation » du parc immobilier de l'OSU (2013).	335
Figure 7.10 : Distribution par époques de construction des 40 immeubles de l'échantillon du parc immobilier de l'OSU (2013).	335
Figure 7.11 : Distribution par usage principal des 226 immeubles « en exploitation » du parc immobilier de l'OSU (2013).	336
Figure 7.12 : Distribution par usage principal des 40 immeubles de l'échantillon du parc immobilier de l'OSU (2013).	337
Figure 7.13 : Répartition de la densité occupationnelle en fonction du nombre d'élèves (gauche) et en fonction des équivalents à temps plein (ETP) (droite) (2013).....	337
Figure 7.14 : Distribution par classes d'indice de vétusté physique (IVP) des 226 immeubles « en exploitation » du parc immobilier de l'OSU (2013).....	338
Figure 7.15 : Distribution par classes d'indice de vétusté physique (IVP) des 40 immeubles de l'échantillon du parc immobilier de l'OSU (2013).	338

Figure 7.16 : Distribution des indices de vétusté physique (IVP) en fonction de l'âge pour les 40 immeubles de l'échantillon du parc immobilier de l'OSU (2013).....	344
Figure 7.17 : Distribution des besoins en travaux à l'horizon de 5 ans (MA5) et de l'indice de vétusté physique (IVP) en fonction des <i>catégories techniques</i> pour les 40 immeubles de l'échantillon du parc immobilier de l'OSU (2013).	347
Figure 7.18 : Répartition du coût de renouvellement (MA5) par <i>nature d'action</i> de travaux pour les 40 immeubles de l'échantillon du parc immobilier de l'OSU (2013).	349
Figure 7.19 : Distribution du (MA5) par <i>nature d'action</i> en fonction des <i>catégories techniques</i> et pour les 40 immeubles de l'échantillon du parc immobilier de l'OSU (2013).	349
Figure 7.20 : Répartition du coût de renouvellement (MA5) par <i>durée de vie restante</i> ou <i>horizon temporel</i> pour les 40 immeubles de l'échantillon du parc immobilier de l'OSU (2013).	351
Figure 7.21 : Distribution du (MA5) par <i>durée de vie restante</i> en fonction des <i>catégories techniques</i> et pour les 40 immeubles de l'échantillon du parc immobilier de l'OSU (2013).	351
Figure 7.22 : Distribution du (MA5) par <i>nature d'action</i> en fonction de la <i>durée de vie restante</i> et pour les 40 immeubles de l'échantillon du parc immobilier de l'OSU (2013).	352
Figure 7.23 : Répartition du coût de renouvellement (MA5) par <i>nature de l'impact des risques</i> pour les 40 immeubles de l'échantillon du parc immobilier de l'OSU (2013).	354
Figure 7.24 : Distribution du (MA5) par <i>intensité</i> et <i>vraisemblance d'occurrence (ou probabilité)</i> en fonction des <i>risques majeurs et des autres risques</i> pour les 40 immeubles de l'échantillon du parc immobilier de l'OSU (2013).	354
Figure 7.25 : Répartition du coût de renouvellement (MA5) par <i>risques majeurs et autres risques</i> pour les 40 immeubles de l'échantillon du parc immobilier de l'OSU (2013).	356
Figure 7.26 : Distribution du (MA5) par <i>risques majeurs et autres risques</i> en fonction des <i>catégories techniques</i> pour les 40 immeubles de l'échantillon du parc immobilier de l'OSU (2013).	356
Figure 7.27 : Distribution du (MA5) par <i>nature d'action</i> en fonction des <i>risques majeurs et autres risques</i> pour les 40 immeubles de l'échantillon du parc immobilier de l'OSU (2013).	357

Figure 7.28 : Distribution du (MA5) par <i>durée de vie restante</i> en fonction des <i>risques majeurs et autres risques</i> pour les 40 immeubles de l'échantillon du parc immobilier de l'OSU (2013).	357
Figure 7.29 : Indice de vétusté physique (IVP) moyen pondéré en fonction de l'âge moyen pondéré et hypothèses de trajectoire jusqu'à un âge de 100 ans, PACKiT, OSU (2013).	365
Figure 7.30 : Indice de maintien d'actifs (IMA) pour la période de 1999 à 2013 (OSU).	366
Figure 7.31 : Quatre objectifs de la stratégie d'action sur les 40 bâtiments de l'échantillon (OSU 2013).	368
Figure 7.32 : Plan pluriannuel d'investissement (en valeur nominale) pour une période de 10 ans de l'échantillon de 40 bâtiments de l'OSU (2013).	374
Figure 7.33 : Plan pluriannuel d'investissement (en IMA moyen pondéré) pour une période de 10 ans de l'échantillon de 40 bâtiments de l'OSU (2013).	374
Figure 7.34 : Transposition du Plan pluriannuel d'investissement (valeur nominale) pour une période de 10 ans sur l'ensemble des 226 bâtiments de l'OSU (2013).	375
Figure 7.35 : Transposition du Plan pluriannuel d'investissement (valeur nominale) pour une période de 10 ans sur l'ensemble des 226 bâtiments de l'OSU (2013).	379

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

Note : La section 6.4 de la deuxième partie de la présente thèse complète la présentation des sigles et abréviations par un thésaurus de descripteurs techniques présentant la terminologie et les définitions du modèle et procédé PACKiT.

AP-HP	Assistance publique – Hôpitaux de Paris
APUL	Administration Publique Locale
ASC	<i>Accounting Standards Codification</i> ou Codification des normes comptables de la FASB
AutoCAD	Un logiciel de dessin assisté par ordinateur (DAO) créé en décembre 1982 par l'entreprise américaine Autodesk
BATX	Baidu, Alibaba, Tencent Xiaomi
BEPOS	Bâtiment à énergie positive, dont le bilan énergétique global est positif, qu'il produit plus d'énergie (thermique ou électrique) qu'il n'en consomme.
BIM	<i>Building information modeling</i> ou modélisation des données du bâtiment est un processus soutenu par divers outils, technologies et contrats impliquant la génération et la gestion de représentations numériques des caractéristiques physiques et fonctionnelles des lieux.
BIMs	<i>Building information models</i> ou modèles d'information du bâtiment (BIM) sont des fichiers informatiques - en formats propriétaires ou contenant des données propriétaires - qui peuvent être extraits, échangés ou mis en réseau pour faciliter la prise de décision concernant un bien construit
BIM software	<i>BIM software</i> ou logiciel BIM est utilisé par les particuliers, les entreprises et les organismes publics qui gèrent la planification, la conception, la construction et l'exploitation-maintenance des bâtiments et diverses infrastructures physiques, tels que les services d'eau, d'assainissement, d'électricité, de gaz, de communication, les routes, les chemins de fer, les ponts, les ports et les tunnels.
BMA	Besoins en maintien d'actifs ou travaux qu'il faudrait réaliser pour lutter contre la perte de valeur d'usage.
CAO	Conception assistée par ordinateur
CAPEX	Dépenses d'investissement ou <i>Capital expenditure</i>
COVID19	Maladie à coronavirus 2019 de type SRAS-CoV-2
CO	Monoxyde de carbone, se forme lors de la combustion incomplète de matières organiques (gaz, charbon, fioul ou bois, carburants).
CO ₂	Dioxyde de carbone, principal gaz à effet de serre, avec la vapeur d'eau.
CBD	Quartier d'affaires ou <i>Central Business District</i>
DICE	<i>Dynamic Integrated model of Climate and the Economy</i> ou Modèle dynamique intégré du climat et de l'économie
DIUO	Dossier d'interventions ultérieures sur l'ouvrage
DL	Durée de vie à la conception (DVC) ou <i>Design Life</i>
DOE	Dossier des ouvrages exécutés
DPE	Diagnostic de performance énergétique
EPCI	Établissement public de coopération intercommunale
EnR	Énergies renouvelables ou techniques de production d'énergie dont la mise en œuvre n'entraîne pas l'épuisement de la ressource initiale (vent, soleil, sol, biomasse, hydraulique).
E+C-	Label et référentiel pour les bâtiments à énergie positive et réduction carbone

É-U	États-Unis d'Amérique
FVA	<i>Fair-value accounting</i> ou Comptabilité à la juste valeur de marché
FASB	<i>Financial Accounting Standard Board</i> ou Conseil des normes de comptabilité financière américaines pour le secteur privé et le secteur public
GAFAM	Google, Apple, Facebook, Amazon, Microsoft
GASB	<i>Governmental Accounting Standards Board</i> ou Conseil des normes comptables gouvernementales américaines locales ou nationales
GES	Gaz à effet de serre, composants gazeux absorbant le rayonnement infrarouge émis par la surface de la terre contribuant au réchauffement climatique
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
GTB	Gestion technique du bâtiment
GTC	Gestion technique centralisée
GMAO	Gestion de la maintenance assistée par ordinateur
HCA	<i>Historical cost accounting</i> ou Comptabilité des coûts historiques
IA	Intelligence artificielle
ICOM	<i>Input, Control, Output, Mechanism</i>
IFRS	<i>International Financial Reporting Standards</i> ou Normes internationales d'information financière
IGH	Immeuble de grande hauteur, tour ou gratte-ciel.
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change is the United Nations body</i>
IPSAS	<i>International Public Sector Accounting Standards</i> ou Normes comptables internationales du secteur public.
IVP	Indice de vétusté physique (ou <i>Asset Condition Index (ACI)</i>).
J	Le Système international présente le joule (J) comme unité pour quantifier l'énergie, la quantité de chaleur et le travail.
K	Millier
km ²	Kilomètre carré
kWhEP	kilowatt/heure d'énergie primaire, unité de mesure utilisée dans la RT ou lors de DPE.
LCCA	Analyse du coût du cycle de vie ou <i>life-cycle cost analysis (LCCA)</i> .
LCA	Analyse du cycle de vie ou <i>life-cycle analysis (LCA)</i> .
LDA	Analyse des données de vie ou <i>life data analysis (LDA)</i> .
LOD	<i>Level of Detail</i> . Niveau de détail en termes de structure géométrique.
LOI	<i>Level of Information</i> . Niveau des informations en termes d'ampleur, de description, d'attribut.
M	Million.
Mt	Million de tonnes métriques (Mt).
m	Mètre.
MA5	Besoins en maintien d'actifs à horizon 5 ans ou travaux qu'il faudrait réaliser pour lutter contre la perte de valeur d'usage.
MGP	Métropole du Grand Paris.
NOx	Composés d'azote et d'oxygène qui comprennent les gaz d'acide nitrique et de dioxyde d'azote.
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques est une organisation internationale d'études économiques.
OMPI	Organisation mondiale de la propriété intellectuelle ou <i>World Intellectual Property Organization (WIPO)</i> .
ONU	Organisation des Nations Unies est une organisation internationale qui compte 193 États membres et 2 États observateurs (Vatican et Palestine).
OPEP	Organisation des pays exportateurs de pétrole.

OPEX	Dépenses de fonctionnement ou <i>Operational expenditure</i> .
PACKiT	<i>Process on Asset for Criticality and Knowledge by inspections and Testimonies</i> .
PAGI	Plan Annuel de Gestion des Investissement, pour les ministères, sociétés d'état et autres organismes publics du Québec, visant à prévoir la planification annuelle des investissements pour les bâtiments et infrastructures.
PCT	Traité de coopération en matière de brevet (<i>Patent Cooperation Treaty</i>).
PDMA	Plan Directeur de Maintien des Actifs, visant à prévoir la planification des investissements de renouvellement des infrastructures sur au moins 5 ans pour les ministères, sociétés d'état et autres organismes publics du Québec.
PIB	Produit intérieur brut.
PPI	Plan Pluriannuel d'Investissement, visant la planification des investissements sur au moins 5 ans des collectivités locales et territoriales, en France, et donc de prévoir le financement des travaux préventifs ou curatifs nécessaires à leurs infrastructures.
PPP	Partenariat public-privé ou <i>Private Finance Initiative (PFI)</i> .
PQI	Plan Québécois des Infrastructures, pour les ministères, sociétés d'état et autres organismes publics du Québec, visant à prévoir la planification sur 10 ans des investissements pour les bâtiments et infrastructures.
PSP	Plan Stratégique de Patrimoine, visant, en France, à adapter l'offre de logement aux territoires et au marché dans un horizon de 5 à 10 ans.
P4	Laboratoire classification P4 (haute dangerosité), « pathogène de classe 4 ».
RE2020	Réglementation environnementale française de 2020, E+C-.
Revit	Logiciel de conception de bâtiment (CAO) édité par l'entreprise américaine Autodesk qui permet de créer un modèle en 3D d'un bâtiment pour créer divers documents nécessaires à sa construction (plan, perspective, ...) et ayant comme particularité d'être un logiciel BIM.
RCM	Maintenance axée sur la fiabilité ou <i>Reliability-Centered Maintenance</i> .
ROA	Rendement des actifs financiers ou <i>Return On Asset</i> .
RT2012	Réglementation thermique française de 2012.
R.-U.	Royaume-Uni de Grande-Bretagne.
SO2	Dioxyde de soufre (SO ₂), un gaz incolore, malodorant et toxique, fait partie d'un groupe plus large de produits chimiques appelés oxydes de soufre (SO _x).
SGA	Système de gestion d'actifs physiques ou <i>Asset Management System (AMS)</i> .
SMART	Spécifique, Mesurable, Atteignable Réaliste, Temporellement limité (<i>Time-bounded</i>)
SPSI	Schéma Pluriannuel de Stratégie Immobilière, des organismes relevant de l'État français, habituellement sur un horizon de cinq ans.
toe	ton of oil equivalent ou tonne d'équivalent pétrole (tep), unité d'énergie, environ 42 gigajoules ou 11,630 mégawattheures.
TPM	Total Preventive Maintenance ou Maintenance productive totale.
Twh	Térawatt-heure (10 à la puissance 12 wattheures), unité de mesure d'énergie.
UE	Union européenne est une union politico-économique de vingt-sept États européens.
URSS	Union des républiques socialistes soviétiques.
VAR	Valeur actuelle de remplacement.
VOC	Vereenigde Oost-Indische Compagnie.

LISTE DES ANNEXES

Annexe A – Liste des outils et thèmes de la gestion d’actifs physiques	474
Annexe B – Classification des fonctionnalités, des usages et des fonctions : système de suivi des actifs physiques	476
Annexe C – Prix de construction et var : trois écoles primaires (ref 2011)	481

**PREMIÈRE PARTIE : VERS UNE VALEUR RENOUVELÉE
DES ACTIFS PHYSIQUES AU SEIN DES MILIEUX
URBAINS**

CHAPITRE 1 INTRODUCTION GÉNÉRALE

Les milieux d'affaires prennent, depuis le début de la crise de la COVID19, la mesure d'une économie mise à l'arrêt brusquement. Parallèlement, le 24 mars 2020, Bruno Le Maire, ministre de l'Économie et des Finances de la France, déclare : « Ce que nous vivons n'a pas d'autre comparaison que la grande dépression de 1929 » (Escande et Bouissou, 2020)¹. L'actualité toujours brûlante autour de la COVID19, ce coronavirus contagieux, dévastateur, tant sur le plan de la santé que sur le plan économique, génère des intrigues sur l'origine de ses causes et sur ses conséquences. Cette affirmation fait craindre pour la suite de l'histoire.

En effet, même si « on ne se baigne jamais deux fois dans le même fleuve » selon les explications d'Héraclite sur la matière du monde et de ses transformations (Nietzsche, 1870-1873)², le principe de précaution nous invite à envisager que « ceux qui ne peuvent se souvenir du passé sont condamnés à le répéter. » Santayana (1905-1906)³.

Et si l'histoire se répète, avant de déterminer la suite de décisions et d'actions à mettre en place, la première partie de la présente thèse vise à démontrer, par une grille d'analyse historique des *Capital*, que les interactions des principales préoccupations techniques, économiques et sanitaires invitent à un capitalisme renouvelé et de ce qui en découle : un renouvellement de la notion de valeur des stocks au sein des milieux urbains gérés par des Administrations Publiques Locales (APULS).

Le lignage principal de la présente thèse a comme point de départ, la naissance du capitalisme et de la création d'organisations industrielles avant son démarrage en trombe à partir du milieu du XIXème siècle qui mena à la Belle Époque (1871 à 1914), la Première Guerre mondiale (1914-1918) et aux Années folles (1918-1929), jusqu'à la grande dépression, point de comparaison de Monsieur Bruno Lemaire. Et en même temps, on procède à une analyse du XXème siècle afin de tirer des leçons et de préconiser une approche pour la gestion des bâtiments et infrastructures, les actifs physiques des milieux urbains au XXIème siècle.

Or donc, est-ce que la gestion de la pandémie de la COVID19 doit se faire par une approche purement rationnelle orientée vers la survie économique à tout prix ? La théorie du

¹Escande, P., et Bouissou, J. (2020, 25 mars). Après l'épidémie et le confinement, la crainte d'une dépression comparable à la crise de 1929 - Gouvernements et banques centrales cherchent à éloigner le risque d'un effondrement en chaîne, alors que l'économie est mise à l'arrêt. *Journal Le Monde*.

² Nietzsche, F. (1870-1873). *La Philosophie à l'époque tragique des Grecs* (1990). Gallimard.

³ Santayana, G. (1905). *The Life of Reason* (1998). Prometheus Books.

« *the cure cannot be worse than the problem itself* » chère à Donald Trump propose de « sauver l'économie rapidement plutôt que des vies bouleversées par la COVID19 » (Haberman et Sanger, 2020)⁴. En économie, le produit intérieur brut (PIB) demeure un indicateur clé pour mesurer la production d'un pays, en mesurant la valeur d'échange totale, les prix, des produits et services disponibles pour la consommation. En tenant compte du modèle capitaliste actuellement en place et d'une grille de lecture d'économiste orthodoxe, la baisse radicale du PIB indique une récession avec comme conséquence : des pertes d'emplois et du chômage ; une baisse de productivité de nombreuses entreprises et des risques de faillites ; les pertes importantes de revenus (impôts, taxes) par l'État et les gouvernements territoriaux ; l'accroissement du déficit public et de la dette. Pour redémarrer l'économie, les uns visent l'augmentation des impôts et des taxes, les autres visent le retour de l'activité au plus vite pour générer de la croissance. Mais le suivi exclusif de la croissance du PIB comme indicateur phare est contestable : cela décrit la richesse de la production présente, bilan des flux, sans faire écho à la production passée accumulée et toujours utile : les stocks ou, ce que l'on pourrait nommer au sein des villes, le patrimoine ou les actifs physiques fixes.

Les solutions identifiées, qui sont à considérer, constituent une réponse à court terme à une question beaucoup plus fondamentale et importante que celle-là : de quoi la COVID19 est-elle le nom ? De quoi est-elle la révélatrice ? Y a-t-il des causes multifactorielles ? Comment gérer ses conséquences sur l'économie ? Et comment affecteront-elles à l'avenir le quotidien de l'humanité au sein des milieux urbains ?

L'origine historique d'un vertigineux progrès et de la réduction des inégalités

La première Révolution industrielle, entre 1770 et 1850, prend ses origines d'aussi loin que la fin du Moyen Âge, en 1474 à Venise. Une nouvelle pratique apparaît sous la forme de la première législation pour les brevets. Elle vise à protéger l'inventeur-entrepreneur de la concurrence et du plagiat, mais plus encore, elle lui assure une rente, une richesse par un monopole à durée déterminée. En contrepartie, la divulgation de l'invention est obligatoire. Cette mesure vise plus globalement à accroître la richesse d'une nation par la mise en œuvre d'un protectionnisme à l'égard des importations et une valorisation des productions vénitiennes

⁴ Haberman, M. and Sanger, D.E. (2020, 23 Mars). Trump Says Coronavirus Cure Cannot 'Be Worse Than the Problem Itself' - The president, who has watched the economy plunge amid social distancing measures, says restrictions will be reassessed. *The New York Times*.

par la protection du savoir-faire (Vindt, 2019)⁵. Vingt ans plus tard, la synthèse des *meilleures pratiques* issues des commerçants et banquiers lombards, et qui perdure à ce jour, fut théorisée sous le thème du *décompte des valeurs* (Note)⁶ (Pacioli, 1494)⁷.

L'une de ces pratiques, autorisée au sein des religions protestante - issue de la Réforme de 1517 à 1648 - et juive, est favorable à un paiement demandé sur un prêt en addition à la valeur prêtée, alors que l'Église catholique y était opposée (Boucher, 1806)⁸. Tout bien pesé, l'usure a joué un rôle fondateur dans l'éclosion du capitalisme moderne. Et le capitalisme moderne a propulsé la Révolution industrielle et la croissance économique jusqu'à ce jour.

Or donc, l'origine du capitalisme dans la forme connue aujourd'hui débute autour de 1581 lors de la sécession et de l'indépendance des Provinces-Unies, la République des Sept Provinces-Unies des Pays-Bas. En se séparant de la Monarchie catholique espagnole, le pays devint un lieu d'accueil pour les réfugiés qui souhaitaient la liberté de culte. Le principe du prêt y fut assumé. Ainsi, ses forces vives mirent leurs talents et compétences au service de l'éclosion d'un siècle de prospérité sans précédent. La croissance de ce pays naissant la propulse au rang de première puissance commerciale au monde, jusqu'en 1702. Les doctrines économiques issues du commerce de compensation, le troc, ou de l'accumulation de réserves en or et en argent d'un État, le mercantiliste, font graduellement place à l'économie de marché.

Il est intéressant de noter que dans un de ses discours, vers 1630, le géographe, historien et théologien néerlandais Caspar van Baerle souligne que l'intrication entre les activités commerciales et les activités scientifiques proviennent du « désir d'explorer le monde ». La révolution industrielle et la révolution scientifique sont donc réciproquement influencées. « Même Descartes fut séduit par cette approche. » (Cook, 2008)⁹.

En effet, Descartes rédigea le Discours de la méthode à la même époque lorsqu'il vivait à Leyde aux Pays-Bas, connue comme capitale européenne de l'imprimerie d'alors. La géographie, la culture, l'histoire et la philosophie d'un peuple influencent autant le philosophe

⁵ Vindt, G. (2019, 25 juillet). L'invention du brevet à Venise. *Alternatives économiques*. <https://www.alternatives-economiques.fr/>

⁶ Pacioli a répertorié et expliqué les meilleures pratiques des commerçants et banquiers du nord de l'Italie comme la tenue de livres et sa comptabilité en partie double, les balances de vérification, les bilans, la règle pour prédire la valeur future d'un investissement et plusieurs autres outils encore employés par des comptables professionnels.

⁷ Pacioli, L. (1494). *Summa de arithmetica, geometria, proportioni et proportionalita*. Paganini of Brescia.

⁸ Boucher, P.-B. (1806). *Histoire de l'Usure* (2018). Wentworth Press.

⁹ Cook, H. J. (2008). Amsterdam, entrepôt des savoirs au XVIIe siècle. *Revue d'histoire moderne & contemporaine*, 55(2), 19-42. <https://doi.org/10.3917/rhmc.552.0019>

qu'il ne l'influence en retour. En ce sens, il est raisonnable d'imaginer que l'organisation méthodique néerlandaise de l'époque autour d'une ère commerciale mondiale sans précédent, ainsi que l'ouverture à toutes les communautés culturelles et à la découverte du monde ont pu influencer la pensée de Descartes, marquée par une rupture avec la tradition scolastique spéculative pour adopter une démarche en quatre étapes : « i) Identifier l'objet évident (sujet de l'étude ; problème à résoudre et hypothèses) ; ii) Diviser le plus possible ; iii) Recomposer ; iv) Réviser (vue globale ; confirmer ou réfuter les hypothèses) » (Descartes, 1637)¹⁰. En d'autres termes, c'est la continuité du principe des mathématiques ou de la logique aristotélicienne, il y a écriture partielle, partitionnée, fragmentée en sujets, en thématiques, en disciplines.

Descartes propose que la somme des parties égale le tout. Par ailleurs, les limites imposées par cette approche cachent la complexité et l'incertitude retrouvées aux frontières de disciplines, aux interfaces. C'est à la même époque que Blaise Pascal constatait la nécessité de « connaître le tout pour connaître les parties autant que de connaître les parties pour connaître le tout » (Pascal, 1666)¹¹. C'est une approche intégratrice, anticipant une approche méta-disciplinaire de la prise en compte de la complexité et de l'incertitude (Morin, 1990)¹².

Par ailleurs, le succès du capitalisme néerlandais et de son impérialisme s'appuie sur la création simultanée en 1602 : d'une part, de la première société anonyme multinationale de l'histoire économique, la Compagnie néerlandaise des Indes orientales (ou VOC) et d'autre part, de la première bourse au monde d'échanges d'obligations et d'actions, la bourse d'Amsterdam. La VOC fonda plusieurs comptoirs de commerce partout sur la planète dont celui de la Nouvelle-Amsterdam en 1614. En 1664, la concurrence de l'Angleterre mène les Néerlandais à céder ce lieu. New York voit le jour. C'est le début de la fin du Siècle d'or pour les Néerlandais.

¹⁰ Descartes, R. (1637). *Discours de la méthode* (2000). Flammarion.

¹¹ Pascal, B., (1666). *Pensées* (1852). Dezobry et E. Magdeleine.

¹² Morin, E. (1990). *Introduction à la pensée complexe*. ESF, Coll. Communication et complexité.

L'organisation des espaces urbains : principe de réalité et modèle industriel

Les axes du pouvoir économique ont évolué géographiquement depuis les origines du capitalisme. Particulièrement avec le début d'une mondialisation du commerce dès le XVII^{ème} siècle. La richesse des nations, exprimée de manière orthodoxe par le PIB, se concentre alors, et toujours, dans les milieux urbains. À travers un regard synthétique, on retrouve aux pages suivantes, une vue d'ensemble de villes occidentales phares du développement du capitalisme pendant la révolution industrielle comme Amsterdam, Londres, New York, Chicago et Paris.

XVII^{ème} siècle, Amsterdam : ville-port et voies navigables

Tout au long du XVII^{ème} siècle, Amsterdam est le centre du commerce mondial. C'est la première ville de l'histoire à construire son plan d'urbanisme avec des canaux afin d'assurer le développement du capitalisme naissant, issu du transport maritime. C'est alors un ensemble urbain sur la thématique d'une *ville-port* (Figure 1.1). Elle se construit autour de canaux à distribution concentrique pour assurer l'efficacité du transport et de l'entreposage de matières rapportées de leurs divers comptoirs par les expéditions de la VOC et pour garantir une distribution vers les différents clients de l'économie de marché en cours de construction. Le transport et la logistique sont au centre de la planification urbaine (UNESCO, 2010)¹³.

Les usages et les infrastructures de la ville répondent directement à l'impératif du commerce. Les prémices de la construction des villes issues du capitalisme autour d'un *quartier central des affaires* (*central business district*) s'inspirent de la forte relation de l'activité économique mondiale de l'époque et les activités de la Bourse d'Amsterdam. La ville et le transport sur l'eau deviennent un couple inséparable, le développement économique et scientifique, aussi (Cook, 2008)¹⁴.

¹³ UNESCO, World Heritage Convention. (2010). *Le quartier des canaux à Amsterdam, (Pays-Bas)*. <https://whc.unesco.org/>

¹⁴ Cook, H. J. (2008). Amsterdam, entrepôt des savoirs au XVII^e siècle. *Revue d'histoire moderne & contemporaine*, 55(2), 19-42. <https://doi.org/10.3917/rhmc.552.0019>

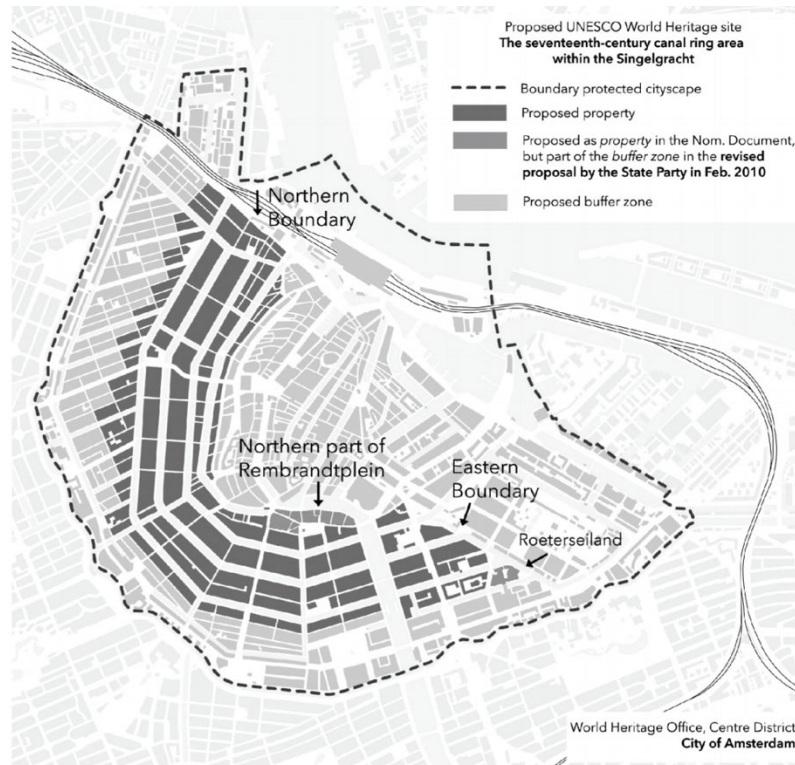


Figure 1.1 : Zone des canaux concentriques du XVII^e siècle à l'intérieur du canal périphérique (Singelgracht) à Amsterdam, Pays-Bas, (UNESCO, 2010)¹⁵

XVIII^e siècle et début du XIX^e siècle, Londres : ville-usine et gouvernance nouvelle

Malgré le passage du pouvoir commercial d'Amsterdam vers Londres à la fin du 17^e siècle - impulsé par une urbanisation émanant de deux drames : une épidémie de peste qui tua un sixième de la population - 80 000 personnes - en 1665 et le grand incendie de 1666 - la morphologie de la ville n'a pas changé de manière radicale. Outre l'amélioration de l'accès aux quais et l'élargissement des rues touchées par l'incendie, les constructions en bois sont remplacées par des constructions en brique et en pierre.

Dans un premier temps, le plan d'urbanisme est pragmatique et développé à partir de l'existant. Toutefois, cela a permis un renouveau des fonctions et usages de la ville en concevant des liaisons directes, par adossement, entre les *entrepôts* et les *manufactures*. Les matériaux et matériels provenant des différents comptoirs du monde sont transformés en biens prêts à la

¹⁵ UNESCO, World Heritage Convention, (2010). *Le quartier des canaux à Amsterdam, (Pays-Bas)*. <https://whc.unesco.org/>

commercialisation. Les bases du développement des usines (*factory*) sont en place (Historic England, 2017)¹⁶.

Une nouvelle organisation de la ville émerge de cette première révolution industrielle. Les richesses qui s'accumulent à Londres et les apprentissages autour des drames du XVII^e siècle - peste, incendie – génèrent un modèle urbain innovateur. Sous la direction de l'architecte John Nash (Bourguinat, Mehl et coll., 2006)¹⁷, de 1811 à 1838, l'aménagement de Londres est magistralement construit pour mimer la campagne (Figure 1.2). Les propriétaires fonciers et les constructeurs immobiliers articulent un développement centré autour d'un parc public - *Regent's Park* – et d'un axe allant jusqu'à la Tamise, afin de créer l'illusion d'une réplique du jardin des campagnes dans la ville. L'habitat aristocratique de ce quartier - *country houses* - se construit autour du parc avec des terrasses qui offrent une vue splendide sur la nature.

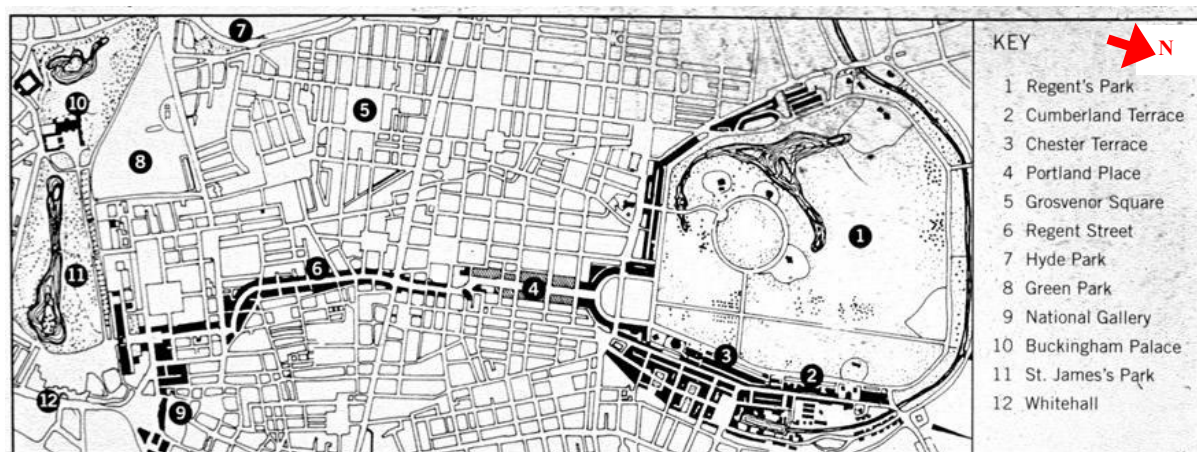


Figure 1.2 : Plan urbain autour de Regent's Park à Londres, Royaume-Uni (Arnold, 2006)¹⁸.

¹⁶ Historic England. (2011). *Maritime and Naval Buildings* (2017). Historic England. Product Code: HEAG114, [HistoricEngland.org.uk/listing/](https://historicengland.org.uk/listing/)

¹⁷ Bourguinat, N. et Mehl, J. (2006). *Les mises en scène(s) de l'espace : Faux-semblants, ajustements et expériences dans la ville*. Presses universitaires de Strasbourg. <https://doi.org/10.4000/books.pus.12615>

¹⁸ Arnold, D. (2006). Un conte de deux villes : lectures biographiques du West End londonien. Dans N. Bourguinat, et J. Mehl, *Les mises en scène(s) de l'espace : Faux-semblants, ajustements et expériences dans la ville* (117-139). Presses universitaires de Strasbourg.

L'organisation de cette section de la ville se complète par la construction d'une section de résidences pour les ouvriers et domestiques qui forme un cordon sanitaire avec le reste de la ville : la protection des épidémies est une priorité (Higgins et coll., 2002)¹⁹.

Ce *metropolitan improvement* générera une dynamique qui mena à une législation et une gouvernance nouvelle. Dès 1835, des lois sanitaires encadrent la construction des logements qui autorisent la ville à : i) mener des opérations de *débarras des bidonvilles* (*slum clearance*) pour construire des logements ouvriers ; ii) donner des pouvoirs d'administration des égouts et de la voirie (Porter, 2012)²⁰. Ainsi, en 1899, le gouvernement local de Londres fut la première municipalité moderne couvrant uniformément l'ensemble d'un territoire formé de plusieurs arrondissements (*boroughs*) (Topalov et coll., 2002)²¹.

XIX^{ème} siècle, New York et Chicago : villes verticales et villes fordistes

Les origines de New York commencèrent par l'établissement de la colonie des Nouveaux Pays-Bas (*Nieuw Nederland*) sur la côte est de l'Amérique du Nord en 1614. La capitale de l'époque était le comptoir de la Nouvelle-Amsterdam. Situé dans le sud de l'île de Manhattan, cet espace fut renommé New York, par les Anglais, à partir de 1664 en concordance avec la Deuxième Guerre anglo-néerlandaise.

Dès la fin du XVIII^{ème} siècle, le développement désordonné de la ville, issu d'une forte croissance économique, attira des immigrants européens en grand nombre. Et particulièrement à partir du début du XIX^{ème} siècle. La nécessité de peupler les États-Unis en général et New York en particulier pour assurer la croissance économique fut à l'origine d'une intense urbanisation (Burrows et coll., 1998)²². Dès 1811, l'organisation de la ville de New York se fit autour d'îlots d'environ deux hectares (*blocks*) cintrés par les 155 rues rectilignes, qui se croisent à angles droits, et un nivellement de la surface du sol. C'est la mise en place du *Commissioners Plan* (Figure 1.3) qui influencera ultérieurement le développement physique de toutes les villes du monde. Ce plan orthogonal en damier, ou plan hippodamien – Hippodamos, V^{ème} siècle av. J.-C., permet un développement rationnel, efficace et rapide qui en revanche

¹⁹ Higgins, J. (2002). La croissance de Londres : une description par le vocabulaire des formes urbaines (xv^{ie}-xix^e siècle). Dans *Les divisions de la ville*. Éditions de la Maison des sciences de l'homme. <https://doi.org/10.4000/books.editionsmsmh.1240>

²⁰ Porter, R. (2000). *London : A Social History*. Penguin.

²¹ Topalov, C. (2002). *Les divisions de la ville*. Éditions de la Maison des sciences de l'homme. <https://doi.org/10.4000/books.editionsmsmh.1233>

²² Burrows, E.G. et Wallace, M. (1998). *Gotham: a history of New York City to 1898*. Oxford University Press.

est monotone et fait fi de la topographie naturelle des lieux de la ville. Il est constitué essentiellement de deux modèles : i) la largeur des rues : 100 pieds (environ 30 m) pour les avenues, et 60 (18,3 m) ou 100 pieds pour les rues transversales; ii) la dimension des îlots: environ 264 pieds (80,5 m) par 900 pieds (274,3 m), soit environ 2,2 hectares (22 000 m²) par îlot (Stern et coll., 1983)²³.

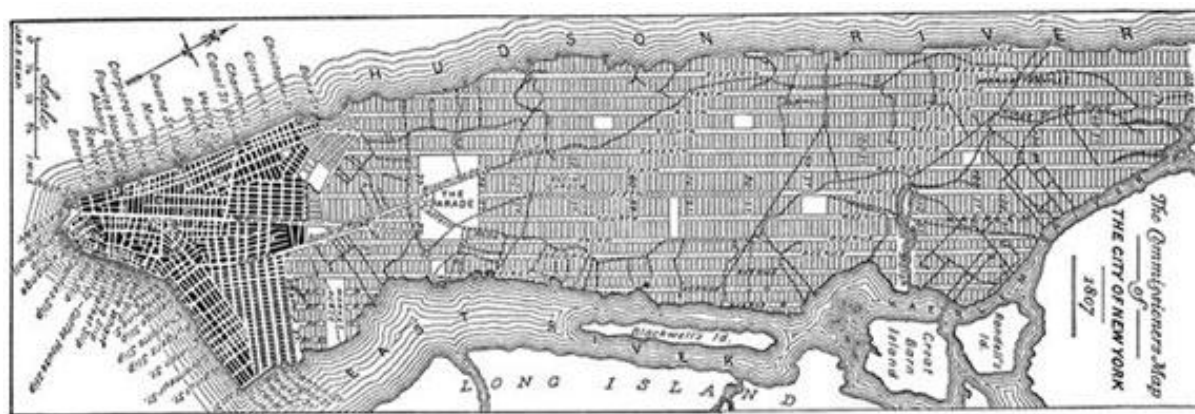


Figure 1.3 : Plan orthogonal en damier (grid) du *Commissioners Plan 1807-1811*, New York, États-Unis (Green, 2016)²⁴.

Cette distribution en îlots favorise le calcul rapide des distances entre deux points de la ville (distance de Manhattan) dont la durée de déplacement sera tributaire de la congestion liée au trafic. Cette congestion est issue de la densité urbaine et des interactions nécessaires à la vie de la ville.

Le PIB des États-Unis dépassa celui du Royaume-Uni, puissance économique mondiale de l'époque, à partir de 1880. Il représente en 2019, 21 430 milliards d'US \$, soit 24,5 % du PIB mondial alors que celui de la Chine, deuxième puissance économique mondiale, représente 16,4 %. Pour repère, le PIB de 2 716 milliards US \$ de la France correspond à 3,1 % du PIB mondial et celui du Royaume-Uni est de 2 172 milliards US \$, soit 2,5 % du PIB mondial (World Bank, 2019)²⁵.

Le capitalisme libéral est le moteur de la croissance exponentielle qui s'est poursuivie durant le XXème siècle et jusqu'à maintenant. New York devient dès la fin du XIXème siècle le symbole de la puissance économique des États-Unis et du monde. Avec un PIB de

²³ Stern, R. M., Gilmartin, G. et Massengale, J. M. (1900). *Metropolitan architecture and urbanism 1890-1915* (1984). Rizzoli International Publications.

²⁴ Green, D. *Sustainable Framework*. (2016, 29 avril). Douglas C. Allen Institute for the Study of Cities. <https://thebreakthrough.org/>

²⁵ World Bank. (2020, 16 septembre). *Gross Domestic Product, (2019)*. <https://data.worldbank.org/>

1 751 milliards d'US \$, soit 2 % du PIB mondial ou 8,2 % du PIB américain (World Bank, 2019)²⁶, de l'État de New York doit son succès économique à la ville de New York qui concentre au sein de son quartier d'affaires (*Central Business District* ou *CBD*) tous les grands acteurs mondiaux du secteur de la finance et des banques. Et comme dans toutes les villes nord-américaines, et plusieurs villes dans le monde, l'extrême densité d'occupation des espaces se fait par la verticale, par les gratte-ciels (*skyscrapers*). L'architecture verticale devient le symbole de la puissance économique (Trocmé et coll.)²⁷, (Royot et coll.)²⁸.

Le premier bâtiment de la ville considéré comme un gratte-ciel fut le *Tower Building*. Cette structure d'acier, d'une hauteur de onze étages (39 m), construite en 1889 fut démolie en 1913 - une durée de vie utile de 24 ans -. Ainsi, la construction à ossature en acier (*steel frame*) combinée à l'utilisation d'un nouveau système de freinage sur les appareils de levage, les ascenseurs pour personnes, en 1853, inventé par Elisha Otis, démarra l'engouement pour des constructions verticales, toujours plus hautes, ce qui entraîna le développement de systèmes techniques de plus en plus sophistiqués pour distribuer les réseaux d'eaux, d'électricité, de chauffage, de climatisation, entre autres (Stichweh et Machirus, 2016)²⁹.

Pour assurer un développement donnant un accès optimisé à la lumière naturelle, sur les rues, avenues et à l'intérieur des gratte-ciels (IGH), la réglementation de la ville de New York (Figure 1.4) concernant la construction de tours et qui fut reprise par plusieurs villes dans le monde, décrit les exigences suivantes :

- i) « Une tour est une partie d'un bâtiment qui pénètre dans le plan d'exposition du ciel et n'est autorisée que dans les zones à haute densité spécifiées de la ville. Une tour peut être occupée par des installations résidentielles, commerciales ou communautaires. »
- ii) « Les règles pour une tour standard permettent généralement à la partie tour d'un bâtiment de ne pas couvrir plus de 40 % de la superficie de l'îlot de zonage, ou

²⁶ World Bank. (2020, 16 septembre). *Gross Domestic Product*, (2019). <https://data.worldbank.org/>

²⁷ Trocmé, H. (1993). Maîtriser la croissance métropolitaine : le plan régional de New York. Dans D. Royot, *Les États-Unis à l'épreuve de la modernité : Mirages, crises et mutations de 1918 à 1928*. Presses Sorbonne Nouvelle. <http://books.openedition.org/psn/5198>

²⁸ Royot, D. (1993). *Les États-Unis à l'épreuve de la modernité : Mirages, crises et mutations de 1918 à 1928*. Presses Sorbonne Nouvelle. <http://books.openedition.org/psn/5171>

²⁹ Stichweh, D. and Machirus, J., (2016). *NY Skyscrapers*. Prestel; Illustrated edition.

jusqu'à 50 % sur les lots de moins de 20 000 pieds carrés (1858 m²). La partie tour d'un bâtiment doit être en retrait d'au moins 10 pieds (3 m) d'une rue large et d'au moins 15 pieds (4,6 m) d'une rue étroite. Ces règlements sont modifiés pour différents usages et quartiers. »

- iii) « Une “tour sur une base” nécessite une base contextuelle entre 60 et 85 pieds de haut qui s'étend continuellement le long de la ligne de rue. La hauteur de la tour est contrôlée par une exigence de couverture minimale du lot et une règle selon laquelle au moins 55 pour cent de la superficie de plancher sur le lot de zonage doit être située sous une hauteur de 150 pieds. Sur une rue large des quartiers R9 et R10 et leurs équivalents C1 ou C2, un bâtiment qui comprend une tour résidentielle doit se conformer à la réglementation de la tour sur une base en plus des règles standard de la tour. » (NYC, 2020)³⁰.

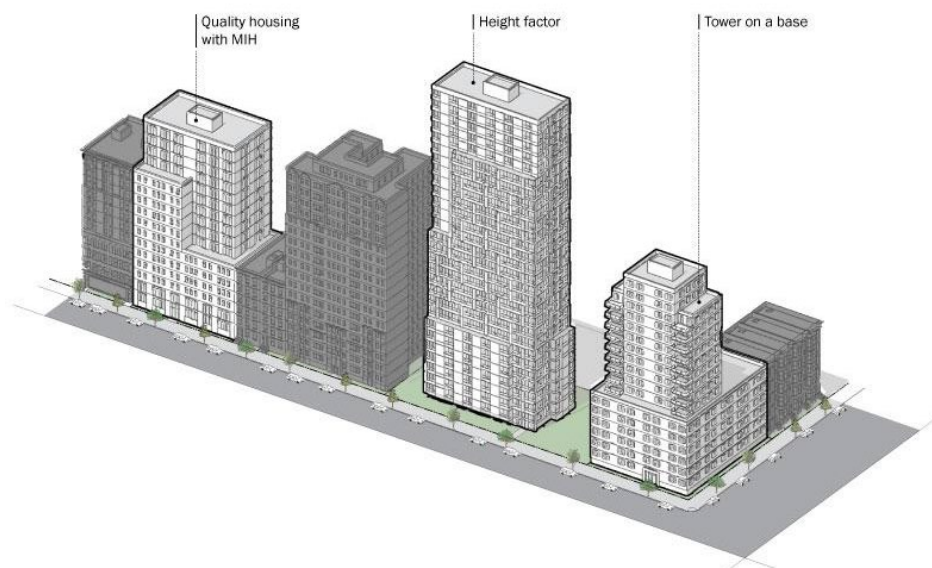


Figure 1.4 : Illustration du règlement sur le facteur de hauteur pour une tour (R9) à New York, États-Unis (NYC, 2020)³¹⁰.

En revanche, la spectaculaire croissance économique de New York au cours du XXème siècle n'aurait pas été possible sans les apports de la ville de Chicago. En effet, avec

³⁰ NYC Planning. (2020, 20 août). *Zoning Resolution : bulk & density*. Department of City Planning, New-York <https://www1.nyc.gov/>

³¹ NYC Planning. (2020, 20 août). *Zoning Resolution : bulk & density*. Department of City Planning, New-York City. <https://www1.nyc.gov/>

environ 2,7 millions d'habitants en 2019 (US Census, 2019)³² et un PIB, pour la région, d'environ 700 milliards US \$ (World Bank, 2019)³³, cette ville du centre des États-Unis d'Amérique (*American Midwest*), située sur les bords du lac Michigan dans la région des Grands Lacs nord-américains, est le troisième pôle de puissance économique du pays derrière New York et Los Angeles. Et ce n'est pas un hasard.

Dès les premières installations d'Européens d'origine en 1780, la commune (*town*) eut la croissance la plus rapide des États-Unis durant tout le XIX^e siècle, passant de 200 habitants à environ 4000 lors de la fondation de la ville de Chicago, en 1837. «*Deux innovations - les élévateurs à grains et les normes de classement du blé de la Chambre de commerce - ont rapidement transformé la façon dont les récoltes étaient vendues. En 1854, la ville était le plus grand port céréalier du monde et comptait plus de 30 000 habitants, dont beaucoup étaient des immigrants européens*» (History, 2010)³⁴. Et c'est grâce aux transports que cette région et ville des États-Unis a connu une progression économique fulgurante.

Dès 1848, la *Chicago and North Western Transportation Company* développa au XIX^e siècle un impressionnant réseau de plus de 8 000 km de rails qui créa une liaison entre le nord-ouest et ses riches cultures agricoles avec la ville de New York, par train ou par bateau. En effet, une voie fluviale fut établie entre les Grands Lacs nord-américains et l'océan Atlantique par la construction du canal Érié, de 1811 à 1846, entre la rivière Hudson et le lac Érié. Cette infrastructure de 584 km contribua directement à l'essor de New York comme capitale économique du pays et du monde.

Par ailleurs, tout comme à Londres, au XVII^e siècle, en 1871, un incendie gigantesque rasa la ville de Chicago sur une superficie de 855 hectares, causant la mort de 300 personnes, laissant 100 000 personnes sans-abris, détruisant plus de 17 500 bâtiments (Miller, 1997)³⁵. Par ailleurs, c'est une opportunité de démolir et nettoyer des taudis porteurs de maladies contagieuses. En effet, la ville a lutté tout au long du XIX^e siècle avec des vagues répétées de maladies bactériennes d'origine hydrique, le choléra et la typhoïde. Et c'est d'ailleurs la menace d'une épidémie de choléra qui a poussé la ville à créer le *Chicago Board of Health* en 1835, deux ans seulement après la fondation de Chicago en tant que ville.

³²United States Census Bureau. (2020, 23 août). *QuickFacts: Chicago city, Illinois; United States*. <https://www.census.gov/quickfacts/fact/table/chicagocityillinois,US/PST045219>

³³ World Bank. (2020, 16 septembre). *Gross Domestic Product (2019)*. <https://data.worldbank.org/>

³⁴ History.com Editors. (2010, 4 mars). *Chicago*. History. <https://www.history.com/topics/us-states/chicago>.

³⁵ Miller, D.L. (1997). *City of the Century: The Epic of Chicago and the Making of America*. Simon & Schuster.

L'hygiénisme, qui est pris en compte lors du développement et du renouvellement urbain à la même époque en Europe et notamment à Paris, influença l'histoire urbaine de Chicago.

Ainsi donc, l'incendie, ce tragique évènement fut l'opportunité de repenser la ville de Chicago. Et pour symboliser le renouveau, le premier gratte-ciel de l'histoire de l'architecture y fut construit en 1885 : le *Home Insurance Building* (Figure 1.5).



Figure 1.5 : Vue extérieure, après 1931, du *Home Insurance Building* conçu par l'architecte William Le Baron Jenney, Chicago, Illinois, États-Unis (Library of Congress, 2020)³⁶.

Construit par l'architecte William LeBaron Jenney qui étudia les techniques de construction en fer à l'École Centrale de Paris vers 1856, ce bâtiment de dix étages pour 42 m de hauteur, fut le premier à intégrer : i) la construction à ossature en acier (*steel frame*) pour garantir la stabilité d'un déploiement en hauteur ; ii) les éléments structuraux en béton armé, dont le pionnier fut le français François Coignet en 1852 à 1854 (Coignet, 1878)³⁷ ; iii) la

³⁶ Library of Congress. (2020, 19 juillet). *World's first skyscraper to go*. Part of, Prints and Photographs Division (904,167), Library of Congress Online Catalog (1,124,589). <https://www.loc.gov/item/2014648256/>

³⁷ Coignet, F. (1878). *Exposition universelle de 1878. A MM. les membres du jury pour les classes 47 et 51. Coignet père et fils et Cie. (État de leurs services industriels.)*. Éditeur scientifique.

garantie d'une résistance au feu (ignifuge) de ses principaux composants architecturaux. L'immeuble fut démoli en 1931 après une durée de vie utile de 46 ans. En somme, par l'entremise de Jenney, la France et Paris ont influencé ce nouveau mouvement architectural : l'École de Chicago.

Enfin, au début du XXème siècle, la pierre angulaire d'un modèle urbain qui a influencé toutes les villes du monde se dessine : un plan d'urbanisme original fut conçu par Daniel Burnham en 1909 ayant les fonctionnalités suivantes :

- i) Améliorer les accès et bords du lac Michigan avec l'aménagement et la construction de plages et de parcs publics ;
- ii) Créer un système d'autoroutes en anticipant l'utilisation massive de véhicules moteurs dans la foulée de la fondation en 1903 de l'entreprise de construction automobile Ford à Détroit, Michigan (situé à environ 450 km). Chicago devient alors la première ville Fordiste ;
- iii) Améliorer le réseau de chemin de fer en combinant des lignes ferroviaires et des gares ;
- iv) Créer et intégrer des parcs extérieurs comme à Paris (Jardin du Luxembourg), New York (*Central Park*) et Londres (*Regent's Park*) ainsi que préserver la forêt du comté de Cook ;
- v) Créer les aménagements physiques et infrastructures de la ville sur la base d'un plan à damier (*grid plan*) traversé de rues diagonales ;
- vi) Construire des Centres culturels et de citoyenneté à proximité du parc Grant.

Ce plan d'urbanisme fut réalisé presque à l'identique. Seul le plan des rues a été redimensionné en totalité pour répondre à l'engouement sous-estimé pour l'utilisation des toutes nouvelles automobiles (Smith, 2006)³⁸.

³⁸ Smith, C. (2006). *The Plan of Chicago: Daniel Burnham and the Remaking of the American City*. University of Chicago Press.

Ce modèle de ville industrialisée et ses espaces socio-économiques furent l'objet d'études pour en déterminer les caractéristiques. Le sociologue canado-américain Ernest Burgess, qui contribua par ses travaux à fonder le volet sociologique de l'École de Chicago, proposa le *modèle urbain à zones concentriques* (*Burgess's Concentric Zone Model*) (ou modèle de Burgess) pour décrire la ville pour les pays au développement économique abouti (Figure 1.6).

On retrouve au cœur de la ville le *quartier des affaires* (CBD) autour duquel apparaissent en zone concentrique : le quartier des usines et de l'industrie (*Factories & Industry*) ; le quartier d'habitation des classes moyennes (*Middle Class Housing*) ; le quartier d'habitation des classes ouvrières (*Working Class Housing*) ; le quartier d'habitation des banlieusards (*Commuter Zone*).

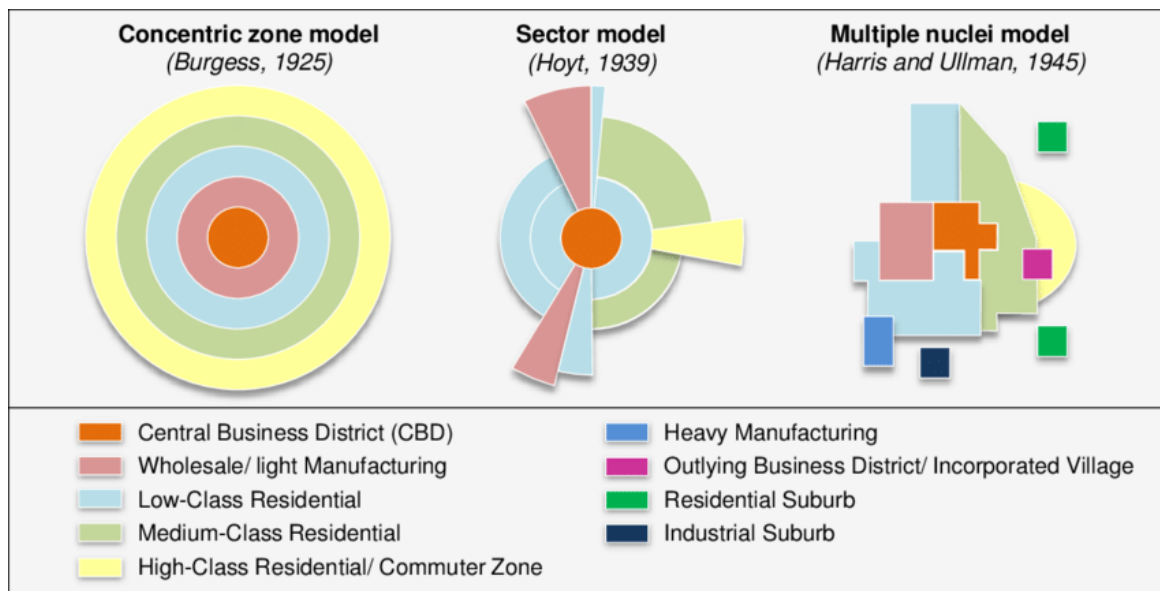


Figure 1.6 : Modèles classiques de morphologie urbaine issue de l'étude de la ville de Chicago (adapté par Schlesinger³⁹ de Park, Burgess et coll., 1925⁴⁰; Hoyt 1939⁴¹; Harris and Ullman 1945⁴²)

³⁹ Schlesinger, J. (2013). *Agriculture along the urban-rural continuum: a GIS-based analysis of spatio-temporal dynamics in two medium-sized African cities*. (Doctoral dissertation, Albert Ludwigs-Universität Freiburg, 2013)

⁴⁰ Park, R.E., Burgess, E.W., and McKenzie, R.D. (1925). *The City*. The University of Chicago Press.

⁴¹ Hoyt, H. (2000). *One hundred years of land values in Chicago: The relationship of the growth of Chicago to the rise of its land values, 1830-1933*. Beard Books.

⁴² Harris, C.D., and Ullman, E. L. (1945). The Nature of Cities. *The ANNALS of the American Academy of Political and Social Science*, 242 (1), 7–17. <https://doi.org/10.1177/000271624524200103>

Ce modèle fut amélioré et remplacé par Homer Hoyt, économiste américain en 1939, pour intégrer la complexité de l'économie foncière. En étudiant le foncier de la Ville de Chicago sur une période de 100 ans, il développa le *modèle urbain par secteur* (Figure 1.6). Ce modèle ajoute des zones sous la forme de secteurs qui rayonnent (Hoyt, 1939)⁴³ (Adam, 2005)⁴⁴. En fait, par l'étude du foncier, Hoyt fit ressortir que l'impact de l'utilisation massive des automobiles, les caractéristiques géographiques et architecturales spécifiques des parties de la ville ainsi que la forte croissance économique, amènent une distribution par secteur de ce que Burgess avait imaginé avec des frontières concentriques. Il est à noter que le rayonnement des différents secteurs s'étale le long d'axes routiers ou ferroviaires.

Enfin, les géographes Chauncy Harris et Edward Ullman, toujours en étudiant la ville de Chicago, firent évoluer le modèle vers un « modèle urbain à multiples noyaux », en 1945 (Figure 1.6). Le principe derrière ce modèle socio-économique est de considérer que des petits quartiers d'affaires (CBD) se détachent du quartier principal CBD, pour se distribuer partout dans la ville (Harris et Ullman, 1945)⁴⁵. Cette déconcentration amène une diversité d'ambiance dans la ville en fonction des quartiers.

XIX^{ème} siècle, Paris : ville de l'hygiénisme, de la mixité sociale, du savoir

Avant que New York et Chicago ne s'inspirent du modèle de la ville hygiéniste parisienne, à Paris, en 1850, les lieux sont insalubres et la ville s'est construite autour d'agencements désordonnés. Il n'y a pas de réseaux d'eaux (potable et non potable) ou d'égouts, de marchés suffisants pour nourrir la population, pas assez de lumière naturelle et de circulation d'air. Paris est sombre. La densité urbaine est autour de 100 000 habitants par kilomètre carré (km²) dans le quartier des Halles. Le Moyen Âge y est plus présent que l'engouement pour la nouveauté du développement industriel. C'est en 1853, au début du Second Empire, que Napoléon III confie à Georges Eugène Haussmann le rôle de Préfet de la

⁴³ Hoyt, H. (2000). *One hundred years of land values in Chicago: The relationship of the growth of Chicago to the rise of its land values, 1830-1933*. Beard Books.

⁴⁴ Adams, J. S. (2005). Hoyt, H. 1939: The Structure and Growth of Residential Neighborhoods in American Cities. Washington, DC: Federal Housing Administration. *Progress in Human Geography*, 29 (3). 321–325. <https://doi.org/10.1191/0309132505ph552xx>

⁴⁵ Harris, C. D., and Ullman, E. L. (1945). The Nature of Cities. *The ANNALS of the American Academy of Political and Social Science* 242 (1), 7–17. <https://doi.org/10.1177/000271624524200103>

Seine avec comme mission de mener de grands travaux afin de « libérer les flux et de viser à aérer, unifier et embellir Paris » (Bourillon, 2000)⁴⁶.

Le système Haussmann s'appuie sur trois bases :

- i) Celle de la doctrine socio-économique de l'industrialisme, fondée sur le scientisme, le machinisme et la conviction qu'une industrie morale mène au bonheur, à la liberté et à l'émancipation de tous. En substance, la logique des premiers de cordée bienveillants qui génèrent des retombées, un ruissellement, sur l'ensemble de la société ;
- ii) Celle d'une autorité forte de l'État qui : a) définit un plan de rénovation de la ville ; b) exproprie les propriétaires de terrains ciblés ; c) construit de nouveaux axes de circulation avec tous leurs équipements - eaux, gaz, égouts (Note)⁴⁷ (Coulomb, 2013)⁴⁸ - des parcs, des hôpitaux pavillonnaires pour circonscrire les pathologies contagieuses (Barillé, 2007)⁴⁹, l'obligation de trier les déchets avec des poubelles (Sandras, 2011)⁵⁰ ;
- iii) Celle d'un emprunt pour un financement public, nécessaire à l'expropriation et aux constructions des infrastructures urbaines, et le recours au privé (entreprises et banques) pour un financement par la revente d'îlots urbains à des promoteurs qui s'engagent à construire de nouveaux bâtiments à usage mixte (commercial et habitat) selon un cahier de charges strict et contrôlé – au demeurant, une forme ancienne des partenariats publics-privés.

De 1853 à 1870, en un peu plus de 15 ans, 60 % de Paris est transformé en agrandissant la ville de 30 km² à 70 km² et en faisant passer la population de 1 million à 2 millions d'habitants. Plus spécifiquement, les travaux ont mené à la réalisation de : 64 kilomètres de voies nouvelles, plus de 40 000 nouveaux bâtiments d'habitation - ce qui représente environ 60 % du parc de logements de Paris en 2020 -, 80 000 arbres plantés dans différents espaces

⁴⁶ Bourillon, F. (2016). La loi du 13 avril 1850 ou lorsque la Seconde République invente le logement insalubre. *Revue d'histoire du XIXe siècle*, 20-21. <http://doi.org/10.4000/rh19.212>

⁴⁷ L'ingénieur civil français Eugène Belgrand, introducteur du concept d'hydrologie, fut responsable du modèle d'hydrométrie (saisons, fontaines, évacuation ménagères et industrielles) afin de dimensionner le réseau et d'établir un cahier de charges de construction.

⁴⁸ Coulomb, R. (2013, 13 mai). *Eugène Belgrand (1810-1878)*. Bulletin de la Sabix, 48. <http://journals.openedition.org/sabix/992>.

⁴⁹ Barillé, C. (2007). Lariboisière : un hôpital pour les travailleurs parisiens. Étude sur les publics et les fonctions d'un hôpital moderne en 1887. *Le Mouvement Social*, 4 (221), 71-94. <https://doi.org/10.3917/lms.221.0071>

⁵⁰ Sandras, A. (2011). Eugène Poubelle mis en boîte. *Histoire urbaine*, 2 (31), 69-91. <https://doi.org/10.3917/rhu.031.0069>

verts et environ 600 kilomètres d'égouts. En quelque sorte, « c'est le triomphe de la circulation physique : il faut faire circuler l'air, circuler les gens, circuler les capitaux » (Pinon, 2002)⁵¹.

Il est important de noter qu'après la chute du Second Empire, en 1870, et dans la foulée de la mise en place de la troisième République, Jules Ferry rend l'école gratuite (1881) et l'instruction obligatoire (1882). Historiquement, jusqu'au XIX^{ème} siècle, l'école n'était pas un lieu à destination spécifique – un bâtiment scolaire qui relèverait de la ville - mais plutôt le regroupement d'individus autour de vues similaires et dont les pratiques s'effectuaient dans la nature, des hôpitaux, des casernes, des couvents, etc. C'est à partir de 1880 qu'un règlement est adopté « pour la construction et l'aménagement des maisons d'écoles ». Des lieux aérés, ventilés naturellement, pour garantir de bonnes conditions sanitaires. Ainsi, Paris construisit 420 bâtiments scolaires de 1880 à 1902 - environ le tiers des bâtiments actuels (Archives de Paris, 2019)⁵².

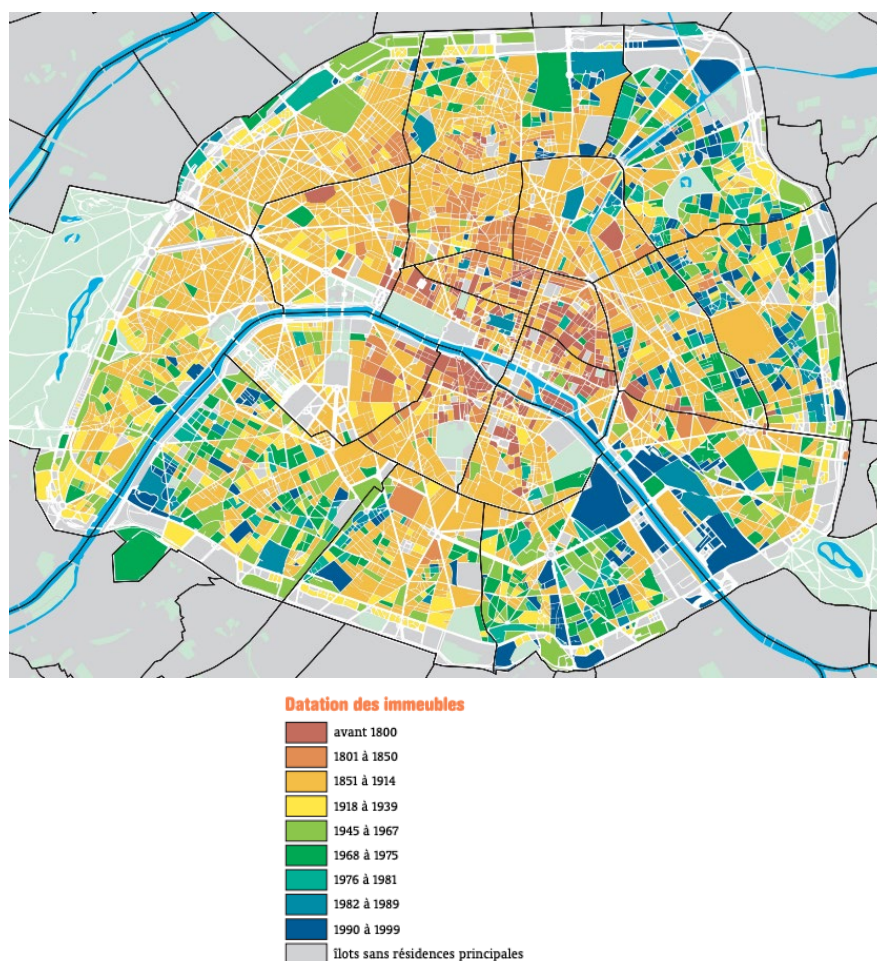
Pour montrer la qualité architecturale des immeubles issus de cette époque, qui représente 60 % des immeubles d'habitation d'aujourd'hui (Figure 1.7), dans leur ensemble, toutes époques confondues, les Parisiens consommaient en 2007, en moyenne, pour leur chauffage 10 000 kWh d'énergie finale par résidence principale, soit environ 30 % de moins que la valeur nationale : la forme urbaine, dont la densité du bâti, compense pour des façades et des toitures (enveloppes du bâtiment) non isolées (APUR, 2007)⁵³ sans toutefois, bien sûr, pouvoir se rapprocher des exigences contemporaines pour les constructions neuves ou pour des

⁵¹ Pinon, P. (2002). *Atlas du Paris haussmannien*. Parigramme.

⁵² Les Archives de Paris. (2019, 20 octobre). *Faire l'école à Paris - Architecture scolaire à Paris*. Mairie de Paris. <http://archives.paris.fr/r/161/architecture-scolaire-a-paris/>

⁵³ APUR. (2018, 22 novembre). *Consommations d'énergie et émission de gaz à effet de serre (GES) liées au chauffage des résidences principales parisiennes*. https://50ans.apur.org/data/b4s3_home/fiche/114/03_consommation_energie_emission_gaz_effet_serre_120ec.pdf

rénovations ambitieuses comme celles visées par le décret tertiaire (Note)⁵⁴ (Gouvernement France, 2018)⁵⁵ (Gouvernement France, 2019)⁵⁶ (Gouvernement France, 2021)⁵⁷.



⁵⁴ La réglementation environnementale des bâtiments neufs (RE2020) vise des constructions neuves de bâtiments à énergie positive et réduction carbone (E+C-). La cible d'un bâtiment à énergie positive (BEPOS) est une dépense énergétique inférieure à 0 kWhEP/m²/an. Par convention, pour les estimations et calculs théoriques, du fait des pertes liées à la production, la transformation, le transport et le stockage de l'énergie : 1 kWhEF équivaut à 2,3 kWhEP pour l'électricité; 1 kWhEF équivaut à 1 kWhEP pour les autres énergies (gaz, réseaux de chaleur, bois, etc.). En matière de réduction de carbone, pour lutter contre les changements climatiques et ses effets, à partir du 1^{er} janvier 2021, les constructions neuves viseront à diminuer l'impact carbone des bâtiments; poursuivre l'amélioration de leur performance énergétique et en garantir la fraîcheur pendant les étés caniculaires. L'impact carbone du chauffage électrique du référentiel E+C-, se situe à 79 g eqCO₂/kWh. Les critères, cibles et seuils restent à définir par typologie de bâtiments.

⁵⁵ *Expérimenter la construction du bâtiment performant de demain.* (2020, 28 septembre). <https://www.ecologie.gouv.fr/experimenter-la-construction-du-batiment-performant-de-demain#e1>.

⁵⁶ Légifrance (2019, 23 juillet) ; Décret n° 2019-771 relatif aux obligations d'actions de réduction de la consommation d'énergie finale dans des bâtiments à usage tertiaire. LOGL1909871D.

⁵⁷ Légifrance (2021, 22 août) ; LOI n° 2021-1104 portant lutte contre le dérèglement climatique et renforcement de la résilience face à ses effets. TREX2100379L.

Figure 1.7 : Période de construction pour les résidences principales d'habitation d'avant 1800 à 1999 (la période haussmannienne est retrouvée en couleur ocre entre 1851 et 1914) ⁵⁸.

Par ailleurs, c'est en 1865 que les découvertes de Pasteur confirmèrent le rôle des microbes, bacilles, bactéries, virus - de toutes sortes dans les contaminations et contagions animales et humaines. C'est à la même époque que Theodor Schwann élabore un principe nouveau de « *rentabilité comburante* » pour réorienter les valeurs données à la nourriture, aux boissons, à l'air respiré, au travail, à la propreté d'un corps et de son environnement » (Vigarello, 1985)⁵⁹. C'est l'invention du concept de *métabolisme* (Florkin, 1951)⁶⁰.

L'*hygiénisme*, ce néo-hippocratisme fondé à partir des découvertes et savoirs scientifiques du milieu du XVIIIème siècle, devient la base, au sein de la société, de l'application de règles de préservation de l'hygiène, de la salubrité et de la santé publique par des décisions et des actions politiques et sociales articulées autour de deux axes : celui de la mise en place de pratiques médicales et diététiques pour les individus, afin de maîtriser le *risque individuel* ; et celui de la remise en cause de la conception des milieux urbains et de l'architecture pour contrer les conséquences collectives, afin de maîtriser le *risque populationnel* (Vigarello, 2015)⁶¹.

Paris en est alors un bel exemple. La métaphore du métabolisme se transpose à la ville, agissant comme un organisme vivant exosomatique. La ville respire.

Le capitalisme : quels impacts contemporains du développement des villes Fordistes ?

⁵⁸APUR. (2007). *Consommations d'énergie et émission de gaz à effet de serre (GES) liées au chauffage des résidences principales parisiennes*. https://50ans.apur.org/data/b4s3_home/fiche/114/03_consommation_energie_emission_gaz_effet_serre_120ec.pdf

⁵⁹ Vigarello, G. (1985). *Le Propre et le sale : l'hygiène du corps depuis le Moyen Âge*. Seuil. Sciences humaines, Histoire, L'Univers historique.

⁶⁰ Florkin, M. (1951). Histoire de la Technique de Mesure du Métabolisme en Circuit Fermé (Appareils de Schwann, Qxy Génographe de Léon Frederico, Manuscrits). *Archives Internationales de Physiologie*, 59 (2), 254-256. <https://doi.org/10.3109/13813455109145008>

⁶¹ Vigarello, G. (2015). *Histoire des pratiques de santé - Le sain et le malsain depuis le Moyen Âge*. Seuil. Sciences humaines, Divers, Histoire.

C'est dans les milieux urbains que se concentre de plus en plus la population mondiale. En ce sens, nous émettons l'hypothèse que la COVID19, mais surtout ses causes et origines par l'analyse de *capital* - comme il est entendu dans le champ de l'économie orthodoxe avec les critiques qu'il génère -, peuvent nous amener à comprendre pourquoi et comment la politique des organisations urbaines contemporaines en matière de gestion des actifs physiques - ses « outils de production », ces stocks ou actifs physiques fixes, bâtiments et infrastructures - qui servent de lieux de vie pour les citoyens, doit être repensée.

La proposition maîtresse de la présente thèse s'articule autour de l'identification et l'estimation de la *valeur* représentative de la dynamique des villes au XXI^{ème} siècle. Et dans la foulée de tester l'impact de l'utilisation de cette *valeur* sur les décisions et actions à produire pour maintenir et renouveler un parc d'actifs physiques existants afin d'en déduire une politique immobilière et un plan d'action.

Devrait-on mettre en place et suivre un système basé sur la *demande* des citoyens plutôt que sur l'*offre* ? Et comment se concentrer sur cette *demande* afin de garantir un niveau de performance souhaité pour les services à rendre aux citoyens - écoles, équipements sportifs, culturels, culturels, socio-économiques, hôpitaux, enseignement supérieur, etc. - tout en garantissant une maîtrise des risques ainsi que des coûts minimisés pour un cycle de vie ciblé ? Et de façon indirecte, quels pouvoirs pour l'État, ou sa représentation par les gouvernements nationaux, régionaux, départementaux et communaux, dont la durée de vie est considérée comme éternelle ; pour les sociétés anonymes, ou personnes morales, dont les durées de vie peuvent être considérées de quelques siècles au-delà de celle de la vie humaine ; pour les individus, ou personnes physiques, dont l'espérance de vie se situe autour de 80 à 100 ans, dans le meilleur des cas ?

Le contexte des milieux urbains est celui du *développement durable* prôné à travers un capitalisme aux conséquences difficiles à gérer, souvent contradictoires et paradoxales. On peut observer que les efforts historiques pour améliorer la situation sont quasi exclusivement orientés vers une logique compartimentée autour de l'environnement, dans le sens essentiellement des conditions liées à la nature, par des ententes internationales dont les origines remontent au début du XX^{ème} siècle et touchant des sujets divers : l'atmosphère ; les ressources en eau douce ; les substances dangereuses ; l'environnement marin et le milieu marin ; les ressources marines vivantes ; la conservation de la nature et des ressources vivantes

terrestres ; la pollution sonore ; la sûreté nucléaire (Mitchell, 2019)⁶². En revanche, jamais la valeur ou le prix de l'épuisement du stock, du gisement provenant de la nature, n'est intégrée au prix pour le consommateur. Le vrai prix, la vraie valeur est exclue de la décision à prendre lors de l'échange.

Mais depuis la fin du XX^{ème} siècle, c'est à partir de l'évolution intensive, holistique et homéostatique des milieux urbains que les bases du *développement durable* s'articulent autour des aspects environnementaux, sociaux et économiques (Brundtland, 1987)⁶³. Ainsi, de toute évidence, pour mettre en relation l'aspect environnemental, dans son sens technique et scientifique, l'aspect économique, avec ses volets politiques, et l'aspect social, avec sa considération planétaire du droit à tout humain de vivre en santé et en paix, libre, instruit, respecté et heureux, il est plus approprié de considérer le *milieu* comme un écosystème avec ses effets relatifs et contradictoires.

Dans le monde capitaliste, la reformulation de ces trois piliers du développement durable amène le processus de décision à se fonder sur trois facteurs dont la dénomination en anglais est plus révélatrice. C'est la *triple bottom line* : *People, Planet, Profit*. Cette appropriation de la vision originale suscite des interrogations notamment sur l'aspect des *profits* et sur la possibilité, la responsabilité et la volonté de rendre le capitalisme dépassable par une gouvernance étendue et revisitée des communs, par exemple.

Formulé autrement, la lecture et la compréhension des évolutions temporelles du *capital* - le *capital humain*, le *capital naturel* et le *capital productif*, termes issus du vocabulaire de l'économie orthodoxe avec laquelle l'architecte ou l'ingénieur des villes doit savoir composer - depuis la première révolution industrielle cela oriente d'emblée la manière de décider et de gérer les villes contemporaines, tant pour leur conservation que pour leur développement.

La politique de la ville et la gestion de leurs actifs physiques baignent alors dans une incertitude générée par la double contrainte : i) d'une complexité des interactions entre les individus – décideurs et usagers –, contrainte extrinsèque aux actifs physiques ; ii) et d'une complexité intrinsèque à ces actifs par la nature et les caractéristiques des matières premières, matériaux, assemblages de matériaux, systèmes et technologies de toutes sortes.

⁶² International Environmental Agreements IEA. (2018,12 janvier). *Database Project Ronald B. Mitchell and the IEA Database Project, 2002-2020*.

⁶³ Brundtland, G. (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*. United Nations General Assembly document A/42/427. <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>

En tout état de cause, cela mène à poser la question de la Politique à mettre en place pour dresser des stratégies et mener des actions de gestion de leurs actifs physiques, des bâtiments et des infrastructures. Quel procédé est-il nécessaire d'implanter pour garantir une information permettant de viser la maximisation de la *valeur* au bénéfice des citoyens, des outils de production de la ville, sur un cycle de vie souhaité ?

H_g : L'analyse historique des différents types de *capital* aboutit à la nécessité d'un changement de paradigme concernant le concept de la *valeur*, base de la politique de la ville en matière de gestion de l'urbanisation et de l'architecture.

Cette partie de l'ouvrage vise à poser un cadre méthodologique et des principes fondateurs ainsi qu'à démontrer que les origines de la crise sanitaire en cours amènent à revoir les façons de faire en matière de gestion des actifs physiques des organisations au niveau global et au niveau local. Ainsi, on émet l'hypothèse que le rôle de l'*ingénieur stratège*, au sein des différentes Administrations Publiques Locales (APULs), sera au cœur des décisions et actions présentes et à venir.

CHAPITRE 2 LE CAPITAL HUMAIN : L'ÈRE INCERTAINE DE L'ANTHROPOCÈNE

2.1 Introduction

La croissance démographique fulgurante entre l'an 10 000 avant notre ère, moment où la population mondiale était estimée à environ 4 millions d'individus, et aujourd'hui (Roser, 2013)⁶⁴, pose le problème de l'incidence des activités humaines sur l'écosystème terrestre. Cette caractérisation des événements géologiques qui découle de cette incidence se nomme l'Anthropocène.

On retrouve à la figure 2.1, trois grandes tendances : i) une croissance linéaire constante depuis le début de la première révolution industrielle ; ii) une croissance exponentielle depuis 1950, moment du lancement de programmes de développement massif d'infrastructures - industrielles, de transport et urbaines - en occident ; iii) la prévision d'une asymptote de la population mondiale vers 2100, estimée autour de 11 milliards d'humains. Probablement la conséquence d'une mondialisation aboutit menant chaque partie du globe à avoir accès à des infrastructures garantissant un niveau de vie équivalent, limitant le recours à la famille nombreuse, source traditionnelle de richesse réelle ou symbolique. Mais cela reste à démontrer.

On constate ainsi qu'en 1900, la population mondiale était de 1,65 milliard - environ 20 % de la population mondiale actuelle - alors que, durant la période de 120 ans qui a suivi, la population atteint 7,8 milliards, dont 1,7 milliard par le cumul de la population de la Chine (1,43 milliard) et des États-Unis d'Amérique (327 millions).

⁶⁴ Roser, M. (2013). *Future Population Growth*. OurWorldInData.org. <https://ourworldindata.org/future-population-growth>

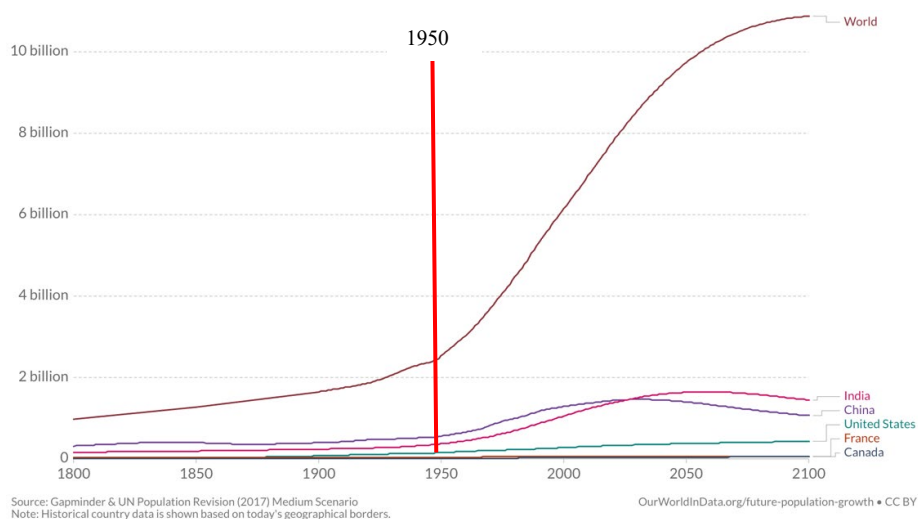


Figure 2.1 : Population, 1800 à 2100 - Estimations historiques de la population, combinées à la population projetée jusqu'en 2100 sur la base du scénario de variante moyenne de l'ONU⁶⁵.

La conclusion la plus partagée sur l'anthropocène, par un regard lucide et ambitieux, s'exprime ainsi : « Sans grandes catastrophes comme une énorme éruption volcanique, un impact d'astéroïde, une nouvelle ère glaciaire, une épidémie inattendue, une guerre nucléaire à grande échelle ou le pillage continu des ressources de la Terre par une technologie partiellement encore primitive, l'humanité restera une force géologique majeure pendant de nombreux millénaires à venir » (Crutzen et Stoermer, 2000)⁶⁶. On alerte toutefois, sur la nécessité de développer une stratégie mondiale conduisant à la durabilité des écosystèmes afin de contrer l'entropie générée par l'humanité. À l'échelle du cosmos, la Terre est donc un lieu « local », le milieu du vivant, né il y a 4,54 milliards d'années. En revanche, la perspective des humains amène, par leurs activités quotidiennes et à l'échelle de leurs vies, une polarisation entre le regard « global » de la planète et le regard « local ». Ce sont les regroupements sociologiques, politiques et économiques, qu'ils soient à l'échelle d'un continent, d'un pays ou d'un milieu urbain qui influencent les analyses et les choix.

Ainsi, pour appréhender au mieux les causes possibles, dont l'anthropocène, et les conséquences à l'échelle globale du changement climatique, le GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) - qui a pour mandat d'évaluer avec objectivité

⁶⁵ Roser, M. (2013). *Future Population Growth*. OurWorldInData.org. <https://ourworldindata.org/future-population-growth>.

⁶⁶ Paul J. C. and Stoermer, E. F. (2000). The Anthropocene. *Global Change, Newsletter*, 41, 17-18.

les informations techniques, scientifiques, sociologiques et économiques – présente depuis 30 ans un état de la situation. La figure 2.2 illustre la faible variation de la température de surface de la terre avant l'ère industrielle et la variation importante observée depuis, entre 1850 et 2020. Les activités humaines contribuent au changement climatique à un taux d'accélération exponentiel et sans précédent depuis 2000 ans.

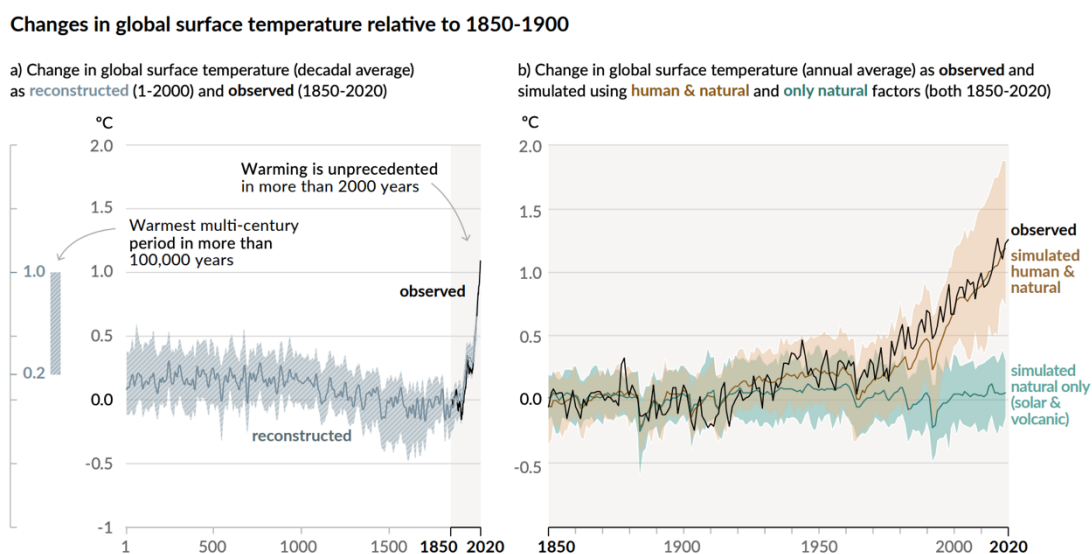


Figure 2.2 : Évolution historique des variations de la température mondiale et les causes du réchauffement climatique récent (IPCC, 2021)⁶⁷

Malgré cette démarche, des controverses et du scepticisme subsistent à l'égard du changement climatique du fait notamment de la complexité à le mesurer qui mène à des hypothèses parfois mises au défi (Leal Filho et coll., 2019)⁶⁸. Pourtant, les preuves scientifiques de l'influence de ce changement sur les populations dans le monde se constatent par des phénomènes récurrents comme : la tendance à l'augmentation de la température (*global warming*) ; l'élévation du niveau de la mer ; la perte de masse de glace au Groenland, en Antarctique, dans l'Arctique et dans les glaciers de montagne du monde entier ; les perturbations et changements de la flore et de la faune ; les événements météorologiques extrêmes (IPCC, 2021)⁶⁹. Le principe de précaution devient obligatoire.

⁶⁷ Skea, J., Shukla, P., Al Khourdajie, A. et McCollum, D. (2021). Intergovernmental Panel of Climate Change: Transparency and integrated assessment modeling. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 12 (5), 727.

⁶⁸ Leal, F., Mifsud, W., Molthan-Hill, P., Nagy, J. G., Veiga, Á. et Salvia, A.L. (2019). Climate Change Scepticism at Universities: A Global Study. *Sustainability*, 11(10), 2981.

⁶⁹ Skea, J., Shukla, P., Al Khourdajie, A. et McCollum, D. (2021). Intergovernmental Panel of Climate Change:

Pour réussir à résoudre le problème d'adaptation et de transformation que cela génère, la noosphère (Note)⁷⁰ (Teilhard de Chardin, 1923)⁷¹, ou sphère de la conscience et de la pensée humaine devient un évident gisement pour développer, implanter, suivre, faire vivre des solutions de conservation, préservation, renouvellement, remplacement, maintien des écosystèmes. Une lutte à l'entropie par la régénération et le maintien des systèmes, dont le *capital humain* devient à la fois la cause de l'augmentation de la désorganisation par un processus de dégradation de l'énergie et, en même temps, la réponse, par des actions de néguentropie, à la diminution du désordre, voire le retour à l'ordre par la retenue ou le contrôle (Morin, 2013)⁷². C'est ce paradoxe que la politique des APULs en matière de gestion d'actifs physiques doit savoir gérer.

H₁ : La croissance de la population mondiale et sa concentration dans les milieux urbains génèrent des difficultés liées aux « pouvoirs » et des opportunités liées aux « savoirs ».

2.2 La reconnaissance et la valorisation du capital humain

L'élaboration et le suivi d'une politique de gestion de l'urbanisation et de l'architecture concernent des actifs physiques : des bâtiments, des infrastructures urbaines, industrielles, de transports, de voiries, de divers réseaux enfouis. Au sein d'une organisation, comme pour les administrations publiques locales (APULs), cette politique vise à générer des actions participatives et collaboratives, une coopération, en maintenant un agencement logique de ces actions, une coordination, pour atteindre les résultats souhaités. Les activités à réaliser sont complexes et hétérogènes.

En amont de ces actions de coopération et de coordination, les activités humaines impliquent des compromis et arbitrages (*trade-offs*) tout au long des cycles de décisions et d'actions. En ce sens, depuis aussi loin que Confucius - 551 à 479 av. J.-C. (Note)⁷³ - (Malek

Transparency and integrated assessment modeling. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate change*, 12 (5), 727.

⁷⁰ Ensemble de 21 textes (1921-1955) articulés autour de l'évolution, du paradoxe transformiste, de l'hominisation et de l'orthogénèse dans lequel Teilhard de Chardin écrit : « Et ceci nous conduit à imaginer, d'une façon ou d'une autre, au-delà de la biosphère animale, une sphère humaine, une sphère de la réflexion, de l'invention consciente, des âmes conscientes (la noosphère, si vous voulez). »

⁷¹ Pierre Teilhard de Chardin, (1957). *La vision du passé*. Collection Points Sagesses, Éditions du Seuil.

⁷² Morin, E. (2013). *La Méthode-tome 5 L'humanité de l'humanité*. Média Diffusion.

⁷³ Le philosophe chinois Confucius (551-479 av. J.-C.), qui est considéré comme le premier éducateur de la Chine, disait : « S'il n'étudie pas, le sage devient sot ; en étudiant, le sot devient sage. Étudie comme si l'étude jamais ne te suffisait, comme si tu pouvais passer à côté de quelque chose ».

Shah Bin Mohd, 2005)⁷⁴, on doit expérimenter, étudier et comprendre l'organisation qui a mené à la réalisation d'actifs physiques autant que la constitution, par leurs usages et par leurs fonctionnalités techniques, des actifs physiques eux-mêmes. Cela implique un *pouvoir* par le *savoir* autant qu'un équilibre entre le *pouvoir* et le *savoir* (Note)⁷⁵ (Bacon, 1620, 1902)⁷⁶ (Foucault, 1975, 1993)⁷⁷ (Merlin, 2009)⁷⁸ (Spolaore, 2020)⁷⁹.

En Occident, la pensée humaine concernant le pouvoir et le savoir s'est construite autour de la philosophie d'Aristote (Note)⁸⁰ (Aristote, IV^e siècle avant notre ère, éd.1995)⁸¹ (Tricot et coll., 1994)⁸². Le *pouvoir* mène aux *décisions* nécessaires pour combler des besoins en *usage* au sein de l'APUL, le *savoir* permet la double action d'alimenter en information le *pouvoir* et de réaliser les *actions* techniques découlant de la décision, celles de l'architecte et de l'ingénieur, afin de construire les *outils de production* - réseaux enfouis (eaux, égout, électricité, gaz naturel, etc.), voiries, éclairage de rue, parcs, écoles, hôpitaux, etc. – des milieux urbains, avec leurs usages, leurs fonctions et leurs fonctionnalités nécessaires.

Au sein d'une république, en démocratie, c'est le *pouvoir* de la multitude qui doit s'appuyer sur le *savoir* de la multitude pour agir sur ce qui relève de l'*utilité publique* et des biens communs, incluant les ressources (humaines, naturelles, financières, technologiques, etc.) disponibles et parfois rares. Et à l'échelle locale, celle des APULs, il devient possible de remettre en cause la gouvernance économique mondiale ou continentale, dont celle des biens

⁷⁴ Yusoff M. S. (2005). Le service public : une organisation apprenante. L'expérience malaisienne. *Revue Internationale des Sciences Administratives*, 71, 497-510. <https://doi.org/10.3917/risa.713.0497>

⁷⁵ Francis Bacon (1561-1626), scientifique et philosophe, fut le père de l'empirisme et pionnier de la pensée scientifique moderne par ses propositions sur la méthode expérimentale, la logique inductive, et l'interprétation de la nature. Il est connu pour son aphorisme : « *ipsa scientia potestas est* » ou « *le savoir en lui-même est le pouvoir* » (« *knowledge itself is power* »). Souvent repris en confondant « information » et « savoir », ce qui détourne la signification et ne représente pas la pensée de Bacon.

⁷⁶ Sir Francis Bacon. (1620). *Novum Organum* (2019). Joseph Devey, M.A. <https://oll.libertyfund.org/titles/1432>.

⁷⁷ Foucault, M. (1975). *Surveiller et punir: Naissance de la prison*. Gallimard.

⁷⁸ Merlin, M. (2009). Foucault, le pouvoir et le problème du corps social. *Idées économiques et sociales*, 155, 51-59. <https://doi.org/10.3917/idee.155.0051> :

⁷⁹ Spolaore, E. (2020). Commanding Nature by Obeying Her: A Review Essay on Joel Mokyr's A Culture of Growth. *Journal of Economic Literature*, 58 (3), 777-792. <https://doi.org/10.1257/jel.20191460>

⁸⁰ Dans le champ de l'organisation de la Cité, Aristote propose une analyse de : la monarchie (pouvoir confié à un seul, risque de tyrannie), l'aristocratie (pouvoir confié à plus d'un, risque d'oligarchie), la république (pouvoir de la multitude, pour l'utilité publique, vers la démocratie).

⁸¹ Aristote. (4^{ième} siècle). *La politique* (1995). Vrin.

⁸² Tricot, J. (1990). *Aristote - Ethique à Nicomaque*. Vrin.

et services communs, en limitant ou supprimant des réglementations par les autorités centrales ou des interventions par la privatisation (Hardin, 1968)⁸³ (Ostrom, 1991)⁸⁴ (Giraud, 2018)⁸⁵. Sommairement, une forme de régionalisme bienveillant est proposée.

Ainsi, comment aboutir à une politique de gestion d'actifs physiques au sein d'organisations de type APUL ? Quels *savoir constitué* (connaissance) et *savoir pratique* (savoir-faire) - quelle *épistémè* (Foucault, 1966)⁸⁶ - doivent être appréciés, mesurés, comparés, triés, sélectionnés dans le but de réussir l'arbitrage entre des paramètres conflictuels, l'optimisation du système de gestion des actifs ou plutôt la recherche du « *satisficing* » dans un contexte de rationalité limitée – le principe du seuil de satisfaction d'un individu ou d'un groupe d'individus (Simon, 1956)⁸⁷, en bref, la gestion d'actifs physiques, elle-même ? Quel modèle de décision menant à l'action ? Et dans un contexte à forte émergence du *numérique* en liaison avec la *matière* et le *vivant*, comment tenir compte de la globalité de l'information afin de produire un *savoir*, une aide à la décision et à l'action la moins partitionnée possible, la plus éclairée possible pour le *pouvoir* ?

Le *capital humain* se fonde notamment sur le concept d'épistémè et sur la dimension intrinsèque de l'individu – ses valeurs, ses aptitudes, ses talents, sa créativité, etc. - et la dimension extrinsèque ayant un impact sur l'individu – la connaissance, le savoir-faire, l'expérience accumulée. C'est ce qui détermine en partie la capacité des humains à travailler ou à produire une *valeur commensurable* (économique, conservation, scientifique) ou *incommensurable* (philosophique, psychologique, géographique, sociologique anthropologique, historique, culturelle, etc.) pour eux-mêmes ou pour les autres (Goldin, 2016)⁸⁸.

Pour illustrer l'apport et le rôle crucial du *capital humain* dans la conception, la construction et la maintenance des actifs physiques des milieux urbains et de ses conséquences sur la *valeur commensurable*, il est utile d'observer l'évolution historique de la propriété

⁸³ Hardin, G. (1968). The Tragedy of the Commons. *Science*, 162, 1243-1248. <https://doi.org/10.1126/science.162.3859.1243>

⁸⁴ Ostrom, E. (1991). *Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action*. Cambridge University Press.

⁸⁵ Giraud, G. (2018) Vers une économie politique des communs. *Cités*, 76 (4), 81-94.

⁸⁶ Foucault, M. (1966). *Les mots et les choses. Une archéologie des sciences humaines*. Gallimard.

⁸⁷ Simon, H. A. (1956). Rational choice and the structure of the environment. *Psychological Review*, 63(2), 129–138. <https://doi.org/10.1037/h0042769>.

⁸⁸ Goldin, C. (2016). *Human Capital*. In: *Handbook of Cliometrics*. Heidelberg, Germany: Springer Verlag.

intellectuelle. L'origine historique lointaine du droit à la propriété intellectuelle est floue, en revanche il existe la trace à Sybaris, en Grèce, en 500 av. J.-C., de l'autorisation octroyée à des chefs cuisiniers de monopoliser les profits pendant une année de la vente de plats dont ils étaient les créateurs. Durant la Rome antique, les juristes romains discutaient de la propriété intellectuelle sur divers types d'œuvres, dont les poèmes - plagiat jugé par Vitruve, aussi architecte et ingénieur Romain, 270-180 avant notre ère -, sans toutefois établir de lois à cet égard.

C'est à Venise, en 1416, que le Grand Conseil décernât probablement le premier brevet officiel à Franciscus Petri, un brevet pour une technologie de transformation de la laine en feutre et, en 1421, l'architecte et ingénieur Filippo Brunelleschi, célèbre pour sa construction du dôme de la Cathédrale de Florence, obtint un brevet pour la fabrication d'une barge avec un appareil de levage pour le transport de blocs et de plaques de marbre. En 1474, Venise passe d'un système ad hoc d'octroi de brevet à un système statutaire.

Par ailleurs, en 1623, le parlement du Royaume-Uni adopte un statut sur les monopoles et brevets, acte originel circonscrivant les droits exclusifs et les limites temporelles liés à une invention, soit un produit ou un procédé, menant à un brevet. (Op den Kamp et Hunter, 2019)⁸⁹.

Aujourd'hui, la propriété intellectuelle se retrouve sous la forme de brevets, modèles d'utilité, marques, dessins et modèles industriels ainsi que de propriétés littéraires et artistiques. L'intérêt pour cet outil est grandissant comme le démontre l'augmentation mondiale, en 2018, des brevets (5,2 %) et des marques (15,5 %). Selon la base de données statistiques de l'organisation mondiale de la propriété intellectuelle (OMPI), cette tendance haussière est constante depuis au moins 1883, moment de la ratification à Paris de la première convention internationale pour la protection de la propriété industrielle.

La France (Figure 2.3), pour sa part, est dans une quasi-stabilisation du nombre annuel de brevets depuis 1980 (OMPI, 2019)⁹⁰.

⁸⁹ Op den Kamp, C. et Hunter, D.. (2019). *A History of Intellectual Property in 50 Objects*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108325806>.

⁹⁰ Organisation Mondiale de la Propriété. (2019) *Propriété intellectuelle : Faits et chiffres de l'OMPI, 2019*. https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/fr/wipo_pub_943_2019.pdf

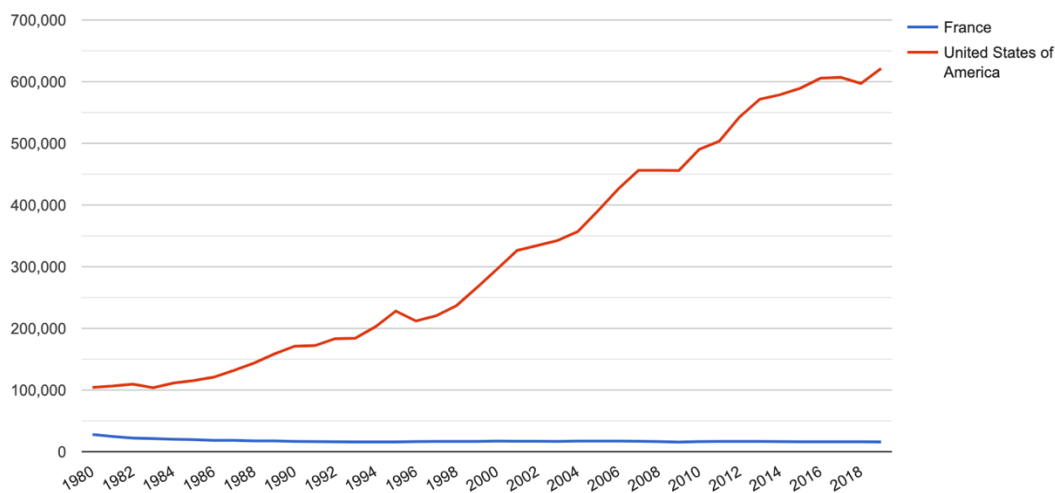


Figure 2.3 : Droit de propriété intellectuelle, total des demandes de brevet par bureau de dépôt, en France et aux États-Unis, période 1980 à 2019 (WIPO, 2020)⁹¹

Le droit à la protection des inventions de produits et de procédés est apparu en même temps que la naissance du capitalisme. La progression de l'un et de l'autre au niveau mondial fut constante depuis le XIX^{ème} siècle et jusqu'à nos jours. Cette corrélation est probablement plutôt un lien de causalité : la richesse des individus ou des entreprises possédant une propriété intellectuelle, au sein de leur pays ou à l'étranger, mènerait à la richesse des nations ? C'était le dogme libéral classique et c'est maintenant le fondement du néo-libéralisme avec ses impacts sur la valeur et la perte de valeur des actifs physiques urbains.

De plus, il est essentiel de reconnaître que la concentration de la propriété est étroitement liée à l'inégalité, comme l'illustre la figure 2.4, qui met en évidence l'écart massif entre les 1 % les plus riches et les 50 % les plus pauvres en France, depuis le XIX^{ème} siècle jusqu'à un pic en 1910. Au cours des Trente Glorieuses, les inégalités ont connu une réduction significative, mais depuis 1985, elles ont de nouveau augmenté (Piketty, 2019)⁹².

⁹¹ World Intellectual Property Organization. (2020). *Patent Cooperation Treaty, Yearly Review 2020, The International Patent System*. https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_901_2020.pdf

⁹² Piketty, T. (2019). *Capital et idéologie*. Le Seuil, Paris, *Sociologie du travail*, 62(4). <http://piketty.pse.ens.fr/files/Piketty2019GraphiquesTableauxLiens.pdf>

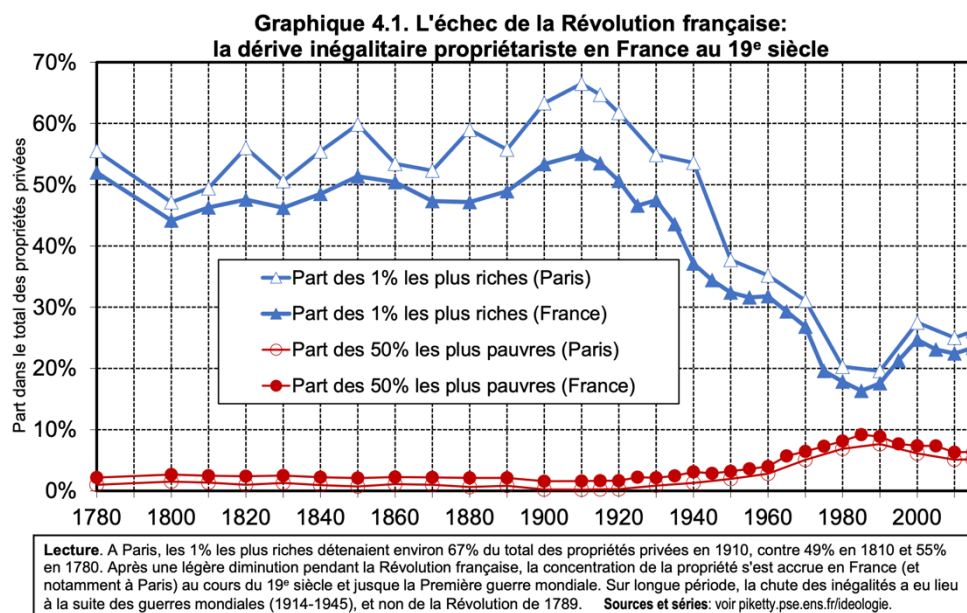


Figure 2.4 : Inégalité en France au XIX^e siècle et retour de la croissance des inégalités depuis 1985 (Piketty, 2019)⁹³.

Cette évolution des inégalités économiques a également eu un impact sur les politiques urbaines. Ces politiques urbaines sont souvent guidées par des théories économiques dominantes. Par exemple, l'économie libérale classique, associée à des penseurs tels qu'Adam Smith et David Ricardo, a été suivie au milieu du XIX^e siècle par l'économie néoclassique, influencée par Léon Walras. Cette dernière prônait une connaissance basée sur le scientisme et la mathématisation.

Cependant, les thèses de Karl Marx, présentées en 1867, ont ouvert la voie à un processus de réduction des inégalités qui s'est étalé de 1910 à 1985. Cette période a été marquée par des politiques économiques orientées vers une relance économique centralisée et collectiviste.

Parallèlement, la pensée économique néokeynésienne a émergé, cherchant à concilier les aspects positifs de l'économie classique et keynésienne, notamment à travers le modèle macroéconomique IS/LM (*Investments and Savings; Liquidity preference and Money supply*).

Cependant, depuis 1979, avec l'accession au pouvoir de Margaret Thatcher au Royaume-Uni et de Ronald Reagan aux États-Unis en 1981, l'économie ultra-libérale - pour

⁹³ Piketty, T. (2019). *Capital et idéologie*. Le Seuil, Paris. *Sociologie du travail*, 62(4). <http://piketty.pse.ens.fr/files/Piketty2019GraphiquesTableauxLiens.pdf>

les libertariens - ou l'*économie néo-libérale* - pour les ceux qui favorise une *économie de connivence* - ont pris de l'ampleur. Cette approche économique met en avant la critique des programmes étatiques jugés lourds et inefficaces, qui entravent tant la capacité que la créativité du secteur privé et de la société civile, selon les défenseurs de cette vision tels que Milton Friedman de l'école de Chicago et Friedrich Hayek de l'école autrichienne.

Ces quarante dernières années, l'enseignement de l'économie en France, dominé par les orthodoxes et les post-libéraux, a limité les perspectives alternatives en économie, malgré la présence de courants hétérodoxes variés. Cela a contribué à figer la compréhension de la valeur.

Pourtant, la réduction des inégalités de 1910 à 1985 en France, suivie de leur augmentation depuis, démontre clairement que l'approche de la valeur doit être élargie pour inclure sa dimension *incommensurable* au sein des politiques urbaines.

En définitive, la théorie économique qui gravite autour du concept de *capital humain* (Mincer, 1958)⁹⁴ trouve des parallèles frappants dans la conception, la construction et la maintenance des villes. Tout comme la gestion du capital physique dans le cadre urbain, la gestion du *capital humain* repose sur des principes similaires : il peut être acquis (par le biais de l'éducation, de la formation et de l'expérience) ; il nécessite une préservation et un développement constants (à travers la préservation de la santé individuelle et l'apprentissage continu) ; enfin, il peut générer des rendements considérables (sous la forme de résultats quantitatifs ou qualitatifs grâce à la mise en application des connaissances). Cette analogie peut être vue comme une adaptation technique des processus observés dans le monde naturel, une forme de biomimétisme appliquée aux enjeux urbains.

Par ailleurs, la numérisation croissante des activités *génériques*, qui est la forme la plus aboutie de ce biomimétisme, relevait autrefois du domaine du *capital humain* et trouve des échos évidents dans la conception, la construction et la maintenance des villes. Les actions basées sur des connaissances transférables et reproductibles, à l'abri des bifurcations imprévisibles liées au monde naturel, sont de plus en plus automatisées grâce à des technologies numériques avancées. Cependant, il est essentiel de noter que certaines activités *spécifiques* du *capital humain*, comme celles liées à la bienveillance (care), à l'accompagnement des individus vers l'épanouissement et la sérénité, ou encore à la maintenance des villes et de leurs infrastructures, continueront longtemps à exiger une intervention humaine directe.

⁹⁴ Mincer, J. (1958). Investment in Human Capital and Personal Income Distribution. *Journal of Political Economy*, 66(4), 281-302. The University of Chicago Press. <https://www.jstor.org/stable/1827422>

Ces activités *spécifiques* demeurent essentiellement non transférables, non reproductibles et résilientes face aux imprévus, et elles visent à assurer la stabilité et le bien-être, à la manière des principes épicuriens de l'*aponie* et de l'*ataraxie* (Note)⁹⁵ (Rodis-Lewis, 1993)⁹⁶. C'est ce que nous avons pu constater lors de la crise provoquée par la COVID-19 : les êtres humains ont su s'adapter à une situation imprévisible à moyen terme.

Ainsi, cette analogie entre la numérisation des activités *génériques* et la nécessité d'une intervention humaine dans des domaines *spécifiques* trouve son effet dans la manière dont les villes sont conçues, construites et entretenues.

2.3 L'énergie de créer, source de conflits

Depuis l'apparition de l'Homo, il y a environ 2,8 à 3,3 millions d'années (Grimaud-Hervé et coll., 2005)⁹⁷, l'humanité a su développer, avec l'utilisation de l'énergie, sa capacité à maîtriser la nature et ses abondantes ressources, tout en gérant les risques qui l'accompagnent. Le *capital humain*, comprenant les compétences et les connaissances, a permis à l'humain de créer des techniques, des outils et des processus pour répondre à ses besoins fondamentaux tels que la cueillette, la chasse, l'habillement, l'abri, l'agriculture et même la création de l'industrie de masse.

Cette évolution de la maîtrise de la nature a également trouvé son expression dans les environnements urbains et architecturaux. Les cités ont été conçues pour répondre aux besoins de survie, de sécurité et de santé de leurs habitants. L'accumulation des connaissances et leur transmission de génération en génération, d'abord par voie orale puis par écriture, a joué un rôle crucial dans le développement des sociétés et de l'architecture urbaine.

De plus, l'utilisation de diverses sources d'énergie, du feu aux énergies renouvelables en passant par les combustibles fossiles et nucléaires, a considérablement augmenté la capacité de l'homme à façonner son environnement et à favoriser la croissance de la population.

Ainsi, l'histoire de l'humanité est étroitement liée à sa capacité à comprendre et à exploiter la nature, une aptitude qui se reflète dans la conception, la construction et le développement des villes et de l'architecture à travers les âges.

⁹⁵ Proposé par Démocrite (460-370 av. J.-C.), Épicure (342-270 av. J.-C.) précise le concept d'*euthymie* (plaisir authentique, humeur idéale) en distinguant deux composantes : l'*aponie*, absence de douleur du corps (ou trouble physique), et l'*ataraxie*, absence de trouble de l'âme (ou trouble psychique).

⁹⁶ Rodis-Lewis, G. (1976). *Épicure et son école* (1993). Gallimard.

⁹⁷ Grimaud-Hervé, D., Serre, F., Bahain, J.J. et Roland Nespoulet, R. (2005) *Histoire d'ancêtres : La grande aventure de la Préhistoire* (4ième édition) Éditions Errance.

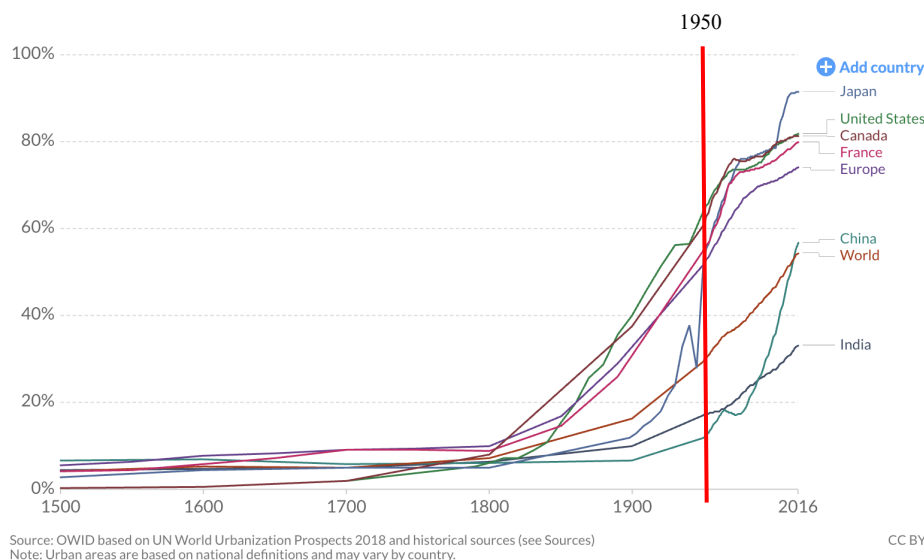


Figure 2.5 : Urbanisation au cours des 500 dernières années, de 1500 à 2016, pourcentage de la population vivant en milieu urbain.

Et pour y arriver, les organisations ont fait usage de biens tangibles, d'actifs physiques, dont les machines, afin de coordonner les activités de transformation des organisations publiques ou privées, leurs échanges et transactions, entre les humains, la nature et le reste du vivant. Ainsi, la concentration des populations dans les milieux urbains a connu une croissance phénoménale depuis le milieu du XIX^{ème} siècle pour les pays à l'économie avancée et à partir de 1950, notamment pour la Chine et l'Inde (Figure 2.5). Les constructions des villes se retrouvent sous la forme de biens tangibles, d'infrastructures et de bâtiments - outils de production nécessaires aux APULs – et se présentent comme des organes exosomatiques qui améliorent les performances limitées des organes endosomatiques des individus.

Dans le monde, il est estimé qu'en 1950, seulement 29,6 % de la population vivait en milieu urbain alors qu'en 2020, la proportion des 7,8 milliards d'habitants de la planète s'élèvent à 56,2 % et qu'à l'horizon 2050, ce serait plus de 68 % de la population qui vivront les avantages et les défis de la densité urbaine.

En France (Figure 2.6), les villes, les agglomérations urbaines et les métropoles, les APULs, accueillent dans les milieux urbains en 2020 plus de 80 % de la population et en 2050, la proportion devrait dépasser le seuil de 90 %, alors qu'en 1950, environ 55 % de la population étaient en milieu urbain (UN, 2018)⁹⁸.

⁹⁸ United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2018). *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision*. <https://population.un.org/wup/>

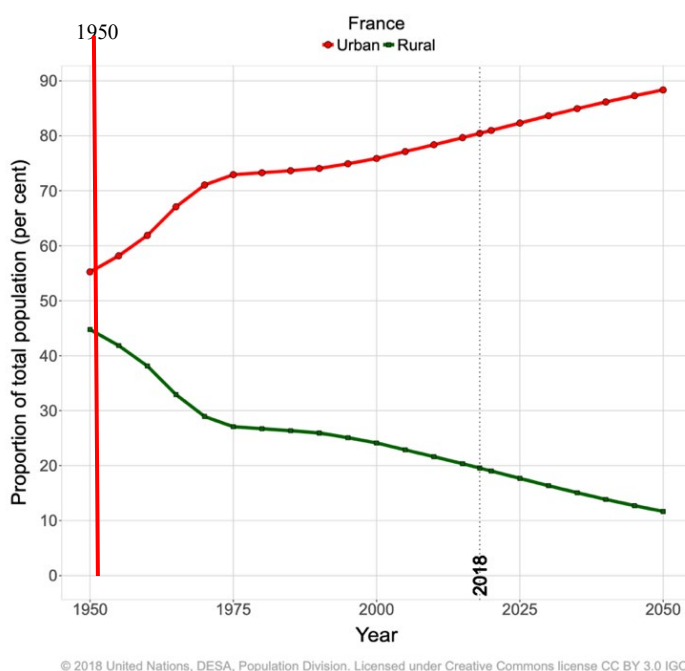


Figure 2.6 : Pourcentage de la population vivant en milieu urbain et en milieu rural en France pour la période 1950 à 2050.

En fin de compte, la croissance démographique rapide à l'échelle mondiale et les bouleversements urbains qui en résultent posent d'énormes défis en matière d'énergie et de pollution. Cette trajectoire a été façonnée par une succession de découvertes scientifiques, de progrès techniques et d'évolutions économiques, mais elle a également été marquée par une série de conflits sanglants et de guerres pour l'accès à l'énergie. L'histoire a montré que l'aspiration à l'énergie, qu'elle soit tirée de ressources naturelles ou de sources innovantes, a souvent été un facteur de discordance entre les sociétés, les nations et les peuples.

Dans cette quête perpétuelle d'énergie, l'autre a souvent été perçu comme un rival ou une source potentielle de richesse à exploiter. Cette vision de l'autre comme une menace a conduit à des pratiques de domination, d'esclavage et d'exploitation tout au long de l'histoire. Les guerres pour le contrôle des ressources énergétiques ont eu des conséquences dévastatrices pour de nombreuses communautés et nations.

Aujourd'hui, à l'ère moderne, il est impératif que nous apprenions des leçons du passé. La croissance démographique et urbaine se poursuit, et nos besoins en énergie sont plus importants que jamais. Cependant, nous devons chercher des solutions qui favorisent la coopération plutôt que la confrontation, qui préservent notre planète tout en répondant à nos besoins énergétiques.

La transition vers des sources d'énergie durables et la mise en œuvre de politiques de préservation de l'environnement sont essentielles pour éviter les conflits futurs liés à l'énergie. Nous devons reconnaître que la recherche d'énergie ne doit pas être un jeu à somme nulle où un gagnant prend tout, mais plutôt une opportunité de collaboration et de préservation de notre planète commune.

En fin de compte, il est crucial de prendre conscience que l'énergie de créer ne doit pas devenir une source de conflits destructeurs, mais plutôt un catalyseur de progrès et de paix pour l'humanité tout entière.

2.4 La valorisation de la vie et de l'instruction

Tout au long de ce processus, des humains ont su dépasser un contexte géopolitique local, national ou international qui sera source de conflits. Ceux de la lignée des philosophes de la Grèce antique et de leur « logos » - l'utilisation de la parole orale ou écrite pour forger un discours par la raison et les relations - ont inventé en Europe les principes et valeurs qui rendent la vie précieuse. La Déclaration des Droits de l'Homme et du Citoyen de 1789 (Note)⁹⁹ (Legifrance, 2020)¹⁰⁰ brise les chaînes des hommes, au moins sur papier. L'intention y est. Pour la première fois de son humanité, l'homme invente les droits individuels et leurs conditions de mise en œuvre.

Sur le plan somatique, Hippocrate, le père de la médecine en Occident, a inspiré la rédaction du *Corpus hippocraticum*, au IV^{ème} siècle avant notre ère, contenant des manuels, des essais, des notes et des études qui reste à ce jour une base de la pensée médicale puisqu'on y prône le concept de diagnostic par examen clinique afin de fonder la thérapeutique sur des connaissances liées notamment aux conditions environnementales (Lavergne, 2020)¹⁰¹. Malgré cette approche visionnaire, le recours à la prise en charge des maux - relevant de croyances, de

⁹⁹ Avant-propos de la Déclaration des Droits de l'Homme et du Citoyen de 1789 « Le peuple français, convaincu que l'oubli et le mépris des droits naturels de l'homme, sont les seules causes des malheurs du monde, a résolu d'exposer dans une déclaration solennelle, ces droits sacrés et inaliénables, afin que tous les citoyens pouvant comparer sans cesse les actes du gouvernement avec le but de toute institution sociale, ne se laissent jamais opprimer, avilir par la tyrannie ; afin que le peuple ait toujours devant les yeux les bases de sa liberté et de son bonheur ; le magistrat la règle de ses devoirs ; le législateur l'objet de sa mission. En conséquence, il proclame, en présence de l'Être suprême, la déclaration suivante des droits de l'homme et du citoyen. »

¹⁰⁰ République française. (2019, 15 avril). Legifrance. <https://www.legifrance.gouv.fr/Droit-francais/Constitution/Declaration-des-Droits-de-l-Homme-et-du-Citoyen-de-1789>

¹⁰¹ Lavergne, D. (2020 10 août). *Hippocrate de Cos, en bref*. Encyclopædia Universalis. <http://www.universalis.fr/encyclopedie/hippocrate-de-cos-en-bref/>

mythes, de superstitions, de prières - reste, à l'époque et jusqu'au VI^{ème} siècle, prépondérant et s'effectue essentiellement à la maison.

C'est une pandémie qui fit évoluer le contexte de la prise en charge médicale : la peste de Justinien vers 541 à 767 de notre ère. En effet, l'empereur Justinien 1^{er} procéda, dès le haut Moyen Âge, à la codification systématique du droit - le code de Justinien est une partie du *Corpus juris civilis* - (Grosdidier de Matons, 2020)¹⁰² et il décréta en même temps que l'« hôpital » est une institution à part entière. Cette institution n'a pas encore de lieux physiques dédiés. La prise en charge se fait par les religieux chrétiens. Certaines églises, souvent retrouvées au cœur de la « ville capitale » (Bougard et Dumézil, 2008)¹⁰³, se convertissent en églises hospitalières pour accueillir les malades. Ainsi, durant tout le Moyen Âge, l'apparition des églises hospitalières et les besoins inhérents à l'accueil amènent la transformation des lieux en Hôtel-Dieu.

À partir du XVI^{ème} siècle, à l'époque de la Renaissance, l'évolution de l'architecture a exercé une influence significative sur le développement des villes et la conception architecturale urbaine. À cette époque, l'architecture a progressivement abandonné le modèle austère des châteaux axés sur l'autodéfense pour adopter un style de palais esthétique, riche en ornements, sous l'influence des arts italiens. Ce changement architectural a été profondément lié à l'expression du pouvoir et de la richesse des dirigeants de l'époque.

Concomitamment, les institutions religieuses ont adapté leurs pratiques, transformant les hôpitaux d'œuvres de charité ancrées dans la vertu chrétienne en institutions de bienfaisance axées sur le bien-être social. Les hôpitaux ont été conçus en s'inspirant des palais italiens, présentant des volumes spacieux et des cours en forme de croix.

Cette évolution architecturale a eu un impact direct sur la configuration urbaine des villes, notamment en ce qui concerne la cohabitation des citoyens avec l'enfermement derrière des murs d'enceinte, destiné à isoler tous les *indésirables* de la société, tels que les malades, les indigents, les prostitués, les personnes âgées et les handicapés. Les admissions à l'hôpital étaient guidées à la fois par la compassion morale et une approche répressive.

¹⁰² Grosdidier de Matons, J. (2020, 10 août). *JUSTINIEN Ier (482-565)*. Encyclopædia Universalis. <http://www.universalis.fr/encyclopedie/justinien-ier/>

¹⁰³ Bougard, F et Dumézil, B. (2008). *Peut-on parler de villes au haut Moyen Âge ?* (Séminaire de recherche, Laboratoire VilMA (Histoire comparée des villes au Moyen Âge ENS de Lyon, Université de Lyon). <http://labo-junior.ens-lyon.fr/vilma/>

Au XVII^{ème} siècle, la *révolution scientifique* a été à l'origine d'avancées techniques et méthodologiques qui ont profondément influencé le développement de la médecine, un impact qui se fait toujours sentir aujourd'hui.

Au milieu du siècle des Lumières, les principes de l'hygiénisme et de la Révolution industrielle ont commencé à s'implanter, transformant progressivement le concept d'Hôpital général, apparu sous Louis XIV, en une véritable *machine à guérir*. L'architecture hospitalière a été repensée pour favoriser la ventilation et la propreté des lieux. L'importance de l'hygiène et de la salubrité a orienté les soins médicaux, marquant ainsi un tournant dans l'histoire de l'architecture hospitalière et urbaine (Granshaw et Porter, 1989)¹⁰⁴ (Duhau, Laget et Laroche, 2012)¹⁰⁵.

Issus des analyses statistiques des contagions durant la guerre de Crimée, Florence Nightingale, en Angleterre, pionnière des soins infirmiers et de l'épidémiologie, préconisa le triage et la séparation des malades par maladie (McDonald, 2015)¹⁰⁶. En France, l'Académie des sciences qui recommandait l'approche pavillonnaire pour isoler les pathologies contagieuses (quarantaine) et limiter la transmission initia le cahier de charges pour répondre à une nouvelle organisation des usages répartie en pavillons autonomes. En 1849, l'Assistance publique des hôpitaux de Paris est fondée (AP-HP, 2017)¹⁰⁷ et l'hôpital Lariboisière inaugure en 1854 à Paris le type de l'hôpital pavillonnaire en même temps que les travaux d'Hausmann démarrent. Ce sera le mode constructif privilégié jusqu'à la fin de la Première Guerre mondiale.

Les effets de la prise en charge médicale et de la valorisation de l'éducation et de l'instruction sont rapidement constatés par l'accroissement de l'espérance de vie avec ses conséquences sur la sur le développement des villes (Figure 2.6) (Piketty, 2019)¹⁰⁸.

¹⁰⁴ Granshaw, L. and Porter, R. (1989). *The Hospital in History*. Routledge.

¹⁰⁵ Duhau, I., Laget, P.L., et Laroche, C. (2012). *L'hôpital en France, histoire et architecture*. Lieux Dits.

¹⁰⁶ McDonald L. (2015) Florence Nightingale : A Research-Based Approach to Health, Healthcare and Hospital Safety. In: *The Palgrave Handbook of Social Theory in Health, Illness and Medicine*. Palgrave Macmillan, London. https://doi.org/10.1057/9781137355621_4

¹⁰⁷ Archives de l'AP-HP. (2017, 17 décembre). <http://archives.aphp.fr/challenge-2019-a/>

¹⁰⁸ Piketty, T. (2019). *Capital et idéologie*. Le Seuil, Paris. *Sociologie du travail*, 62(4). <http://piketty.pse.ens.fr/files/Piketty2019GraphiquesTableauxLiens.pdf>

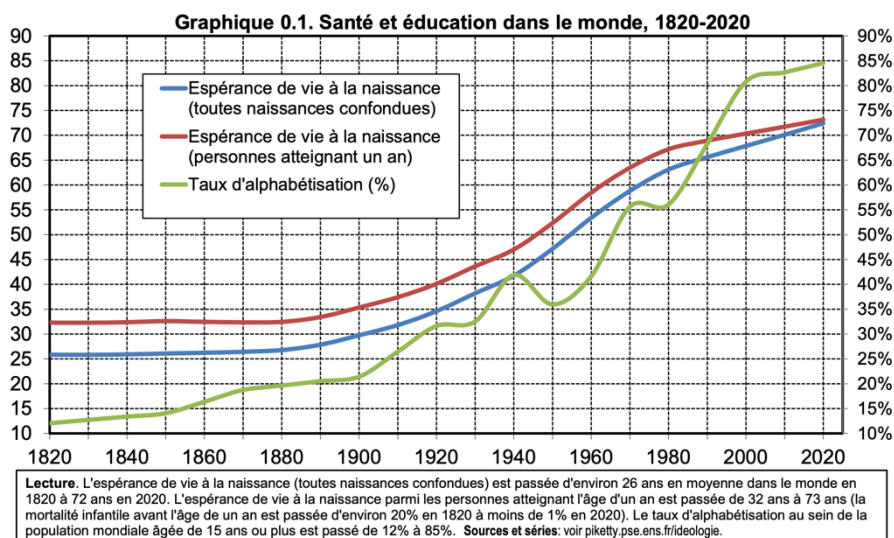


Figure 2.7 : Santé et éducation dans le monde, 1820-2020 (Piketty, 2019)¹⁰⁹.

Après tout, par ses avancées en matière de droit de l'Homme et de droit à la santé, malgré les guerres et les conflits géopolitiques de toutes sortes, l'individu existe de manière pleine et entière et ainsi « (l'humain) a appris que la vie ne vaut rien, mais que rien ne vaut une vie. » (Malraux, 1928)¹¹⁰.

2.5 La valorisation de la liberté

En 1776, Adam Smith pose les bases de l'économie orthodoxe ou libérale - celle basée sur la comptabilité, la finance et la modélisation des interactions transactionnelles monétaires de l'offre et de la demande - afin de faire cesser que la richesse des nations soit basée sur les guerres destructrices et sanglantes entre pays, bafouant la vie, pour proposer un libre-échange entre les Hommes (Smith, 1776)¹¹¹.

Ce fut, l'invention d'un jeu sérieux avec des règles établies par les puissants. À cette époque, l'Europe était à son apogée en termes de connaissances scientifiques et de réflexion intellectuelle. Les avancées dans les sciences et la pensée humaine étaient remarquables. Cependant, un siècle plus tard, l'humanité a réalisé que les règles établies à l'époque soulevaient

¹⁰⁹ Piketty, T. (2019). *Capital et idéologie*. Le Seuil, Paris. *Sociologie du travail*, 62(4). <http://piketty.pse.ens.fr/files/Piketty2019GraphiquesTableauxLiens.pdf>

¹¹⁰ Malraux, A. (1928). *Les Conquérants*. Grasset.

¹¹¹ Smith, A. (1776). *An Inquiry Into The Nature and Causes of The Wealth of Nations* (2007). MetaLibri digital edition. https://www.ibiblio.org/ml/libri/s/SmithA_WealthNations_p.pdf

des questions essentielles concernant l'équilibre entre les intérêts individuels et ceux de la collectivité à laquelle chaque individu appartient.

De nos jours, ces mêmes règles posent un défi encore plus pressant : comment concilier les préoccupations immédiates avec des enjeux plus vastes, comme la préservation de la planète ? À l'échelle individuelle, jongler entre les besoins quotidiens et les préoccupations à long terme des générations futures, voire la survie de l'écosystème terrestre, représente un défi constant.

Cette réflexion met en lumière l'impact profond des décisions prises à travers l'histoire sur l'évolution des villes et la conception architecturale urbaine. Elle souligne la nécessité d'équilibrer les intérêts individuels et collectifs, ainsi que l'importance cruciale de tenir compte des enjeux environnementaux à l'ère moderne.

Ainsi, les puissantes critiques de Marx dans le *Capital* (Marx, 1867)¹¹², amènent à réfléchir à l'économie politique, en complément à l'économie libérale, comme un moyen de résoudre les limites et contradictions internes et externes du capitalisme : les États viseraient à rester les arbitres du jeu par la réglementation et la régulation. L'imposition de l'éthique du respect des droits de l'homme, dans le sens de la proposition de la France, devrait être au cœur des décisions et des actions. Ce sont les bases du socialisme, en quelque sorte.

Les injustices du capitalisme libéral révèlent le problème posé par le paradoxe de Condorcet sur les effets d'un vote individuel sur les décisions collectives : le problème d'adoption par les individus de « normes » imposées par le groupe – comme la consommation de produits et de services non nécessaire au bien-être –, influencées par le désir des puissants, qui sont opposées aux valeurs individuelles, ce que l'on nomme la *désindividuation* (Festinger, 1957)¹¹³. Il y a alors une perte de la responsabilité de l'individu, un sentiment d'impuissance. L'esclavagisme moderne est adouci par un espoir et une promesse de liberté, d'autonomie économique afin de pouvoir assouvir son désir individuel. La liberté devient alors relative.

2.6 La sauvegarde de l'humanité et la quête du bonheur

Tout au long de l'histoire, les activités humaines sont orientées par deux conditions : d'abord celle de la sauvegarde de la santé, de la vie et ensuite, celle de la recherche du bonheur, du bien-être, selon la définition de chacun. La progression de la population mondiale a ainsi un impact considérable sur la distribution des ressources de la planète nécessaire à l'atteinte et au

¹¹² Marx, K. (1867). *Le capital. Critique de l'économie politique* (1976). Éditions Sociales.

¹¹³ Festinger, L. (1957). *A Theory Of Cognitive Dissonance*. Stanford University Press.

maintien de ces conditions. La natalité est supérieure aux décès. La répartition des ressources ne peut être que source de tension géopolitique.

L'urbanisation grandissante des espaces de la planète et les flux interurbains mondiaux produisent des impacts sur la santé des populations et la configuration des villes. En effet, en 2017, dans le monde, le taux de croissance de la population mondiale était de 1,05 % (Roser, Ritchie et Ortiz-Ospina, 2013)¹¹⁴. Son accélération depuis le milieu du XIX^{ème} siècle est attribuable à une amélioration importante des savoirs en matière de nutrition, de santé et de médecine.

Mais comment illustrer l'effet des maladies sur l'urbanisation ? Des 56 millions d'individus qui sont décédés en 2017 sur la planète, près de la moitié avait 70 ans et plus (49 %). Les maladies cardiovasculaires et les cancers sont les deux principales causes de décès. Les autres causes et leur distribution varient considérablement d'un pays à l'autre : les maladies non transmissibles, menant à un « risque individuel », dominant dans les pays riches, tandis que les maladies infectieuses, menant à un « risque populationnel », restent élevées dans les pays à faible PIB. Pour la même époque, en France, il y a eu 606 000 décès ; un quart des personnes décédées avaient plus de 90 ans ; la moitié, plus de 83 ans ; 27,2 % avaient de 70 ans à 83 ans, 18,7 % avaient entre 50 et 69 ans ; seulement 4,1 % avaient entre 15 et 49 ans (Papon, 2018)¹¹⁵.

¹¹⁴ Roser, M., Ritchie, H. and Ortiz-Ospina, E. (2013). *World Population Growth* (2019). OurWorldInData.org. <https://ourworldindata.org/world-population-growth>.

¹¹⁵ Institut national de la statistique et des études économiques. (2021,29 mars). *Estimations de population et statistiques de l'état civil*. Insee. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/2383440#tableau-figure1>

Tableau 2-1 : Principales causes de décès par facteur de risque, France, 2013 (DREES, 2017)¹¹⁶²⁰¹.

	◆ Femmes ◆	◆ Hommes ◆	◆ Ensemble ◆
Maladies infectieuses et parasitaires	2,0 %	1,8 %	1,9 %
Tumeurs du larynx, trachée, bronches et poumon	2,9 %	8,2 %	5,6 %
Tumeurs du côlon	2,2 %	2,3 %	2,2 %
Tumeurs du rectum et de l'anus	0,7 %	0,9 %	0,8 %
Tumeurs du sein	4,2 %	0,0 %	2,1 %
Autres tumeurs	14,5 %	21,5 %	18 %
Troubles mentaux et du comportement	4,8 %	3,2 %	4,0 %
Maladies cérébro-vasculaires	6,7 %	4,7 %	5,7 %
Cardiopathies ischémiques	5,1 %	6,9 %	6,0 %
Autres maladies de l'appareil circulatoire	15,2 %	11,3 %	13,3 %
Maladies de l'appareil respiratoire	6,5 %	6,8 %	6,6 %
Maladies de l'appareil digestif	3,8 %	4,3 %	4,0 %
Causes externes	5,3 %	7,6 %	6,5 %
(Dont accidents de transport)	0,3 %	0,8 %	0,5 %
(Dont suicides)	0,9 %	2,6 %	1,7 %
Autres causes	26,2 %	20,5 %	23,3 %

Le Tableau 2-1 présente la distribution des causes de décès, qui reprend des données de 2013. Nonobstant le fait que certains décès peuvent avoir plusieurs causes, 28,7 % des décès étaient liés aux cancers ; 25 % aux maladies cardiovasculaires et circulatoires ; les maladies infectieuses et parasitaires ne représentent que 1,9 % de l'ensemble des décès. Cela démontre la préoccupation principale pour le système et réseau de la santé de la France pour des programmes et mesures plutôt orientés sur les causes de décès issues de « risques individuels » plutôt qu'à celles issues de « risques populationnels » (effet de contagion).

Les 4,55 millions de décès dans le monde entier provoqués par la COVID19 sur une période de 18 mois en date du 5 septembre 2021 représenteront environ 2,9 % de l'ensemble des morts pendant la même période. En France, avec la crainte d'une inscription dans la durée, environ 115 000 décès ont été répertoriés, représentant environ de 10 % de la totalité des décès

¹¹⁶ Fourcade, N. et Von Lennep, F. (DREES), et Isabelle Grémy, I. et Bourdillon, F. (Santé publique France). (2019, mars). *Principales causes de décès et de morbidité*. L'état de santé de la population en France, Rapport 2017. <https://drees.solidarites-sante.gouv.fr/>

pour la même période (Wikipédia, 2021)¹¹⁷. Les conséquences du « risque populationnel » de la COVID19 et la préoccupation qu'elle suscite s'expliquent par un niveau de l'ordre de 5,3 fois supérieur à la statistique habituelle pour l'ensemble des maladies infectieuses. Comme évoqué précédemment, la France, pays riche, n'était pas préparée à un événement dont l'intensité serait forte et en l'occurrence, peu probable.

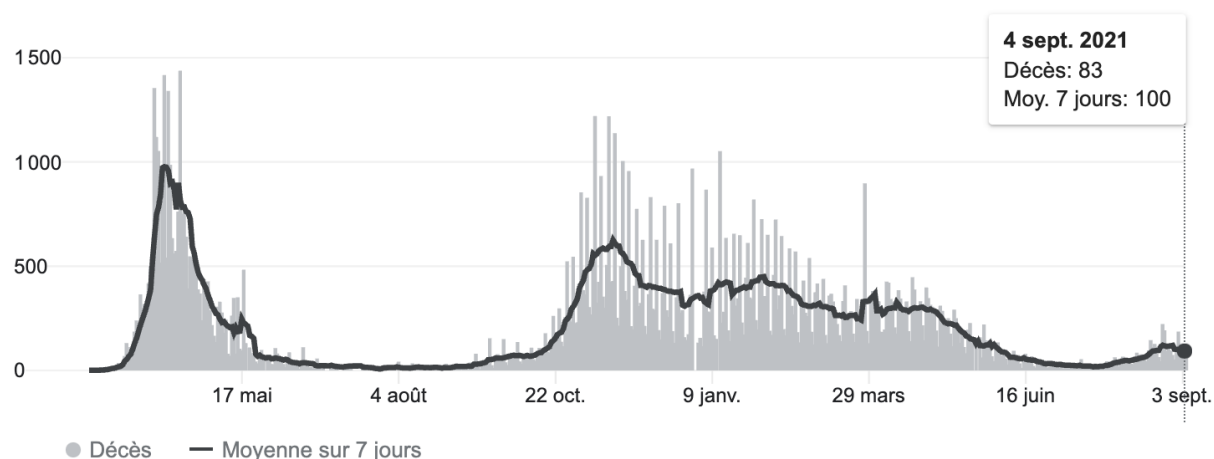


Figure 2.8 : Covid19 - Nombre de décès en France, 1^{er} mars 2020 au 4 septembre 2021 (Wikipédia, 2021)¹¹⁸.

Par ailleurs, Santé publique France, indique que les décès étaient à 62 % des cas avec comorbidité ; l'âge médian du décès était de 84 ans et 90 % avaient 65 ans et plus (Santé Publique France, 2020)¹¹⁹. Les différents vaccins semblent pour le moment avoir des effets atténuateurs sur la maladie et ses conséquences (hospitalisation et soins intensifs). C'est malgré tout le système immunitaire de chacun et leur système de défense, accompagnés de soins, qui permettent de traiter au mieux le virus.

Tableau 2-2 : Décès et taux de mortalité en France – données annuelles de 1982 à 2020 (INSEE, 2021)¹²⁰.

¹¹⁷ Wikipedia. (2021, 5 septembre). *COVID 19 Pandemic data*. https://en.wikipedia.org/wiki/Template:COVID-19_pandemic_data

¹¹⁸ Wikipedia. (2021, 5 septembre). *COVID 19 Pandemic data*. https://en.wikipedia.org/wiki/Template:COVID-19_pandemic_data

¹¹⁹ Santé publique France. (2020, avril). *Point épidémiologique hebdomadaire*. <https://www.santepubliquefrance.fr/>

¹²⁰ Nathalie Fourcade et Franck von Lennep (DREES), Isabelle Grémy et François Bourdillon (Santé publique France). (2019, mars). *L'état de santé de la population en France, Rapport 2017 - Principales causes de décès et*

Année	Nombre de décès	Taux de mortalité (pour 1 000 habitants)
2020 (p) (r)	669 000	9,9
2019 (p)	613 243	9,1
2018 (p)	609 648	9,1
2017	606 274	9,1
2016	593 865	8,9
2015	593 680	8,9
2014 y c. Mayotte	559 293	8,4
2014 hors Mayotte	558 727	8,5
2013	569 236	8,7
2012	569 868	8,7
2011	545 057	8,4
2010	551 218	8,5

p : décès 2020, taux de mortalité 2018 à 2020 : données provisoires arrêtées à fin février 2021.
r : données révisées.
Lecture : en 2020, le nombre de décès est de 669 000, soit 9,9 décès pour 1 000 habitants.
Champ : France hors Mayotte jusqu'en 2014 et y compris Mayotte à partir de 2014.

Et pourtant, l'arrivée d'une pandémie de type SRAS-CoV-2, qui est un coronavirus de type SRAS et d'origine probablement zoonotique, a été annoncée par des experts depuis au moins 2013 (To, Hung, Chan et Yuen, 2013)¹²¹. Elle est apparue pour la première fois en décembre 2019 à Wuhan, la capitale de la province chinoise du Hubei (van Dorp et coll., 2020)¹²².

Une métamorphose radicale des actifs physiques, infrastructures et bâtiments, des villes issues des conséquences de la pandémie actuelle sont peu probables. En revanche, le télétravail avec l'usage accru d'outils numériques génère de nouveaux « lieux » et modes de travail qui se développeront. Un impact sur les mutations des usages des espaces intérieurs et extérieurs dans la ville - apparition croissante de tiers lieux, par exemple - se constate déjà dans les transports, les immeubles à bureaux (tertiaire) et l'habitat.

Par ailleurs, n'est-il pas possible d'utiliser le retour d'expérience de la COVID19 pour illustrer l'impréparation des pouvoirs publics, des entreprises et des individus ? Est-ce qu'il y a un manque flagrant d'anticipation qui peut laisser présager d'une confusion et de grandes

de

morbidity. https://drees.solidarites-sante.gouv.fr/IMG/pdf/esp2017_5_principales_causes_de_deces_et_de_morbidity.pdf

¹²¹ To, K., Hung, I., Chan, J., and Yuen, K. (2013). From SARS coronavirus to novel animal and human coronaviruses. *Journal of Thoracic Disease*, 5(2). <http://jtd.amegroups.com/article/view/1212>

¹²² van Dorp, L. Acman, M., Richard, D., Shaw, L.P., Ford, C.E., Ormond, L. and Balloux, F. (2020). Emergence of genomic diversity and recurrent mutations in SARS-CoV-2". *Infection, Genetics and Evolution*, 83. <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2020.104351>.

difficultés à venir si les effets du changement climatique ou de la vétusté extrême des actifs physiques des villes génèrent des effets de « contagions » et des « risques populationnels » d'un genre nouveau ? Des risques ayant peu de conséquences sur le plan individuel (par actif physique), mais menant à des contagions qui généreraient des risques populationnels pouvant rendre la situation ingérable sans les bonnes mesures.

Par ailleurs, il est décrété par l'ONU, et largement adopté par la communauté internationale, que le développement des pays doit dorénavant être « plus inclusif, plus équitable et plus équilibré que jamais en ayant pour objectif fondamental d'éradiquer la pauvreté et la violence et de créer des conditions favorables pour le bien-être et le bonheur de tous » (ONU, 2017)¹²³. La mise en pratique reste à construire dans tous les pays, avec des variantes et pour diverses tranches des populations.

Ainsi, en ce qui a trait au « bonheur » et au « bien-être » - cet état subjectif de pleine satisfaction en symbiose avec les personnes, les événements et les choses - de tout temps l'être humain a cherché à créer les conditions de la victoire de ses *pulsions de vie* (*Éros*) sur ses *pulsions de mort* (*Thanatos*) (Freud, 1920)¹²⁴. Le résultat n'est pas toujours au rendez-vous. Des guerres, de la violence, des catastrophes naturelles ou industrielles, une distribution injuste des ressources, des avoirs et des savoirs, subsistent.

Et pour créer ces conditions de réussite du bien-être, il faut créer un environnement qui encourage la tendance qui porte à vouloir obtenir l'objet d'un désir, par l'effort et le travail. Cela doit surpasser la recherche constante d'une émotion satisfaisante à court terme. La somme de petits plaisirs peut mener à un grand déplaisir (la cigarette, p. ex.). La somme d'efforts en fonction d'un désir lointain mène au plaisir : la réussite de l'acquisition d'un savoir, par exemple. « Le savoir est profondément lié au plaisir, il y a certainement une façon d'érotiser le savoir, de le rendre hautement agréable » (Foucault, 1975)¹²⁵.

Cette philosophie s'étend également à la construction de nos villes et de leurs infrastructures. Lorsque nous concevons des habitations, des bureaux, des réseaux de transport et autres bâtiments et infrastructures, nous devrions viser à créer des environnements qui incitent les habitants à rechercher des objectifs à long terme, comme ceux liés à la sobriété, l'environnement et au changement climatique, à investir des efforts et à travailler pour les

¹²³ ONU info. (2017). *Une éducation « inclusive, équitable et de qualité » - facteur clé pour atteindre les objectifs de développement durable*. <https://www.un.org/fre/desa/high-level-event-education>

¹²⁴ Freud, S. (1920). *Au-delà du principe de plaisir* (2010). Éditeur Payot.

¹²⁵ Chancel, J., et Foucault, M. (2014). *Radioscopie (philosophes) : Jacques Chancel reçoit Michel Foucault* (1975). Ina, Radio France.

atteindre. Plutôt que de favoriser à tout moment le plaisir instantané consumériste tous azimuts et dépourvu de sens, la société devrait encourager la poursuite de désirs qui conduisent ultimement à une satisfaction collective et individuelle plus profonde. Cette approche peut contribuer à la création de villes où le bien-être est favorisé par des choix de vie équilibrés.

Une des pistes est celle du « *World Happiness Report 2020* » (Note)¹²⁶ (Helliwell et coll., 2020)¹²⁷ qui vise à dépasser les paramètres de développement purement basés sur des données économiques à court terme, comme le PIB, afin de faire apparaître le « bien-être » et le « bonheur » comme paramètres. Ce rapport, produit annuellement, fut déposé à sa première édition en avril 2012 lors de l'Assemblée générale des Nations Unies qui se réunissait à New York pour une réunion de haut niveau.

Une section du rapport traite spécifiquement des villes. Pour leur méthodologie, les classements issus du rapport se basent sur des auto-évaluations formalisées, complétées par les habitants d'une ville plutôt que d'être construits autour de l'encadrement de paramètres normalisés et spécifiques. C'est une approche « ascendante » (*bottom up*) qui peut être critiquable par sa subjectivité, mais qui a l'intérêt de laisser s'exprimer ce que signifie le « bien-être » et le « bonheur » en fonction des lieux de vie, en fonction de la perception, observable ou non, et de la singularité de chaque individu.

C'est alors une voix directe de la population qui permet éventuellement au citoyen d'avoir une emprise sur les orientations et politiques de la ville. L'élu, représentant d'un groupe d'individus, se voit influencer par des désirs citoyens. Cette voix directe alimente les décideurs par des données probantes sur la manière d'optimiser le bien-être de leurs populations. Du reste, c'est une approche « ascendante » qui est une forme de remise en cause du Jacobinisme (Note)¹²⁸ dans le sens conventionnellement reconnu aujourd'hui (Furet, 1985)¹²⁹. Celle d'une organisation basée sur une approche « descendante » (*waterfall*) sous la direction d'un pouvoir bureaucratique et centralisé considérant les experts centraux comme une entité de compétences

¹²⁶ Le Rapport sur le bonheur dans le monde (*World Happiness Report*) est une publication visant à identifier des solutions de développement durable, alimenté par les données du sondage mondial Gallup. Le *World Happiness Report* a été rédigé par un groupe d'experts indépendants agissant à titre personnel. Les opinions exprimées dans ce rapport ne reflètent pas nécessairement les vues d'une organisation, d'une institution ou d'un programme des Nations Unies.

¹²⁷ Helliwell, John F., Richard Layard, Jeffrey Sachs, and Jan-Emmanuel De Neve. (2020). *World Happiness Report*. New York : Sustainable Development Solutions Network.

¹²⁸ Le jacobinisme est une doctrine politique centralisatrice qui « est à la fois une idéologie et un pouvoir : un système de représentations et un système d'action ». Il s'oppose au girondisme qui prône le pouvoir par des autorités locales.

¹²⁹ Furet, F. (1985). *Penser la Révolution française*. Gallimard.

incontestables. Avec ce modèle, la réplique d'une décision centrale se fait à tous les échelons géographiques du pays afin de « normaliser » les interactions techniques économiques et sociales en limitant le recours à l'initiative, la volonté et la responsabilité menant aux décisions et actions locales ou territoriales.

Avec un nouveau modèle ascendant d'influence des politiques de la ville, cela amplifie toutefois le problème d'ordonnement des préférences - mise en priorité -, des décisions et des actions comme démontré par le « paradoxe de Condorcet » (Condorcet, 1785)¹³⁰ repris dans une forme moderne par le « théorème d'impossibilité d'Arrow ». Ce théorème démontre qu'en l'absence de restrictions aux préférences individuelles ou à la neutralité de la constitution d'un pays aux alternatives réalisables, il n'existe pas de règles de choix social qui satisfasse un ensemble d'exigences plausibles. Ainsi donc, chaque choix social correspond à l'ensemble de lois (ou ordonnancements) faisables adoptés par un « vote » en vertu de la constitution, même si tous les individus n'ont pas voté en faveur de toutes les lois. Le résultat généralise le paradoxe du vote, qui montre que le vote à la majorité peut ne pas aboutir à un résultat stable et représentatif de l'ensemble de la population (Arrow et Maskin, 1951)¹³¹.

Le bien-être et le bonheur comme paramètres intégrés à l'économie et aux principes constitutionnels semblent devenir à la fois un devoir et un objectif des choix guidant nos politiques. Les questions qu'ils soulèvent doivent dépasser la simple lecture du PIB, de l'argent généré, de la richesse matérielle. Elles doivent susciter la réflexion sur les objectifs insoutenables de la croissance infinie pour adopter celle d'une croissance ralentie, voire une décroissance maîtrisée. Au fond, l'étude sur le « bien-être » et le « bonheur » des individus invite à « comprendre pourquoi la France, pays objectivement riche, souffre d'un tel déficit de bonheur » (Senik, 2014)¹³².

2.7 Conclusion

L'hypothèse d'une stagnation de la population mondiale autour de 11 milliards d'humains, vers 2100, et la concentration croissante des populations dans les milieux urbains laissent présager que l'autonomie et la responsabilité des individus et de leurs regroupements

¹³⁰ Condorcet, J.-A.-N. (1785). *Essai sur l'application de l'analyse à la probabilité des décisions rendues à la pluralité des voix*. Éditeur de l'Impr. Royale. Collection les archives de la Révolution française. Bibliothèque nationale de France. <http://catalogue.bnf.fr/ark:/12148/cb37237493x>

¹³¹ Arrow, K. J. and Maskin, E.S. (1951). *Social Choice and Individual Values* (2012). Yale University Press. <http://www.jstor.org/stable/j.ctt1nqb90>

¹³² Senik, C. (2014). *L'Économie du bonheur*. Média Diffusion.

territoriaux au sein des APULs sont incontournables. En effet, le contexte de la COVID19 amène la population et les gouvernements à réfléchir aux flux mondiaux et locaux des personnes et des marchandises. La mobilité aurait-elle ses limites, même à l'échelle des APULs ?

La transformation que l'humanité va vivre, d'ici 80 à 100 ans, sera celle de l'adaptation à une planète sous l'effet de changements climatiques et géologiques sous l'ère de l'anthropocène. Et pour y parvenir, les *savoirs* constitueront la base de la prise de décision des *pouvoirs*. En sachant qu'un *savoir* exclusivement scientifique ferait l'économie de ce que les personnes peuvent accepter ou subir, il y aura nécessité à ce que les *savoirs scientifiques* s'accompagnent d'une éthique. L'éthique se définit alors comme la « capacité à renoncer à son pouvoir de nuisance » et la « résistance à la cruauté du monde et à la barbarie humaine » (Morin, 2004)¹³³. C'est sous cette approche qu'il sera nécessaire de piloter cette transformation.

La première transformation est donc celle des *savoirs éthiques*. Les savoirs des humains sont porteurs d'espoir. En effet, depuis au moins la moitié du XIX^{ème} siècle, dans les milieux urbains, ils permettent, au sein des APULs, de déployer des techniques de l'ingénierie industrielle afin de construire des bâtiments et des infrastructures dont les usages facilitent l'éducation et l'instruction, la santé et le bien-être et par le fait même le développement économique. L'économie libérale s'oriente alors en ce sens, l'économie post-libérale ayant perdu cette ambition.

La transformation à venir offrira encore pour plusieurs décennies l'opportunité de développer des bâtiments et infrastructures améliorés de nouveaux matériaux ou de nouvelles technologies afin de limiter les effets des activités humaines sur l'énergie et l'environnement et de combler les besoins des 3 milliards de populations à venir. Les flux physiques resteront : la transformation à venir doit les dépasser.

En définitive, l'enjeu le plus grand consistera à mieux gérer la transformation vers un savoir de préservation, conservation et maintien des actifs physiques des quelque 7,88 milliards de populations existantes. Assurer leur maintien et leur renouvellement en garantissant une performance adéquate pour les usages requis, des coûts justes et raisonnables en fonction de la « capacité à payer » collective et une maîtrise des risques qui rassure la population, générera un défi dont l'application doit se faire en même temps avec les nouvelles infrastructures et les nouveaux bâtiments pour la population à venir.

¹³³ Morin, E. (2004). *La méthode 6, éthique*. Éditions Seuil.

Enfin, nous pouvons affirmer que la croissance de la population mondiale et sa concentration dans les milieux urbains génèrent des difficultés liées au grand nombre et des opportunités liées aux savoirs. Nous démontrons par notre argumentaire qu'au fil de l'histoire, la pensée humaine a mené à développer plusieurs axes de savoirs qui génèrent ainsi une accélération des moyens pour nourrir, loger, instruire et soigner la population. Une accélération largement portée par la consommation d'énergie, par les machines de toutes sortes, et qui dorénavant vise à intégrer la quête du bonheur et du bien-être dans les préoccupations humaines fondamentales.

En même temps, ces axes de savoirs nouent un rapport de pouvoir entre le *maître* et l'*esclave (serviteur)*, (Hegel, 2006)¹³⁴ entre le puissant et le peuple. Les conséquences de ce rapport sont doubles et paradoxales : elles contribuent à mettre en place les bases d'une liberté souhaitée et attendue, une réduction des inégalités, avec ses composantes de santé et de bonheur, mais elles génèrent des conflits et des rapports de forces qui, combinés à une croissance économique vertigineuse au XXème siècle, inscrivent l'homme comme un vecteur indéniable de la mutation incontrôlée de l'écosystème planétaire.

Ainsi, des fondations sociales et environnementales équilibrées sont à la base d'un espace urbain juste et sécuritaire pour chaque humain. L'économie comme outil générant des flux et des stocks doit s'articuler autour d'une valeur de protection de la vie en santé et de la régénérescence de la nature afin que l'ère de l'anthropocène devienne celle de l'économie écologique et circulaire.

¹³⁴ Hegel, G. W. F. (2006). *Phénoménologie de l'esprit* (Vol. 1) (1807). Vrin.

CHAPITRE 3 LE CAPITAL NATUREL: LA PROTECTION DES MATIÈRES PREMIÈRES ET DU VIVANT

3.1 Introduction

Comme cela a été exposé dans les chapitres 1 et 2, la croissance de la population mondiale et son déplacement vers les zones urbaines nécessitent une utilisation croissante des ressources naturelles pour aménager les espaces et les territoires. Cela soulève la question de la limitation des ressources et de la pression qu'elle exerce sur l'économie.

Pour illustrer cela, prenons l'exemple de la COVID-19. Les origines et la cause de la COVID19 ne sont pas clairement établies. La supputation d'une manipulation génétique par erreur humaine ou par expérimentations, au sein d'un laboratoire P4 à Wuhan en Chine, demeure probable (Perrier, 2021)¹³⁵ (Jalinière, 2021)¹³⁶. Par ailleurs, la séquence insérée entre les sous-unités S1 et S2 dans la protéine S (protéine de spicule ou *spike protein*) est retrouvée naturellement sur des chauves-souris (Zhou et coll., 2020)¹³⁷. Cette séquence permet l'entrée et la mutation du coronavirus au sein des cellules humaines. « *La multiplication virale est un phénomène complexe au cours duquel le virus va détourner la machine cellulaire à son profit. En effet, du fait de leur simplicité extrême, les virus ne peuvent pas se multiplier, du moins se multiplier par eux-mêmes* » (Philippon, 2020)¹³⁸. Comment se fait-il que la zoonose soit possible ? Comment en est-on arrivé à ce point ? Par une accélération des injustices humaines envers la nature ? Quelles politiques économiques conduisent à une telle déflagration ?

Environ cent ans après Marx et ses propositions sur l'économie politique, en 1990, la période de fortes tensions géopolitiques de la seconde moitié du XXème siècle, entre le bloc de l'Ouest, les É-U en tête, et le bloc de l'Est, avec l'URSS et ses satellites, se termine. La fin de la Guerre froide donne un nouvel élan à la mondialisation capitaliste par une financiarisation globale des investissements qui mène à une économie néo-libérale appuyée par l'essor de

¹³⁵ Perrier, B. (2021). *Sars-CoV-2, aux origines du mal*. Belin.

¹³⁶ Jalinière, H. (2021). Le Covid échappé d'un laboratoire : pourquoi l'hypothèse fait flores. *Sciences et Avenir, Santé*. https://www.sciencesetavenir.fr/sante/le-covid-echappe-d-un-labo-pourquoi-l-hypothese-fait-flores_154635

¹³⁷ Zhou, H., Chen, X., Hu, T., Hughes, A., Bi, H. and Shi, W. (2020). A Novel Bat Coronavirus Closely Related to SARS-CoV-2 Contains Natural Insertions at the S1/S2 Cleavage Site of the Spike Protein. *Current Biology, Report 30*(11), 2196-2203. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.05.023>

¹³⁸ Philippon, A. (2020, 15 juin). *Cours de virologie générale*. Université Paris V, 12 Rue de L'École de Médecine, 75006 Paris, Responsable : <http://www.microbes-edu.org/etudiant/multivirale.html#41>

l'internet - *world wide web* (Berners-Lee, 1989)¹³⁹ -, outil fondateur du discours sur la technique télématique, cette technologie de l'information et de la communication prometteuse de l'époque. Ses produits dérivés se nomment aujourd'hui le *cloud*, les *big data*, l'*open data*, le *deep learning*, le *machine learning*, l'intelligence artificielle, etc. L'ère des données, de leur gestion, exploration, modélisation et interprétation devient réalité.

L'augmentation rapide de la circulation de l'information, notamment grâce à l'avènement d'Internet et des technologies numériques, suscite un intérêt croissant pour le domaine. Cela a pour conséquence d'accélérer le processus par lequel l'économie réelle, c'est-à-dire la production de biens et de services tangibles, devient de plus en plus séparée du secteur financier. En d'autres termes, la finance, qui englobe les marchés financiers, les transactions bancaires et autres opérations financières, prend de plus en plus d'importance par rapport à la production réelle de biens et de services. Un écart se creuse entre la valeur marchande et la valeur d'usage d'un outil de production, par exemple. Cette déconnexion entre la finance et la production peut avoir des répercussions sur l'économie globale et créer des déséquilibres.

La physique et l'économie se disloquent dans les décisions et actions alors qu'elles sont intimement liées en termes d'extraction et d'utilisation (Galbraith, 2004)¹⁴⁰. L'activité économique locale et concrète de la consommation de biens et de services par les individus, les ménages, les entreprises et les APULs est polluée par la spéculation, par des intermédiaires parasites. Les actionnaires et financiers cherchent à *extraire de la valeur commensurable* pour redistribuer à un petit nombre d'individus (1 %) - et pour une proportion non négligeable, dans des paradis fiscaux – (Godefroy et Lascoumes, 2004)¹⁴¹ plutôt que de *générer de la valeur commensurable et incommensurable* pour le plus grand nombre.

Ici, il est important de préciser que la notion de *valeur incommensurable* dans l'économie se réfère à des aspects ou des biens qui ne peuvent pas être mesurés de manière traditionnelle en termes monétaires. Cela peut inclure des valeurs immatérielles, éthiques, sociales, environnementales ou les effets du capitalisme cognitif qui ne sont pas facilement quantifiables en termes de prix ou de coûts. Par exemple, la valeur de la préservation de l'environnement, la qualité de vie ou l'éthique dans les affaires peuvent être considérées comme des valeurs incommensurables dans l'économie. Ces aspects sont importants pour la durabilité

¹³⁹ Berners-Lee, T (1988, mars). *Information Management: A Proposal*. Conseil européen pour la recherche nucléaire (CERN). <https://www.w3.org/History/1989/proposal.html>

¹⁴⁰ Galbraith, J.K. (2004). *The Economics of Innocent Fraud: Truth For Our Time*. Houghton Mifflin Harcourt.

¹⁴¹ Godefroy, T., Lascoumes, P. (2004). *Le capitalisme clandestin : L'illusoire régulation des places*. La Découverte.

à long terme et le bien-être général, mais ils ne sont pas toujours pris en compte de manière adéquate dans les modèles économiques traditionnels qui se concentrent principalement sur les aspects monétaires.

Ainsi, l'extraction de la *valeur commensurable* mène à des productions à flux tendus, optimisées à outrance par l'objectif de la minimisation du paramètre des coûts et de la maximisation de la distribution des dividendes aux actionnaires (Stiglitz, 2004)¹⁴². Ce modèle économique, où l'objectif principal consiste à maximiser les profits pour les actionnaires en réduisant au minimum les coûts de production, se caractérise par une priorité accordée à l'extraction de la valeur monétaire mesurable pour satisfaire les actionnaires. L'objectif ultime est que les entreprises cherchent à générer le plus de bénéfices financiers possible tout en minimisant leurs dépenses.

Cependant, lorsque les entreprises optimisent leurs processus de production au maximum pour réduire les coûts, elles perdent de la robustesse. Cela signifie qu'elles deviennent vulnérables à des perturbations ou des changements inattendus, car elles n'ont pas de marges de manœuvre ou de ressources supplémentaires pour faire face à de telles situations. Ce système suroptimisé devient fragile (Taleb, 2014)¹⁴³. Il y a un constat de déséquilibre potentiel entre la recherche de profits immédiats pour les actionnaires et la vulnérabilité croissante des entreprises qui adoptent cette approche, car elles sont de moins en moins capables de faire face à des situations imprévues ou à des perturbations économiques.

Ce mode de production mise sur l'utilisation du *capital humain* et du *capital naturel*, de la planète sans tenir compte des écosystèmes et de leurs externalités. En dissociant les hommes du reste du vivant et de la nature (les animaux, la végétation, l'eau, etc.). En pensant que de faire disparaître les frontières entre la nature sauvage et la culture urbaine n'a pas de conséquences (Rouxel, 2009)¹⁴⁴.

Le moment tragique que nous a imposé la COVID19 doit nous amener à trouver des réponses aux questions qu'il soulève : pourquoi avons-nous l'apparition de la transmission de l'animal à l'homme et ensuite de l'homme à l'homme d'un virus qui tue sans distinction autre qu'une prépondérance pour l'âge et les prédispositions médicales, sans frontières ? Quelle est la vraie origine de cette pandémie ? Certes, l'origine de la COVID-19 ne sont pas directement liées au capitalisme néolibéral et à la financiarisation de l'économie, mais plutôt à des facteurs

¹⁴² Stiglitz, J.E. (2004). *The Roaring Nineties, Why We're Paying the Price for the Greediest Decade in History*. Penguin Books.

¹⁴³ Taleb, N. N. (2014). *Antifragile: Things That Gain from Disorder*. Random House Trade Paperbacks.

¹⁴⁴ Rouxel, P. (réalisateur). (2009). *Green*. <http://www.patrickrouxel.com/index.php/fr/films-fr/green-fr>

écologiques liés à des mouvements de populations et de changements environnementaux, en particulier en Chine. Cependant, ne peut-on pas valablement critiquer une dynamique économique et sociale qui promeut l'exploitation de l'homme par l'homme, alimentée par une course effrénée au profit dans le cadre d'un capitalisme néolibéral sans scrupules ? Une telle approche économique, axée sur le profit à tout prix, qui fait fi des droits de l'homme et porte atteinte à l'environnement naturel, ne crée-t-elle pas des conditions favorables à la prolifération et à la contagion ? Attendons-nous la venue d'un virus pour lequel 100 % des humains seront tués par simple contagion aérienne ? Voulons-nous la disparition de l'humanité ? Car le reste du vivant, comme le virus, restera, lui. Le risque de la COVID19 n'est pas un risque *individuel*, il est un risque *populationnel*. Tout comme les enjeux sur l'environnement et le changement climatique.

Le *capital naturel* est à la base de l'économie écologique, qui inclut l'aspect des ressources de la biosphère terrestre aux processus économiques : c'est une approche basée sur le *métabolisme* (Martinez-Alier et coll., 1998)¹⁴⁵. En appliquant cette proposition du métabolisme, l'économie passe alors d'un modèle *biologique* à un modèle *mécanique* pour culminer vers un modèle *organologique* (Stiegler, 2014)¹⁴⁶. La plus grande difficulté de ce passage est de définir le *système organologique* : ses composantes, son échelle. Quels minéraux, plantes, animaux, volume d'air et d'eau, pétrole et autres ressources doit-on inclure ? Sous quelle forme ? Quelles caractérisations qualitatives et quantitatives, commensurables ou non, doivent constituer le modèle ? (Golubiewski, 2012)¹⁴⁷. Et quels sont les impacts de l'utilisation de ces ressources par la production industrielle ou naturelle de biens et services écologiques : pour l'oxygène, l'eau potable, la prévention et l'adaptation aux effets du changement climatique, la pollinisation de diverses cultures végétales, le respect de la faune et pour l'offre de services touristiques et récréatifs ? (Pierce, 1993)¹⁴⁸

Par ailleurs, plusieurs études le démontrent depuis le début des années 70, dont l'ouvrage fondateur de la remise en cause d'un modèle économique basé sur la croissance, *The*

¹⁴⁵ Martinez-Alier, J., Munda, G. and O'Neill, J. (1998). Weak comparability of values as a foundation for ecological economics. *Ecological Economics*, 26(3), 277-286. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(97\)00120-1](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(97)00120-1).

¹⁴⁶ Stiegler, Bernard. (2014). *Digital studies : Organologie des savoirs et technologies de la connaissance*. FYP éd.

¹⁴⁷ Golubiewski, N. (2012). Is There a Metabolism of an Urban Ecosystem? An Ecological Critique. *Ambio* 41, 751–764. <https://doi.org/10.1007/s13280-011-0232-7>

¹⁴⁸ Pearce, D.W., Atkinson, G.D. (1993). Capital theory and the measurement of sustainable development: an indicator of 'weak' sustainability. *Ecological Economics*, 8 (2), 103–108.

limits to growth (Meadows et coll.)¹⁴⁹, des composantes critiques pour la vie humaine du *capital naturel* sont en décroissance parfois de façon alarmante. Les limites émanant de la destruction et de la pollution des ressources naturelles, incluant le vivant, par la surexploitation et l'épuisement de ces ressources qui sont toujours en observation (Chiesura et de Groot 2003)¹⁵⁰ (Daly, 2019)¹⁵¹ (Wasara, 2020)¹⁵², (IPCC, 2021)¹⁵³.

Les échanges de chaleur et de travail du métabolisme des écosystèmes, soumis aux principes de la thermodynamique, permettent d'observer que la dégradation imposée génère une *entropie* des divers écosystèmes de la planète, qui s'accélère. Est-il possible de mettre en place des actions de *négentropie* ? Et pour quelles composantes du *capital naturel* ?

H₂ : La destruction du *capital naturel* contraint les milieux urbains à repenser la production, la consommation et l'utilisation des moyens issus de la biosphère.

3.2 Les assises historiques du concept de capital naturel

À la fin du XVIII^{ème} siècle, le couplage entre l'individualisme des droits de l'homme et du capitalisme sous la forme de l'économie libérale comme nouveau lieu des guerres, a mené à la mise en place d'un modèle consumériste de croissance et d'épuisement des ressources tout en générant des opportunités d'amélioration de l'espérance de vie et de la qualité de vie.

Proposé par Adam Smith, le passage du mercantilisme du Souverain, de l'État, au libre-échange entre les individus, est le fondement de la pensée de l'économie libérale. Ainsi, cette école de pensée vise à limiter autant que possible l'intervention de l'État et à faire la promotion de la liberté économique par le libre-échange, la liberté d'entreprendre, le libre choix de consommer et de travailler. Le post-libéralisme ou néoclassicisme qui monte en puissance depuis le début des années 80 renouvelle les principes des fondements orthodoxes classiques.

À l'époque de Smith, le Souverain, le Bourgeois, le possédant se convertit en entrepreneur paternaliste. La seule façon pour les Sujets de le vaincre au jeu qu'il impose, c'est

¹⁴⁹ Meadows, D. H., et al. (1972). *The limits to growth*. New York.

¹⁵⁰ Chiesura, A. and de Groot, R. (2003). Critical natural capital: a socio-cultural perspective. *Ecological Economics*, 44 (2-3), 219-231. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00275-6](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00275-6).

¹⁵¹ Daly, H. (2020). A note in defense of the concept of natural capital. *Ecosystem Services*, 41. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.101051>

¹⁵² Wasara, G. (2020). Impact of Entrepreneurial Activities on Natural Capital. *Global Journal of Management And Business Research*, [S.l.]. <https://www.journalofbusiness.org/index.php/GJMBR/article/view/3105>.

¹⁵³ Skea, J., Shukla, P., Al Khourdajie, A. et Mc Collum, D. (2021). Intergovernmental Panel on Climate Change: Transparency and integrated assessment modeling. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 12 (5), 727.

de devenir, comme lui, entrepreneur - ce que les États-Uniens ont parfaitement compris depuis le *Boston tea party* de 1773 - *no taxation, without representation* (Note)¹⁵⁴ - ou de joindre les salariés, dès l'apparition des mouvements ouvriers à partir du XIX^{ème} siècle, par un syndicalisme (corporations de métiers et organisation ouvrière) visant à établir un rapport de force avec l'actionnaire de l'entreprise.

Ce *jeu*, combiné aux développements scientifiques dans toutes les disciplines, mena à des inventions fondatrices de la première révolution industrielle comme celle, en Angleterre, de la mécanisation du procédé de tissage avec la *navette volante* de John Kay en 1733 (Lord, 2013)¹⁵⁵ ou, au É-U, de la machine égreneuse pour séparer le coton de sa fibre (coton gin) de Eli Withney en 1794 (Dixit et coll., 2017)¹⁵⁶ - développant l'industrie américaine du coton. Tout comme celle, précédemment, de la machine à vapeur en 1769 par l'Écossais, James Watt (Rosen, 2010)¹⁵⁷ - développant ainsi le transport, par train et par bateau, offrant alors l'opportunité de l'intensification du développement économique et de la croissance. Et pour y parvenir, le capitalisme s'appuyait sur les actifs naturels abondants de l'époque, par rapport à la population mondiale.

Ainsi, à chaque machine, correspond une transformation. Cette transformation est associée à une réduction de la pénibilité du travail et des inégalités sociales, voire de l'esclavagisme. En revanche, à chaque machine correspond un besoin énergétique, sa nourriture en quelque sorte, et une éventuelle pollution. Les machines comme toutes les constructions ont une durée de vie. Sans maintenance, sans renouvellement de composants ou de systèmes et sans adaptation à de nouveaux usages (réusage/réutilisation, évolution des usages), leur déconstruction et recyclage, lorsque c'est possible, est la seule issue d'un cycle de vie difficile à évaluer au moment de la conception (*Design Life* ou DL).

Le *capital naturel* devient la pierre angulaire du spectaculaire développement économique du XX^{ème} siècle. En ce sens, il peut être défini comme les stocks mondiaux d'actifs naturels renouvelables ou non, qui comprennent l'ensemble des composantes de la

¹⁵⁴ Révolte politique de Boston dans l'État, alors province, du Massachusetts, contre le Parlement britannique alors que les coffres de la Couronne britannique étaient vides. Pour pallier cette économie ruinée, le Roi augmenta brutalement les taxes commerciales, dont celles sur le thé, avec les colonies. Le 16 décembre 1773, des Bostoniens jetèrent 45 tonnes de thé par-dessus bord afin de protester contre ce régime. Ce fut un événement phare de la Révolution américaine et de la guerre d'indépendance qui suivit.

¹⁵⁵ Lord, J. (2013). *Memoir of John Kay, of Bury; Inventor of the Fly-Shuttle*. TheClassics.us.

¹⁵⁶ Dixit, U.& al. (2017). *A Brief History of Mechanical Engineering, Materials Forming, Machining and Tribology*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-42916-8>

¹⁵⁷ Rosen, W. (2012). *The Most Powerful Idea in the World: A Story of Steam, Industry, and Invention*. University of Chicago Press.

Terre : la géologie, le sol, l'air, l'eau et le vivant dans toute sa biodiversité. Le concept de *capital naturel*, sans être formalisé, apparaît dans la théorie économique dès le XVIII^{ème} siècle (Wolloch, 2020)¹⁵⁸ afin de tenter de donner une représentation globale des processus de génération de la valeur (Missemer 2018)¹⁵⁹.

L'économiste Jean-Baptiste Say, dans son ouvrage présentant les concepts de *production, distribution et consommation*, émet la proposition qu'un « *produit terminé offre, dès cet instant, un débouché à d'autres produits pour tout le montant de sa valeur* » - loi de Say ou loi des débouchés (Say, 1814)¹⁶⁰. C'est l'offre qui domine et précède la demande. Plusieurs critiques de cette proposition sont possibles puisqu'elle mène nécessairement à une éventuelle surproduction ou même à la production de choses utiles en apparence, mais parfaitement inutiles par ailleurs. Ainsi commence l'accélération de la destruction du *capital naturel* et la mise en place des théories libérales de l'école autrichienne, vers 1871, qui propose de décorrélérer la *valeur* d'un bien ou d'un service de la valeur du *travail* effectué.

Pour sa part, dans sa théorie de la production, Léon Walras estime que le marché fonctionne comme une mécanique pure et parfaitement organisée dans une machine sans frottement. Il y identifie le capital personnel – les personnes, le salariat - ; le capital foncier - qui peut s'apparenter au *capital naturel* puisqu'il fait référence à la terre (*land*) ; le capital propre - associable au capital physique avec ses effets immatériels (Walras, 1874)¹⁶¹.

Bien évidemment, cette proposition en référence à la mécanique est réductrice et fait fi de la connaissance même développée du début du 19^{ème} par le physicien Nicolas Léonard Sadi Carnot (Carnot, 1872)¹⁶², dans un nouveau champ disciplinaire de l'époque : la thermodynamique. En effet, Carnot met les fondations d'une application pratique possible de ses théories à l'analyse systémique d'un écosystème, incluant le volet économique.

Parallèlement, le physicien allemand Rudolf Clausius contribue largement au développement de la thermodynamique, notamment, en proposant le concept d'*entropie* qui

¹⁵⁸ Wolloch N. (2020). Adam Smith and the concept of natural capital. *Ecosystem Services*, 43. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101097>.

¹⁵⁹ Missemer, A. (2018). Natural Capital as an Economic Concept, History and Contemporary Issues. *Ecological Economics*, 43. 90-96. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.07.011>.

¹⁶⁰ Say, J.-B. (1814). *Traité d'économie politique ou simple exposition de la manière dont se forment, se distribuent et se consomment les richesses*. A.-A. Renouard, Paris.

¹⁶¹ Walras, L. (1874). *Éléments D'Économie Politique Pure : Ou Théorie De La Richesse Sociale* (2010). Kessinger Publishing.

¹⁶² Carnot, S. (1872). Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance. *Annales scientifiques de l'É.N.S.*, 2^e série (1), 393-457. http://www.numdam.org/item?id=ASENS_1872_2_1_393_0

caractérise la transformation d'un système et son niveau de désorganisation. Par les pertes dans le système, le contenu en information qui en découle échappe à toute prédiction. Ces informations relèvent de l'imprédictibilité (Clausius, 1879)¹⁶³.

L'évolution la plus importante, à la fin du XIX^{ème} siècle et au début du XX^{ème}, de la réflexion sur la notion de *capital naturel* passera par la réflexion sur le *capital humain*, sur le vivant *humain*. Ainsi apparaissent des défenseurs de l'économie politique avec des apports en sociologie et en réflexions sur la démocratie avec comme référence, notamment, Karl Marx, Max Weber et Émile Durkheim. Les économistes issus de ce champ sont depuis qualifiés d'hétérodoxes par leur distanciation du courant néoclassique. Dans les traces de la critique de Karl Marx, l'économiste Joseph Schumpeter dresse ses théories sur la *destruction créatrice* et l'*innovation* (Schumpeter, 1954)¹⁶⁴ : d'une part, il identifie la réalisation d'un processus continu de l'économie par la production simultanée de la disparition et de création d'activités économiques et, d'autre part, il associe le déclenchement de ce processus continu de l'économie par la perturbation des rentes de situation ou des monopoles d'individus, d'entreprises ou de gouvernements, par ce que l'on nomme l'innovation - nouvelles méthodes d'organisation, de management, de mise en marché et commercialisation, de financement ; nouvelle source de travail, de matières premières ; nouveaux moyens logistiques, marchés, débouchés, produits, équipements, etc.

Afin de broser un portrait des conséquences sur le *capital naturel* du développement économique par le développement des machines, au moins sous la forme d'ordre de grandeur, depuis le milieu du XIX^{ème} siècle jusqu'à nos jours, présentons dans les prochaines pages une revue des principales ressources clés nécessaires pour la production mondiale.

3.3 La surface terrestre : répartition et densité

Voici à la Figure 3.1, l'utilisation des terres à l'échelle mondiale en 2019. Seulement 29% des 510 millions km² de la surface de la planète correspond à des terres. Si on exclut des terres, les glaciers (10%) et les terres stériles (19%), on estime à 104 millions de km² les surfaces de terres utilisables.

¹⁶³ Clausius, R. (1879). *The Mechanical Theory of Heat*. Macmillan and co., <https://survivingprogress.files.wordpress.com/2013/03/clausius1879.pdf>

¹⁶⁴ Stigler, G.J. (1954). Schumpeter's History of Economic Analysis. *Journal of Political Economy*, 62(4), 344-345.

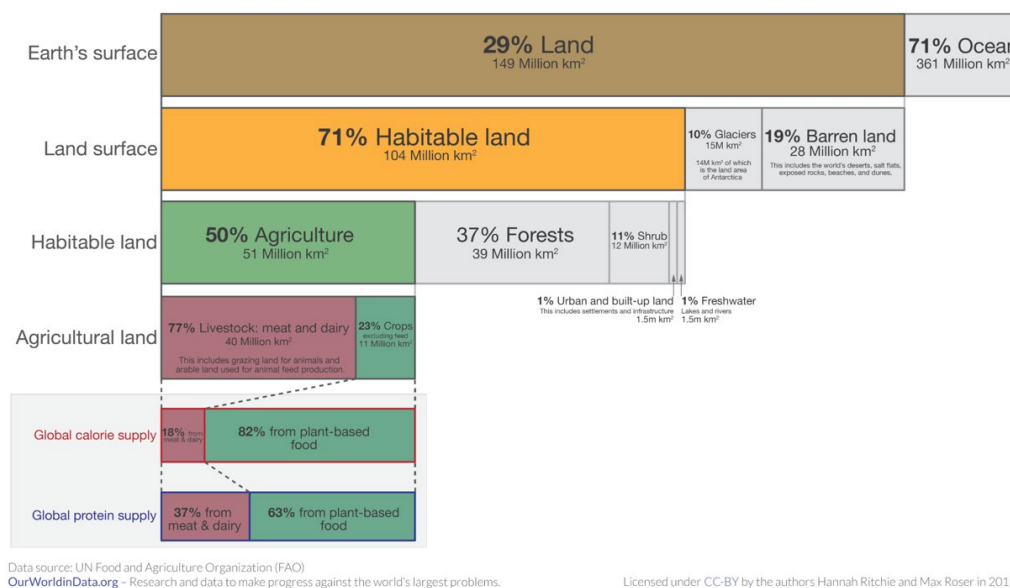


Figure 3.1 : Utilisation mondiale des terres pour la production alimentaire en 2019.

De ces terres habitables, 50 %, soit 51 millions de km², servent les besoins de l'agriculture, 37 % correspondent à des forêts, 11 % à des arbustes et enfin, environ 1 % pour les surfaces d'eau non saline (canaux, lacs et rivières) et 1 %, soit 1,04 million de km² de surface, pour les milieux urbains et les environnements construits (comme les infrastructures routières ou ferroviaires, p. ex.) (Roser et Ritchie, 2019)¹⁶⁵.

Rapportée à la population mondiale actuelle en milieu urbain, soit 56,2 % ou 4,38 milliards d'individus, la surface donne une densité moyenne de 4 215 personnes par km². C'est une densité similaire à des villes comme : Orléans, Rennes, Caen, Vichy ; et ailleurs : Montréal ; Toronto ; Miami ; Philadelphie ; Washington ; Berlin.

À titre de comparaison, voici la densité de certaines des plus grandes métropoles du monde (World population review, 2019)¹⁶⁶ : Dacca, 46 177 hab./km² ; Manille, 43 079 hab./km² ; Le Caire, 40 249 hab./km² ; Mumbai, 33 537 hab./km² ; Calcutta, 27 462 hab./km² ; Shanghai, 24 616 hab./km² ; Paris, 21 064 hab./km² ; Buenos Aires, 15 029 hab./km² ; Tokyo, 13 500 hab./km² ; New York, 10 896 hab./km² ; Moscou, 9 772 hab./km² ; Sao Paulo, 7 383 hab./km².

En considérant que la population en milieux urbains pourrait être, en 2100, autour de 80 % des 11 milliards de la population mondiale estimée, et si nous supposons que les surfaces

¹⁶⁵ Roser, M. & Ritchie, H. (2018, 30 août). *Future Population Growth*. OurWorldInData.org. <https://ourworldindata.org/future-population-growth>

¹⁶⁶ *World Population Review*. (2019, 18 décembre). <https://worldpopulationreview.com/>

des milieux urbains restent les mêmes, cela signifie que pour 6,2 milliards d'individus, la densité moyenne d'une ville serait d'environ 6 000 personnes par km². C'est une densité similaire à des villes d'aujourd'hui, en France, comme : Sèvres, Clamart, Argenteuil, Tourcoing. Pour comparaison, Lille est à 6 700 hab./km² ; Nancy, 6 900 hab./km² ; Grenoble, 8 700 hab./km². Et cela correspond aussi à des villes comme Vancouver ; Boston ; Jersey City ; Londres ; Milan ; Stockholm.

L'accroissement de la population mondiale pose aussi le problème d'approvisionnement en nourriture. L'accroissement important des rendements de la production agricole, par l'agriculture intensive, est la solution retenue depuis 1950 pour s'assurer de nourrir les populations. Et de manière contre-intuitive, ce type de culture est moins dommageable pour les écosystèmes que la culture biologique (*organic methods*) (Figure 3.2).

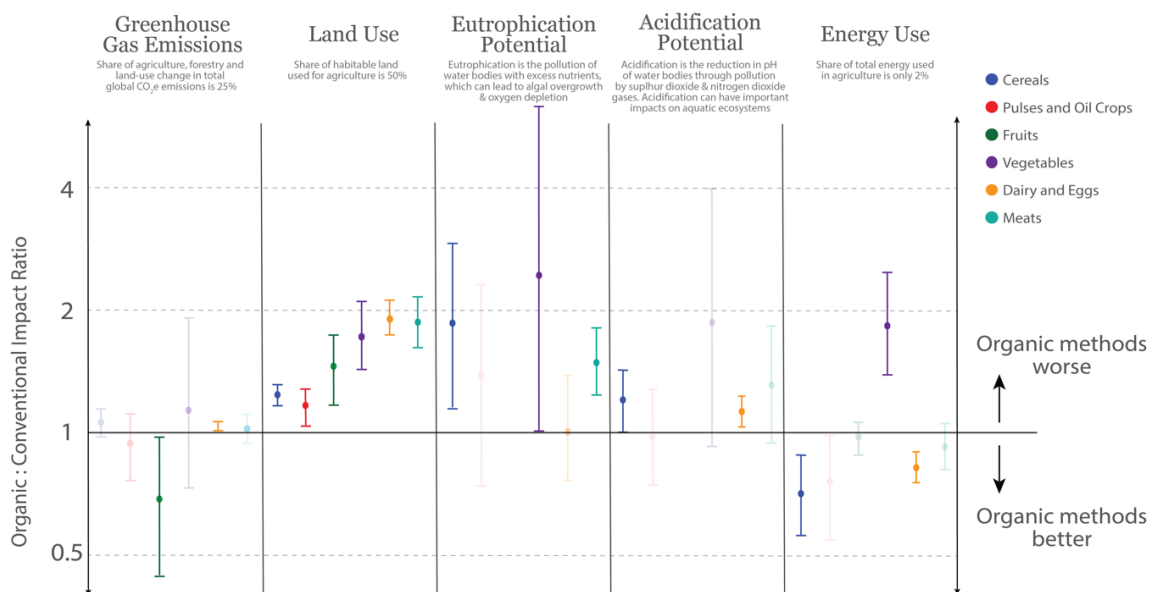


Figure 3.2 : Impacts environnementaux de l'agriculture biologique par rapport à l'agriculture conventionnelle en 2017 (Clark et Tilman, 2017)¹⁶⁷.

Si les méthodes biologiques devaient s'étendre, il serait impératif de modifier le bol alimentaire des humains. Ainsi, pour améliorer la capacité à nourrir la population mondiale dans le meilleur respect de l'environnement, il s'avère intéressant de considérer le développement de nourritures alternatives aux bœufs, moutons et chèvres - qui sont à forte utilisation des sols ou d'eutrophisation, par exemple - en le remplaçant, au moins partiellement, par des volailles ou des protéines végétales comme le montre la figure 3.3. Le besoin

¹⁶⁷ Clark, M., Tilman, D. (2017). Comparative analysis of environmental impacts of agricultural production systems, agricultural input efficiency, and food choice. *Environmental Research Letters*, 12(6).

alimentaire moyen par individu est d'environ 2 100 kilocalories par jour, hommes et femmes confondus.

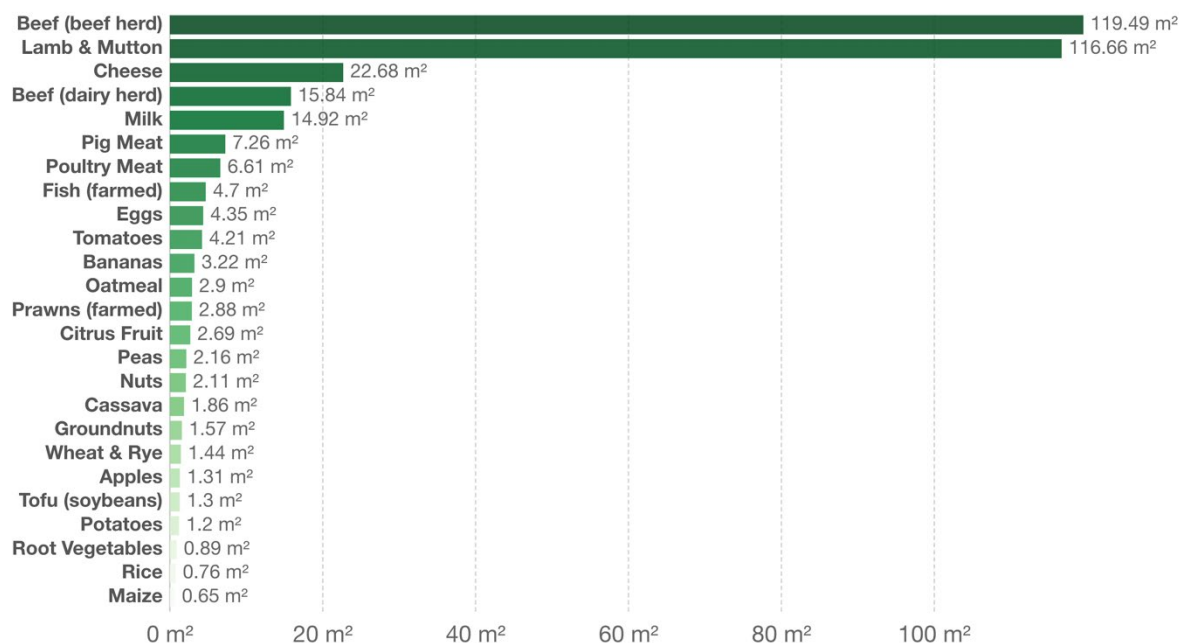


Figure 3.3 : Utilisation des terres pour 1000 kilocalories par type de nourriture et de production en 2018 (Poore, J. et Nemecek, T, 2018)¹⁶⁸.

Par ailleurs, le papier et le carton s'avèrent un indicateur de la consommation globale du fait de son utilisation mondiale dans différents aspects de l'économie et de son impact sur les zones forestières. Les efforts de recyclage depuis 1990 sont importants, mais la production augmente toujours malgré les promesses du *zéro papier* issues du développement de la micro-informatique et de l'internet à partir de cette époque.

D'environ 20 M tonnes par an au début du XXème siècle, la production mondiale est passée à environ 340 M tonnes par an en 2004, soit une augmentation de 1 600 %, alors que la population mondiale faisait un bon de 230 % (Figure 3.4) (Worton et coll., 2006)¹⁶⁹. En revanche, pour la période 1990-2010, au É.-U, par exemple, le taux de recyclage du papier est passé d'environ 33 % à 66 % (AF&PA, 2020)¹⁷⁰.

¹⁶⁸ Poore, J. et Nemecek, T. (2018). Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science*, 360 (6392), 987-992. <https://doi.org/10.1126/science.aag0216>

¹⁶⁹ Worton, D., Sturges, W., Schwander, J., Mulvaney, R., Barnola, J.M. et Chappellaz, J. (2006). 20th century trends and budget implications of chloroform and related tri- and dihalomethanes inferred from firn air. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 6, 2847-2863.

¹⁷⁰ American Forest & Paper Association. (2020, 23 mars). <https://www.afandpa.org/>

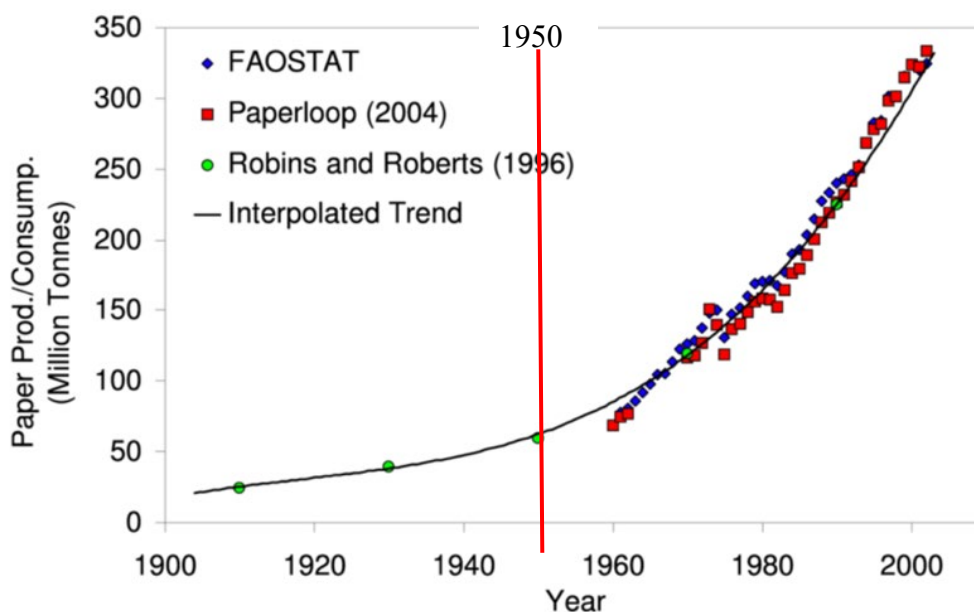


Figure 3.4 : La tendance mondiale de la production/consommation de papier au cours du XXème siècle (*FAO of the United Nations Online Statistics Service*)¹⁷¹.

En plus de l'exploitation forestière pour le bois d'œuvre, servant à la construction de bâtiments, de meubles et le chauffage au bois - sous la forme de plaquettes forestières (pour les chaufferies), de bûches (foyers, inserts et poêles), de granulés bois (poêles, chaudières, etc.), de briquettes ou bûchettes reconstituées -, les indicateurs de la déforestation se constatent par la création de nouvelles terres agricoles et l'étalement urbain. En 30 ans, la destruction mondiale des forêts correspond à environ 2,2 millions de kilomètres carrés, soit l'équivalent de 3,4 fois la superficie de la France (Figure 3.5) (FAO, 2020)¹⁷².

¹⁷¹ American Forest & Paper Association. (2020, 23 mars). <https://www.afandpa.org/>

¹⁷² Food and Agriculture Organization, electronic files and web site, License : CC BY-4.0. (2020, 28 janvier). *Forest area (sq. km)*. <https://data.worldbank.org/indicator/AG.LND.FRST.K2/>

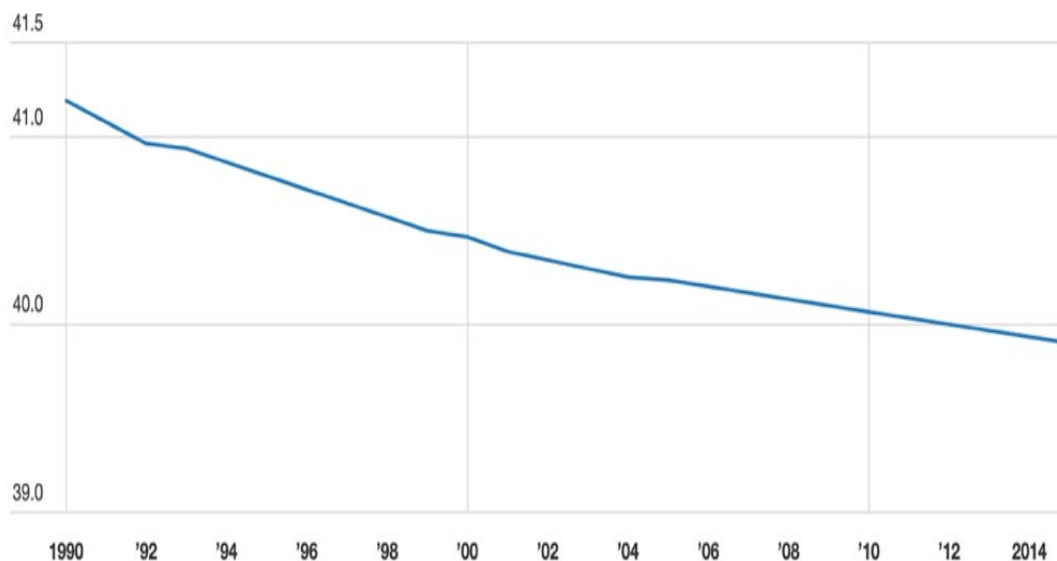


Figure 3.5 : Superficie forestière mondiale (millions de kilomètres carrés) pour la période 1990 à 2016 ¹⁷³

3.4 L'eau douce et les barrages: une utilisation liée

La surface de la planète est constituée de 71 % d'eau (Figure 3.1). Cette eau est pour 97,5 % de l'eau saline (eau des mers et océans) et 2,5 % d'eau douce. L'eau douce se retrouve sous la forme stockée dans les glaciers et la neige (68,7 %) ou en nappe d'eau souterraine ou aquifère (30,1 %). Enfin, environ seulement 0,03 % de l'eau de la planète - 1,2 % de l'eau douce - est accessible en surface par les rivières, les fleuves, les lacs (Oki, 2006).¹⁷⁴

Plus de 2 milliards d'individus sur Terre n'ont pas accès à de l'eau potable. Ainsi donc, l'eau est une denrée rare qui nécessite un prélèvement respectueux de son renouvellement et qui peut mener à des enjeux géopolitiques importants. Le contenu des mers et des océans est sans doute une source à mieux connaître, pour mieux l'exploiter et la protéger. Les eaux salines de la planète regorgent d'opportunités pour des produits et services écoresponsables qui méritent d'être étudiées davantage. Pour l'illustrer, de nouveaux procédés de dessalement existent (*Conference on desalination*, 2001)¹⁷⁵, l'utilisation de l'énergie issue des océans

¹⁷³ Food and Agriculture Organization, electronic files and web site, License : CC BY-4.0. (2020, 28 janvier). *Forest area (sq. km)*. <https://data.worldbank.org/indicator/AG.LND.FRST.K2/>

¹⁷⁴ Taikan Oki, et al. (2006). Global Hydrological Cycles and World Water Resources. *Science* 313,(1068). <https://doi.org/10.1126/science.1128845>

¹⁷⁵ Porosity, H. (2001). European Conference on desalination and the environment water shortage, Lemesos (Limassol), Cyprus, (May 28-31). *Desalination*, 138 (1-3), 1-396.

progresses (Bracco et coll., 2020)¹⁷⁶ et le remplacement de produits de plastiques par des produits à base d'algues commence à alimenter le marché (Algopack, 2015)¹⁷⁷.

Mais qu'en est-il de la distribution du prélèvement mondial de l'eau douce de 1900 à 2010 (Figure 3.6) ? En 1900, environ 95 % de l'eau prélevée servait à l'agriculture. Alors que sur les 4 300 km³ d'eau prélevée en 2010, 60,5 % étaient attribuables à l'agriculture, 18,6 % à l'industrie, 9,3 % aux milieux urbains et 11,6 % à des réservoirs. Depuis 1950, l'industrialisation, la croissance de la population, l'urbanisation sont la cause de l'augmentation rapide du prélèvement autre que celui pour l'agriculture. À noter que ce qui relève des réservoirs, cela correspond à l'eau évaporée issue de l'anthropisation, notamment par la construction de barrage pour la production d'hydroélectricité.

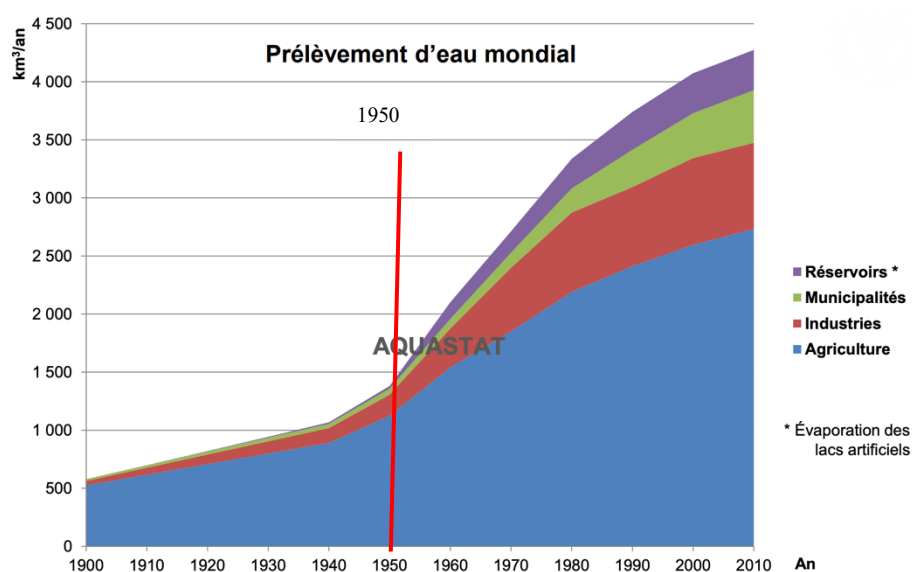


Figure 3.6 : Utilisation mondiale annuelle estimée de l'eau (Shiklomanov, 2010)¹⁷⁸.

Durant la période 1900-2010, la population mondiale a augmenté d'environ 4,4 fois alors que le prélèvement mondial d'eau a augmenté d'environ 7,3 fois au cours de la même période. La figure 3.7 montre la répartition très variable par continent et par industrie.

¹⁷⁶ Bracco, G., Canale, M. et Cerone, V. (2020) Optimizing energy production of an Inertial Sea Wave Energy Converter via Model Predictive Control. *Control Engineering Practice*, 96. <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2020.104299>

¹⁷⁷ Algopack. (2020, 23 mars). *Les algues, enjeux de transition écologique*. Youtube. <https://www.youtube.com/embed/ucQgBIMlqyM>

¹⁷⁸ Agriculture, Industries, Municipalités : FAO-AQUASTAT. (2010). I.A. Shiklomanov: 1900- 2000 ; Évaporation des lacs artificiels/réservoirs. <https://www.fao.org/aquastat/fr/overview/methodology/water-use>

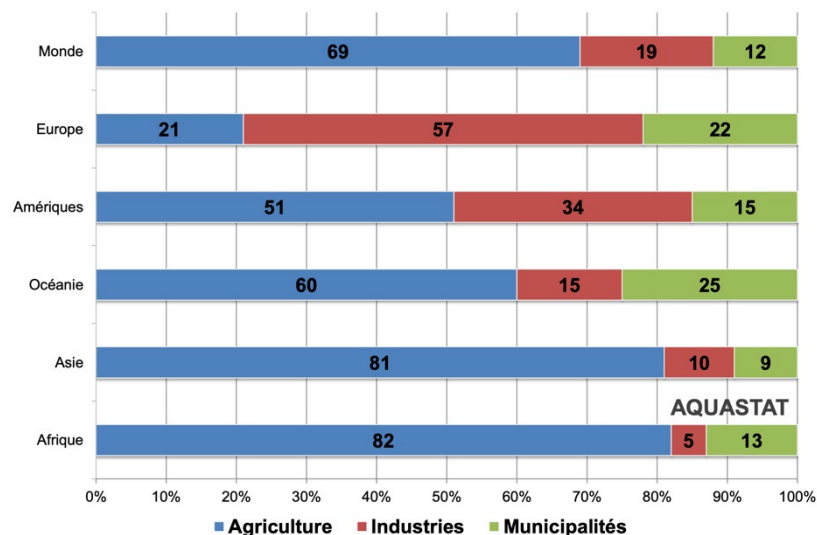


Figure 3.7 : Prélèvement d'eau par continent, excluant les réservoirs (FAO, 2015)¹⁷⁹.

On définit les grands barrages comme des structures de rétention d'eau qui répondent aux caractéristiques suivantes :

- Ayant une hauteur de rétention d'eau d'au moins 10 m ;
- Une longueur de crête d'au moins 500 m ;
- Un potentiel de déversement d'au moins 2000 m³/s ;
- Un volume de réservoir de 15 000 000 m³ ou plus.

À la figure 3.8, on retrouve la distribution de leurs constructions à partir essentiellement de 1800 et jusqu'en 2000. Sur la période de 200 ans, on observe une intensification des constructions de grands barrages durant la période de 1950 à 1990, principalement pour répondre à une augmentation des demandes en énergie électrique (hydroélectricité). La majorité des barrages ont entre 15 m et 60 m de hauteur (Hjorth et Bengtsson, 2012)¹⁸⁰. Ces ouvrages utiles pour l'obtention d'une énergie renouvelable propre et sûre génèrent toutefois des impacts non négligeables sur la faune, la flore et les terres - extinction de variétés d'espèces aquatiques, disparition ou déplacement hors de leur habitat naturel d'oiseaux ou d'animaux terrestres,

¹⁷⁹ FAO. (2015). Système d'information mondial de la FAO sur l'eau et l'agriculture. Aquastat. <http://www.fao.org/aquastat/fr/overview/methodology/water-use>

¹⁸⁰ Hjorth P. and Bengtsson L. (2012). Large Dams, Statistics and Critical Review. In: Bengtsson L., Herschy R.W., Fairbridge R.W. (eds) *Encyclopedia of Lakes and Reservoirs*. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4410-6_28

plaines inondées pertes d'hectares de forêts et de terres agricoles, érosion côtière - sans oublier les prélèvements liés à l'évaporation des réservoirs.

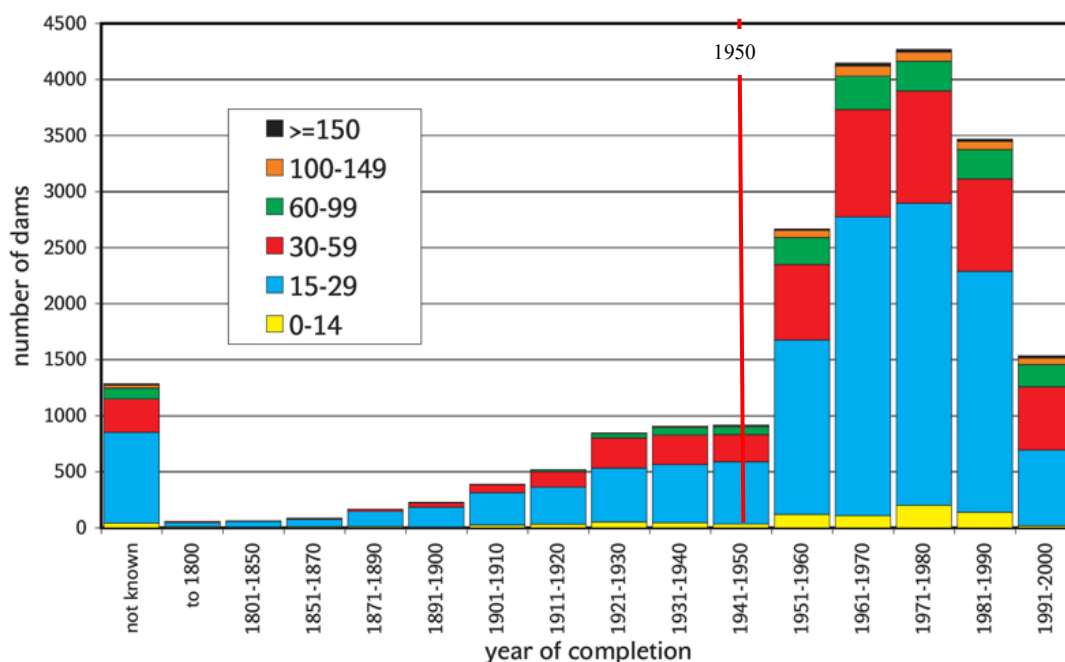


Figure 3.8 : Nombre de barrages construits par décennie, en fonction de la hauteur (m) du barrage, selon le *World Register of Dams* (non compris les barrages en Chine et en Russie)¹⁸¹.

3.5 Le numérique et les oxydes de terres rares : une pression réciproque

Plusieurs ressources constituant le *capital naturel* et leurs stocks méritent d'être décrites pour illustrer le manque de vision du capitalisme libéral. Les effets sur une croissance exponentielle et consumériste de l'économie depuis la fin du XIX^{ème} siècle et particulièrement depuis 1950 sont incontestables.

Plus que jamais, la science et l'industrie génèrent un nombre croissant d'informations dont l'outil principal est le traitement de données numériques : les programmes de recherche, académique ou industrielle, s'effectuent toujours davantage par des explications issues de faits, de données ponctionnées dans le monde réel - *méthode inductive* - tout en conservant l'approche traditionnelle des explications issues de causes - *méthode déductive*.

Or donc, cette multitude de données, leurs traitements et analyses constituent un levier fondamental pour développer l'économie. Les investissements privés visant à trouver les

¹⁸¹ Jandora, J. and Riha, J. (2008). *The failure of embankment dams due to overtopping*. Brno, Czech Republic: Vutium.

nouvelles *licornes* (Note)¹⁸² ne cessent de couler à flots. Et cela n'est pas sans conséquence sur les ressources naturelles liées au domaine des oxydes de *terres rares*.

Ainsi, la numérisation intensive constitue la voie la plus importante de la croissance. Uber, Airbnb ou Netflix sont les entreprises phares de la disruption, ou communément nommées ubérisation. C'est par ce processus, qui est au cœur de la dynamique en effervescence du numérique, que ce type d'entreprise mène une concurrence radicale aux usages, et vise la transformation de certains marchés de l'économie classique par l'utilisation massive des moyens et technologies numériques. L'utilisation de moyens de visioconférence pour réunir les collègues, les étudiants, les citoyens, durant la pandémie, en est un exemple éloquent. Ainsi, il y a davantage de matériels et composants (*hardware*) sophistiqués et avec de nouvelles propriétés pour animer une multitude d'applications numériques et de logiciels (*software*). Un marqueur significatif de la rapidité de ce développement est la loi de Moore (Moore, 1965)¹⁸³.

En quelque sorte, cette loi permet de comprendre pourquoi l'obsolescence numérique est un facteur important de la consommation des appareils liés aux technologies de l'information. Les observations de Moore se déroulent durant la période 1959 à 1965 et l'amènent à conclure que le nombre de transistors de puces à circuit intégré double environ tous les deux ans. Toujours valable cinquante-cinq ans après, ce déroulement exponentiel du développement technologique est révélateur de la capacité croissante à robotiser les procédés industriels et les *activités humaines non spécifiques*.

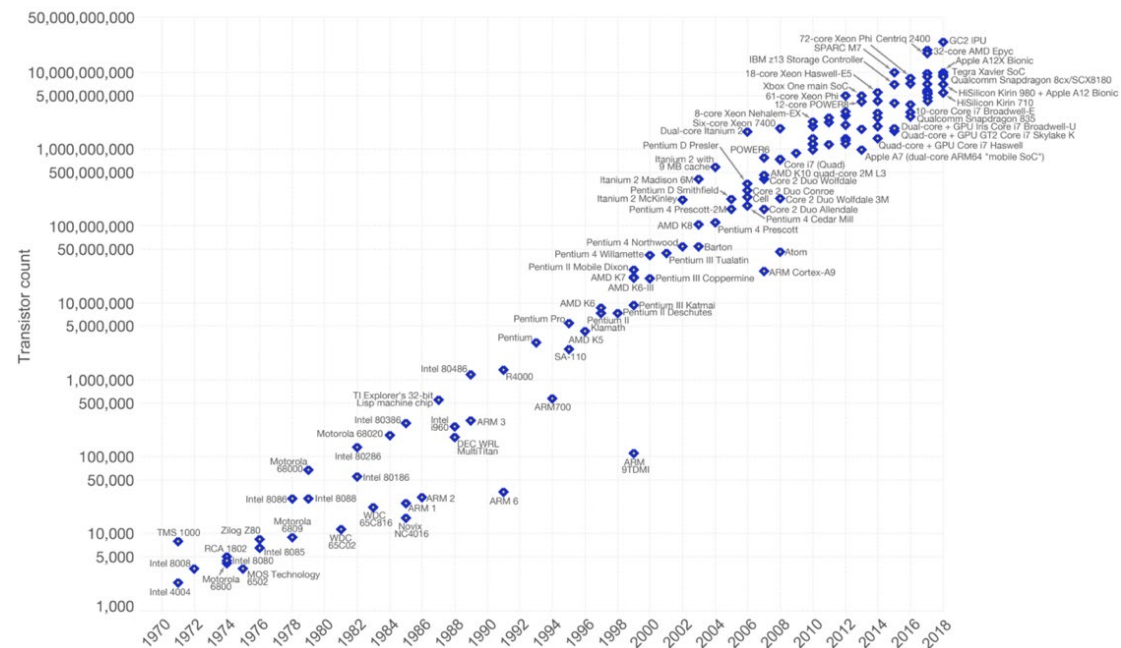
En somme, les ordinateurs de toutes sortes - centraux, de bureau ou portables - les téléphones intelligents, les tablettes, les capteurs et autres matériels qui sont directement tributaires de cette loi (Figure 3.9), s'avèrent devenir une préoccupation croissante en matière de recyclage ou de réutilisation, mais aussi en matière de consommation énergétique et de production de GES.

¹⁸² Les licornes sont des nouvelles sociétés privées, donc non cotées en bourse, dont la valorisation atteint plus d'1 milliard de dollars. Par exemple, en France, BlaBlaCar, OVH, Doctolib. Et ailleurs, Google, Facebook, Bytedance, Didi Chuxing, Stripe, Airbnb, SpaceX.

¹⁸³ Moore, G.E. (1965). Cramming More Components onto Integrated Circuits. *Electronics*, 3(8), 114-117.

Moore's Law – The number of transistors on integrated circuit chips (1971-2018)

Moore's law describes the empirical regularity that the number of transistors on integrated circuits doubles approximately every two years. This advancement is important as other aspects of technological progress – such as processing speed or the price of electronic products – are linked to Moore's law.



Data source: Wikipedia (https://en.wikipedia.org/wiki/Transistor_count)
The data visualization is available at OurWorldinData.org. There you find more visualizations and research on this topic.

Licensed under CC-BY-SA by the author Max Roser.

Figure 3.9 : Nombre de transistors de puces à circuit intégré de 1950 à 2015 (UN, 2015)¹⁸⁴.

Surtout que ces machines du numérique - ainsi que plusieurs autres utilisations dans le domaine du transport, des énergies renouvelables, de la construction de bâtiments, du développement et renouvellement des villes (*smart cities*) - sont de plus en plus dépendantes de l'exploitation de réserves minières d'où l'origine les terres rares (Pitron, 2018)¹⁸⁵.

Les terres rares sont des oxydes qui se nomment : Lanthane, Cérium, Praséodyme, Néodyme, Samarium, Europium, Gadolinium, Yttrium, Terbium, Dysprosium, Holmium, Erbium, Thulium, Ytterbium, Lutécium. Leurs principaux types d'usages sont : les aimants permanents ; les poudres de polissage, la catalyse du craquage des pétroles lourds ; la catalyse automobile ; les batteries Nickel-Métal ; les alliages métallurgiques ; l'industrie du verre et des céramiques ; les luminophores (écrans, ordinateur, éclairages domestiques et publics, etc.) ; les lasers ; les pierres à briquet ; l'imagerie médicale et le traitement du cancer ; dans le nucléaire pour l'absorption de neutrons dans les barres de contrôle de réacteur ; ainsi que de multiples

¹⁸⁴ United Nations, Department of Economic and Social Affairs Economic Analysis. (2017, 23 octobre).

US department of Agriculture. <https://www.un.org/development/desa/dpad/publication/frontier-technology-quarterly-september-2019-frontier-technologies-for-addressing-plastic-pollution/>

¹⁸⁵ Pitron, G. (2018). *La guerre des métaux rares : La face cachée de la transition énergétique et numérique*. Les liens qui libèrent.

applications dans le domaine de la défense (radar, sonar, vision nocturne, moteur électrique, etc.) (BRGM, 2015)¹⁸⁶.

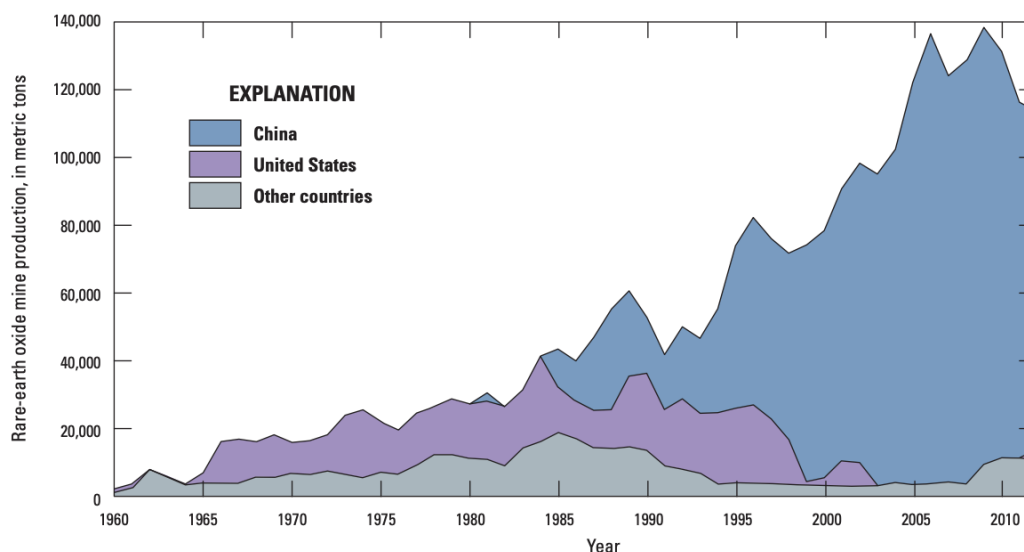


Figure 3.10 : Production minière mondiale d'oxydes de terres rares, par pays et année, 1960 à 2012 (U.S. Mines et Geological Survey, 1960-2016)¹⁸⁷.

Ces éléments se retrouvent en assez grande quantité à la surface du globe, toutefois leur extraction est ardue - à partir et de l'ordre de 1 gr par tonne alors que le cuivre, par exemple, est de l'ordre de 60 gr par tonne - et utilise des procédés ayant de lourdes conséquences sur l'environnement (Pitron et Turquier)¹⁸⁸. Les terres rares, comme l'illustre la figure 3.10, mènent aussi à des considérations géopolitiques et géostratégiques importantes du fait de la concentration en Chine de 97,3 % de la production mondiale de ces oxydes, alors qu'elle ne recèle que 50 % du stock mondial estimé (Richardson, 2010)¹⁸⁹ (Bacchus, 2011)¹⁹⁰.

En soi, les économistes estiment qu'avec l'abondance des réserves de ces minerais dans la croûte terrestre, issue des explorations récentes ; en tenant compte de l'évolution des technologies pour extraire de plus en plus en profondeur ; et en fonction de l'engouement pour les machines utilisant des terres rares - augmentant la volonté de payer -, il n'y aurait pas de

¹⁸⁶ Bru K., Christmann P., Labbé J.F. et Lefebvre G. (2015). *Panorama mondial 2014 du marché des Terres Rares*. Rapport public.

¹⁸⁷ Hobart M. King. (2020, 30 janvier). *REE - Rare Earth Elements and their Uses - The demand for rare earth elements has grown rapidly, but their occurrence in minable deposits is limited*. U.S. Bureau of Mines (1961-96) et U.S. Geological Survey (1997-2016). <http://geology.com/articles/rare-earth-elements/>

¹⁸⁸ Pitron, G. et Turquier, S. (2012). *La Sale Guerre des terres rares*. Mano a Mano, France Télévisions, Organisme détenteur - Mano a Mano.

¹⁸⁹ Richardson, M. (2010, 9 septembre). China races for High Tech. *Japan Times*.

¹⁹⁰ Bacchus, J. (2011, 20 mai). A Rear Earth Showdown Looms. *Wall Street Journal*.

problème de ressource. Autrement dit, avec une infinité de moyens financiers, il est estimé que l'on peut tout faire.

Seulement voilà, l'interdépendance de l'extraction et de l'utilisation finale des métaux rares à l'énergie consommée est indissociable. Estimer que l'industrie du tout *virtuel* se fait sans énergie carbonée relève de l'impensable : l'actuel modèle de croissance économique basée sur l'*offre* (les possibilités nouvelles) des GAFAM et BATX doit être repensé à l'aune de la *demande* (l'opportunité orientée par un besoin, un désir) des usagers. La condition d'obtention de ces minerais n'est donc pas limitée par les moyens financiers, mais plutôt par l'accès à de l'énergie en quantité suffisante, figure 3.11 (Shift Project, 2018)¹⁹¹. Et même si les recherches pour développer des techniques de recyclage ou de réutilisation sont de plus en plus nombreuses, cette solution fait face à des difficultés importantes du fait d'une utilisation très fréquente des métaux rares sous la forme d'un alliage.

Enfin, ces constats militent pour une recherche de la sobriété numérique. Comme l'indique Hughes Ferreboeuf, « La sobriété numérique, c'est passer d'un numérique instinctif, voire compulsif, à un numérique piloté, qui sait choisir ses directions : au vu des opportunités, mais également au vu des risques. » (Ferreboeuf et coll., 2020.)¹⁹² Lorsqu'elle est mal maîtrisée, la logique est celle d'une consommation exacerbée (pulsion de mort) plutôt de celle du désir des humains.

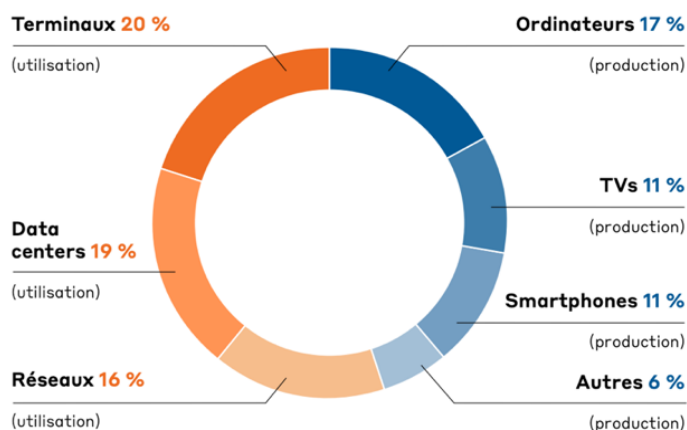


Figure 3.11 : Distribution de la consommation d'énergie finale du numérique par poste pour la production (45 %) et l'utilisation (55 %) en 2017 (Shift Project, 2018)¹⁹³

¹⁹¹ Ferreboeuf, H. & al. (2018). *Lean ict, pour une sobriété numérique*. The Shift Project. <https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2018/11/Rapport-final-v8-WEB.pdf>

¹⁹² Ferreboeuf, H. & al. (2018). *Déployer la sobriété numérique*. The Shift Project. <https://theshiftproject.org/article/deployer-la-sobriete-numerique-rapport-shift/>

¹⁹³ Ferreboeuf, H. & al. (2018.) *Lean ict, pour une sobriété numérique*. The Shift Project. <https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2018/11/Rapport-final-v8-WEB.pdf>

3.6 Les véhicules à moteur et les matériaux plastiques : la pollution au quotidien

En observant parmi les produits visibles au quotidien, les véhicules à moteur et les matériaux plastiques sont sans aucun doute ceux qui suscitent le plus de controverse par le déséquilibre qu'ils génèrent entre leurs externalités positives (coûts de production et d'utilisation moins élevés, diversité d'usages, etc.) et leurs externalités négatives (production de GES, dont le CO₂, pollution ayant un impact sur la biodiversité, etc.).

On constate une ampleur et une croissance phénoménale à l'échelle mondiale de l'utilisation de ces produits depuis 1950. Par ailleurs, ces deux produits s'associent avec le *capital naturel* sous l'angle de deux préoccupations majeures : celle de l'énergie consommée et celle de sa capacité à polluer la nature, au moment de son utilisation - pour les véhicules - et à la fin de leur vie utile – pour les deux -, avec tous les effets sur l'écosystème.

Ainsi, en 1950, il se produisait environ 10 millions de véhicules à moteur alors qu'en 2013, la production s'élevait à près de 90 millions de véhicules. Malgré un recul au moment de la crise financière mondiale de 2007-2008, la production fut de 9 fois supérieure pour la période de 65 ans alors que la population mondiale, pour la même période, augmentait d'environ trois fois plus (Figure 3.12).

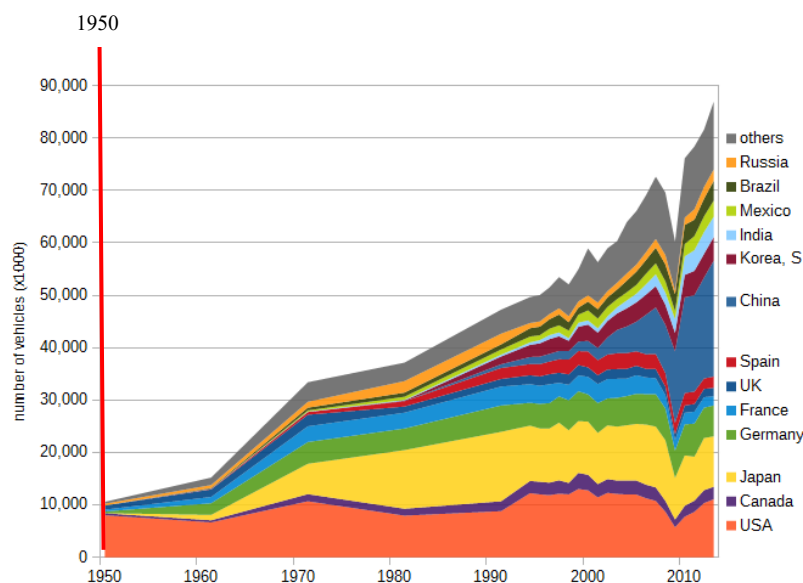


Figure 3.12 : Volume mondial de production de véhicules à moteur par pays, 1950-2013
(Masaqui, 2014)¹⁹⁴.

¹⁹⁴ Masaqui. (2014, 23 décembre). *Motor vehicle production from 1950 to 2013*. data source: U.S. DOT Table 1-23: World Motor Vehicle Production, Selected Countries, values of 1950 are from: List of countries by motor vehicle production. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Motor_Vehicle_Production_1950_2013.png

En ce qui a trait au plastique, ce polymère issu de la chimie de synthèse, sa production était en 1950 d'environ 1,7 million de tonnes métriques (Mt) pour atteindre environ 380 Mt en 2015, soit une augmentation de 224 fois la production annuelle. Alors que, pour la même période, la population augmentait de trois fois (Figure 3.13).

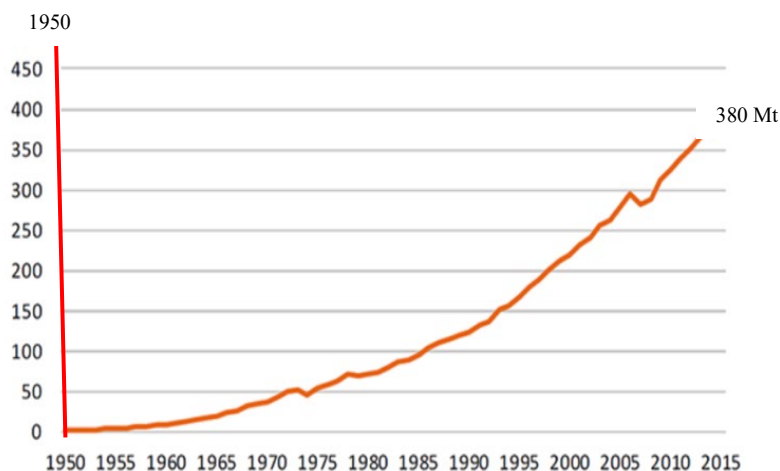


Figure 3.13 : Production mondiale de plastique primaire (millions de tonnes) de 1950 à 2015 (Islam et coll., 2019)¹⁹⁵.

La production mondiale primaire cumulée de plastique pour la période 1950 à 2015 est évaluée à 8 300 Mt, dont : 2 500 Mt sont en cours d'utilisation (30,1 %) ; 700 Mt sont incinérées (8,4 %) ; 500 Mt sont recyclées (6,08 %) et environ 4600 Mt polluent la planète (55,42 %) (Geyer et coll., 2017)¹⁹⁶. Avec une dégradation à faible taux, sur une période pouvant aller jusqu'à 400 ans, le plastique génère une pollution importante sur la terre, mais aussi dans les cours d'eau, en mer et dans les océans.

À la figure 3.14, on retrouve la production mondiale par secteur d'activité. Environ 86 % sont répartis entre les emballages (36 %), l'industrie du bâtiment (16 %), celle du textile (14 %) et les produits grand public et institutionnel (10 %). La filière de recyclage, réutilisation ou valorisation (combustible énergétique) doit devenir plus active et les produits de substitution doivent amener à éliminer l'utilisation intensive des matières plastiques pour chacune de ces filières.

¹⁹⁵ Islam, S., Sloan, J., Dogan, B. et Gabe, S. (2019). *Frontier Technology Quarterly, September 2019: Frontier technologies for addressing plastic pollution. 1*. United Nations, Department of Economic and Social Affairs Economic Analysis

¹⁹⁶ Geyer, R., Jambeck, J. et Law, K. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advance* 3.

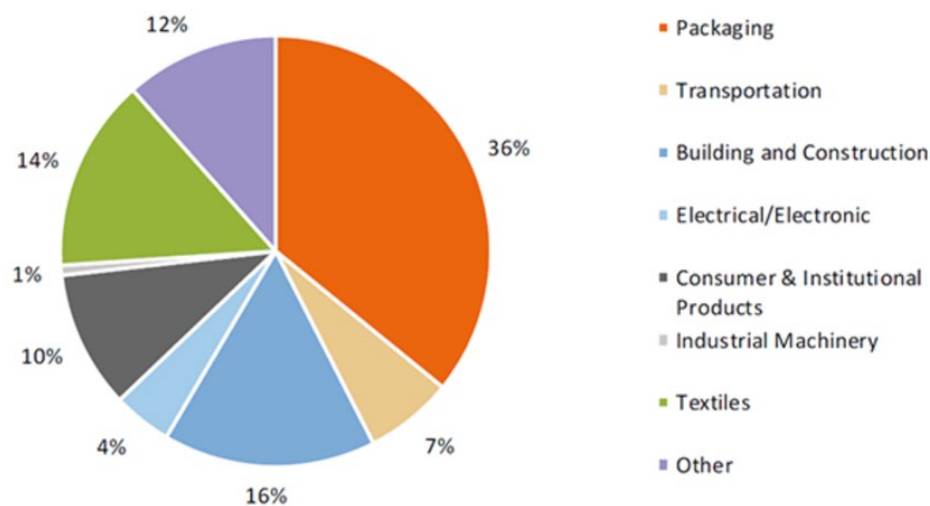


Figure 3.14 : Production mondiale de plastique primaire en 2015 par secteur d'activité, en % (Islam et coll., 2019)¹⁹⁷.

3.7 L'énergie : pour une production de masse et de GES

Depuis la montée en puissance de la révolution industrielle dans le courant du XIX^{ème} siècle, la production de masse n'a cessé de se diversifier et de s'accroître pour répondre à une population croissante. Les inventions de machines de toutes sortes, pour démultiplier le travail (joule) (Note)¹⁹⁸ des humains, génèrent alors une utilisation toujours croissante de carburant pour une énergie non renouvelable et polluante : les énergies carbonées. Et pourtant, avant cette époque, la production d'énergies, en plus de celle des individus (d'où l'intérêt de familles nombreuses), était exactement celle visée de nos jours : les énergies renouvelables (EnR) – par l'utilisation du vent, du soleil, du sol, de la biomasse, de l'hydraulique.

À la figure 3.15, on retrouve la « production mondiale d'énergie primaire » pour différentes sources d'énergie. En 2016, la production d'énergie carbonée représente 84,7 % de la production mondiale - Pétrole : 33,3 % ; Charbon : 28,2 % ; Gaz naturel : 23,2 %. Le nucléaire est dans une proportion de 4,5 % et les énergies renouvelables sont à environ 10,8 %. En 1900, 94,4 % de la production était du charbon, 4,15 % du pétrole, 1,3 % du gaz naturel et l'hydroélectricité représentait 0,14 %. Le reste était essentiellement de la tourbe.

¹⁹⁷ Islam, S., Sloan, J., Dogan, B. et Gabe, S. (2019). *Frontier Technology Quarterly, September 2019: Frontier technologies for addressing plastic pollution. 1*. United Nations, Department of Economic and Social Affairs Economic Analysis

¹⁹⁸ Le Système international, présente le joule (J) comme unité pour quantifier l'énergie, la quantité de chaleur et le travail. Quelques conversions clés : 1 J est égal à : i) en Kilowatts-heures : $2,78 \times 10^{-7}$ kW h ; ii) en Calories : 0,239 cal ; iii) en BTU (British Thermal Unit) : $9,48 \times 10^{-4}$ BTU ; iv) en Électrons-volts : $6,24 \times 10^{18}$ eV.

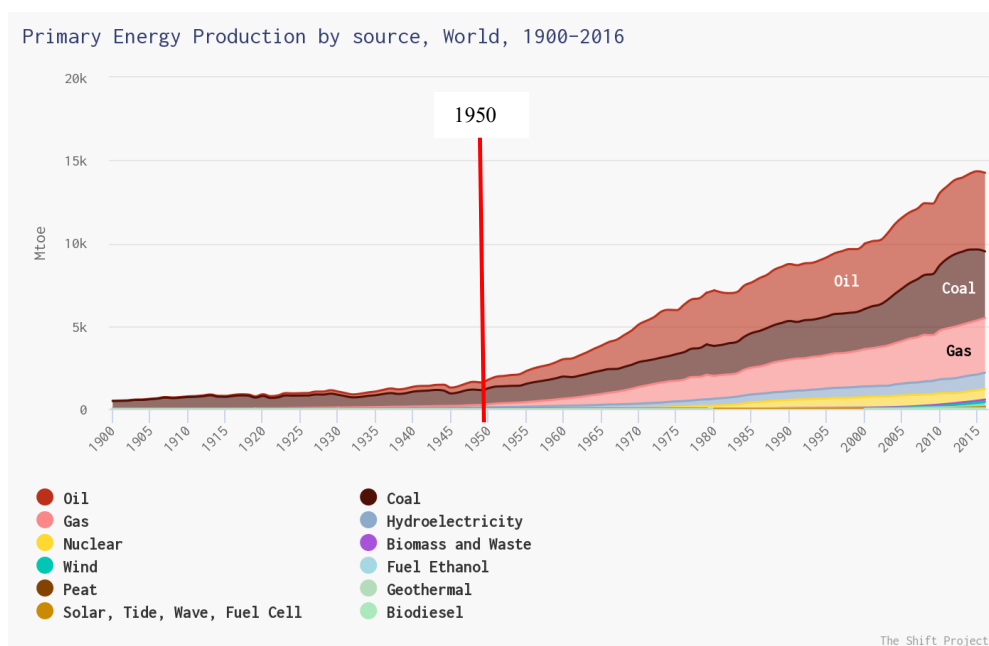


Figure 3.15 : Production mondiale d'énergie primaire 1900 à 2016 (USEIA, 2017)¹⁹⁹.

En 2016, pour combler les besoins énergétiques d'un individu, la production mondiale d'énergie primaire était de 1,95 tep (toe) par personne. En 1900, la production pour répondre aux besoins était de 0,308 toe par personne. Il y a donc eu environ 6,3 fois plus de production par habitant depuis 116 ans.

L'image historique de la « consommation de l'énergie primaire mondiale » est comptabilisée essentiellement depuis les exigences d'économie d'énergie liées à la crise du pétrole des années 1974-1975. À la figure 3.16, on retrouve les consommations de l'énergie primaire par source pour la période 1980 à 2016. En passant de 7 090 Mtep en 1980 à 14 500 Mtep en 2016, soit 105 % d'augmentation, alors que la population mondiale pour la même époque augmentait de 65,9 %, on constate un taux plus rapide de consommation d'énergie que de croissance de la population. Les opportunités d'utiliser des machines ne font que s'accroître, notamment par le développement d'infrastructures, industrielles, urbaines, d'habitats, de services (santé, éducation, sécurité, etc.) dans les pays émergents.

¹⁹⁹ US Energy Information Administration. (2020, 20 janvier). theshiftdataportal.org.

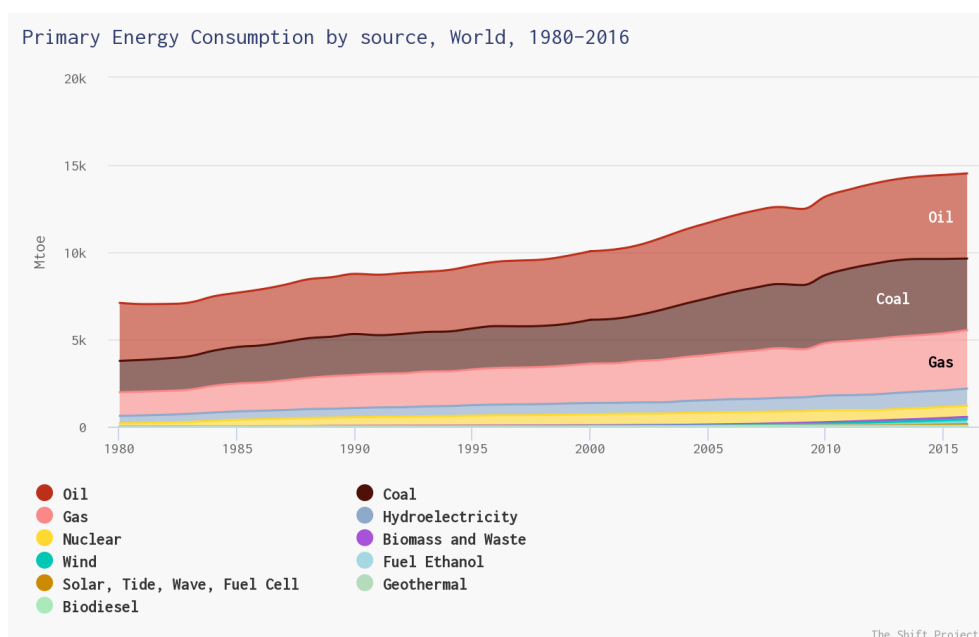


Figure 3.16 : Consommation mondiale d'énergie primaire 1980 à 2016 (USEIA, 2017)²⁰⁰.

Par ailleurs, la proportion mondiale d'énergie carbonée consommée en 1980 était de 91,4 %, alors qu'en 2016, la valeur relative diminuait à 85 % tout en augmentant significativement la consommation en valeur absolue (M toe).

En France, pour la période de 1900 à 2016, à la figure 3.17, on retrouve la « production d'énergie primaire » pour différentes sources d'énergie. En 2016, la production d'énergie carbonée représente moins de 0,8 % de la production nationale : la France est importatrice de pétrole, de charbon et de gaz naturel. Le nucléaire représente 78,4 % de la production d'énergie primaire et les énergies renouvelables sont à environ 20,8 %, le double de ce que nous retrouvons à l'échelle mondiale pour les EnR. En 1900, 99,9 % de la production était du charbon. En matière de production d'énergie primaire, la France est donc exemplaire en ce qui concerne la minimisation de production d'énergie carbonée. Au total, la France a produit 128 M toe en 2016, soit 0,9 % de la production mondiale d'énergie primaire de 14 500 M toe, pour une population représentant 0,9 % de la population mondiale.

²⁰⁰ US Energy Information Administration. (2020, 20 janvier). theshiftdataportal.org

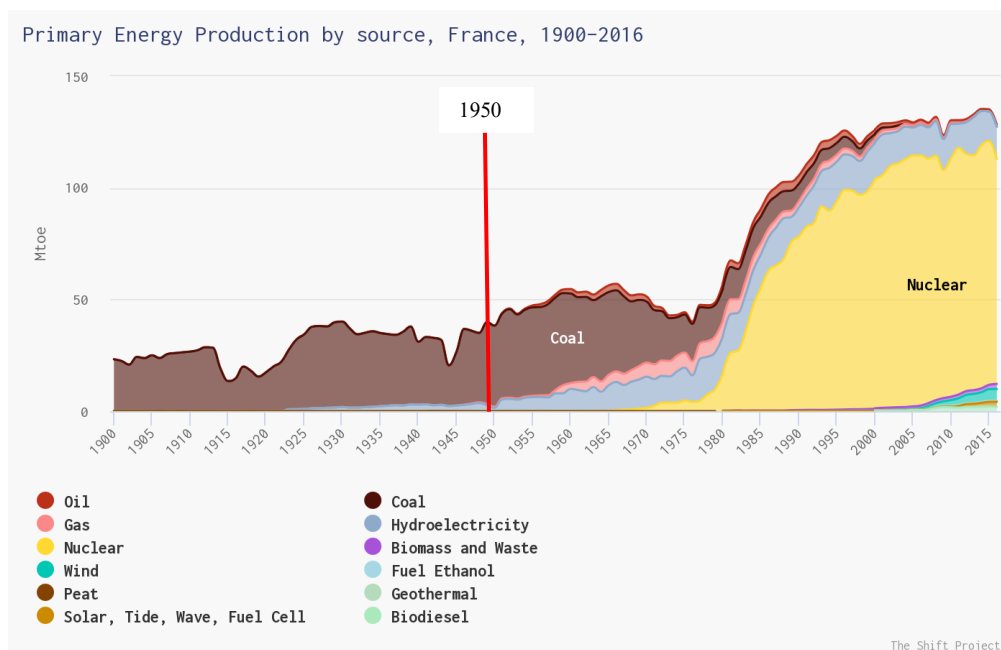


Figure 3.17 : Production d'énergie primaire en France, 1900 à 2016 (USEIA, 2017)²⁰¹.

En ce qui concerne la « consommation d'énergie primaire » en France pour la période de 1980 à 2016, la figure 3.18 présente une augmentation de 20 %, soit de 213 M toe à 257 M toe. Pour la même période, la population de la France augmentait de 20,1 %. Il y a une causalité entre les deux variables.

En revanche, en 2016, l'énergie primaire nécessaire à la consommation d'un Français était de 4,07 toe par personne. En 1980, elle était de 3,94 toe par personne. Par rapport à la moyenne mondiale de 1,96 toe par personne, en 2016, un Français consomme environ 108 % de plus par an.

En ce qui concerne le bilan français pour différentes sources d'énergie. La consommation finale d'énergie carbonée représente 50,2 % de la consommation nationale - Pétrole : 31 % ; Charbon : 3,2 % ; Gaz naturel : 16 %. Le nucléaire est dans une proportion de 39,2 % et les énergies renouvelables sont à environ 10,6 %. En 1980, 84,2 % de la consommation était de l'énergie carbonée – 56,8 % en pétrole, 11 % en gaz naturel, 16,4 % au charbon, le nucléaire, 7,7 % et l'hydroélectricité et les autres énergies renouvelables représentaient 15,8 %. En 2016, c'est donc l'augmentation de la consommation par le nucléaire qui a fait diminuer la proportion d'énergie renouvelable, mais aussi celle de l'énergie carbonée.

²⁰¹ US Energy Information Administration. (2020, 20 janvier). [theshiftdataportal.org](https://www.theshiftdataportal.org)

En somme, en 2016, la France consomme deux fois plus d'énergie primaire (4,07 toe par personne) qu'elle n'en produit (2,10 toe par personne). La France est malgré tout proportionnellement beaucoup moins consommatrice d'énergie carbonée que ce qui se pratique à l'échelle mondiale (France : 50 % ; Monde : 85 %), même si un Français consomme environ le double de la consommation individuelle d'énergie primaire mondiale.

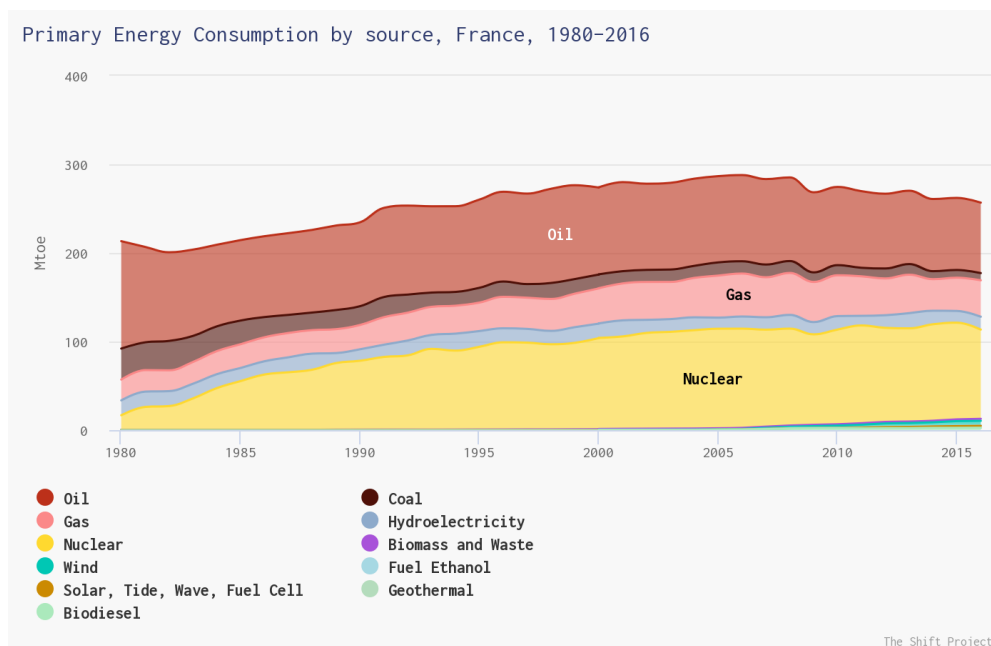


Figure 3.18 : Consommation d'énergie primaire en France, 1980 à 2016 (USEIA, 2017)²⁰².

L'intérêt de l'énergie carbonée, c'est sa flexibilité (utile dans diverses situations) ; sa valeur économique jugée acceptable - en revanche, le coût du stock de la ressource, avant extraction, n'est jamais pris en compte dans le prix - ; et la possibilité de l'utiliser sans intermittence, contrairement aux EnR qui nécessitent l'utilisation de stockage dans des batteries.

Ainsi, les énergies carbonées produisent du CO₂ qui génère, par exemple, une toxicité de l'air intérieur des bâtiments dans le cas d'une trop forte concentration - ce qui implique des renouvellements d'air fréquents dans les locaux - et qui est, dans l'atmosphère terrestre, un composant gazeux qui contribue à l'effet de serre (GES) menant au réchauffement climatique. Paradoxalement, le CO₂ est un nutriment essentiel à la croissance des végétaux étant le catalyseur de la photosynthèse.

²⁰² US Energy Information Administration. (2020, 20 janvier). theshiftdataportal.org.

À l'échelle mondiale, on observe une proportion de 73 % des émissions de GES qui sont issues de l'énergie carbonée (charbon, pétrole, gaz naturel). Celle qui sert à alimenter les machines (pour se déplacer, pour la production de masse, pour se chauffer, etc.) afin d'augmenter le travail des individus et qui génère notamment le CO₂. C'est ce type d'énergie qui est principalement ciblé par les réductions de GES. Les autres sources de GES sont : i) le méthane (CH₄) issu essentiellement de l'élevage de bœufs, de moutons et de chèvres, à 20 %, ce pourcentage pourrait diminuer avec une modification du bol alimentaire ; ii) le protoxyde d'azote (N₂O) qu'on retrouve en grande partie lors de la transformation d'engrais, de fumier, de lisier et autres résidus agricoles, pour 5 % ; iii) et les gaz fluorés utilisés principalement dans le secteur des fluides frigorigènes (réfrigérateurs, systèmes de refroidissement), pour 2 % (Figure 3.19).

Pour comparer, en France, on observe des proportions similaires de 69 % pour le CO₂ ; 15 % pour le méthane (CH₄) ; 11 % pour le protoxyde d'azote (N₂O) et ; 5 % pour les gaz fluorés.

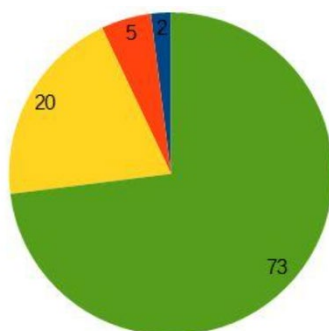


Figure 3.19 : Émissions mondiales de GES par gaz (% du total en CO₂ eq en 2014), **vert** : ; CO₂ ; **jaune** CH₄ ; **rouge** N₂O ; **bleu** : gaz fluorés (PFC, HFC, SF₆) (GIEC, 2014)²⁰³.

Ainsi, à l'échelle mondiale, c'est plus de 36,2 milliards de tonnes d'émissions de CO₂ qui sont produites annuellement et qui sont réparties comme suit 53 % en Asie ; 18 % en Amérique du Nord ; 17 % en Europe et moins de 10 % pour l'Afrique, l'Amérique du Sud et l'Océanie combinées (Figure 3.20).

²⁰³ GIEC. (2014). *Infographie*. <https://www.ecologie.gouv.fr/inventaire-demissions-gaz-effet-serre>

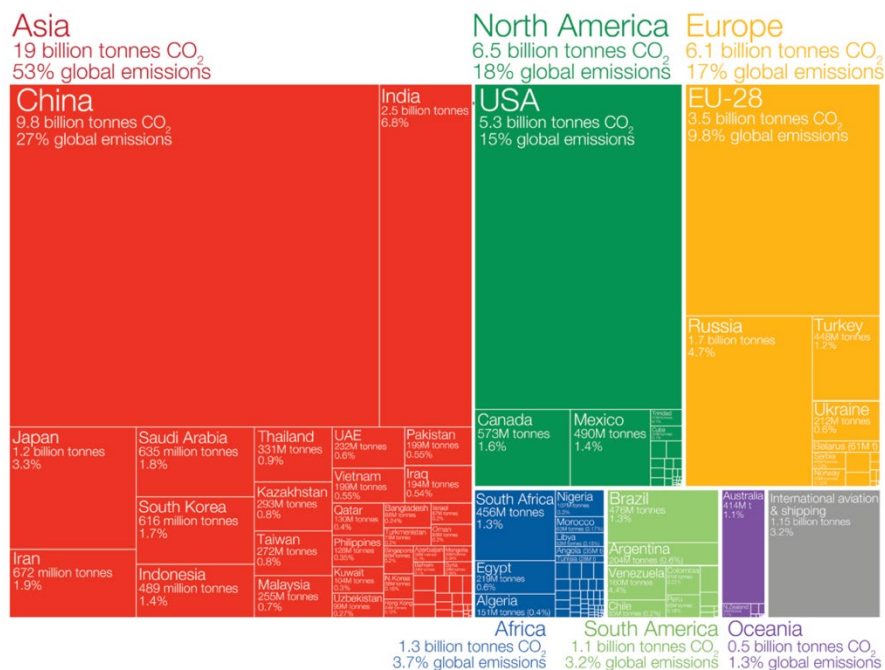


Figure 3.20 : Répartition des 36,2 milliards de tonnes d'émissions mondiales de CO₂ par continent (Ritchie, 2017)²⁰⁴.

En 2018, l'émission de CO₂ mondial par habitant, était de 4,79 tonnes CO₂. À titre de comparaison, les empreintes des pays du Golfe varient entre 39,77 t CO₂ pour le Qatar à (17,91) pour le Brunei. Les pays ayant de l'industrie lourde et des mines en grand nombre, comme l'Australie (16,96), les États-Unis (16,21) et le Canada (15,55) suivent. L'Europe atteint (8,94), dont la France à (5,34), du fait de sa production et consommation d'énergie nucléaire. L'Afrique se situe à (1,10) et l'Amérique du Sud à 2,68 t CO₂ par habitant (Ritchie, 2019)²⁰⁵.

À la figure 3.21, l'Asie, illustrée par l'Inde et la Chine, présente une tendance à la hausse plus marquée depuis au moins 30 ans, ce qui coïncide avec la désindustrialisation massive des régions de l'Amérique du Nord et de l'Europe qui, elles, réduisent leur production d'émission de CO₂. Il y a donc eu depuis 1980, avec une accélération remarquable depuis 2000, un transfert de l'empreinte du CO₂ des pays industrialisés vers les pays émergents (Chine, Inde, etc.).

²⁰⁴ Ritchie, H. (2019). *Who emits the most CO₂ infographie*. <https://ourworldindata.org/annual-co2-emissions>

²⁰⁵ Ritchie, H. (2019). *Where in the world do people emit the most CO₂?* <https://ourworldindata.org/per-capita-co2>

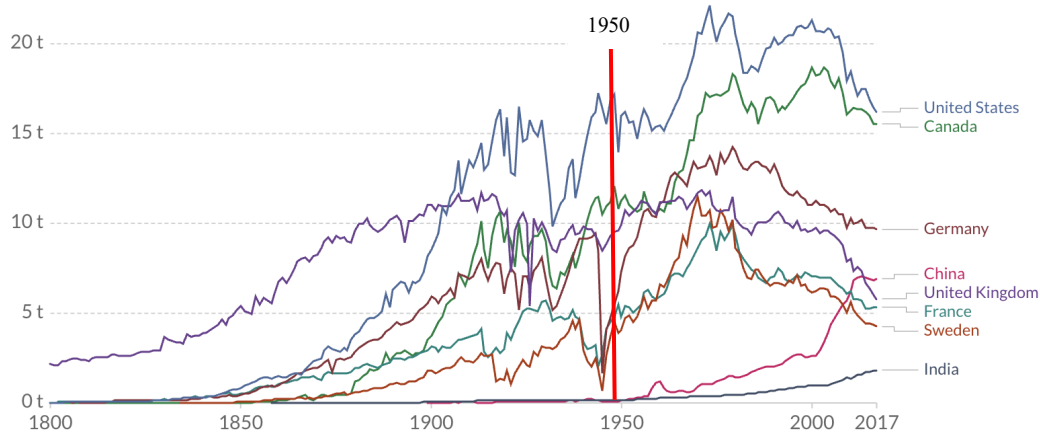


Figure 3.21 : Émissions de CO₂ par habitant (pays divers) (combustion de combustibles fossiles pour la production d'énergie et de ciment.) (Ritchie, 2017)²⁰⁶.

Par conséquent, mondialement la tendance haussière continue. En effet, de 1800 à 2018, l'émission mondiale de GES en fonction du type de carburant a suivi une progression exponentielle. En 2018, la production de tonnes de CO₂ fut 6,2 fois plus élevée qu'en 1950, alors que la population progressait de 3 fois plus (Figure 3.22).

C'est d'abord le charbon qui est apparu comme premier carburant, autre que la biomasse, distribuée et industrialisée au milieu du XIX^{ème} siècle. Le point d'accélération des émissions et de diversification des sources d'énergie carbonées apparaît vers 1950. Il y avait alors 5,8 milliards de tonnes d'émission totale de CO₂, dont 80 % venaient du charbon. En 2017, sur les 36,2 milliards de tonnes d'émission de CO₂, la répartition est d'environ 41 % pour le charbon, de 30 % pour le pétrole, de 23,5 % et environ 5,5 % pour la production de ciment et les torchères de gaz (*flaring*). À tout le moins, il apparaît urgent de convertir l'utilisation mondiale du charbon à une source décarbonée. Quel est le réalisme d'y parvenir par les EnR ? Le nucléaire est-il une solution acceptable de transition ?

²⁰⁶ Ritchie, H. (2019). *Who emits the most CO₂*, infographie. <https://ourworldindata.org/annual-co2-emissions>

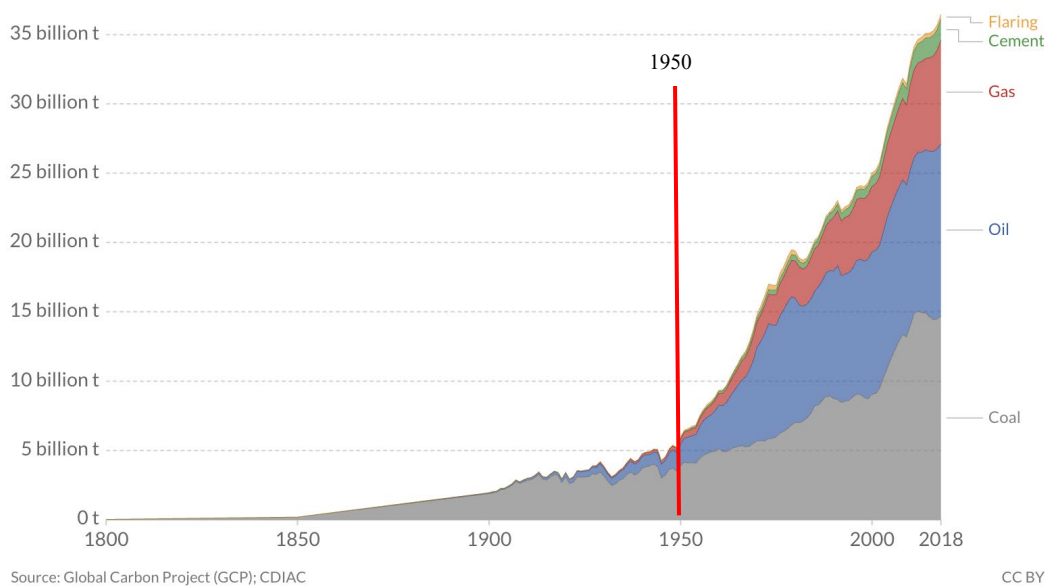


Figure 3.22 : Émissions mondiales de CO₂ par type de carburant (mesurées en tonnes par an) (Ritchie, 2017)²⁰⁷.

La figure 3.23 montre la distribution mondiale des sources de production des GES par secteur d'activités, dont celles issues des énergies carbonées. On distingue les émissions directes produites par les secteurs d'activités (Note)²⁰⁸, en milliards (G) de tonnes d'équivalent CO₂, pour le fret international et pour quatre groupes de territoire en fonction de leur niveau de revenus. Ainsi, on constate à l'échelle mondiale que :

- i) Plus les revenus sont élevés (PIB) et en fonction de l'évolution dans le temps, plus les émissions en CO₂ augmentent ;
- ii) Le premier secteur prioritaire de réduction des GES doit être l'énergie surtout dans le cas de production générée par le charbon ;
- iii) Le secteur de l'industrie doit aussi être l'objet d'une attention particulière surtout avec un basculement industriel vers les pays à revenus inférieurs et faibles, comme la Chine, qui verront mécaniquement augmenter leur production de GES ;

²⁰⁷ Ritchie, H. et Roser, M. (2019). *Coal, oil, gas, cement: where do CO₂ emissions come from?*, infographie. <https://ourworldindata.org/emissions-by-fuel>

²⁰⁸ Les secteurs d'activités se classent comme suit : agriculture (essentiellement générateur de méthane (CH₄) par l'élevage), industrie (mines, sidérurgie, chimie et pétrochimie, nourriture, papier, bois, textile et cuir, etc.), construction (résidentiel, tertiaire commercial et tertiaire public), transport (aviation, route, rail, navigation, etc.), énergie (électrique : production, transmission, distribution et pertes).

- iv) Des mesures de sobriété doivent être prises dans tous les secteurs d'activités pour les territoires dont les revenus sont moyens supérieurs et élevés. Et particulièrement pour les villes (par leur APULs), spécifiquement pour les secteurs de la construction et du transport.

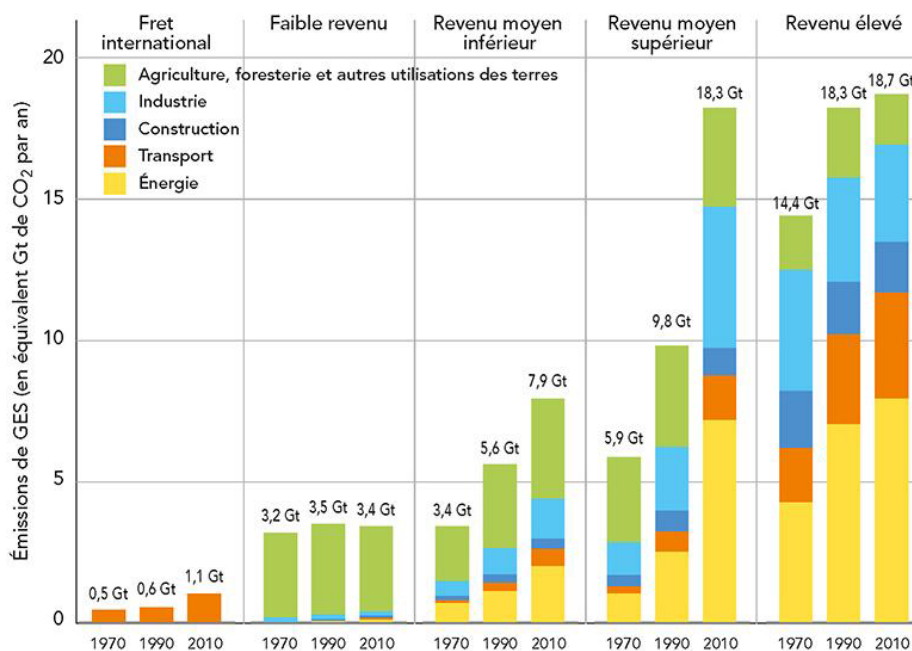


Figure 3.23 : Sources mondiales d'émissions de gaz à effet de serre inégalement réparties selon les pays. Les pays sont classés par groupe de niveau de revenus, selon la nomenclature de la Banque mondiale (Janicot et coll., 2015)²⁰⁹.

Selon le Fonds Monétaire International, parmi les 50 pays ayant le PIB par habitant le plus élevé (IMF, 2020)²¹⁰, soit 25,8 % des pays de l'ONU, la France est classée à la cinquième place pour la meilleure performance sur le plan de la production d'énergie à bas carbone. Loin devant l'Allemagne qui est classée à la 29^e position, malgré des EnR allemands représentant 3 fois celles de la France (hors nucléaire et hydroélectricité). C'est donc le nucléaire et, en faible proportion, l'hydroélectricité qui confère une place de choix à la France.

Toutefois, en France, des marges d'amélioration sont possibles en matière de réduction des consommations d'énergie carbonée. En effet, en 2018, le pétrole correspondait à environ 68,4 % des émissions de CO₂, le gaz naturel autour de 26,3 % et le charbon environ 5,3 %. En

²⁰⁹ Janicot, Serge, et al. (2015). *Chapitre 7. Les émissions de gaz à effet de serre Marseille*. IRD Éditions. http://books.openedition.org/ird_éditions/29426

²¹⁰ International Monetary Fund. (2020, 30 novembre). *Projected GDP per capita Ranking*. <https://www.imf.org/en/Data>

somme, les politiques nationales et locales doivent viser, d'une part, le secteur des transports et, d'autre part, le secteur des bâtiments existants.

La consommation et l'utilisation de matières, de produits et de sources d'énergie exercent une influence significative sur la capacité des ingénieurs et des architectes à concevoir, édifier et entretenir les espaces urbains, avec leurs bâtiments et leurs infrastructures, et l'aménagement du territoire.

Sur le plan des transports, les mesures pour une mobilité du quotidien (travail, éducation, santé, approvisionnements divers) pourraient être : d'abord, d'encourager le télétravail ou de favoriser les aménagements urbains et la sécurité pour la marche, le vélo et le collectif (autobus, covoiturage, tramway, métro) ; ensuite, d'encourager, en ayant des bornes de recharge plus fréquentes, le passage aux mobilités électriques (vélo, scooter, moto, automobile) en tenant compte de la production nucléaire requise pour assumer l'augmentation de besoins en électricité ; enfin, d'imposer une baisse radicale de la consommation des véhicules motorisés en fixant un objectif de 2 litres par 100 km en concevant des véhicules plus petits et plus légers. Et pour les mesures en matière de mobilité pour les longues distances, elles pourraient s'orienter vers la prise en compte d'un cocktail modal en considérant comme exceptionnels les déplacements pour les vacances et loisirs ainsi que les réunions familiales ou amicales, par exemple.

Sur le plan des bâtiments (la construction), il est important de noter que pour les logements, il est estimé que le parc de logements augmente de l'ordre de 1,1 % en moyenne par an depuis trente ans (INSEE, 2018)²¹¹. Et dans les secteurs du tertiaire commercial et du tertiaire public, les constructions neuves ou les remplacements représentent une proportion d'environ 1 pour 1000.

Ainsi, l'enjeu, tant pour les infrastructures urbaines que pour les bâtiments, est celui de la réhabilitation et la rénovation des actifs physiques existants et vétustes par la mise en place de mesures comme : i) concevoir des bâtiments neufs ou reconcevoir (recommissioning) des bâtiments existants avec des solutions techniques les plus sobres et frugales possibles ; ii) élaborer, mettre en place et suivre l'état de dégradation (ou de dépréciation réelle) du parc d'actifs tant sur les plans des besoins en travaux d'investissement que sur le plan des bonnes pratiques d'exploitation et de maintenance pour le fonctionnement.

²¹¹ Arnold, C. (2018). Le parc de logements en France au 1er janvier 2018. *Division Logement, Insee, INSEE FOCUS*, 126. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/3620894>

De manière plus spécifique : l'isolation thermique (chaud et froid) des façades et toitures des bâtiments par l'extérieur ; le remplacement de chaudières au fioul, au mieux, par des thermopompes géothermiques ou conventionnelles, sinon par une nouvelle source d'énergie comme le gaz naturel ou le bois, avec ses effets induits positifs (réduction des émissions de gaz à effet de serre par le gaz naturel ; utilisation du renouvelable avec le bois) et négatifs (déforestation, si l'utilisation est excessive ; pour le bois, les émissions locales de polluants atmosphériques et de particules fines, les coûts d'infrastructure de distribution de gaz naturel, concurrence des terres entre l'habitat, le chauffage et l'alimentation) ; ou même l'utilisation rationnelle et modérée du numérique pour la gestion technique centralisée des bâtiments pour assurer une régulation appropriée, sont autant d'exemples d'applications à envisager.

3.8 Conclusion

Il ne fait aucun doute que l'épuisement des stocks et des ressources mondiales, en surfaces terrestres disponibles et en eau douce ; la pollution issue de l'industrie, et notamment de l'industrie pétrochimique avec des produits comme les matières plastiques, la pollution générée par l'extraction et la transformation de minerais et la croissance du besoin en énergie pour exploiter ces gisements ; l'augmentation colossale de la production et de l'utilisation de véhicules motorisés, symbole à la fois du fordisme et du taylorisme, générant une consommation énergétique et de la pollution par le CO₂ qui ne cessent de s'accroître ; l'utilisation croissante de machines pour produire encore plus pour une population croissante avec comme effet l'augmentation de la consommation énergétique et de la production des GES sont directement liés au modèle du capitalisme libéral, et maintenant néo-libéral, partitionné par région du globe, cause principale d'effets indésirables sur l'écosystème de la Terre.

Ainsi, pour protéger le *capital naturel* sous tous ses aspects, la politique des villes en matière de gestion de ses actifs physiques doit mener à la réalisation de projets d'aménagement des espaces pour réduire la mobilité et de lutte contre la vétusté physique des infrastructures et des bâtiments. Les réhabilitations, remplacements, renouvellements et l'exploitation-maintenance des actifs existants doivent permettre d'allonger significativement le cycle d'usage, la durée de vie utile des lieux de vie urbains, en minimisant les démolitions pour lesquelles le recyclage, la réutilisation ou le réusage deviennent difficiles, voire impossibles.

La proposition économique contemporaine, issue principalement d'industriels, s'oriente vers l'utilisation des ressources naturelles qui s'incorporent à des produits et des services pour

lesquels nous devrions, selon la *Natural Capital Coalition* (Note)²¹² (2020)²¹³, être en mesure de comptabiliser les consommations afin d'en déduire des bénéfices – externalités positives ou négatives, gains ou pertes, valeurs ou pertes de valeur - pour les entreprises et pour la société. Ces produits et services écosystémiques se retrouvent sous la forme de procédés et cycles d'approvisionnement en nourriture, en eau, en énergie, en rétention de carbone.

Mais le périmètre de ces procédés et cycles d'usage est tributaire d'écosystèmes intervenant par leurs externalités - changements sociétaux, climatiques, technologiques - et ayant un impact considérable sur la régulation de l'écosystème planétaire. L'objectif est de maintenir un équilibre global entre les ressources renouvelables et les non renouvelables. Ainsi se posent les questions sur le bilan global de la production et de la consommation à partir des ressources naturelles et du vivant. Est-ce que la transition écologique et la transition numérique encouragées par les gouvernements intègrent la transition, voire la transformation économique souhaitée, celle d'une économie écologique et circulaire plutôt que de l'actuelle économie néolibérale, exponentielle et consumériste ?

Et malgré des tentatives pour résoudre cette situation avec la proposition de l'économie écologique et circulaire, les difficultés à établir les frontières de la thermodynamique des écosystèmes amènent à tomber, notamment, dans le piège du paradoxe de Jevons (Jevons, 1865)²¹⁴, ou effet rebond. En effet, comment pouvons-nous assurer la pérennité de la croissance économique, si les ressources énergétiques, par exemple, ne sont pas infinies ? Quelles durabilité et soutenabilité de l'économie dans ce contexte ? Et surtout en ajoutant les difficultés, voire impossibilités, d'adaptation des espèces vivantes aux composantes de la pollution et du réchauffement climatique, favorisant la prolifération de maladies comme la COVID19 ? Malgré les innovations, comment ne pas susciter plus de consommation par une adaptation des comportements individuels ou de Sociétés à l'amélioration de la performance technique, comme c'est le cas pour les automobiles ou les outils du numérique, par exemple ? On a beau

²¹² Nous n'avons constaté aucune ville dans les participants réguliers au Forum associé à cette organisation, bien qu'il y eût quelques participants venant de gouvernements. Elle vise à réunir, selon la coalition, les « décideurs des entreprises, de la finance et de gouvernements qui ont besoin des bons outils pour prendre les bonnes décisions. »

²¹³ The Natural Capital Coalition is an international collaboration that unites the global natural capital community. <https://naturalcapitalcoalition.org/>, consulté le 20 mai 2020.

²¹⁴ Jevons, W. S. (1865). *The Coal Question; An Inquiry Concerning the Progress of the Nation, and the Probable Exhaustion of Our Coal Mines*. London & Cambridge : Macmillan & Co. . <https://books.google.fr/>

présenter de nouvelles voies, la tentation de démultiplier la consommation est une des principales limitations de l'économie circulaire (Korhonen, Honkasalo et Seppälä, 2018)²¹⁵.

La question de la technique devient alors centrale dans les milieux urbains et sa représentation symbolique la plus forte passe par l'architecture et l'urbanisme comme moyen de limitation de notre cohabitation avec la nature. Pourtant la perméabilité entre la nature et la ville doit être à la base de l'établissement du cadre de l'économie circulaire. La nature et l'actif physique urbain doivent dorénavant être vus comme un patrimoine commun, un bien commun, respectant l'ensemble des droits et responsabilités d'une personne physique en regard aux limitations externes qu'elle respecte et aux limitations internes qu'elle s'octroie. Il y a vie commune, il y a alignement des cycles de vie.

Pour illustrer, cela pourrait prendre la forme d'une infrastructure dont l'aliénation est possible par un échange de la propriété - constante économique de l'échange : vente, bail emphytéotique -, mais dont l'aliénation menant à la démolition et la production de déchets conduisant à la destruction du *capital naturel* deviennent impossibles sans garantie de réusage ou recyclage. Il est important que tous aient individuellement et collectivement le désir de « maintenir les conditions symboliques de la transmission et à cultiver le sens du temps et de l'espace » (Taussig, 2016)²¹⁶. Ce n'est pas tant la politique qu'il faut remettre en cause, mais plutôt l'éthique prônée sur la base d'une action locale avec une pensée universelle et globale.

Le risque de l'entropie de l'écosystème de la Terre n'est pas un risque « individuel », il est un risque « populationnel ». L'entropie est à la fois locale et globale, les actions de néguentropie doivent être locales et globales. En ce sens, ceux qui envisagent une « croissance verte » se trompent. Ils évitent une « critique de la raison verte ».

C'est le cas du chercheur Andrew McAfee, de la Sloan School of Management du MIT. Dans son ouvrage « *More from Less* » (McAfee, 2019)²¹⁷, il constate que depuis environ quarante ans, dans les pays les plus riches, grâce à la logique post-libérale et au développement technologique, la croissance repose sur l'utilisation de moins de ressources. Il mentionne du bout des lèvres que la régulation par l'État - et aurait-il pu ajouter dans une prise en compte de

²¹⁵ Korhonen, J., Honkasalo, A. et Seppälä, J. (2018). Circular economy: the concept and its limitations. *Ecological economics*, 143, 37-46. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041>.

²¹⁶ Taussig, S. (2016). Critique de la destruction créatrice de Pierre Caye. *Le Philosophoire*, 1(45), 175-181. <https://doi.org/10.3917/phoir.045.0175>

²¹⁷ McAfee, A. (2019). *More From Less: The surprising story of how we learned to prosper using fewer resources – and what happens next*. Simon & Schuster.

l'écosystème planétaire, par les États - est nécessaire pour éviter l'augmentation de la pollution, des gaz à effet de serre et des inégalités sociales.

Par ailleurs, le cadre des données analysées se limite à des régions géographiques spécifiques qui ont fait basculer leurs productions industrielles et des inégalités vers des régions à faible PIB par habitant. Et lorsque ces régions seront plus riches, une réindustrialisation, à tout le moins partielle, sera nécessaire en Europe et aux États-Unis. Les externalités géographiques ou par secteur d'activités ne sont pas bien prises en compte. Les effets de la thermodynamique globale n'apparaissent pas dans le raisonnement et pourtant « Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme » (Note)²¹⁸ comme cet apocryphe de la pensée de Lavoisier nous le martèle depuis plus de 230 ans (Lavoisier, 1789)²¹⁹.

Le retour à la croissance de la consommation énergétique et de la pollution des pays riches sur leur territoire risque de survenir dès lors que la richesse mondiale sera distribuée également, que la population mondiale sera stabilisée, à moins que la sobriété ne devienne dès maintenant les mots clés d'un langage et d'un discours nouveau sur la consommation. Comme l'aphorisme d'Alain le suggère : « Le pessimisme est d'humeur, l'optimisme est de volonté » (Alain, 1928)²²⁰.

Comme ce fut démontré dans le présent chapitre de la thèse, plus les territoires s'enrichissent d'un point de vue économique, plus ils consomment des espaces, des stocks naturels, et plus ils génèrent de pollution.

²¹⁸ La citation « Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme », attribuée à Lavoisier, est dans les faits une reformulation de la forme originale : « On voit que, pour arriver à la solution de ces deux questions, il fallait d'abord bien connaître l'analyse et la nature du corps susceptible de fermenter, et les produits de la fermentation; car rien ne se crée, ni dans les opérations de l'art, ni dans celles de la nature, et l'on peut poser en principe que, dans toute opération, il y a une égale quantité de matière avant et après l'opération ; que la qualité et la quantité des principes est la même, et qu'il n'y a que des changements, des modifications. »

²¹⁹ Lavoisier, A.-L. (1789). *Traité élémentaire de Chimie* (2019). Maxtor France.

²²⁰ Alain. (1928). *Propos sur le bonheur*. Collection Idées (362), Gallimard, Philosophie, sciences cognitives.

CHAPITRE 4 LE CAPITAL PRODUCTIF : LA PROBLÉMATIQUE DE LA VALEUR

4.1 Introduction

Dès le 16 mars 2020, l'*Imperial College* de Londres publie un article scientifique en utilisant un modèle épidémiologique, basé sur le comportement des agents et des équations (Adam, 2020)²²¹, qui amène les auteurs à « prévoir environ 510 000 décès en Grande-Bretagne et 2,2 millions aux États-Unis, sans tenir compte des effets négatifs potentiels du dépassement des systèmes de santé » (Ferguson, Laydon, Nedjati-Gilani et coll., 2020)²²², dans le cas où il n'y aurait pas de mesures d'atténuation de l'impact - mise en quarantaine des plus de 70 ans, distanciation sociale et mesures barrières, fermeture des écoles et des universités, fermeture de commerces, et autres.

Depuis, ce modèle fut largement critiqué, même si des tests scientifiques indépendants ont fourni une reproduction des résultats de l'analyse informatique, compte tenu exclusivement des entrées de données et du code. En effet, les rapports entre la COVID19 et les facteurs susceptibles d'exercer une influence - taux de mortalité, contagion, etc. - sur la fréquence, la distribution et l'évolution de la maladie n'ont pas été passés en revue (Chawla, 2020)²²³.

Toute cette polémique sur le modèle prédictif démontre et révèle les limites de la discipline de la science des données. Ce rôle est attribué aux *data scientist*, qui utilisent les statistiques, l'informatique et les mathématiques appliquées pour illustrer leurs simulations. Dès lors que le modèle se confronte à des hypothèses, postulats et caractéristiques multidimensionnelles et descriptives fausses ou peu fiables, cela nécessite l'apport d'experts de divers champs disciplinaires, les *data analyst*. Les dérives dans le choix, la mesure et l'agrégation des paramètres, l'interprétation et la résultante en termes de décision et d'action peuvent mener à un scepticisme, voire un cynisme, qui génère un emballement médiatique inapproprié et non constructif. D'autres modèles, avec les mêmes difficultés, ont suivi pour guider le discours des hommes politiques dans leur décision de verrouiller l'économie, à tout le moins partiellement.

²²¹ Adam, D. (2020). Special report: The simulations driving the world's response to COVID-19, How epidemiologists rushed to model the coronavirus pandemic. *Nature*, 580, 316-318.

²²² Ferguson, N. M., Laydon, D., Nedjati-Gilani, G. and al. (2020, 16 mars). *Impact of non-pharmaceutical interventions (NPIs) to reduce COVID-19 mortality and healthcare demand*. <https://doi.org/10.25561/77482>

²²³ Chawla, D. S. (2020). Critiqued coronavirus simulation gets thumbs up from code-checking efforts, Influential model judged reproducible although software engineers called its code 'horrible' and 'a buggy mess. *Nature*, 582, 323-324. <https://doi.org/10.1038/d41586-020-01685-y>

Ainsi donc, la capacité à exprimer, par un modèle, une pensée économique - comme, par exemple, le besoin, « la demande », ou l'opportunité, « l'offre » - et de la communiquer nécessite un « langage ». Et ce langage se construit nécessairement autour de « ce dont on parle » - les signifiés - afin de bien comprendre la représentation mentale du fond de l'énoncé, en lien avec des signes, qui eux produisent la représentation mentale de la forme de l'énoncé - les signifiants (de Saussure, 1916)²²⁴. L'espace dédié aux signifiés et aux signifiants implique de partitionner et c'est de ces partitions que les confusions et contresens, peu importe le champ disciplinaire, apparaissent dès lors que des simplifications et des agrégations sont réductrices de la représentation de la réalité.

L'élaboration et la mise en œuvre d'une politique urbaine en matière de ses actifs physiques se fondent de manière classique sur des données économiques et sociales. Ces données sont appréciées ou évaluées à l'aune d'un cadre formalisé, lorsqu'elles sont qualitatives, et elles sont mesurées, décomptées ou calculées, lorsqu'elles sont quantitatives. Les mathématiques y sont omniprésentes.

En Occident, l'espace de la pensée humaine, concernant le langage des mathématiques, est issu de la philosophie d'Aristote. Il propose la « logique classique » dont on retiendra deux grands principes, celui de la « non-contradiction » - « Il est impossible qu'un même attribut appartienne et n'appartienne pas en même temps et sous le même rapport à une même chose » - et celui du « tiers exclu » - « Il est impossible qu'il n'y ait aucun intermédiaire entre les énoncés contradictoires : il faut nécessairement, ou affirmer, ou nier un seul prédicat, quel qu'il soit » (Aristote, IV^e siècle avant notre ère, éd.1989)²²⁵. Sur cette base, depuis Aristote et jusqu'à Yann Le Cun, Yoshua Bengio et Geoffrey Hinton (2019)²²⁶, en passant par Descartes (1637)²²⁷, Poincaré (1890)²²⁸, Turing (1950)²²⁹, entre autres, le langage des « mathématiques » vient en appui aux méthodes issues des « sciences physiques » afin d'en déterminer une « loi », lorsque les observations le permettent.

²²⁴ De Saussure, F. (1916). *Cours de linguistique générale, tome I* (1989). Otto Harrassowitz Verlag.

²²⁵ Aristote. (IV^{ème} siècle). *La métaphysique* (1986). Vrin - Bibliothèque des Textes Philosophiques.

²²⁶ Larousserie, D. (2019). Propos recueillis Yann LeCun, lauréat du prix Turing : « L'IA continue de faire des progrès fulgurants ». *Journal Le Monde*. https://www.lemonde.fr/pixels/article/2019/03/27/yann-lecun-laureat-du-prix-turing-l-intelligence-artificielle-continue-de-faire-des-progres-fulgurants_5441990_4408996.html.

²²⁷ Descartes, R. (1637). *Discours de la méthode* (2000). Flammarion.

²²⁸ Poincaré, H. (1890). Sur le problème des trois corps et les équations de la dynamique. *Acta mathematica*, 13(1), 3-270.

²²⁹ Turing, A. M. (1950). Computing machinery and intelligence. *Mind*, LIX (236), 433-460 <https://doi.org/10.1093/mind/LIX.236.43>

La discipline moderne de l'économie, depuis le XVIIIème siècle et jusqu'à nos jours, n'a cessé de faire l'usage du langage mathématique pour tenter de créer des représentations de la réalité, à partir d'ouvrages fondamentaux -Smith (*La Richesse des nations*, 1776) ; Malthus (*Essai sur le principe de population, malthusianisme*, 1798) ; Ricardo (*Principes de l'économie politique et de l'impôt*, 1817) ; Bentham (1818) et Mill (1848).

Les liaisons conceptuelles avec les sciences physiques se sont accentuées avec les propositions de Jean-Baptiste Say (1814)²³⁰, par sa Loi sur les débouchés, ou Léon Walras, (1874)²³¹, par son postulat de marchés répondant à une dynamique mécanique pure et parfaitement organisée dans une machine sans frottement, visaient le calcul des sujets et du sujet. Dès 1838, Augustin Cournot (1838)²³², définit et mathématise, entre autres, les concepts de « valeur d'échange », de « richesse », de « changements de valeur absolus et relatifs ». Par ailleurs, c'est dans un ouvrage publié au milieu du siècle (Dupuit, 1844)²³³ que s'énonce la « théorie de l'utilité » dans le contexte de la construction d'infrastructures publiques, menant au concept des « analyses coûts -avantages » pour les travaux publics.

Au cours du XXème siècle et jusqu'à nos jours, les économistes classiques orthodoxes continuent à prétendre que les *marchés* répondent de tous les équilibres entre les personnes physiques, les personnes morales et les institutions. Que ce soit par von Neumann et Morgenstern (1947)²³⁴, par la théorie des jeux et du comportement économique ; Debreu (1971)²³⁵ structuration de la microéconomie avec Arrow par le développement de la « théorie de la valeur et de l'équilibre général » dans un contexte de « concurrence parfaite » ; ou Tirole (1988)²³⁶ avec ses propositions sur la prise de décision, dans les organisations privées et publiques, sur une base normative afin de définir les règles et mesures de politique économique, tous se confrontent aux limites imposées par le langage des mathématiques.

²³⁰ Say, J.-B. (1814). *Traité d'économie politique ou simple exposition de la manière dont se forment, se distribuent et se consomment les richesses*. Renouard, Paris.

²³¹ Walras, L. (1874). *Éléments D'Économie Politique Pure : Ou Théorie De La Richesse Sociale* (2010). Kessinger Publishing.

²³² Cournot, A. (1838). *Recherches sur les principes mathématiques de la théorie des richesses*. L. Hachette, Librairie de l'Université Royale de France. <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k6117257c.texteImage>

²³³ Dupuit, J. (1844). *Annales des ponts et chaussées. De la mesure de l'utilité des travaux publics*. *Revue française d'économie* (1995), 10(2), 55-94. https://www.persee.fr/doc/rfec0_0769-0479_1995_num_10_2_978.

²³⁴ von Neumann, J. et Morgenstern, O. (1947). *Theory of Games and Economic Behavior* (2007). 60th Anniversary Commemorative Edition, Princeton University Press.

²³⁵ Debreu, G. (1959). *Theory of value: An axiomatic analysis of economic equilibrium, (vol 17)*. Yale University Press.

²³⁶ Tirole, J. (1988). *The theory of industrial organization*. MIT press.

« Les économistes vantent depuis longtemps les vertus des marchés. Une concurrence sans entraves protège les consommateurs de l'influence politique des lobbies et oblige les producteurs à fournir des produits et des services au prix coûtant. Hélas, la concurrence est rarement parfaite, les marchés échouent et le pouvoir de marché - la capacité des entreprises à augmenter les prix nettement au-dessus des coûts ou à offrir une qualité médiocre - doit être maîtrisé. » (Tirole, 2015)²³⁷.

Dans l'actuel contexte de marchés mondialisés, dont la concurrence devient le dogme et la croissance des inégalités la règle, comment assurer que la politique urbaine en matière de ses actifs physiques et son suivi visera le progrès social pour tous les citoyens, le collectif, le commun (Supiot, 2016)²³⁸ ? Est-ce que cette concurrence se fera sous la forme de contractualisation avec un tiers de confiance, garant des conventions (Supiot, 2001)²³⁹ ? Quel « discours » à construire et mettre en place pour la politique ? Quelle organisation de la « *lexis* », pour quelle « *praxis* » afin d'améliorer les équilibres ?

H₃ : La transformation d'une économie *d'extraction de la matière et de la valeur* à croissance exponentielle et consumériste vers une économie *de génération d'un renouvellement de la matière et d'une optimisation de la valeur d'usage* à évolution circulaire et écologique nécessite que la construction, la maintenance et le renouvellement d'infrastructures et de bâtiments en milieux urbains soient portés par un *discours* nouveau, articulé par un *langage* adapté.

Ainsi (Figure 4.1), le sens donné à la « valeur d'usage » – valeur des actifs fixes bruts ou stock brut - et la « perte de valeur d'usage » – valeur du consommable du capital fixe menant à l'évaluation du stock net du capital -, se base sur des informations ascendantes issues de paramètres et de leurs caractérisations limitant les simplifications et les agrégations de représentation de la réalité.

²³⁷ Tirole, J. (2015). Market failures and public policy. *American Economic Review*, 105(6), 1665-82.

²³⁸ Supiot, A. et Thibault, B. (2016). *Il n'y a pas de paix durable sans justice sociale*. Conférence-dialogue. https://www.iea-nantes.fr/fr/actualites/les-mardis-de-l-ieaolu-avec-bernard-thibault-et-alain-supiot_681

²³⁹ Supiot, A. (2001). La contractualisation de la société. *Courrier de l'environnement de l'INRA*, 43. 51-58 https://www.college-de-france.fr/media/alain-supiot/UPL7487404529511809532_La_contractualisation_de_la_socie_te_.pdf.

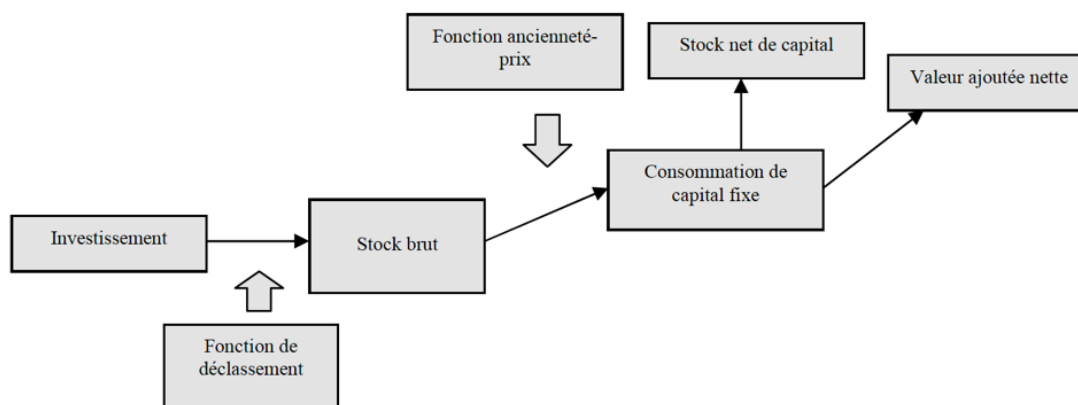


Figure 4.1 : Mesure du capital menant à la mesure de la productivité selon le Système Comptable National (ONU, 2004)²⁴⁰, (OCDE, 2010)²⁴¹, le SEC (UE, 2013)²⁴².

4.2 L'économie libérale, les inventions et l'énergie au service du capital productif

L'invention de machines, ce capital technique fixe productif, est à la source de l'extraordinaire augmentation de la production et de la consommation énergétique, dont celle carbonée, au cours du XX^{ème} siècle et jusqu'à nos jours. Elles ont généré une destruction des ressources naturelles et une pollution avérée dont les répercussions sur le climat et la vie s'intensifient. De manière paradoxale, elles ont contribué, en Occident et dans d'autres parties de la planète, au développement du bien-être humain et à la réduction, non sans luttes perpétuelles, des inégalités, du moins jusqu'en 1980.

Pour illustrer les origines sur le mode de vie contemporain, voici quelques inventions clés ayant eu des influences considérables sur l'évolution de la consommation énergétique mondiale et du développement des milieux urbains :

- Comme exposé au chapitre 3, à la fin du XVIII^e siècle, des avancées technologiques majeures ont marqué le début de la première révolution industrielle. Parmi celles-ci, nous pouvons citer la création de la machine à vapeur par James Watt en 1769, la conception et la fabrication réussie du premier bateau à vapeur à des fins

²⁴⁰ Nations Unies. (2004). Comptabilité nationale : introduction pratique. Dans *Études méthodologiques Série F, 85. Manuel de comptabilité nationale*. Publication des Nations Unies. https://unstats.un.org/unsd/publication/SeriesF/seriesF_85f.pdf

²⁴¹ OCDE. *La Mesure du Capital, Manuel de l'OCDE 2009*. OCDE.

²⁴² Union Européenne. (2013). *Système européen des comptes*. Office des publications de l'Union européenne. <https://doi.org/10.2785/21383>

commerciales en France (Robert Fulton, É.-U., 1783)²⁴³, la mécanisation du métier à tisser grâce à l'invention de la "navette volante" par John Kay en 1733, la création de la "Spinning Jenny" par James Hargreaves en 1764 pour augmenter la capacité de filage, et l'invention de la "Spinning mule" par Samuel Crompton en 1779, qui utilisait l'énergie hydraulique pour le tissage.

- Au tout début du XIXe siècle, l'introduction de la locomotive à vapeur fonctionnant au charbon (Richard Trevithick, R.-U., 1809)²⁴⁴ a eu un impact décisif sur le transport de marchandises et de passagers, contribuant ainsi à l'essor de la révolution industrielle.
- Le radiateur à eau chaude (Franz San Galli, Russie, 1857)²⁴⁵ alimenté par une unité de chauffage central dont le combustible a évolué du bois, vers le charbon, l'électricité (cependant alimentée par du charbon), ensuite, à partir de 1950, le fioul, et enfin le gaz naturel, vers 1960. Effet sur les bâtiments ;
- Le moteur à combustion et explosion sur un cycle de deux temps (Étienne Lenoir, Belgique, 1860) et sur celui du cycle de quatre temps (Beau de Rochas, France, 1862), (Otto, Allemagne, 1867)²⁴⁶. Effet sur le transport de marchandises et de personnes ;
- Les cartouches à percussion centrale menant au développement des armes à feu portatives et de petits calibres, éliminant la cavalerie des armées (Hiram Berdan, 1866)²⁴⁷ et engendrant le développement de l'industrie de l'armement. Effet sur le développement économique mondial et l'industrie de la sécurité par la limitation et le raccourcissement de conflits géopolitiques en utilisant, pas toujours à bon escient, le pouvoir de dissuasion ;
- Le classement ou tableau périodique des éléments (Dmitri Mendeleïev, 1869), Mendeleïev visionnaire de l'industrie de la chimie de synthèse par cette citation :

²⁴³ Ralph Nading Hill. (1954). *Robert Fulton and the Steamboat*. Random House.

²⁴⁴ Burton, A. (2002). *Richard Trevithick : Giant of Steam*. Aurum Press.

²⁴⁵ World Heritage Encyclopedia. (2019, 18 octobre). http://community.worldheritage.org/articles/eng/Franz_San_Galli

²⁴⁶ Moustacchi, A. (2020, 10 septembre). *Automobile - Histoire*. Encyclopædia Universalis. <http://www.universalis.fr/encyclopedie/automobile-histoire/>

²⁴⁷ Ambrosi, F. et Alain Bru, A. (2018,10 septembre). *Armes - Armes légères*. Encyclopædia Universalis. <http://www.universalis.fr/encyclopedie/armes-armes-legeres/>

« Le pétrole est trop précieux pour être brûlé ; quand nous brûlons du pétrole, nous brûlons de l'argent ; il faut l'utiliser comme matière première de la synthèse chimique. » Effet sur la construction, le transport, les vêtements ;

- Lampes à incandescence à filament de carbone (Thomas Edison, É.-U., 1879)²⁴⁸. Effet sur le développement économique par la construction de milieux urbains avec une activité étendue de jour et de nuit ;
- La centrale électrique, au charbon, et le réseau de distribution électrique pour 82 clients à New York (Thomas Edison, É.-U., 1882)²⁴⁹. Effet sur le développement économique par la construction de réseaux électriques urbains ;
- La première automobile de série au monde, la « *Benz Patent-Motorwagen* » (Karl Benz, 1886)²⁵⁰. Effet sur le transport de marchandises et de personnes ;
- Le moteur Diesel, moteur à allumage par compression (Rudolf Diesel, Allemagne, 1893)²⁵¹. Effet sur le transport de marchandises et de personnes.

Évidemment, de nombreuses autres fameuses inventions, comme celle des polymères de toutes sortes dont les plastiques (Goodyear, 1839), (Krische et Spitteler, 1897), (de Chardonnet, 1899)²⁵², du téléphone (Bell, 1881)²⁵³ (Gorman et Carlson, 1990)²⁵⁴ ou l'utilisation du courant alternatif (Tesla, 1888/2008)²⁵⁵, ont mis les bases de l'extraordinaire croissance du XXème siècle.

Ainsi, depuis le XIXème siècle, des inventions remarquables de produits fabriqués, à mécanismes complexes, transforment l'énergie produite en une production de masse afin

²⁴⁸ Simmons, M.W. (2016). *Thomas Edison: American Inventor*. CreateSpace Independent Publishing Platform.

²⁴⁹ Moustacchi, A. (2020, 10 septembre). *Automobile - Histoire*. Encyclopædia Universalis. <http://www.universalis.fr/encyclopedie/automobile-histoire/>

²⁵⁰ Moustacchi, A. (2020, 10 septembre). *Automobile - Histoire*. Encyclopædia Universalis. <http://www.universalis.fr/encyclopedie/automobile-histoire/>

²⁵¹ Moustacchi, A. (2020, 10 septembre). *Automobile - Histoire*. Encyclopædia Universalis. <http://www.universalis.fr/encyclopedie/automobile-histoire/>

²⁵² Carrega, M., Verney, V., Vuillemin, B., Dupire, M., Agassant J.F. et al. (2017). *Matières plastiques*. Collection : Technique et ingénierie, Dunod.

²⁵³ Bell, A.G. (1881). *TELEPHONE CIRCUIT, UNITED STATES PATENT OFFICE No. 244,426*. <https://patents.google.com/>

²⁵⁴ Gorman, M. E. and Carlson, W.B. (1990). Interpreting Invention as a Cognitive Process: The Case of Alexander Graham Bell, Thomas Edison, and the Telephone. *Science, Technology, & Human Values*, 15(2), 131–64. <https://doi.org/10.1177/016224399001500201>.

²⁵⁵ Tesla, N. (1888). *A New System of Alternating Current Motors and Transformers and Other Essays* (2008). Wilder Publications.

d'assouvir une demande (besoin) ou d'impulser une offre (opportunité). En somme, les marchés issus de l'offre et de la demande sont créés avec l'objectif de mettre au monde des consommateurs, notamment à partir de l'offre plutôt que de simplement répondre au désir de la demande. L'économie du capitalisme libéral amorce son expansion.

4.2.1 1770-1830 : Une économie libérale et mécanisée

C'est vers 1750 et jusqu'en 1830 que la première révolution industrielle issue de l'Angleterre voit le jour. Simultanément avec sa croissance économique par le commerce et l'impérialisme, l'Angleterre accélère la transformation de son organisation économique passant du « *domestic system* » - réalisation par un artisan d'un travail ouvrier à domicile et sur commandes de négociants - au « *factory system* » - production de masse dans une usine, en utilisant la division du travail d'ouvriers essentiellement non qualifiés au sein d'actifs physiques industriels, des bâtiments, des bateaux et des machines - alimentée par l'énergie générée par l'eau, la vapeur, le charbon, la tourbe. Pour ce qui a trait au reste du cycle économique, le transport des matières premières et des matériaux à partir de contrées lointaines s'effectue par bateaux sur les océans, les mers et les canaux ; les liens entre les milieux urbains restent rudimentaires et assurés par les chevaux ; la vente se fait par des commis voyageurs ou des petits commerces de proximité. Cela a mené aux constats indéniables suivants, dès le milieu du XIX^{ème} siècle :

- i) L'économie de marché a émergé à travers plusieurs étapes dont celles-ci : Pour certains auteurs, l'invention de la comptabilité en double partie au XV^{ème} siècle durant le Moyen Âge est le point de départ de l'économie de marché (Braudel, 1985)²⁵⁶. En revanche, il est indéniable que les Sumériens ont joué un rôle en inventant l'écriture mathématique vers le IV^{ème} siècle avant notre ère (Tenu, 2016)²⁵⁷. Et les contributions de la Grèce antique, notamment les hypothèses sur les « lois de la nature » et les avancées en mathématiques et logique par des penseurs comme Thalès, Euclide et Aristote sont des piliers de la construction de ce qu'allait devenir l'économie de marché. Pour autant, il est vraisemblable que les progrès réalisés par la Rome antique, incluant l'invention du béton et des améliorations dans

²⁵⁶ Braudel, F. (2014). *La Dynamique du capitalisme*. Flammarion.

²⁵⁷ Tenu, A. (2016, 20 juin). Les débuts de la comptabilité en Mésopotamie. *Comptabilités*, 8. <http://journals.openedition.org/comptabilites/1877>

l'ingénierie grâce à la gestion, l'efficacité et l'économie, plutôt que par les mathématiques - (Vitruve) - (Schumpeter, 1954)²⁵⁸, correspond à l'amorce de l'idée d'économie de marché. Ces développements combinés ont finalement abouti au modèle du capitalisme libéral, axé sur le profit, le rendement économique et l'accumulation de *capital productif*.

- ii) C'est le début de la prolétarisation du « savoir » d'individus dont les talents, aptitudes et compétences sont au service du « pouvoir » capitaliste et dont la subsistance repose sur son salaire. Tout compte fait, depuis cette phase de mécanisation du XIX^{ème} siècle, en passant par l'automatisation des tâches par les machines et jusqu'à la robotisation récente, incluant l'intelligence artificielle (IA), il y a une « capture » des individus par le pouvoir du *Capital*. Toutefois, la maintenance industrielle n'est pas plus élaborée que la maintenance agricole ou le « *domestic system* » : le nettoyage, la réparation, la restauration (en respectant l'état primitif) et le remplacement de pièces, matériaux, outils ou machines, détériorés par les éléments naturels ou l'usage, demeurent les activités de base depuis au moins 10 000 ans avant notre ère. C'est le début de la *première génération des pratiques en maintenance*, celle en mode strictement « correctif » ;
- iii) C'est le début de la mise en place massive d'outils de production, ou *Capital productif*, formant un « stock » - d'infrastructures, d'installations, d'actifs physiques fixes (*fixed asset*), incluant les propriétés communes que sont les bâtiments et infrastructures urbaines (écoles, hôpitaux, réseaux routiers et sur rails, réseaux enfouis, etc.) - qui vise à générer un « flux » (les dépenses gouvernementales, la consommation, l'investissement ou autrement dit le chiffre d'affaires, le PIB) ;
- iv) C'est le début d'un modèle urbain industriel articulé autour du capitalisme, de l'usine. L'attraction pour la ville et la construction des milieux urbains se font en concentrant le « pouvoir économique » - mesuré de manière orthodoxe par le PIB - dans des lieux où l'on retrouve souvent un « pouvoir politique » important - dont les actions passées sont mesurées de nos jours comptablement par la dette ;
- v) Enfin, durant cette phase, la famille constituait le noyau de l'organisation sociale. L'organisation industrielle est alors essentiellement « paternaliste », autour d'une autorité et d'un pouvoir qui sont entre les mains du chef d'entreprise, d'une organisation familiale ou du créateur de l'organisation patriarcale. Cette

²⁵⁸ Schumpeter, J. (1954). *History of Economic Analysis* (2006). Taylor & Francis e-Library.

caractéristique de concentration de l'autorité et du pouvoir est souvent retrouvée de nos jours au sein d'entreprises de très petite taille (TPE) (Note)²⁵⁹ (Insee, 2018)²⁶⁰.

4.2.2 1830-1950 : Une économie instable d'infrastructures à électrifier

Sous l'impulsion des développements scientifiques et des brevets, la deuxième révolution industrielle se caractérise par une accélération de la transformation des moyens de production et de la croissance économique. Par l'utilisation du train comme nouveau moyen de transport, la population migre de plus en plus vers les villes souvent insalubres et mal adaptées à cet accueil. Ainsi, dès le début de cette époque, des épidémies et pandémies de tuberculose, de choléra, de dysenterie, de fièvre charbonneuse ou de fièvre hémorragique virale, voire de peste, font rage (Moore, 2015)²⁶¹. La densité humaine et la promiscuité génèrent des contagions importantes : l'hygiène et la salubrité dans les villes sont problématiques. Ce double constat de transformation des villes et des corps, par la maladie, puise ses origines théoriques dans les observations sur la transformation de la matière par l'oxydation menant à des conséquences physiques, sur le vivant, souvent irréversibles (Lavoisier, 1789)²⁶². C'est l'ère d'une nouvelle organisation sociale et des milieux urbains, Paris en est un exemple révélateur, qui se fonde sur les besoins d'hygiène et d'organisation sociale de la population - la demande, pour des services de proximité qui apportent une mixité sociale.

Les ports se modernisent et s'agrandissent pour accueillir une marine marchande en pleine croissance (Meyer et Acerra, 1994)²⁶³, le cabotage reste avantageux pour approvisionner les milieux urbains, mais pour accéder aux villes, les citoyens envisagent le train dont le réseau se développe rapidement. La vente de biens s'effectue de plus en plus dans les Grands magasins (Harrods 1849, R.-U. ; Le Bon Marché, 1852, Fr ; Bazar de l'Hôtel de Ville, 1856, Fr ; Macy's,

²⁵⁹ Grande Entreprise (GE), plus de 5000 salariés et plus de 1,5 milliard € de chiffre d'affaires (CA) ; Entreprise de Taille intermédiaire (ETI), moins de 5000 salariés et moins de milliard € (CA) ; Petite et Moyenne Entreprise (PME), moins de 250 employés et moins de 50 millions € de CA ; Très Petite Entreprise (TPE), moins de 10 employés et/ou moins de 2 millions € de CA.

²⁶⁰ Insee Références. (2018). Les entreprises en France. *Fiches – Structure du système productif*, 66-67.

<https://www.insee.fr/fr/statistiques/3639475?sommaire=3639594>

²⁶¹ Moore, P. (2015). *Le Petit Livre des Grandes Épidémies*. Belin littérature et revues.

²⁶² Lavoisier, A.-L. (1789). *Traité élémentaire de Chimie* (2019). Maxtor France.

²⁶³ Meyer, J., Acerra, M. (1994). *Histoire de la marine française des origines à nos jours*. Ouest-France.

1858, E.-U. ; le Printemps, 1865, Fr ; Liberty, 1875, R.-U. ; Selfridges, 1909, R.-U. ; Galeries Lafayette, 1912, Fr, etc.).

Cela génère :

- i) Le développement de la prise en charge médicale (Schwartz et Perrot, 2017)²⁶⁴ et de l'assainissement des villes qui a mené à l'accroissement fulgurant de la population mondiale. Assainissement dont Paris fut une application exemplaire, de ce point de vue, durant le Second Empire avec sa politique de l'hygiénisme. Des progrès techniques avec l'utilisation du pétrole et de l'électricité, ont donné un essor aux modes de construction des bâtiments, des villes, avec des inventions de machines à foison - éclairage, ascenseur, climatiseur, ventilation mécanisée - et aux modes de transport – navigation maritime et réseaux de ports, tramways, trains et réseaux ferroviaires, avec les modestes débuts de l'automobile et des réseaux routiers, ainsi que de l'aviation civile naissante. Mais essentiellement, les premières générations de ces machines sont conçues de manière très robuste, avec des assemblages simples et un fonctionnement lent en matière de cadences de production et d'opération. C'est le début, vers 1942, de programme de maîtrise de la qualité dans les processus de production par Deming et Juran, à la demande d'usines d'armements. Malgré tout, les instruments et dispositifs de commande sont simples. Ainsi, sur le plan de la maintenance continue des machines, bâtiments et infrastructures, cela s'effectue par « nettoyage » et, en mode « correctif », par la « réparation » ou le « remplacement » après un bris, une panne ou une défaillance. En revanche, au cours de la Seconde Guerre mondiale des techniques de « lubrification régulière » de pièces mécaniques préfiguraient au mode « préventif » de maintenance développé depuis. C'est la fin de la *première génération des pratiques en maintenance* ;
- ii) La mise en place de *l'Organisation scientifique du travail* (Taylor, 1911)²⁶⁵ proposant la division du travail et le scientisme. Ce modèle fut en quelque sorte déployé à grande échelle lors de la « mobilisation » de pays pour répondre à la crise de la période trouble de 1914 à 1945. Le *salarié professionnel, artisan*, cultivant une *épistémè* donne sa place au *salarié spécialisé* dépossédé de son savoir artisanal – nécessitant une souhaitée autonomie souhaitée et compréhension globale du procédé de fabrication, le *tout* – pour adopter un savoir spécifique – donnant une aura de

²⁶⁴ Schwartz, M., Perrot, A. (2017). *Louis Pasteur - Le visionnaire*. La Martinière.

²⁶⁵ Taylor, F. W. (1911). *The Principles of Scientific Management*. Harper and Brothers.

spécialiste, mais dans les faits, on retrouve plutôt une perte d'autonomie et un isolement du *tout* ;

- iii) Une proposition du sociologue allemand Max Weber de conciliation entre l'organisation *scientifique* et l'organisation *politique* dans son ouvrage « Le Savant et le Politique ». Ces deux aspects sont, par essence, divergents. Et pourtant, ils doivent cohabiter en renonçant à la certitude scientifique, pour tenter un mélange entre « modestie et disponibilité d'esprit » - les attributs du *savant* - et « éthique de conviction et éthique de responsabilité » - les attributs du *politique* (Weber, 1919)²⁶⁶ ;
- iv) Une forme d'organisation basée sur des *bureaux* responsables de fonctions administratives, nommée *bureaucratie*. Le tout visant à être implanté et suivi rigoureusement afin d'éviter l'interprétation et l'application subjective de tâches. On vise à limiter l'approche par le *pouvoir*, qui force à l'obéissance, pour valoriser l'approche par l'*autorité*, qui encourage le respect volontaire des ordres. Ce modèle a pour principes de rendre stricts et immuables les processus administratifs et de présumer de la *certitude* des résultats du dispositif. Les procédures écrites et les notes de service deviennent des preuves tangibles de l'objectivité du processus décisionnel, selon Weber ;
- v) Une « science universelle » de la gestion, par Henri Fayol (Fayol, 1916)²⁶⁷ en proposant une capacité productive et une capacité administrative de l'organisation. L'*administration* est alors une *discipline de l'agrégation* qu'un dirigeant ne peut déléguer. Elle repose sur des principes rationalistes et six fonctions de l'organisation²⁶⁸ ;
- vi) Sur le plan des mathématiques, le début de la *théorie des jeux* (Borel, 1921)²⁶⁹, (Borel, 1941)²⁷⁰. Qui a évolué en intégrant la *théorie de l'utilité espérée*

²⁶⁶ Weber, M. (1919). *Le savant et le politique* (2002). 10 X 18, Paris.

²⁶⁷ Fayol, H. (1916). *Administration industrielle et générale* (1999). Dunod.

²⁶⁸ Fonctions de l'organisation de Henri Fayol (1916) : 1) Fonction technique (produire et transformer) ; 2) Fonction sécurité (protéger les biens et les personnes) ; 3) Fonction comptable (enregistrer les données comptables) ; 4) Fonction financière (rechercher et gérer les capitaux) ; 5) Fonction commerciale (acheter et vendre) ; 6) Fonction administration = prévoir, organiser, commander, coordonner, contrôler.

²⁶⁹ Borel, E. (1921). La théorie du jeu et les équations intégrales à noyau symétrique gauche. *C.R. Hebd. Seances Acad. Sci.*, 173, 1304-1308.

²⁷⁰ Borel, E. (1941). *Le jeu, la chance et les théories scientifiques modernes*. Collection L'Avenir de la Science, 15.

(von Neumann et Morgenstern, 1944, 2007)²⁷¹. La notion d'*utilité espérée* est issue de la résolution du paradoxe de Saint-Pétersbourg par Daniel Bernoulli au XVIIIème siècle, qui révèle que l'espérance d'un gain est un choix individuel en fonction de l'aversion au risque de chacun (Cuppey-Soubeyran)²⁷². Ainsi, l'*espérance* et l'*utilité* peuvent être découplées lors d'une prise de risque. De fait, plusieurs remises en cause de la notion d'*utilité espérée* sont apparues à cause de l'imposition d'un cadre normatif rigide et indépassable : le décideur n'a pas un profil unique. Sans compter les difficultés d'applications en économie dans le cas de *décisions en incertain* ;

- vii) L'époque de la *théorie du risque* a marqué un tournant significatif dans la compréhension des incertitudes liées à l'avenir. Elle a introduit la notion cruciale de différenciation entre le risque et l'incertain (Knight, 1921)²⁷³ (Villemeur, 1988)²⁷⁴ (Modarres et coll., 2009)²⁷⁵. D'un côté, le risque représente un avenir que l'on peut connaître et quantifier à travers des méthodes probabilistes. Cela signifie que l'on peut évaluer les probabilités d'occurrence des événements futurs en s'appuyant sur des données et des modèles statistiques. Cette approche est essentielle pour la prise de décision dans de nombreuses situations, de la finance aux assurances en passant par la gestion de projets. D'un autre côté, l'incertain représente un avenir qui demeure inconnu et qui ne peut pas être rendu probabiliste. C'est là où réside une grande part de l'incertitude réelle. Il s'agit de situations pour lesquelles nous ne pouvons pas prévoir ou quantifier les événements futurs de manière précise. Cela peut être dû à des facteurs imprévisibles, à des événements rares ou extrêmes, ou à des phénomènes complexes qui échappent aux modèles traditionnels. De nos jours, cette distinction entre le risque et l'incertain est particulièrement pertinente, notamment en raison des conséquences liées aux phénomènes de queues de distribution, souvent appelés (*fat-*

²⁷¹ Von Neumann, J., and Morgenstern, O. (1944). *Theory of games and economic behavior* (2007). Princeton university press.

²⁷² Coupey-Soubeyran, Jézabel. (2013). Le paradoxe de Saint-Pétersbourg . *Alternatives Économiques*, 322 (3).

²⁷³ Knight, Franck H. (1921). *Risk, Uncertainty, and Profit*. Boston, MA : Hart, Schaffner & Marx ; Houghton Mifflin Co.

²⁷⁴ Villemeur, A. (1988). *Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels : fiabilité-facteurs humains, informatisation*. Eyrolle.

²⁷⁵ Modarres, M., Kaminskiy, M. P., & Krivtsov, V. (2009). *Reliability engineering and risk analysis: a practical guide*. CRC press.

tailed distribution) (Taleb, 2007)²⁷⁶ (Taleb, 2020)²⁷⁷. Ces phénomènes se caractérisent par la présence d'événements rares mais extrêmement impactants. Ils sont difficiles à modéliser en utilisant des approches probabilistes classiques, car ils ne suivent pas une distribution normale. On parle alors de *vraisemblance d'occurrence* (approche déductive relevant d'une mesure « qualitative ») plutôt que de *probabilité d'occurrence* (approche par la comptabilisation de statistiques relevant d'une mesure « quantitative »). Cela signifie que, dans un monde complexe et en constante évolution, il est essentiel de reconnaître que de nombreuses situations sont marquées par l'incertitude, et non simplement par le risque. Cette reconnaissance peut avoir un impact significatif sur la manière dont nous prenons des décisions, gérons les risques et planifions l'avenir.

4.2.3 1950-1975: Une économie de réduction des inégalités et automatisée

L'époque des « Trente Glorieuses » fut silencieuse, mais riche en croissance économique fondée sur un baby-boom, le plein emploi et une forte réduction des inégalités dans les pays industrialisés. Ce fut aussi une époque importante des progrès méthodologiques, techniques et technologiques en appui à la mise en place d'un libéralisme renouvelé. Dans ce contexte d'industrialisation massive de l'Occident, des machines et systèmes techniques se développent et s'implantent avec une évolution du degré de sophistication technologique pour combler les besoins (la demande) et les opportunités (l'offre) du moment. Le transport en véhicules motorisés individuels ou collectifs (motos, automobiles, autobus, camions) devient le mode privilégié pour les marchandises et les personnes en complément au bateau et au train. L'aviation civile se démocratise et consolide ses assises en développant un grand nombre d'aéroports un peu partout sur la planète.

Ainsi, l'époque des « Trente Glorieuses » a été caractérisée par une période de forte croissance économique et de développement massif des infrastructures et des bâtiments. Cette période a vu la construction de nombreux bâtiments publics et privés, ainsi que le

²⁷⁶ Taleb, N.N. (2007). *The black swan: The impact of the highly improbable*, Vol. 2. Random house.

²⁷⁷ Taleb, N.N. (2020). *Statistical Consequences of Fat Tails: Real World Pre asymptotics, Epistemology, and Applications*. STEM Academic Press.

développement d'infrastructures importantes pour soutenir cette croissance économique. Cependant, après environ trois décennies de construction intensive, deux constats sont apparus.

D'une part, la vétusté physique et fonctionnelle est apparue avec le temps ; l'état physique des bâtiments et des infrastructures s'est détérioré, ce qui peut engendrer des problèmes de sécurité et de performance. De plus, leur fonctionnalité peut ne plus être adaptée aux besoins actuels, car les usages et les technologies évoluent avec le temps.

D'autre part, le manque de renouvellement des actifs construits s'avère être un problème majeur. Cela signifie que les bâtiments et les infrastructures n'ont pas été rénovés ou remplacés au fil du temps pour maintenir leur qualité et leur pertinence. Ce manque de renouvellement a conduit à une accumulation de bâtiments et d'infrastructures vieillissants, devenus coûteux à entretenir et à réparer.

En conséquence, cette conjoncture a mis en évidence la nécessité d'un changement radical dans la gestion des actifs physiques. Il est devenu impératif de repenser la manière dont les bâtiments et les infrastructures sont entretenus, rénovés et renouvelés. Cela implique souvent d'investir dans la rénovation ou le remplacement des actifs existants pour les rendre plus efficaces, plus sûrs et plus adaptés aux besoins actuels et aux enjeux environnementaux ou climatiques. Il y a une nécessité à réévaluer la gestion de ces actifs physiques pour assurer leur durabilité et leur utilité à long terme, en prenant des décisions judicieuses, en gérant les risques et en planifiant l'avenir. (Foucault, J.-P., 2004)²⁷⁸.

La troisième révolution industrielle prend son envol à la fin de cette période avec des bases établies depuis les années 1950, elle a conduit à la situation suivante:

- i) Sur le plan de la microéconomie, les théories sur la prise de décision (*decision-making*) (Simon, 1959)²⁷⁹ sont influencées par les concepts de *satisficing* (Simon, 1956)²⁸⁰, de *rationalité limitée* (Simon, 1957)²⁸¹ et d'*anticipation rationnelle* (Muth,

²⁷⁸ Foucault, J.-P. (2004). La passation des pouvoirs en gestion des patrimoines immobiliers publics du Québec : la croisée des chemins. *Le Diffuseur, Volume 6* (4). https://www.agpi.org/documents/file/Diffuseur/Vol6_4.pdf,

²⁷⁹ Simon, Herbert A. (1959). Theories of decision-making in economics and behavioral science. *The American economic review*, 49 (3), 253-283.

²⁸⁰ Simon, H. A. (1956). Rational choice and the structure of the environment. *Psychological Review*, 63(2). 129–138. <https://doi.org/10.1037/h0042769>.

²⁸¹ Simon, H. A. (1957). A behavioral model of rational choice. *Models of man, social and rational: Mathematical essays on rational human behavior in a social setting (1957)*, 241-260.

1961)²⁸². Ces concepts soutiennent les modèles et méthodes de décision. Elles montrent ce que les agents économiques attendent d'un modèle ou d'une méthode. Les agents économiques doivent comprendre le modèle ou la méthode pour comprendre l'implication de sa décision.

- ii) Le but est de considérer comme valides les prévisions ou anticipations liées au modèle. Ainsi, les attentes *rationnelles anticipées* assurent une cohérence interne au modèle, particulièrement lorsqu'il comporte des incertitudes, tel que décrit par Knight en 1921.
- iii) Cette approche suscite une critique majeure, qui concerne l'utilisation de valeurs estimées basées sur la vraisemblance plutôt que sur la probabilité au sein du modèle. Pour résoudre ce problème, les personnes impliquées dans l'évaluation des prévisions doivent avoir une connaissance approfondie de la structure interne du modèle, de la méthode ou du processus utilisé pour générer les informations. Cela s'appelle la méthode « *white box* ». Au lieu de contribuer « à l'aveugle », ou méthode « *black box* », elles doivent comprendre en détail comment le modèle fonctionne et comment il est utilisé. Cela permet d'obtenir des contributions plus éclairées et précises à l'anticipation (Evans et Ramey, 2006)²⁸³. Dans le domaine de l'économie, cette approche de la méthode « *white box* » est particulièrement importante pour améliorer la qualité des prévisions et des décisions. Par exemple, considérons une entreprise qui utilise un modèle financier pour prévoir ses bénéfices futurs. Plutôt que de simplement fournir des estimations de bénéfices basées sur des données brutes, les analystes financiers doivent comprendre en profondeur les variables et les paramètres utilisés dans le modèle. Ils doivent connaître les hypothèses sous-jacentes, les relations entre les variables, et comment ces informations sont utilisées pour générer les prévisions. Un autre exemple concerne les politiques gouvernementales. Lorsque les économistes évaluent l'impact potentiel d'une politique économique, ils doivent utiliser des modèles économiques. Ces modèles peuvent être complexes, mais pour obtenir des évaluations précises, les économistes doivent connaître la structure interne du modèle, y compris les équations et les paramètres utilisés. Cela leur permet

²⁸² Muth, John F. (1961). Rational expectations and the theory of price movements. *Econometrica: Journal of the Econometric Society* (1961). 315-335.

²⁸³ Evans, G.W. et Ramey, G. (2006). Adaptive expectations, underparameterization and the Lucas critique. *Journal of monetary economics*, 53(2), 249-264.

de mieux comprendre comment la politique affectera l'économie et de fournir des recommandations plus éclairées aux décideurs. En somme, la méthode « *white box* » est essentielle dans le domaine de l'économie pour garantir des prévisions et des évaluations de qualité, en s'assurant que ceux qui contribuent à l'anticipation comprennent pleinement les modèles et les méthodes sous-jacents.;

- iv) Dans la continuité de la période économique précédente, la gestion des organisations industrielles se fonde sur une nouvelle étude des organisations - par l'*École des relations humaines* – autour du célèbre cas de l'usine de Western Electric près de Chicago aux États-Unis d'Amérique. Cette étude démontre les mérites de la coopération sociale au sein d'équipe de travail dans une dynamique d'interaction homme-machine et homme-système (Mayo, 1934)²⁸⁴. C'est la proposition d'une relation entre la productivité par la motivation et l'affectivité non autoritaire (Mayo, 1947)²⁸⁵. Un peu plus tard, une hiérarchie des besoins apparaît comme grille de lecture sociologique et psychologique des organisations et de la société : la pyramide de Maslow. Cette représentation, maintenant jugée réductrice de toutes les dimensions d'un humain, demeure tout de même souvent la référence pour formaliser les besoins élémentaires concrets (alimentation, sécurité, etc.) et les besoins psychologiques abstraits (accomplissement de soi, pouvoir, etc.) de chaque individu en passant par les besoins d'amour, d'estime de soi et de liens sociaux. Elle permet d'établir une échelle de maturité (évolutive ou régressive) ainsi que des liens d'association et de dissociation dans les relations sociales en tenant compte de positions antagonistes ou non des individus dans une logique libérale (Maslow, 1954, 1981)²⁸⁶. Depuis, les ouvrages et la pensée de Jean Baudrillard, par exemple, amènent à réfléchir sur l'étendue du capitalisme et de son discours post-libéral qui, selon Baudrillard, « *génère les graines de ce qui réagit contre lui en évacuant l'aspect du désir et du besoin de chacun pour une existence sociale* » (Baudrillard, 1972)²⁸⁷.

²⁸⁴ Mayo, E. (1934). The Human Problems of an Industrial Civilization. *Nature* 134, 201. <https://doi.org/10.1038/134201b0>

²⁸⁵ Mayo, E. (1947). *The political problem of industrial civilization*. Harvard University 2 lectures, entitled: The Modernization of a Primitive Community and Change and Its Social Consequences.

²⁸⁶ Maslow, A. H. (1954). *Motivation and personality* (1981). Prabhat Prakashan.

²⁸⁷ Baudrillard, J. (1972). *Pour une critique de l'économie politique du signe*. Collection Les Essais (n° 168), Gallimard.

- v) Turing pose la question : « les machines peuvent-elles penser ? » (Turing, 1950)²⁸⁸. Ce sont les débuts de l'automatisation. Précédemment, Claude Shannon avait mis les bases de la *théorie de l'information* en décrivant le processus de la communication automatisée (Shannon, 1938)²⁸⁹, (Shannon, 1948)²⁹⁰, (Shannon, 1949)²⁹¹ ;
- vi) Sous cette impulsion de possibilités de traçabilité de l'information, les *théories sur la gestion* sont réinventées en y introduisant les concepts et la démarche qualité. Le principe de Pareto devient le premier repère statistique, en stipulant que, pour plusieurs champs disciplinaires – économie, ingénierie, médecine, etc. -, lors d'un événement environ 80 % des effets proviennent de 20 % des causes (Schumpeter, 1949)²⁹². La qualité d'un produit ou d'un service se définit alors comme la capacité et l'aptitude d'une organisation à répondre aux exigences explicites et implicites du client ou usager (du service ou du produit). En somme, c'est le passage à grande échelle d'usines diverses, d'une gestion classique des résultats (produit fini), construite autour du taylorisme, à une gestion de la qualité tout au long d'un procédé constitué de trois processus - la planification de la qualité, le contrôle de la qualité et de l'amélioration de la qualité - en tenant compte de l'intégration des gestionnaires (ou managers) comme agent nouveau de résolution de problèmes techniques ou humains (Juran, 1951, 2016)²⁹³.
- vii) Par ailleurs, Edwards Deming eut une contribution considérable aux *théories en gestion industrielle et organisationnelle*, et spécifiquement à la gestion de la qualité, et ses effets sur l'industrie et l'économie. À l'origine, dans les années 1950, au Japon, en proposant ses *méthodes statistiques* d'amélioration de la conception, de la fabrication et de la vente de produit (Deming, 1950)²⁹⁴. Il inscrit ses activités

²⁸⁸ Turing, A. M. (1950). *Computing machinery and intelligence*. *Mind*, LIX (236), 433-460. <https://doi.org/10.1093/mind/LIX.236.433>

²⁸⁹ Shannon, C. E. (1938). A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits. *Trans. AIEE*. 57 (12), 713-723. <https://doi.org/10.1109/T-AIEE.1938.5057767>. hdl:1721.1/111173.

²⁹⁰ Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *The Bell system technical journal*, 27(3), 379-423.

²⁹¹ Shannon, C. E. (1949). Communication Theory of Secrecy Systems. *The Bell System Technical Journal*, 28 (4), 656-715.

²⁹² Schumpeter, J. A. (1949). Vilfredo Pareto (1848-1923). *The Quarterly Journal of Economics*, 63(2), 147-73. <http://www.jstor.org/stable/1883096>.

²⁹³ Defoe, J.A. et Juran, J.M. (1951). *Juran's Quality Handbook: The Complete Guide to Performance Excellence* (2016). McGraw-Hill Education.

²⁹⁴ Deming, W.E. (1950). *Some Theory on Sampling*. John Wiley & Sons, New York.

d'ingénieur industriel dans le processus « observer », « planifier », « expérimenter/réaliser », « étudier », « réajuster/agir ». Deming s'en inspira pour proposer, au fur et à mesure des années, une approche systématique de la qualité qui fut popularisée sous l'appellation roue de Deming ou *PDCA – Plan Do Check Act* - (Deming, 1982)²⁹⁵. Depuis les années 1950 et jusqu'à ce jour, les Japonais considèrent Deming comme le pionnier de l'essor fulgurant de l'industrie japonaise, dont Toyota en est un symbole ; il a proposé son modèle d'amélioration continue et par ses enseignements et ses écrits, plusieurs centaines d'ingénieurs, professeurs et chercheurs japonais dont Kaoru Ishikawa (*Statistical Quality Control*, cercle de qualité, diagramme de causes et effets) (Ishikawa, 1984)²⁹⁶.

viii) Sur le plan technique et industriel, le *Capital productif* est conçu et développé avec les méthodes et les progrès de Juran et Deming, notamment, et par des expérimentations et des nouveautés scientifiques issues de la première moitié du XXème siècle. Et même si le volet de la maintenance n'est pas central lors de l'utilisation de ces outils et méthodes, la *deuxième génération des pratiques de la maintenance* se mettent en place avec trois volets principaux d'actions : i) Les actions en mode « *correctif* » pour lesquelles on tente d'établir un volume de travaux annuels à réaliser basé sur des retours d'expérience (temps moyen entre les défaillances, les bris, les pannes ou *MTBF: mean time between failures*) ii) les actions en mode « *préventif systématique de révisions et de réparations* » de machines à intervalles réguliers basées sur le nombre d'heures de fonctionnement (périodicité d'usage) ou sur un calendrier (périodicité temporelle) *recommandé par le constructeur* avant qu'un composant ne nécessite une révision (temps moyen entre les révisions ou *MTBO: mean time between overhaul*); iii) Les actions en mode « *préventive systématique de remplacements* » de pièces, de composants, de systèmes afin de garantir la fiabilité et la sûreté de fonctionnement, selon un cycle de vie basé sur les recommandations du constructeur (temps moyen entre les remplacements ou *MTBM: mean time between maintenance*). Enfin, c'est en 1971 que fut proposée, au Japon, la « maintenance productive totale » (*Total Productive Maintenance* ou TPM) qui vise à mettre en place des techniques proactives,

²⁹⁵ Deming, W.E. (1982). *Quality Productivity and Competitive Position*. Massachusetts Inst Technology (MIT), Center for Advanced Engineering Study.

²⁹⁶ Ishikawa, K. (1984). 1 - Quality Control in Japan. Dans Sasaki N. et Hutchins, *The Japanese Approach to Product Quality*, Pergamon (1-5). <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-028160-5.50006-0>

prédictives et préventives, en mettant à contribution les opérateurs de machines qui observent et mesurent des paramètres à partir de *contrôles non destructifs* (Note)²⁹⁷ (Cofrend)²⁹⁸ pour améliorer la fiabilité de fonctionnement des équipements (Nakajima, 1989)²⁹⁹ ;

- ix) À la même époque, dans le champ disciplinaire de l'économie, les bases de la *théorie des contrats* émergent à travers les questionnements sur le choix social et les valeurs individuelles, menant au *théorème d'impossibilité* (Arrow et Maskin, 1951)³⁰⁰ et la *théorie de l'équilibre général* (modèle Arrow-Debreu, 1954) (Geanakoplos, 1989)³⁰¹, largement contestée pour son absence de prise en compte la justice dans la répartition des ressources et le bien-être des agents économiques (Pignol, 2017)³⁰². D'ailleurs, dès le début des années 1970, les conséquences découlant de l'asymétrie d'information sont identifiées - l'antisélection (*adverse selection*), l'aléa moral (*moral hazard*) (Akerlof, 1970)³⁰³, et les problèmes de signal (*signalling*) (Spence, 1973)³⁰⁴. La meilleure tentative de correction de ces difficultés fut initiée par la *théorie de l'agence* (Ross, 1973)³⁰⁵ et grandement améliorée par la *théorie des*

²⁹⁷ Les méthodes de contrôle les plus utilisées sont : Examen visuel/sensoriel (VT : *Visual Testing*) ; Ressuage (PT : *Penetrant Testing*) ; Rayons X (RTX : *Real Time X*) ; Gammagraphie (RT gamma : *Real Time gamma*) ; Neutronographie ; Jauges ; Ultrasons (UT : *Ultrasonic Testing*) ; Émission acoustique (AT : *Acoustic Testing*) ; Thermographie infrarouge (TT : *Thermographic Testing*) ; Magnétoscopie (MT : *Magnetic particle Testing*) ; Démagnétisation ; Acoustique non linéaire ; Étanchéité (LT : *Leak Tightness*) ou (ITM TODA-15) ; Courants de Foucault (ET) ; Méthodes couplées ; Paramètres de processus ; Tribologie ; Analyse de l'eau et autres ; Inspections télévisuelles ; Tomographie ; Laser ; Équilibrage ; Calibrage ; Mesures d'éclairage et autres ambiances ; Analyse vibratoire ; Ressuage ; Échantillonnages divers (composition de toiture, mur, matériaux – amiante, légionellose, termites, etc.).

²⁹⁸ Confédération Française pour les Essais Non Destructifs (2021, 21 janvier). <https://www.cofrend.com/>

²⁹⁹ Nakajima, S. (1989). *TPM Development Program: Implementing Total Productive Maintenance*. Productivity Press.

³⁰⁰ Arrow, K. J. and Maskin, E.S. (1951). *Social Choice and Individual Values* (2012). Yale University Press. <http://www.jstor.org/stable/j.ctt1nqb90>

³⁰¹ Geanakoplos J. (1989). Arrow-Debreu Model of General Equilibrium. In: Eatwell J., Milgate, M., Newman P. *General Equilibrium. The New Palgrave*. Palgrave Macmillan, London. https://doi.org/10.1007/978-1-349-19802-3_3

³⁰² Pignol, C. (2017). La justice dans la théorie de l'équilibre général. Dans Pignol, Villeneuve d'Ascq, *La théorie de l'équilibre général* (101-120). Presses universitaires du Septentrion <http://books.openedition.org/septentrion/34933>>.

³⁰³ Akerlof, G. A. (1970). The Market for "Lemons" : Quality Uncertainty and the Market Mechanism. *The Quarterly Journal of Economics*, 84 (3), 488-500, <https://doi.org/10.2307/1879431>

³⁰⁴ Michael S. (1973). Job Market Signaling. *The Quarterly Journal of Economics*, 87 (3), 355-374. <https://doi.org/10.2307/1882010>

³⁰⁵ Ross, S. (1973). The Economic Theory of Agency: The Principal's Problem. *American Economic Review*, 63 (2), 134-39. <https://EconPapers.repec.org/RePEc:aea:acrev:v:63:y:1973:i:2:p:134-39>.

incitations proposée par Jean-Jacques Laffont en 1975 (Maskin, 2004)³⁰⁶, sans toutefois prétendre résoudre la complexité et l'incertitude liées aux contrats.

- x) Les préoccupations pour les limites de la planète, en termes de ressources et de pollution, continuent à alimenter le débat sur le modèle productif et consumériste du capitalisme depuis la fin des années 1940 avec des ouvrages fondateurs de la pensée écologique (Vogt, 1948, 2010)³⁰⁷ (Fairfield Osborn, 1948, 2008)³⁰⁸ et pendant cette époque caractérisée sur le plan économique avec des ouvrages comme ceux sur la surpopulation humaine mondiale (Ehrlich, 1968)³⁰⁹ et le Rapport Meadows (Meadows, 1972)³¹⁰
- xi) Dans le domaine de la géographie, l'urbanisme et l'ingénierie urbaine, l'idée est émise selon laquelle le progrès technique fera naître un « village global » par le passage de la « galaxie Gutenberg » à la « galaxie Marconi/Tesla ». Par la réduction des distances physiques et fonctionnelles entre les continents, les pays, les villes, les organisations et les individus, un resserrement et un regroupement de communautés virtuelles mènent à la mondialisation (McLuhan, 1962)³¹¹. La plus grande critique de cette proposition porte sur le déterminisme technologique monocausal qu'elle suggère : « *Par déterminisme technologique, on entend l'attitude intellectuelle qui consiste à croire que la technologie détermine essentiellement ou premièrement l'organisation sociale et le comportement humain* » (Attallah, 1989)³¹². Aussi, à partir de la fin des années 1960, le concept d'hétérotopie, issu d'un courant structuraliste, amène les architectes et les urbanistes à considérer la conception de la ville, et ses infrastructures, sur la base d'*espaces autres*. Ce serait une localisation physique de différentes utopies juxtaposées qui hébergent l'imaginaire et qui font

³⁰⁶ Maskin, E. (2004). Jean-Jacques Lafont : A Look Back. *Journal of the European Economic Association*, 2 (5), 913-923. <http://www.jstor.org/stable/40005076>.

³⁰⁷ Vogt, W. (1948). *Road To Survival* (2010). Kessinger Publishing.

³⁰⁸ Fairfield O. H.jr. (1948). *Planète Au Pillage* (2008). Actes Sud.pages.

³⁰⁹ Ehrlich, P. R. *The population bomb*. New York.

³¹⁰ Meadows, D. H., et al. (1972). *The limits to growth*. New York.

³¹¹ McLuhan, M. (1962). *The Gutenberg Galaxy: The Making of Typographic Man*. University of Toronto Press, Scholarly Publishing Division.

³¹² Attallah, P. (1989). *Théories de la communication : histoire, contexte, pouvoir*. Presses de l'Université du Québec.

vivre des hétérochronies (rupture avec le temps réel) (Foucault, M., 1967, 2004)³¹³. L'hétérotopie s'oppose alors au *village global* dans une confrontation qui demeure en observation : des imaginaires culturels et historiques locaux introduisent la complexité de la cohabitation de la normalisation imposée par la technique - et ses outils, les mathématiques, les algorithmes, la science et le désir d'exprimer sa singularité humaine, ce dont se targue le post-libéralisme. Par ailleurs, en 1969, il est proposé de considérer la ville comme un système avec toutes les dynamiques de stocks et de flux, tant sur le plan technique, économique que social. Le modèle est constitué de 156 équations pour simuler le comportement des villes. Cette approche par la *théorie des systèmes* est fondamentalement basée sur le versant quantitatif en se distinguant des *modèles d'équilibre* et des *techniques d'optimisation* - ou même des fonctions simplistes comme celle des simulations de Monte-Carlo - en intégrant le volet comportemental des usagers des villes qui donne un aspect ouvert au système, une ouverture à la bifurcation (Forrester, 1969)³¹⁴.

- xii) Cette période économique se termine sur l'invention du microprocesseur qui vise à regrouper en un seul circuit intégré l'ensemble des instructions et traitements de données de programmes, exécuté par un ordinateur (Bernard et Hoff, 1965)³¹⁵, vendu par l'entreprise Intel (*integrated electronics*) en 1971. Cela a rendu possible, à partir de 1973, le développement, par le français François Gernelle, et par la mise en marché du premier micro-ordinateur au monde, le Micral N, (Mounier-Kuhn, 2020)³¹⁶.

4.2.4 1975-1990 : Une économie de crise énergétique et micro-informatisée

La période 1975 à 1990 s'amorce sur le premier choc pétrolier de l'histoire causé par un embargo de l'OPEP envers les pays qui soutiennent Israël, dans le contexte de la guerre du Kippour, avec pour effet économique une hausse importante du prix du baril de pétrole (environ

³¹³ Foucault, M. (1967). Des espaces autres : conférence au Cercle d'études architecturales, 14 mars 1967). *Architecture, Mouvement, Continuité*, 5, 46-49.

³¹⁴ Forrester, J. W. (1969). *Urban Dynamics*. MIT Press.

³¹⁵ Bernard, W. et Hoff, M. (1962). *Logic circuit and electrolytic memory element therefore*. US3222654A, United States, Patented December 07, (1962).

³¹⁶ Mounier-Kuhn, P. (2020, 22 mars). MICRAL N. Encyclopædia Universalis. <https://www.universalis.fr/encyclopedie/micral-n/>

450%). (Schumacher, 1985)³¹⁷. Ce nouveau paramètre en lien avec l'approvisionnement en énergie influence la géopolitique de différents pays, dont la France, et mènera à dresser une nouvelle géostratégie afin de gérer les enjeux d'accès et de distribution des ressources naturelles (pétrole, uranium, or, etc.). À partir de cette crise économique, le développement industriel ralentit en Occident. Il y a même désindustrialisation au profit d'une nouvelle émancipation de certains pays émergents. C'est le cas de la Chine qui, dès la fin de 1978, s'engage dans une politique de décentralisation de l'économie, de l'accroissement du rôle du marché ainsi que de l'ouverture et l'intégration au marché mondial (Fukasaku et Solignac Lecomte, 1996)³¹⁸. En 1990, après la chute du bloc de l'Est, les stratégies et actions des pays industrialisés se tournent vers une accélération de la mondialisation : la voie est ouverte au déploiement du capitalisme post-libéral au-delà de ses contours géographiques classiques. La logique du flux prend le pas sur la logique du stock.

L'ensemble des conjonctures de cette époque, incluant la continuité des activités de vastes mouvements sociaux, porte les pays à adopter une nouvelle grille de lecture et de pilotage de la société : celle du « développement durable » ou « développement soutenable » (*sustainable development*) qui vise une prise en compte globale du problème de l'équilibrage entre les ressources naturelles, l'économie et leurs effets sur le social (Brundtland, 1987)³¹⁹. Ce contexte devient favorable à un renouveau de l'économie vers des mesures écosystémiques vertueuses. Du moins, ce sont les promesses entendues à l'époque.

Ainsi, tel est le constat influençant la manière d'aborder la gestion des actifs physiques des villes qui ne cessent de croître en nombre, en taille et en population :

- i) La micro-informatique envahit les bureaux, usines et logements, et l'internet est presque partout : c'est l'ère de la troisième révolution industrielle, celle de l'informatique, ou des technologies de l'information et des communications (TIC) propulsées par le lancement de l'Apple II en 1977, du premier tableur (Visicalc) en

³¹⁷ Schumacher D. (1985). *The 1973 Oil Crisis and its Aftermath*. In: *Energy: Crisis or Opportunity?* Palgrave, London.. https://doi.org/10.1007/978-1-349-17797-4_2

³¹⁸ Fukasaku, K. et Solignac Lecomte, H.-B. (1996). Transition économique et réforme de la politique commerciale en Chine. *Revue d'économie du développement, numéro thématique : L'économie chinoise, 4-1-2*, 185-205.

³¹⁹ Brundtland, G. (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*. United Nations General Assembly document A/42/427. <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>

1979, du PC (*personal computer*) de IBM en 1981, du Macintosh d'Apple en 1984 et de Windows de l'entreprise Microsoft en 1985 (Mounier-Kuhn, 2021)³²⁰ ;

- ii) La France réagit au premier choc pétrolier, en faisant entrer le pays dans la modernité et l'avant-garde, sous trois axes : 1° renforcer les liens de bonnes ententes avec les pays arabes; 2° accélérer la mise en place de la politique d'indépendance énergétique par un recours rapide, massif et systématique à la construction de centrales nucléaires; 3° convaincre les Français de lutter contre le « gaspillage » par des mesures d'économies d'énergie : i) Interdiction de la publicité lumineuse, de l'éclairage des vitrines et des bureaux inoccupés entre 22 heures et 7 heures; ii) fin des émissions de télévision à 23 heures, sauf les samedis, dimanches et fêtes; iii) économie de chauffage; iv) limitation de la vitesse automobile, renforcée; v) utilisation des transports en commun (le projet de TGV Paris-Lyon est approuvé en 1974) (Messmer, 1995)³²¹ ;
- iii) Les « mouvements sociaux » ayant pris leur élan en mai 1968, se déploient autour de quatre aspects principaux : i) des luttes ouvrières par l'occupation de locaux pour rendre visibles les revendications dans les médias et pour avoir accès à l'État qui a un caractère protéiforme et physiquement distant (Paris) (Penissat, 2005)³²²; ii) une crise économique - portée par la hausse du prix du pétrole utilisée comme arme géopolitique - qui génère une récession avec une forte inflation, un déficit commercial, une vague de chômage et mène au début de la désindustrialisation (Antonin, 2003)³²³; iii) des besoins intenses en logements sociaux afin de continuer à éradiquer le nombre de bâtiments insalubres, de maintenir la base de main-d'œuvre pour l'industrie et la construction, ce qui conduira à la construction de cités de banlieues et de villes nouvelles (Jullien, 2004)³²⁴; iv) une effervescence idéologique - ayant eu des effets sur l'architecture, l'urbanisme, les organisations industrielles et

³²⁰ Mounier-Kuhn, P. (2021, 24 janvier). *Micro-informatique - (repères chronologiques)*. Encyclopædia Universalis. <https://www.universalis.fr/encyclopedie/micro-informatique-reperes-chronologiques/>

³²¹ Messmer, P. (1995). *Un Premier ministre dans le premier choc pétrolier*. Mémoires de l'Académie nationale de Metz.

³²² Penissat, É. (2005). Les occupations de locaux dans les années 1960-1970 : Processus sociohistoriques de réinvention d'un mode d'action. *Genèses*, 2(59), 71-93. <https://doi.org/10.3917/gen.059.0071>.

³²³ Antonin, C. (2013). Après le choc pétrolier d'octobre 1973, l'économie mondiale à l'épreuve du pétrole cher. *Revue internationale et stratégique*, 3(91), 139-149. <https://doi.org/10.3917/ris.091.0139>.

³²⁴ Jullien, J. (2004). L'urbanisme opérationnel en banlieue : des années 1970 à 1980. *Villes en parallèle*, 38-39, 212-243. <https://doi.org/10.3406/vilpa.2004.1421>

postindustrielles ou les réseaux sociaux - autour de penseurs comme Gilles Deleuze (rhizome, micropolitique, personnage conceptuel), Jacques Derrida (déconstruction), Michel Foucault (hétérotopie, redressement des corps et des morales, maillage social, microrésistance), Félix Guattari (déterritorialisation, schizoanalyse), (Halpern et coll.)³²⁵, Pierre Bourdieu (mécanismes de reproduction des hiérarchies sociales) (Bourdieu, 1979)³²⁶.

- iv) En même temps, dès 1974, il est démontré, par l'étude d'opérations mentales (heuristiques), qu'une meilleure compréhension du mode de décision ou de jugement dans un contexte incertain est souhaitable pour prévoir les erreurs systématiques ou biais cognitifs (Tversky et Kahneman)³²⁷. C'est le fondement de la *théorie des perspectives*, construite à partir de travaux expérimentaux et fondatrice de l'*économie comportementale*, qui stipule que la *théorie de l'utilité espérée* - qui se limite à la construction de modèles d'optimisation mathématique sur la base de l'hypothèse de la rationalité des décideurs - est remise en cause par une approche descriptive du comportement réel d'un décideur influencé par des biais cognitifs (Kahneman et Tversky)³²⁸. Enfin, cela a mené à proposer que deux systèmes de pensée animent le jugement et les décisions : le système intuitif, rapide et émotionnel (S1) ainsi que le système plus délibératif, plus lent et plus logique (S2) (Kahneman)³²⁹. La subjectivité est au cœur des décisions.
- v) Pour tenter de définir la subjectivité humaine, à partir de 1986, dans le champ de l'économie du développement, on propose une taxonomie des besoins humains fondamentaux, ainsi que des facteurs et moyens de les satisfaire, qui offrent une réponse aux systèmes de développement hiérarchique néolibéral. Ainsi, par cette grille de lecture des sociétés, le développement à l'échelle humaine se fonde sur une transformation du rôle de l'État par l'encouragement de la société civile et la population à produire des solutions créatives ascendantes (*bottom up*) plutôt que

³²⁵ Halpern, C., Cusset, F. et Journet, N. (2013). *Pensées rebelles. Foucault, Derrida, Deleuze*. Éditions Sciences Humaines, Petite bibliothèque. <https://doi.org/10.3917/sh.colle.2013.02>.

³²⁶ Bourdieu, P. (1979). *La Distinction : Critique sociale du jugement*. Les éditions de minuit, Collection Le sens commun.

³²⁷ Tversky, A. and Kahneman, D. (1974). Judgment under Uncertainty: Heuristics and biases. *Science*, 185(4157), 1124-1131. <https://doi.org/10.1126/science.185.4157.1124>.

³²⁸ Kahneman, Daniel, and Amos Tversky. (1979). Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk. *Econometrica*, 47(2), 263-91. doi:10.2307/1914185.

³²⁹ Kahneman, D. (2011). *Thinking, fast and slow*. Macmillan.

d'attendre et souhaiter des solutions paternalistes descendantes (*top down*). Or donc, pour améliorer les conditions de vie des populations, les principes suivants doivent guider la démarche : i) le développement concerne les personnes et non les choses : le PIB n'est pas l'indicateur indépassable de la satisfaction des besoins humains. C'est plutôt la qualité de vie qui est le meilleur indicateur ; ii) Les besoins humains fondamentaux sont finis, limités en nombre et que l'on peut classer : la nomenclature des besoins est en nombre limité et à la satiété éventuellement avérée ; iii) Même s'il y a quelques adaptations culturelles et temporelles, les besoins humains fondamentaux sont les mêmes dans toutes les cultures et à toutes les époques ; iv) L'économie se fonde alors sur les désirs et besoins des citoyens, de la population (la demande) plutôt que sur les désirs et envies commercialisés ou créés de toute pièce par l'opportunité marchande (offre). Ceci s'oppose à l'idée traditionnelle selon laquelle les besoins humains sont sujets à des tendances qui varient en permanence. (Manfred et coll., 1989)³³⁰.

- vi) L'organisation sociale et les organisations industrielles, et post-industrielles de services, se formalisent autour du recours à la numérisation pour construire le *savoir* et le *pouvoir* en augmentant l'abstraction, la dématérialisation et la *complexité*, amplifiées par l'interdisciplinaire (Morin, 1990)³³¹ (Morin, 1990)³³² (Morin, 2013)³³³. Cette forme d'organisation du capitaliste mondialisé fut préfigurée notamment par la *théorie du Rhizome*, cette « structure en constante évolution au fil du temps caractérisée par son déploiement horizontal dans toutes les directions et dont les niveaux n'existent pas » (Deleuze et Guattari, 1972)³³⁴, (Deleuze et Guattari, 1980)³³⁵. Elle caractérise et décrit la complexification et la dématérialisation des organisations. C'est un système de fonctionnement issu de réflexions sur les travaux

³³⁰ Max-Neef, M., Hevia, A. and Hopenhayn, M. (1989). Human scale development: An option for the future. *Development Dialogue 1*, 7-80.

³³¹ Morin, E. (1990). *Sur l'interdisciplinaire*. Carrefour des sciences, Actes du Colloque du Comité National de la Recherche Scientifique Interdisciplinarité, Éditions du CNRS, et Centre International de Recherches et Études Transdisciplinaires. <http://ciret-transdisciplinarity.org/bulletin/b2c2.php>,

³³² Morin, E. (1990). *Introduction à la pensée complexe*. Éditions du Seuil.

³³³ Morin, E. (1977) (2013). *La méthode: la nature de la nature*. Média Diffusion.

³³⁴ Deleuze, G. et Guattari, F. (1972). *Capitalisme et schizophrénie 1 : L'Anti-Œdipe*. Les éditions de minuit, Collection Critique.

³³⁵ Deleuze, G. et Guattari, F. (1972). *Capitalisme et schizophrénie 2 : Mille plateaux*. Les éditions de minuit, Collection Critique.

mathématiques des fractales (Mandelbrot, 1975)³³⁶. Cela se matérialise alors par les systèmes de communication qui sont dorénavant planétaires avec la démocratisation des outils du numérique (fax moderne, 1981 ; les courriels, 1982 ; téléphone portable, 1983, en plus de la micro-informatique). Ainsi, à coup sûr, intangible ne veut pas dire inexistant.

- vii) Dans le champ de la production industrielle, les Américains Armand V. Feigenbaum (*Total Quality Control*) (Feigenbaum, 1951,1991)³³⁷ et Philip B. Crosby (*Zero Defect, Quality*) (Crosby, 1980)³³⁸ (Crosby, 1985)³³⁹, le Japonais Genichi Taguchi (méthode statistique sur les pertes de fonctions en conception) (Taguchi, Chowdhury et Wu, 2004)³⁴⁰ et plusieurs autres, contribuèrent, dans les décennies qui suivirent, à l'élaboration et à l'implantation de différentes méthodologies appliquées pour l'amélioration continue et la gestion de la qualité dans le domaine de la conception et de la production, dont les principales sont : la méthode Kaizen, les 5 S (*Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke*), les Six Sigma, le Juste-à-temps, le Kanban, le *Lean management*, TPM, PDCA (roue de Deming), *Poka-yoke*, QQQQCCP (ou *Five W's* : « *Who, What, Where, When, Why?* »), TQM, SMED, Diagramme de Pareto, Yokoten, *Zero Defect*.
- viii) En ce qui a trait aux théories sur la maintenance, elles progressent sous la pression induite par les nombreux incidents et accidents en croissance dans l'aviation civile depuis les années 1950 (ASN, 2021)³⁴¹ et par l'avènement d'avions de plus en plus complexes et coûteux à construire comme le Boeing 747 (depuis 1969) et le Concorde (1976-2003) qui nécessitent des approches nouvelles de la maintenance. En 1978, le *U.S. Department of Defense (DOD)* octroie la mission à des ingénieurs de la compagnie aérienne *United Airlines* d'élaborer une approche basée sur une maintenance pour garantir la fiabilité et la sûreté de fonctionnement de tous les composants d'un système complexe. L'un des objectifs fondamentaux de la

³³⁶ Mandelbrot, B.B. (1975). *Les objets fractals : forme, hasard et dimension vol.17*. Paris:Flammarion.

³³⁷ Feigenbaum, A.V. (1991). *Total Quality Control, Revised* (Fortieth Anniversary Edition), Volume 1. McGraw-Hill.

³³⁸ Crosby, P. B. (1980). *Quality is free: The art of making quality certain*. Signet Book.

³³⁹ Crosby, P. B. (1985). *Quality without tears*. New American Library.

³⁴⁰ Taguchi, G., Chowdhury, S., and Wu, Y. (2004). *Taguchi's Quality Engineering Handbook*. Wiley-Interscience.

³⁴¹ Aviation Safety Network. (2021, 29 janvier). *Safety Database: over 20,300 incidents, hijackings and accidents*. Flight Safety Foundation. <https://aviation-safety.net/>

commande était de mettre en évidence des pratiques transférables à tous les types de machines et d'actifs physiques fixes. On retrouve dans l'ouvrage produit, une présentation des définitions, concepts fondamentaux et des applications pour cette discipline nommée « maintenance axée sur la fiabilité » ou « *Reliability-Centered Maintenance* » (Nowlan et Heap, 1978)³⁴². Les points saillants de ce document s'articulent autour : i) de l'information qui est difficile à obtenir et est pourtant fondamentale pour classer, mettre en priorité, sélectionner les actions et prendre des décisions ; ii) de l'importance des inspections afin d'observer les conditions de fonctionnement et de révéler le comportement des composants au fil du temps ; iii) de l'importance d'élaborer le programme de maintenance en mode préventif sur la base de la sécurité et de la fiabilité des composants ainsi qu'en tenant compte de l'aspect économique ;

- ix) Dans le domaine des mathématiques statistiques appliquées à la maintenance, le mathématicien Howard L. Resnikoff a produit une remarquable description mathématique du programme de maintenance axée sur la fiabilité (RCM) de *United Air Lines* (Nowlan et Heap) intitulé *Mathematical Aspects of Reliability-Centered Maintenance*. Il utilise des modèles classiques de la théorie des probabilités afin de comprendre et décrire les bases théoriques de la MAF (RCM) (Kolmogorov, 1941)³⁴³, (Weibull, 1951)³⁴⁴, (Weiner, 1950)³⁴⁵, (Weiner, 1958)³⁴⁶. Toutefois, en observant les données disponibles pour son étude, il dresse ce que l'on nomme l'énigme de Resnikoff (*Resnikoff's Conundrum*) : i) Le principal problème d'un concepteur d'une politique de maintenance est sa difficulté à obtenir et à accéder à une information (données) fiable qui soit complète et exacte ; ii) En effet, un des constats les plus remarquables d'une politique de maintenance bien exécutée, c'est que l'information (données) explicite, quantitative ou qualitative, que nous devrions

³⁴² Nowlan, F.S. et al. (1978). *Reliability-Centered Maintenance*. United Airlines, San Francisco, California, USA, https://reliabilityweb.com/ee-assets/my-uploads/docs/2010/Reliability_Centered_Maintenance_by_Nowlan_and_Heap.pdf

³⁴³ Kolmogorov, A. (1941). *Kolmogorov. Interpolation und extrapolation von stationären zufälligen folgen. Bulletin of the Academy Sciences, USSR, Math 3*, 3-14.

³⁴⁴ Weibull, Waloddi. (1951). *A statistical distribution function of wide applicability. Journal of applied mechanics, 18(3)*, 293-297.

³⁴⁵ Wiener, N. (1950). *Extrapolation, interpolation, and smoothing of stationary time series: with engineering applications*. Cambridge : MIT press.

³⁴⁶ Weiner, N. (1958). *Nonlinear problems in random theory*. Technology Press of Massachusetts Institute of Technology and New York, Wiley.

retrouver à l'issue des actions de maintenance, sont en principe difficile, voire impossible, à obtenir (par exemple, il est souhaitable de prévoir une maintenance qui évitera de fournir des statistiques sur les risques menant à la mort d'une personne) ; iii) Sachant alors que les modèles mathématiques se basent sur des probabilités d'événement dont la caractérisation en termes de risque et d'incertitude est complexe et à fiabilité très faible ; iv) Ainsi donc, dans un programme de maintenance, l'inaccessibilité de l'information se révèle, en quelque sorte, positive ; v) Enfin, la tâche première d'un concepteur d'une politique de maintenance bien menée est de minimiser les informations de défaillance reçues (par exemple, les informations répétées sur les défaillances critiques menant à une catastrophe sont inacceptables et sont la preuve de l'échec de la politique de maintenance) et augmenter les informations construites sur ce qui *semble advenir* : les besoins en actions et travaux et leurs caractérisations. « *En bref, cela signifie que, à la fois en pratique et en principe, une politique de maintenance réussie doit être conçue sans utiliser de données empiriques historiques qui découleraient des défaillances, ayant des conséquences variables, que la politique de maintenance est justement censée éviter* » (Resnikoff, 1978)³⁴⁷. Plus tard, Resnikoff évoquera le caractère symbolique et abstrait des sciences de l'information et démontra les grandes possibilités des mathématiques pour alimenter les systèmes d'information, mais en évoquera aussi les très grandes limites. L'information est ce qui reste après une synthèse abstraite de la réalité physique. L'étude scientifique de l'information ne peut être alors dissociée de l'examen d'inventaires de données souvent radicalement subjectives. Et jusqu'aux années 1950, avec les avancés de Shannon sur la conversion de signaux par des capteurs et de leur transmission jusqu'à un récepteur, les seuls systèmes de traitement de l'information connus étaient biologiques, et notamment, le langage et l'écriture humaine, par exemple – dans le domaine de la maintenance, la culture de l'oralité persiste comme outil principal de collecte de l'information. « Ce que nous nommons *réalité* consiste donc en quelques points d'observation expérimentaux subjectifs et "incomplets" retrouvés sur un graphique et entre lesquels notre imagination dresse des théories qui évoluent en fonction des *actions volontaires et responsables, ou non*, des humains (le vivant). C'est ainsi qu'est perçu le réel et qu'il est considéré

³⁴⁷ Resnikoff, H. (1978). *Mathematical aspects of reliability-centered maintenance*. Los Altos, CA : Dolby Access Press.

comme *objectif* et *complet* par les mathématiques. Et même avec le levier de probabilités, tout n'est pas probabilisable » (Resnikoff, 1989)³⁴⁸ ;

- x) Par ailleurs, dans le champ de la maintenance industrielle, celle des actifs physiques fixes, les incidents et accidents ayant causé des pertes d'actifs physiques et financiers souvent plus importants que les incendies des villes au XIX^{ème} siècle, sont à la source d'avancées en matière de conception, de maintenance et de l'invention de la discipline de la gestion d'actifs physiques. L'incendie suivi d'une explosion sur la plate-forme pétrolière *Piper Alpha* en mer du Nord, (Écosse) en 1988, causant la mort de 167 salariés de l'entreprise Occidental Petroleum (Cullen, 1990)³⁴⁹ en est un exemple important. Le rapport d'enquête sur la catastrophe conclut que la fuite de condensat initiale menant à l'incendie était le résultat de travaux de maintenance effectués simultanément sur une pompe et la soupape de sécurité associée. L'opérateur fut critiqué pour l'absence de coordination des interventions en maintenance et a été reconnu coupable d'avoir des procédures d'entretien et de sécurité inadéquates. Plus spécifiquement, les recommandations portaient : i) sur les procédures d'exploitation des équipements ; ii) l'information du personnel des plates-formes ; iii) la conception des plates-formes ; iv) l'information des services d'urgence. La responsabilité de la mise en œuvre était dévolue à 57 personnes avec le régulateur, 40 pour les opérateurs, 8 pour l'industrie dans son ensemble et 1 pour les armateurs. Les actifs physiques sont partis en fumée, les actifs financiers aussi. La maintenance des actifs physiques en elle-même ne suffit pas. C'est la coordination d'activités au sein d'une organisation, nommée « gestion d'actifs physiques », qui devient centrale. Sans compter que le principe du tiers de confiance garant d'une exécution bien coordonnée est ressorti comme nécessaire : la plus importante recommandation fut de transférer la responsabilité de la vérification et du contrôle du dossier de sécurité de l'exploitant, initialement assumé par le ministère de l'Énergie, au *Health and Safety Executive*. L'agence responsable de la production ne

³⁴⁸ Resnikoff, H.L. (1989). *The Illusion of Reality*. Springer-Verlag New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4612-3474-6>.

³⁴⁹ Cullen, W. D. (1990). *The public inquiry into the Piper Alpha disaster. Volume 1-2 the Hon Lord Cullen ; presented to Parliament by the Secretary of State for Energy*. London : H.M.S.O, Great Britain. Department of Energy, Cm (Series) (Great Britain. Parliament), 1310.

<https://www.hse.gov.uk/offshore/piper-alpha-disaster-public-inquiry.htm>

peut pas être aussi garante de la sécurité. Il y avait un « conflit d'intérêts ». Un tiers de confiance est nécessaire.

4.2.5 1990-2007: Une économie globalisée et financiarisée

Dès 1990-1991, une récession vient marquer les tendances économiques et politiques de l'époque : un choc sur la consommation compte tenu d'un taux de chômage élevé, et donc une perte de revenu, à durer plus longtemps que les récessions émanant d'autres chocs que celui de la consommation (financiers, bancaires, monétaires) et sont suivis par des récupérations beaucoup plus lentes (Blanchard, 1993)³⁵⁰. Pour illustrer, le taux de chômage au Canada est passé de 10,7 % à 5,7 % durant la période de 1992 à 2007, soit 15 ans. Lors de la récession précédente de 1983, la récupération fut plus rapide. Le taux était passé de 11,6 % à 7,4 % en 6 ans. La tendance fut la même pour la France avec un léger décalage temporel (1994 : 10,4 % et 2008 : 7,4 % ; soit 14 ans). Cette période fut l'occasion pour l'économie néo-libérale de revoir ses modes de production industrielle avec une ampleur et une intensité sans précédent, largement étayées par le développement du numérique et son volet internet.

En conséquence, les caractéristiques d'usages, techniques et technologiques des bâtiments et infrastructures urbaines se formalisent et se normalisent à l'échelle mondiale. Voici quelques influences clés :

- i) Le processus d'intensification des échanges internationaux de toute nature se caractérise par une augmentation annuelle, sans précédent, des flux : de fret routier, ferroviaire, maritime, aérien (marchandises) ; de capitaux (transactions d'échanges économiques et financiers) ; d'informations (nombre de connections à l'internet, notamment pour des échanges commerciaux croissants) ;
- ii) L'accélération des délocalisations industrielles révèle les conséquences de la *mondialisation* moderne, basée quasi exclusivement sur la *financiarisation de l'économie* menant à l'augmentation du financement extérieur aux entreprises et de l'endettement. La croissance économique continue à être le cap et la tête de gondole avec ses effets antagonistes, d'incompatibilité et de contresens par rapport aux enjeux

³⁵⁰ Blanchard, O. (1993). Consumption and the Recession of 1990-1991. *The American Economic Review* 83(2), 270-74. <http://www.jstor.org/stable/2117676>

et objectifs du développement durable. La gestion d'actifs physiques des milieux urbains et interurbains se complexifie du fait de la transformation économique, sociale et environnementale imposée ;

- iii) Le contexte de ce développement reste influencé par l'endettement, les contraintes budgétaires et les mesures d'austérité associées des États post industrialisés (Foucault, J.-P., 1999)³⁵¹ alors que la croissance dynamique et très rapide règne au sein de pays émergents, comme la Chine ou l'Inde ;
- iv) Dès le début des années 2000, la mobilisation pour assurer la pérennité des bâtiments et infrastructures des administrations publiques, nationales, régionales ou des villes, des pays avancés se précise autour du constat de l'absence de liens de corrélation ou de causalité entre la datation comptable du capital fixe (*accounting value*), et sa « dépréciation » sur la durée de vie utile, avec les besoins réels en renouvellement des actifs physiques, qui sont liés à sa « dégradation » issue de l'impact des usages et autres actions durant tout le cycle de vie (VGQ, 2000)³⁵² (Gastaldy, 2000)³⁵³ (FocusIFRS, IAS/IFRS, 2020)³⁵⁴. Ainsi, il est révélé qu'il est important et central (Foucault, J.-P., 2000)³⁵⁵ (2003)³⁵⁶ : i) de connaître le parc d'actifs physiques par un inventaire des besoins en travaux de remplacement et de réhabilitation ; ii) de maintenir l'état physique et les usages adéquats pour garantir la sécurité – par exemple, l'effondrement d'infrastructures (Radio-Canada, 2020)³⁵⁷ - et la qualité des services à la population - observation de la dégradation de l'environnement de travail - ; de gérer l'énergie et de

³⁵¹ Foucault, J.-P. (1999). Vers l'atteinte du déficit zéro. *Le Diffuseur*, 1(3). https://www.agpi.org/documents/file/Diffuseur/vol1_3.pdf

³⁵² Vérificateur général du Québec. (2000). Gestion des immeubles dans le réseau de la santé et des services sociaux. Dans, *Rapport à l'Assemblée nationale pour l'année 1999-2000, Tome I – Chapitre 3*. Québec, Québec, Canada. www.vgq.gouv.qc.ca/rappann/rapp_2000/TomeI/Chapitr

³⁵³ Gastaldy, P. (2000). Les besoins n'attendent pas le nombre des années. *Le Diffuseur*, 2(4). https://www.agpi.org/documents/file/Diffuseur/vol2_4.pdf

³⁵⁴ FocusIFRS, Conseil supérieur de l'Ordre des Experts-comptables et la Compagnie Nationale des Commissaires aux Comptes (2021). *Normes et Interprétations, IAS/IFRS 16 Immobilisations corporelles*. http://www.focusifrs.com/menu_gauche/normes_et_interpretations/textes_des_normes_et_interpretations/ias_16_immobilisations_corporelles

³⁵⁵ Foucault, J.-P. (2000). La gestion des immeubles publics : banal problème ou enjeu de société ? *Le Diffuseur*, 2(4). https://www.agpi.org/documents/file/Diffuseur/vol2_4.pdf

³⁵⁶ Foucault, J.-P. (2003). Les dix questions fondamentales de la gestion immobilière. *Le Diffuseur*, 5(3),18. https://www.agpi.org/documents/file/Diffuseur/vol3_1.pdf

³⁵⁷ Radio-Canada. (2020). *Il y a 20 ans (en 2000), le viaduc du Souvenir s'écroulait sur l'autoroute 15*. <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1712677/viaduc-souvenir-accident-infrastructure-laval-archives>.

limiter les gaz à effet de serre (GES) ; d'assurer un financement adéquat et une reddition de comptes compréhensibles ;

- v) De fait, les actions et transformations pour améliorer la comptabilité analytique des organisations privées et publiques sont nécessaires pour suivre le « métabolisme » et le cycle de vie des actifs physiques urbains, bâtiments et infrastructures (Foucault et Leclerc, 2003)³⁵⁸ (Mistral, de Boissieu, Lorenzi, 2003)³⁵⁹ ;
- vi) Dès 1992, pour tenter de gérer cette complexité et pour assurer une croissance sur le long terme de l'industrie de l'architecture, de l'ingénierie et de la construction, le Royaume-Uni, sous le Premier ministre John Major, lance à grande échelle l'utilisation de l'outil financier des contrats de *Private Finance Initiative* (PFI), ou contrats de Partenariats Public-Privé (Foucault, 2003)³⁶⁰, pour développer de nouvelles infrastructures (infrastructures routières, ferroviaires, aéroportuaires, métropolitaines, écoles, universités, centres pénitentiaires, hôpitaux, etc.). Dès le début, on constate que cet outil est difficile d'utilisation pour les bâtiments et infrastructures existants du fait des risques existants associés à l'état et à la condition des lieux. Par ailleurs, même l'utilisation des PPP pour les constructions neuves comporte des limites et des difficultés maintenant connues (Gastaldy, 2004)³⁶¹. Par exemple, des retards importants dans la construction : *the Royal Liverpool University hospital, the Metropolitan Midland hospital in Birmingham, Aberdeen bypass road*; des défauts de sécurité potentiellement mortels après la construction de murs de briques : école primaire *Oxgangs* à Édimbourg et une série d'écoles en Écosse ; la faillite de Metronet (société de projet) a eu des impacts importants sur les usagers en matière de capacité et qualité de services : métro de Londres ; des problèmes de sécurité incendie (ignifugation et propagation de la fumée) : Huit écoles construites à plusieurs endroits au Royaume-Uni. Ainsi, en octobre 2018, la suppression définitive des contrats de PPP a été promulguée par le ministre du gouvernement du Royaume-Uni chargé des finances et du trésor,

³⁵⁸ Foucault, J.-P. et Leclerc, G. (2003). *Le tableau de bord MAESTRO pour la gestion des installations*. Presses internationales polytechniques. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00954290>

³⁵⁹ Mistral, J., de Boissieu, C., Lorenzi, J.H. (2003). Les normes comptables et le monde post-Enron. La Documentation Française : *Paris, Rapports du Conseil d'Analyse Économique*, 42, 157. <https://basepub.dauphine.fr/handle/123456789/130>

³⁶⁰ Foucault, J-P. (2003). Public/Private Partnerships in Quebec. Dans, *PEB Exchange, Programme on Educational Building*, 23-24. OECD Publishing. <http://dx.doi.org/10.1787/703517248050>

³⁶¹ Gastaldy, P. (2004). PPP : Faire indirectement ce qu'on peut faire directement. *Le Diffuseur*, 6(2), 6-7. https://www.agpi.org/documents/file/Diffuseur/vol6_2.pdf

Philip Hammond, sur la base de leur « manque de rentabilité » (*value for money*) et leur caractère « inflexible et excessivement complexe » (Davies, 2018)³⁶².

vii) La période se termine en 2007 avec la crise des *subprimes mortgage* ou prêts hypothécaires à risque qui mène les établissements de crédit à proposer de trop nombreux prêts à des emprunteurs ayant une faible cote de crédit. Aucun prêt hypothécaire conventionnel n'étant proposé à ces emprunteurs à risque, le taux d'intérêt des *subprimes* est élevé pour contrebalancer ce risque. Ce système est à l'origine de l'effondrement alors subi par plusieurs établissements de crédit. La titrisation de ces prêts hypothécaires à risque et les liens interbancaires qui en ont découlé, révèlent les interdépendances entre les actifs physiques réels et les actifs financiers. Les risques et les effets de contagion augmentent avec la volatilité du rendement financier et réduisent radicalement un juste partage des risques. Le rôle de l'intervention réglementaire publique devient nécessaire pour équilibrer l'optimum social (collectif) et l'optimum individuel. Le besoin du retour à une économie réelle en encadrant mieux l'économie financiarisée est ainsi démontré (Gallegati et coll.)³⁶³.

4.2.6 2008 à aujourd'hui : Une économie de l'alliance entre la matière, le numérique et le vivant ?

Le contexte économique et social de la période de 2008 à aujourd'hui commence avec une crise bancaire et financière considérée comme une crise économique mondiale qui a duré, en Europe, de 2007 à 2012. Cette crise systémique a accru la crise de liquidité des banques et de confiance des citoyens par un mécanisme concurrentiel sans autorégulation. Comme moyen d'atténuation des effets de la crise, les gouvernements ont élaboré des plans de relance financés par la dette. Ainsi, la complexité intrinsèque des marchés financiers et sa dislocation partielle de l'économie réelle trouvent son salut par une solution venue de l'extérieur des marchés financiers, par la dette qui décharge le manque de responsabilité des gestionnaires financiers

³⁶² Davies, R. (2018, 29 octobre). Hammond abolishes PFI contracts for new infrastructure projects. *The Guardian*. <https://www.theguardian.com/uk-news/2018/oct/29/hammond-abolishes-pfi-contracts-for-new-infrastructure-projects>

³⁶³ Gallegati, M, et al. (2008). The asymmetric effect of diffusion processes: Risk sharing and contagion. *Global Economy Journal* 8(3). <https://doi.org/10.2202/1524-5861.1365>

sur la responsabilité forcée des citoyens. Une des analyses fortes de cette crise, c'est le constat que la concurrence financière semble se plaire à produire une forme de perversion pour le bénéfice de quelques-uns, sans rempart interne pour combattre l'instabilité financière et ses effets sur le plan social dans un horizon temporel raisonnable (Orléan, 2009)³⁶⁴.

La quatrième révolution industrielle, celle en cours, vise à réussir la rencontre entre trois réalités convergentes : a) la physique, ce qui appartient à la matière ; b) le numérique, ce qui se présente sous la forme de nombres et d'algorithmes ; c) et le vivant, ce qui se constitue de sa propre matière et qui se reproduit. Cette révolution est au sein de chaque discipline (industrie, gouvernance, économie, informatique, médecine, construction, etc.) et, par essence, elle se situe au-delà de toutes les disciplines. Elle influencera, surtout dans un contexte mondial de pandémie depuis 2020, avec un accroissement significatif de la population et avec un taux d'urbanisation sans précédent, les enjeux qui découlent du choc financier du début de la période, en 2008, et des choix mis en branle pour le résoudre, se répercutent aujourd'hui et pour le futur, sur les arbitrages impérieux à mener entre l'austérité accrue, la dette croissante, l'urgence du réinvestissement privé et public dans les actifs physiques – bâtiments et infrastructures -, le maintien et le développement de la protection sociale et de la qualité de vie ainsi que l'engagement vers une écologie soignée notamment par une recherche de sobriété des consommations et une lutte ou une adaptation aux changements climatiques.

Cela génère le besoin de repenser la gestion d'actifs physiques, la conception, la construction, la maintenance et le démantèlement du capital fixe, à partir de champs disciplinaires portés par des courants d'actions nouveaux :

- i) Avec cette période, la complexité avérée par l'évolution en permanence de la communication « horizontale » issue du numérique et dénuée de hiérarchie oblige une transformation des organisations industrielles et sociales. Elle prend l'aspect des opportunités et des conséquences de ce que Yann Moulier Boutang nomme le capitalisme cognitif, à l'origine d'une *Nouvelle Grande Transformation* (Moulier Boutang, 2008)³⁶⁵. La production de valeur par la *pollinisation* de la connaissance et de l'information, le *cognitariat* qui correspond au prolétariat du capitalisme industriel et mercantiliste, la possibilité de générer des *externalités positives* à foison sont trois caractéristiques clés du capitalisme cognitif.

³⁶⁴ Orléan, A (2009). *De l'euphorie à la panique : penser la crise financière*. Vol. 16. Éditions, rue d'Ulm.

³⁶⁵ Moulier Boutang, Y. (2008). *Le Capitalisme Cognitif : La Nouvelle Grande Transformation*. Éd. Amsterdam.

- ii) C'est la période de l'accélération de la croissance des technologies de la communication, de l'information et de leurs applications numériques sur le plan économique et de leur omniprésence dans le quotidien de l'humanité. Le marqueur le plus important de ce phénomène est le poids économique et la présence mondiale des géants de l'internet états-unis d'Amérique - Google, Apple, Facebook, Amazon et Microsoft (GAFAM) – et la présence croissante des géants de l'internet chinois - Baidu, Alibaba, Tencent et Xiaomi (BATX).
- iii) La maintenance s'oriente de plus en plus, comme pour la médecine, vers la pratique fondée sur les faits ou preuves (*evidence-based practice*) (Guyatt, 1991)³⁶⁶. En effet, malgré l'avènement, dès le début des années '80, des processus de la *reliability-centered maintenance* (RCM) ou maintenance centrée sur la fiabilité, les connaissances nécessaires à la mise en place de la maintenance programmée demeurent construites autour d'inspections de sécurité et de performance. Celles-ci sont issues de la réglementation et des spécifications des fabricants ou constructeurs pour lesquelles la fréquence appropriée des interventions a été largement débattue, mais n'a pas pu être résolue de manière concluante en raison du manque de données comparables. Des tentatives existent pour partager les informations et les rendre comparables pour différents systèmes informatisés de gestion de la maintenance (GMAO), dont la classification des défaillances et les fréquences d'interventions (*evidence-based maintenance*) (Wang et coll., 2010)³⁶⁷.
- iv) Dans le champ disciplinaire de la gestion d'actifs physiques, en 2004, le BSI group (*British Standards Institution* ou BSI) aboutit à la publication de la première norme nommée PAS55 (*Publicly Available Specification*). Ce document de normalisation accéléré est le résultat d'un service de consultation d'experts par le BSI. Il définit les bonnes pratiques pour un produit, un service ou un processus. C'est un moyen efficace d'établir l'intégrité d'une innovation ou d'une approche. Une mise à jour fut produite en 2008 (PAS55 : 2008 - 1 : 2008. *Specification for the optimized management of physical assets*). C'est en 2014 que la norme PAS55 fut définitivement remplacée par

³⁶⁶ Guyatt G.H. (1991). Evidence-Based Medicine. *American College of Physicians Journal Club March/April: A-16*.

³⁶⁷ Wang, B. and al. (2010). Evidence-based maintenance: part II: comparing maintenance strategies using failure codes. *Journal of Clinical Engineering*, 35(4), 223-230. <https://doi.org/10.1097/JCE.0b013e3181f6b80b>

la norme internationale, ISO 55000³⁶⁸, ISO 55001³⁶⁹ et ISO 55002 (révisée en 2018)³⁷⁰ (Woodhouse, 2015)³⁷¹. La norme ISO 55 000 indique que le bénéfice primordial de la gestion d'actifs physiques vise la coordination d'activités tout au long du cycle de vie afin de générer la valeur en atteignant les objectifs d'une organisation, publique ou privée. Ce dont la valeur sera constituée dépendra de ces objectifs ainsi que de la nature et de la raison d'être de l'organisation ainsi que des besoins et des attentes de ses parties prenantes. La gestion d'actifs physiques assure donc la création d'une valeur tout en assurant un équilibre entre les coûts financiers, environnementaux et sociaux, les risques, la qualité de service et les performances liées aux actifs.

- v) Malgré ses débuts en 1990, en même temps que la naissance commerciale d'internet, le *cloud computing*, ou informatique dématérialisée, a émergé de manière significative à partir de 1998 avec l'arrivée de Google. Vers 2008-2009, environ 10 % des entreprises en Occident avaient recours à ce nouvel outil. Depuis, les normes industrielles en matière d'informatique dématérialisée font apparaître deux tendances : i) les applications évoluent par un processus récursif constant d'optimisation de l'utilisation des ressources à partir d'architectures monolithiques orientées services (SOA) ; ii) paradoxalement, ces améliorations continues de l'utilisation des ressources ont entraîné au fil du temps de la construction et du déploiement d'applications autour d'architectures dites « sans serveur » pour des services plus décentralisés et plus maillés (Kratzke, 2018)³⁷².
- vi) Dans le champ de l'architecture, la venue de l'outil BIM (*Building information modeling*) vers 1986, a d'abord visé la modélisation des actifs physiques par une évolution des plans papier et ensuite de la maquette numérique 2D ou BIM 2D de logiciels de conception assistée par ordinateur (CAO), comme AutoCAD, vers une maquette numérique 3D ou BIM 3D, comme le logiciel Revit, qui mène notamment à

³⁶⁸ ISO 55000. (2014). *Gestion d'actifs - Aperçu général, principes et terminologie*. <https://www.iso.org/fr/standard/55088.html>

³⁶⁹ ISO 55001. (2014) *Gestion d'actifs - Systèmes de management - Exigence*. <https://www.iso.org/fr/standard/55089.html>

³⁷⁰ ISO 55002. (2018). *Gestion d'actifs - Systèmes de management - Lignes directrices relatives à l'application de l'ISO 55001*. <https://www.iso.org/fr/standard/70402.html>

³⁷¹ Woodhouse, J.(2014). Briefing: Standards in asset management: PAS 55 to ISO 55000. *Infrastructure Asset Management* 1(3), 57-59.

³⁷² Kratzke, N. (2018). A brief history of cloud application architectures. *Applied Sciences* 8(8), 1368. <https://doi.org/10.3390/app8081368>

produire des visualisations rendues pour la présentation d'un projet, les détections d'interférences lors de la conception ou réalisations de travaux, la préfabrication de biens construits, les relevés de l'existant, le calcul des quantités, la mise à jour automatique des coupes et de détails (Ruffle, 1986)³⁷³. La modélisation des données du bâtiment est alors apparue plutôt comme un processus soutenu, durant la conception et la construction, par divers outils technologiques et de contrats impliquant la génération et la gestion de représentations numériques des caractéristiques physiques et fonctionnelles des lieux (Succar, 2009)³⁷⁴. Les difficultés d'élaboration et de mise en œuvre du processus BIM persistent malgré un certain consensus sur la suite de l'utilité du BIM par les propositions du BIM 4D - visant à ajouter le vecteur temps « t » aux trois dimensions géométriques « x, y et z » pour permettre de marquer de jalons la gestion du projet en phase de conception et de construction - le BIM 5D - qui a pour but de lier les éléments géométriques aux contraintes du temps et du coût toujours durant les phases en amont du cycle de vie complet d'un actif physique - le BIM 6D - traite de tout ce qui concerne l'aspect environnemental du développement durable d'un bâtiment, dont les diverses simulations thermiques dynamiques et analyses énergétiques ou de CO₂ - le BIM 7D - ayant pour objectif de lier les éléments du projet aux informations nécessaires durant la durée de vie du bâtiment, en phase d'exploitation - maintenance et lors du démantèlement, comme les données issues du « Dossier des ouvrages exécutés » (DOE) et du « Dossier d'interventions ultérieures sur l'ouvrage » (DUIO) (Liu et coll., 2012)³⁷⁵ - et enfin, le BIM XD – visant la représentation des données imaginables, mais utiles et nécessaires à l'utilisateur pour couvrir d'autres dimensions. La limite principale de l'interopérabilité constatée dès les débuts fut le manque de BIMs (*Building information models*), des modèles qui permettent l'échange de fichiers propriétaires ou contenant des données propriétaires (Jun et coll., 2008)³⁷⁶ (Sun et coll.)³⁷⁷. Les normes

³⁷³ Ruffle, S. (1986). Architectural design exposed: from computer-aided drawing to computer-aided design. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 13(4), 385-389.

³⁷⁴ Succar, B. (2009). Building Information Modeling Framework: A Research and Delivery Foundation for Industry Stakeholders. *Automation in Construction*, 18(3), 357-375.

³⁷⁵ Liu, X., Matineh E., and Akinci, B. (2012). Developing as-built building information model using construction process history captured by a laser scanner and a camera. In, *Construction Research Congress 2012: Construction Challenges in a Flat World* (1232-124).

³⁷⁶ Jun, H.J., Yun, S.H. and Paek, J.H. (2008). A Study on Limit Analysis of Constructions Equipment Support through BIM System Information. In, *Proceedings of the Computational Structural Engineering Institute Conference* (450-453). Computational Structural Engineering Institute of Korea.

³⁷⁷ Sun, C. and al. (2017). A literature review of the factors limiting the application of BIM in the construction industry. *Technological and Economic Development of Economy*, 23(5), 764-779.

ayant le plus contribué à accroître l'échange de fichiers sont les suivantes : a) ASTM E1557 – 09³⁷⁸; b) ISO 16739 : 2013³⁷⁹; c) ASTM E3035 - 15³⁸⁰; d) ISO 29481-1:2016³⁸¹; e) ISO 19650-1 : 2018³⁸². Les consensus nationaux et internationaux autour du BIM restent à construire et à tester avant de pouvoir convenir d'une utilisation industrielle aboutie. La modélisation des informations du bâtiment (BIM) est, depuis ses origines, plutôt limitée à la phase de conception et de réalisation des travaux de construction, malgré des expérimentations de toutes sortes pour améliorer le couplage « conception-construction » et « exploitation-maintenance (Liu, Raja, 2014)³⁸³ (Carbonari, 2018)³⁸⁴. Le développement rapide et à faible coût d'autres outils numériques simples à utiliser et puissants pour générer de l'aide à la décision et à l'action, engage le BIM plutôt sur la voie de la contribution à l'urbanisation de l'écosystème numérique autour des actifs physiques, un rôle « périphérique et de support ponctuel » plutôt que de devenir l'unique boîte à outils multi-usagers ayant des besoins différents à des étapes différentes du cycle de vie, un rôle « central et opérationnel au quotidien ».

vii) Le contexte sanitaire de la pandémie mondiale de la COVID19 engendre une évolution de la relation à la distance sociale et aux espaces publics et privés qui permet d'affirmer que l'évolution des usages dans les bâtiments et des fonctionnalités s'y rattachant seront la source, dans les années à venir, d'opportunité pour mieux faire du point de vue de la gestion des actifs physiques. Par ailleurs, la réponse à la crise climatique et écologique mondiale semble se tourner vers la proposition d'une « croissance verte » qui n'est que le nouvel habillage du capitalisme industriel existant en se fondant sur la logique

³⁷⁸ ASTM E1557 - 09 (2020)e1 - *Standard Classification for Building Elements and Related Sitework - UNIFORMAT II*. <https://www.astm.org/Standards/E1557.htm>

³⁷⁹ ISO 16739. (2013). *Classes de fondation d'industrie (IFC) pour le partage des données dans le secteur de la construction et de la gestion des installations*. <https://www.iso.org/fr/standard/51622.html>

³⁸⁰ ASTM E3035 -15. (2020). *Standard Classification for Facility Asset Component Tracking System (FACTS)*. <https://www.astm.org/Standards/E3035.htm>

³⁸¹ ISO 29481-1. (2016). *Modèles des informations de la construction*. Protocole d'échange d'informations. Partie 1 : Méthodologie et format. <https://www.iso.org/fr/standard/60553.html>

³⁸² ISO 19650-1.(2018). *Organisation et numérisation des informations relatives aux bâtiments et ouvrages de génie civil, y compris la modélisation des informations de la construction (BIM)*. Gestion de l'information par la modélisation des informations de la construction — Partie 1: Concepts et principes. <https://www.iso.org/fr/standard/68078.html>

³⁸³ Liu, R. and R.A. Issa, R. (2014). Design for maintenance accessibility using BIM tools. *Facilities*, 32 (3/4), . 153-159. <https://doi.org/10.1108/F-09-2011-0078>

³⁸⁴ Carbonari, G., Stravoravdis, S. and Gausden, C. (2018). Improving FM task efficiency through BIM: a proposal for BIM implementation. *Journal of Corporate Real Estate*.

d'extraction technique de la matière et d'extraction économique de la valeur (Tordjman, 2021)³⁸⁵. De plus le frein donné à l'économie mondiale et à l'accroissement de la dette des pays pour pallier les manques de recettes des citoyens est la source d'une aversion au risque qui évolue. La capacité à évoluer dans un monde capitaliste traditionnel s'essouffle, comme le démontrent les nombreux mouvements sociaux des dernières années. Les conséquences de ne pas agir en terme économique, ont des répercussions sur la capacité d'agir selon les besoins et les attentes du passé. Le contexte actuel appelle à ouvrir les voies vers d'autres manières de vivre et de faire société (Pleyers, 2021)³⁸⁶. La nécessité de la recherche de la sobriété est aux portes des organisations et des individus d'aujourd'hui et de demain. Une nouvelle répartition des ressources, une nouvelle écologie de la planète s'impose. Des mesures nouvelles doivent voir le jour pour le traitement des inégalités et la mise en œuvre d'actions encourageant la voie de l'économie des communs doit amener les sociétés à rompre avec la sacralisation du privé (Giraud, Piketty, 2021)³⁸⁷.

4.3 Les valeurs économiques du capital productif

D'aussi loin qu'Aristote, différentes théories sur la « valeur » existent. Et pourtant, certains fondamentaux subsistent à ce jour. En effet, on retrouve dans son ouvrage *La Politique*, une présentation des acquisitions dites « naturelles », comme l'agriculture, la chasse, la pêche, etc., ou « artificielles », tel que le commerce avec sa double valeur des choses : l'usage et l'échange. Il identifie déjà à cette époque les modifications sporadiques de la valeur de biens et de services, selon ces types d'acquisitions, par des « actions de brigandage, de guerre, de pillage, par des comportements d'avidité et de cupidité du commerce ou même par les effets de l'usure exagérée ». Il est aussi remarquable que la réflexion philosophique de cet ouvrage traite de l'équilibre entre l'homme et la nature. Il ouvre la voie à la notion de « communs », comme cela nous est présenté aujourd'hui en soulevant la question à savoir si « la recherche et l'acquisition des aliments mènent à l'« acquisition des biens » ou à si cela forme un « mode

³⁸⁵ Tordjman, H (2021). *La croissance verte contre la nature : Critique de l'écologie marchande*. Sciences. La Découverte.

³⁸⁶ Pleyers, G. (2021). Pandémie et changement social. Interpréter la crise pour en sortir. *Futuribles*, 440(1), 35-50.

³⁸⁷ Giraud, G. et Piketty, T. (2021). Le capitalisme est-il réformable? *Études*, 3, 49-61. <https://www.cairn.info/revue-etudes-2021-3-page-49.htm>

spécial d'acquisition ». Il nous apprend aussi que « la richesse n'est que l'abondance des outils, des mesures et des dispositifs domestiques et sociaux », en indiquant que cette abondance est bornée en nombre et en étendue (Aristote, éd.1995)³⁸⁸. Un pas de la réflexion vers les « communs » était franchi (Harding, 1968)³⁸⁹ (Ostrom, 1991)³⁹⁰ (Giraud, 2018)³⁹¹.

Au XVIIIème siècle, Adam Smith pose un cadre conceptuel de la théorie de la valeur en distinguant, comme le fit Aristote, la valeur d'usage et la valeur d'échange. L'objectif visait à déterminer « ce qui cause » la valeur pour en déduire « ce que cela donne comme conséquence » : le prix d'un bien ou d'un service, le profit d'une entreprise, la rente issue d'un capital (Teulon, 1996)³⁹². Il est important de noter qu'il intègre alors l'« acquisition naturelle » à l'acquisition « artificielle ». Tout devient assujetti à la force de travail (le *Capital humain*) combinée à des ressources naturelles (le *Capital naturel*), menant à un processus de transformation à partir d'outils et d'infrastructures divers (le *Capital productif*) et conditionnés par l'offre et la demande d'un marché.

Il est important de souligner qu'il n'y a pas, au XVIIIème siècle, d'enjeu sur l'extraction de ressources issues de la nature qui sont perçues comme abondantes et infinies. Ainsi, l'extracteur s'approprie ce qui émane d'un processus parfois très long - par exemple, le pétrole, 20 à 350 millions d'années ; le charbon 300 à 500 millions d'années - ce qui induit dès lors un biais dans le prix par un déséquilibre écosystémique sur un axe intertemporel.

Au XIXème siècle, Marx reprit la théorie classique sur le « capital » pour distinguer le « capital variable », essentiellement le paiement des rémunérations aux salariés, et le « capital fixe ». D'une part, Marx dresse la théorie selon laquelle la « plus-value » d'un bien ou d'un service, qui revient au capitaliste, n'est causée que par la part variable du capital, par le travail (Marx, 1867)³⁹³. Par sa définition de la valeur, Marx met l'emphase sur le fait que la valeur d'un bien s'articule autour de la quantité de travail du salarié mesurée par sa rémunération journalière et sa durée.

³⁸⁸ Aristote. (4ième siècle). *La politique* (1995). Vrin.

³⁸⁹ Hardin, G. (1968). The Tragedy of the Commons. *Science* 162, 1243-1248. <https://doi.org/10.1126/science.162.3859.1243>

³⁹⁰ Ostrom, E. (1991). *Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action*. Cambridge University Press.

³⁹¹ Giraud, G. (2018) Vers une économie politique des communs. *Cités*, 76(4), 81-94.

³⁹² Teulon, F (1996). *Vocabulaire économique*. Que sais-je ? Économie, Dictionnaire.

³⁹³ Marx, Karl. (1867). *Le capital. Critique de l'économie politique* (1976). Éditions Sociales.

Historiquement, l'expérience et la perception de ce qu'est le travail ne sont pas exclusivement fondées sur la notion de salaire - du nom de l'unité de valeur retenue, le « sel », rendant le travail comme une marchandise -, mais aussi sur celle de l'honoraire – pour « honorer » ce qui n'est pas appréciable par un prix, ce qui n'a pas de prix, « comme les honoraires d'un médecin qui nous soigne » -, et celle du « traitement » – « ce que le prince donne pour bien traiter la personne qui renonce à sa liberté d'entreprendre pour le bien commun ». (Supiot, 2019)³⁹⁴.

Toujours au XIX^{ème} siècle, Auguste Walras propose une théorie de la valeur établie en fonction de l'utilité et de la rareté (Walras, 1831)³⁹⁵. Cette théorie fut formalisée avec différentes méthodes par son fils, le fondateur de l'économie néo-classique, Léon Walras (Walras, 1896)³⁹⁶.

Par ailleurs, l'une des principales critiques des théories de la valeur au XIX^{ème} siècle, réside dans la simplicité du contexte industriel de l'époque qui était plus prévisible et plus artisanal qu'aujourd'hui. L'approche de Marx élude l'apport de la composante « rémunération des actifs fixes » (les machines, par leur amortissement comptable) ainsi que la prise en compte de contributions sociales et écologiques (taxes, impôts) et la rémunération de l'entrepreneur (profit juste et raisonnable) (De Vroey, 1985)³⁹⁷. L'approche de Walras fut critiquée en étant décrite comme celle d'un modèle basé sur une économie de marché réduisant l'ensemble des phénomènes, incluant les phénomènes sociaux, à l'unité, dont la représentation était statique. Les propositions émergentes du milieu du XX^{ème} siècle étaient plutôt celles d'un « modèle pluraliste et dynamique » (Allais, 1943)³⁹⁸.

Par surcroît, le *Capital naturel* n'est pas recensé et traité à son authentique valeur dans ces théories. Sans compter que la plus-value dépend aussi de sa rareté sur un marché qui est évaluée par l'offre et la demande : sans énergie carbonée, il y aurait beaucoup moins d'activités économiques. C'est pourquoi la plus-value reste un paramètre central de l'augmentation du prix dans le contexte de concentration de l'offre autour d'un monopole ou d'un oligopole, surtout sans régulation par l'État - mesures de taxation, d'impôt, de dispositifs antitrust, etc. Et à l'ère

³⁹⁴ Supiot, A. et al. (2019). *Salaire : Travail, Salaire, Profit*. Épisode 3 ARTE. <https://www.youtube.com/watch?v=pBHsV1Vr10w>

³⁹⁵ Walras, A (1831). *De la nature de la richesse et de l'origine de la valeur*. A. Johanneau.

³⁹⁶ Walras, L. (1896). *Éléments d'économie politique pure, ou, Théorie de la richesse sociale*. F. Rouge.

³⁹⁷ De Vroey, M. (1985). La Théorie Du Salaire De Marx : Une Critique Hétérodoxe. *Revue Économique*, 36.(3), 451–480. JSTOR. www.jstor.org/stable/3501642.

³⁹⁸ Allais, M. (1943). *Traité d'économie pure*. Imprimerie nationale.

du numérique, la valeur des différentes formes de travail non rémunéré, comme, par exemple, la rédaction d'un article savant dans Wikipédia, amène le besoin de refonder l'économie sur les principes de « pollinisation et de contribution par le *Capitalisme cognitif* (Moulier Boutang, 2010)³⁹⁹.

On définit aujourd'hui le *Capital productif* fixe, ou l'actif physique, comme « les moyens de production relativement durables (dépassant la durée du cycle de production) et participant directement à la fabrication des biens ou à la réalisation de la prestation de service. C'est le cas en particulier des biens d'équipement : machines, outils, bâtiments, matériels de transport, etc. Le capital fixe productif se distingue du capital productif circulant, en particulier, par sa durée d'utilisation, ou encore son délai d'immobilisation ou bien encore sa durée de vie par rapport à celle du processus de production. Enfin, un autre critère permet d'affiner cette distinction : le rôle « actif » (en tant que moyen de production) ou « passif » du capital » (Insee, 2016)⁴⁰⁰.

Le milieu du XXème siècle a fait apparaître la notion de PIB pour tenter de stabiliser le concept de « valeur ». Encore aujourd'hui, il n'y a pas de doute pour les économistes classiques orthodoxes : l'investissement est l'un des facteurs clés de la croissance tant pour l'offre que pour la demande. Et l'évolution du PIB est le marqueur macroéconomique phare de la croissance. Mais le PIB est-il une mesure juste et raisonnable des défis écologiques et des ambitions humaines ? Sa croissance est-elle souhaitable ?

Ainsi, au cours du XXème siècle, avec le développement des modélisations mathématisées macroéconomiques et microéconomiques - notamment par la théorie des jeux, des équilibres économiques, la théorie sur l'organisation industrielle et les théories des contrats, de l'agence et des incitations - la définition comptable du *Capital productif* (les actifs physiques) et la façon de le mesurer se précise continuellement. Le processus productif entre les producteurs et les consommateurs s'articule de manière classique autour des marchés : i) de produits (ou biens) ; ii) du travail ; iii) et des capitaux (financiers ou physiques). Sans compter le vaste champ à explorer de l'effet des externalités positives utilisées dans une économie de pollinisation et des externalités négatives qui peuvent parfois se transformer en opportunité dès lors que les contributions diverses et variées apparaissent et sont reconnues.

³⁹⁹ Moulier Boutang, Y. (2010). *L'abeille et l'économiste*. Éd. Carnets Nord.

⁴⁰⁰ Institut national de la statistique et des études économiques (Insee). (2016, 13 octobre). *Définitions, méthodes et qualité. Capital fixe productif*. <https://www.insee.fr/fr/accueil>

Par conséquent, à l'échelle microéconomique, les échanges servent à générer et conserver la « valeur », sous la forme de stocks (actifs physiques) ou de flux (actifs circulants). Cette valeur s'estime à tout moment lors d'un arrêt sur image ou de manière obligatoire au moment de la clôture d'un exercice financier, par le compte de résultat et le bilan. Depuis ses origines, à la fin du Moyen-Âge et jusqu'au début du XXI^{ème} siècle, ce « décompte des valeurs » visait à fixer « symboliquement » dans l'« imaginaire », le « réel ». Il fut fondé pour toujours garantir la responsabilité du marchand sur un principe de « prudence ».

Aujourd'hui, les principes et les approches conventionnelles de la comptabilité moderne, qui sont prônés à l'échelle internationale, sont souvent issus de pratiques américaines néo-libérales classiques. Elles prennent la forme de normes qui visent à produire, par convention, des « principes comptables généralement reconnus » (*Generally Accepted Accounting Principles* ou GAAP) afin de garantir que les états financiers d'une organisation sont complets, cohérents et comparables.

Au début des années 1980, les causes de l'évolution de la théorie de la valeur sont marquées par l'essor de la diversité et de l'accélération des flux de la mondialisation. L'organisation industrielle se transpose dans la manière de gouverner l'État, la région et la ville en y intégrant un formalisme proche de la science pour tenter de limiter les incertitudes. Et l'État lui-même devient un puissant agent de régulation ou de dérégulation des marchés. Il y a l'élaboration de lois et règlements au sein de codes et de textes législatifs tels que les ordonnances, décrets, arrêtés, décisions, délibérations, déclarations, circulaires, instructions, avis et rapports de toutes sortes (Légifrance, 2021)⁴⁰¹, complétés par de la jurisprudence et des accords (de branches, conventions collectives et d'entreprises) qui constituent le dispositif global d'organisation de la société. Une élaboration telle qu'aujourd'hui, la tentative d'englober tous les cas particuliers, par la croissance du nombre et de la longueur des lois, mène à ce que l'on nomme l'« inflation législative et normative ».

L'expression de la valeur pour une organisation est multifactorielle. Elle diffère d'une partie prenante à l'autre. Par essence, elle est complexe à formaliser.

C'est dans ce contexte d'économie néoclassique orthodoxe, que depuis quarante ans les organisations industrielles développent à foison des démarches qualité qui visent à apporter une réponse à l'objectif d'amélioration de la production et de la valeur qui en découle, la valeur

⁴⁰¹ Légifrance, service public de la diffusion du droit en France. (2021, 15 septembre). <https://www.legifrance.gouv.fr/>

d'échange ou marchande. L'accélération de la concurrence internationale avec l'outil de l'économie mondiale financiarisée amène le besoin de construire la « stratégie » de l'organisation. À ce titre, la proposition du concept de la chaîne de valeur (*value chain*) et de pôle de compétences a contribué à établir l'intérêt de « coordonner les actions pour rendre l'organisation concurrentielle, compétitivité, attractive, sécuritaire et conforme aux réglementations ». Le but est d'« optimiser de la valeur du service ou du bien que l'organisation produit » (Porter, 1980)⁴⁰². L'optimisation se définit alors comme étant l'arbitrage entre des paramètres conflictuels afin de maximiser l'un d'entre eux et la plupart du temps, le prix ou son effet souhaité par l'organisation, la rentabilité.

Avec cette méthode, la valeur peut être définie par chacune des organisations en fonction de seuils et de cibles qui seront toujours précisés par un processus d'arbitrage entre le coût, la performance (spécifications techniques liées à l'usage) et le délai de production ainsi que la qualité, les risques et les bénéfices (autres que le rendement du coût). L'ultime but est alors de positionner la stratégie de l'organisation : i) sur un axe de coûts (prix) inférieurs au marché ; ii) sur un axe d'une offre à caractéristiques uniques n'entravant pas la capacité à payer des clients ou usagers ; iii) sur un axe d'une offre identifiant une niche spécifique du marché, réduite et avec peu de concurrence.

Ce n'est donc plus le seul individu en vase clos qui par son travail génère de la valeur, mais c'est plutôt le fruit d'un travail collectif qui nécessite l'apport des administrateurs, gestionnaires, salariés, de toutes les instances et, parfois même, des actionnaires ou des usagers/clients. Tous deviennent les « pièces » d'un dispositif complexe.

En conséquence, pour affiner la valeur de ses actifs physiques, son *Capital productif*, une organisation publique, - c'est aussi le défi de plus en plus transposé au secteur public, comme pour les villes, les hôpitaux, les universités, etc. - ou une organisation privée vise l'amélioration continue en orientant ses analyses et ses actions afin :

- i) D'améliorer sa compétitivité sur un marché : accroître la qualité de ses produits et services (aussi par le levier de la labellisation et la certification) ; attirer et fidéliser les clients/usagers ; accéder à de nouveaux marchés ; se différencier de ses concurrents par la reconnaissance et la maîtrise de son image ; créer un environnement propice à l'innovation ;

⁴⁰² Porter, M. E. (1980). *Competitive Strategy: Techniques for Analyzing Industries and Competitors*. The Free Press.

- ii) D'améliorer son organisation : disposer des bonnes compétences ; impliquer et motiver son personnel ; piloter ses activités ; réduire ses coûts et ses délais ; pallier tout dysfonctionnement ; mesurer la qualité de ses prestations pour la maintenir et l'améliorer ;
- iii) De s'adapter aux évolutions des besoins des usagers/clients et réglementaires (dont ce qui relève de la responsabilité sociale et environnementale) et à son environnement.

4.3.1 La valeur à l'échelle macroéconomique

Dans le champ de la macroéconomie, depuis les années 1950-1960, la « controverse des Cambridge » suscite un vif désaccord historique, toujours d'actualité, notamment sur le volet de la nature et la valorisation du *Capital productif*, paramètre important de la fonction de production. En résumé, à l'origine, des économistes de Cambridge aux États-Unis – Samuelson et Solow, à tendance néo-classique - et d'autres de Cambridge au Royaume-Uni – Robinson et Sraffa, à tendance néo-ricardienne ou keynésienne - débattaient sur la proposition des néo-classiques d'effectuer l'agrégation du capital physique et du capital financier ainsi que des fonctions de production à l'échelle de l'économie d'un pays et à l'échelle mondiale. Mais la principale difficulté et critique, qui n'est toujours pas résolue à ce jour, demeure celle de l'agrégation du *Capital productif*.

Ainsi, le principal reproche souligné par Sraffa, fut que l'agrégation d'un capital fixe, ou actif physique, faisait disparaître les effets économiques liés à leur hétérogénéité : nature des organisations et de leurs actifs physiques, datation, dépréciation et état de vétusté capté de manière imprécise par l'amortissement comptable, etc. (Stiglitz, 1974)⁴⁰³ (Daniel, 2007)⁴⁰⁴ (Piketty, 2013)⁴⁰⁵ (Giraud, 2014)⁴⁰⁶.

⁴⁰³ Stiglitz, J. E. (1974). The Cambridge-Cambridge Controversy in the Theory of Capital; A View from New Haven: A Review Article. *Journal of Political Economy* 82(4), 1974, 893-903. <http://www.jstor.org/stable/1837157>.

⁴⁰⁴ Daniel, J.-M. (2007, 14 mai). La querelle des deux Cambridge. *Journal Le Monde*. https://www.lemonde.fr/economie/article/2007/05/14/la-querelle-des-deux-cambridge_909576_3234.html

⁴⁰⁵ Piketty, T. (2013). *Le Capital au XXI^e siècle*. Le Seuil, Essais, Les Livres du Nouveau monde.

⁴⁰⁶ Giraud, G. (2014). *Quelle intelligence du capital pour demain ? Une lecture du Capital au XXI^e siècle de Thomas Piketty*. Documents de Travail du Centre d'Économie de la Sorbonne <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00969230/document>

Malgré cela, c'est à partir de l'agrégation des néo-classiques, celle de Cambridge aux États-Unis d'Amérique, que depuis le PIB est estimé annuellement et que des prévisions économiques en sont déduites.

Ainsi, le principal modèle néo-classique de la théorie de la croissance économique, le modèle de Solow-Swan (Solow 1956)⁴⁰⁷ (Swan, 1956)⁴⁰⁸, s'exprime sous la forme de la fonction de production suivante :

$$Y = c \cdot K^{\alpha} \cdot L^{\beta} \quad (1)$$

où

Y correspond au niveau de production

K à celui du *Capital productif* (ou outil de production)

L à celui du travail (force de travail)

c , α et β sont des constantes déterminées par la technologie et l'innovation.

Certaines critiques concernant la simplicité de ce modèle, notamment dans le contexte de la nécessité d'une cohérence transnationale en matière de variation du niveau de vie entre les pays riches et les pays pauvres, ont amené la proposition d'un « modèle de croissance de Solow-Swan augmenté ». L'objectif était d'établir de manière empirique les paramètres d'un modèle exprimant mieux la convergence des niveaux de vie par la propension des pays pauvres à croître plus rapidement que les pays riches. Ce qui fut démontré par le « modèle de Solow-Swan augmenté » dès lors que la croissance démographique et l'accumulation du capital sont constantes. L'intérêt de ce modèle, pour les économistes classiques, fut confirmé en y intégrant un facteur lié à la capacité individuelle d'innover et d'entreprendre et en introduisant des constantes de l'effet technologique (Mankiw, Romer et Weil, 1992)⁴⁰⁹ :

$$Y = K^{\alpha} \cdot L^{\beta} \cdot H^c \quad (2)$$

où

Y correspond au niveau de production (menant à l'estimation du PIB)

K à celui du *Capital productif* (ou outil de production)

⁴⁰⁷ Solow, R. M. (1956). A Contribution to the Theory of Economic Growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 70(1), 65–94. www.jstor.org/stable/1884513. Accessed 19 Aug. 2019.

⁴⁰⁸ Swan, T. W. (1956). Economic growth and capital accumulation. *Economic record*, 32(2), 334-361.

⁴⁰⁹ Mankiw, N.W., Romer, D. and Weil, D.N. (1992). A Contribution to the Empirics of Economic Growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 107(2), 407-437.

L à celui du travail (force de travail)

H à celui de *Capital humain* (ou capacité à innover et entreprendre)

$\alpha=1/3$; $\beta=1/3$ et $c=1/3$, sont des constantes de l'effet technologique, identifiées de manière empirique.

Par ailleurs, la méthode empirique adoptée par les normes internationales (ONU, 2004)⁴¹⁰, (OCDE, 2010)⁴¹¹, mène à un calcul du PIB qui s'effectue par l'agrégation de données issues d'enregistrements comptables au sein des entreprises. En France, la référence normative est le Système européen de comptes nationaux SEC (UE, 2013)⁴¹². Le PIB se définit alors comme la « somme des valeurs ajoutées brutes nouvellement créées par les unités productrices résidentes à une année donnée, évaluées au prix du marché (*FVA*) » (Insee, 2016)⁴¹³, selon la formule suivante :

$$PIB = P3 + P5 + P6 - P7 \quad (3)$$

où

PIB correspond à la somme des emplois finals intérieurs (dépense de consommation finale, formation brute de capital) ;

$P3$ à celui de la dépense de consommation finale ;

$P5$ à celui de la formation brute de capital fixe ;

$P6$ à celui des exportations ;

$P7$ à celui des importations.

Mais de quoi est constitué le capital fixe ? La « formation brute de capital fixe (FBCF) », est l'agrégat de l'investissement constitué par « les acquisitions en capital fixe (acquisition d'actifs physiques de production) moins les cessions d'actifs fixes réalisés par les producteurs résidents. Les actifs fixes sont les actifs issus de processus de production et utilisés de façon répétée ou continue dans d'autres processus de production pendant au moins un an » (Insee,

⁴¹⁰ Nation Unies. (2004). Comptabilité nationale : introduction pratique, études méthodologiques Série F, n° 85, Manuel de comptabilité nationale. *Publication des Nations Unies*. https://unstats.un.org/unsd/publication/SeriesF/seriesF_85f.pdf

⁴¹¹ OCDE. (2010). *La Mesure du Capital* (2ème édition). Manuel de l'OCDE 2009.

⁴¹² Union Européenne. (2013). Système européen des comptes, SEC 2010. cat. : KS-02-13-269-FR-C. *Office des publications de l'Union européenne*, 2013. <https://doi.org/10.2785/21383>

⁴¹³ Institut national de la statistique et des études économiques (Insee). (2016, 13 octobre). *Statistiques et études. Produit intérieur brut et ses composants*. <https://www.insee.fr/fr/accueil>

2020)⁴¹⁴. Dans les faits, l'utilité est pour la plupart du temps d'au moins cinq ans. Le capital fixe n'est donc pas ce qui est « consommable », une charge comptable, comme ce qui relève des dépenses d'exploitation et de maintenance.

La principale critique de ce calcul réside dans le fait que la « perte d'investissement » apparaîtra dans le compte de résultat d'une organisation seulement au niveau de la dépréciation comptable calculée de manière « théorique » par une méthode d'amortissement linéaire sur la base d'une « durée de vie utile théorique ». Dans les faits, le processus de maintenance joue un rôle important pour le maintien des actifs physiques (capital fixe) et donc de leur capacité de production sur le long terme.

Comme on le constate avec le « modèle de Solow-Swan », le « modèle de Solow augmenté » ainsi que de leur application empirique par la formule du PIB de l'Insee, la prise en compte de l'utilisation du *Capital naturel*, ou de ses conséquences sur celui-ci, par un *Capital productif* dont l'utilisation serait délétère pour l'écologie est enfoui dans des comptes de dépenses ou d'investissements qui ne révèlent pas la responsabilité écologique des entreprises.

Et pourtant, la démonstration, à savoir que les conditions d'équilibre des modèles de croissance sont directement mises en cause par les limites biophysiques de la planète, est avérée (Daly, 1996)⁴¹⁵ (Daly, 1997)⁴¹⁶, (Chiesura et de Groot 2003)⁴¹⁷ (Daly, 2019)⁴¹⁸ (Wasara, 2020)⁴¹⁹ (IPCC, 2021)⁴²⁰.

Cette observation ouvre la porte à la prise en compte de l'« usage » et de son maintien pour limiter les effets négatifs - l'entropie des systèmes et particulièrement du système technique, économique et écologique - sur le *Capital naturel*, dont le changement climatique, et pour ainsi opérer une transformation d'une économie extractive à croissance exponentielle

⁴¹⁴ Institut national de la statistique et des études économiques (Insee). (2020, 13 mai). *Définitions, méthodes et qualité*. « FBCF / Investissement ». <https://www.insee.fr/fr/accueil>

⁴¹⁵ Daly, H.E.. (1996). *Beyond Growth: The Economics of Sustainable Development*. Beacon Press, Boston.

⁴¹⁶ Daily, G. (1997) . *Nature's Services*. Island Press, Washington.

⁴¹⁷ Chiesura, A. and de Groot, R. (2003). Critical natural capital: a socio-cultural perspective. *Ecological Economics*, 44 (2-3), 219-231. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00275-6](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00275-6).

⁴¹⁸ Daly, H. (2020). A note in defense of the concept of natural capital. *Ecosystem Services*, 41. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.101051>

⁴¹⁹ Wasara, G. (2020). Impact of Entrepreneurial Activities on Natural Capital. *Global Journal of Management And Business Research*, [S.I.], apr. 2020. <https://www.journalofbusiness.org/index.php/GJMBR/article/view/3105>

⁴²⁰ Skea, J., Shukla, P., Al Khoudajie, A. and McCullom, D. (2021). Intergovernmental Panel on Climate Change : Transparency and integrated assessment modeling. *Wiley interdisciplinary Review: Climate Change*, 12 (5), e727.

et consumériste à une économie écosystémique, circulaire (partage, maintenance, réusage, réhabilitation, renouvellement) et incorporant les communs.

Par ailleurs, le prix Nobel d'économie de 2018, William Nordhaus, est un pionnier de l'intégration du changement climatique dans l'analyse macroéconomique de long terme dans un modèle nommé « Modèle dynamique intégré du climat et de l'économie », DICE (*Dynamic Integrated model of Climate and the Economy*). Ce modèle vise à tester les impacts écologiques de scénarios divers de politiques économiques. Plutôt que de baser le DICE, sur le modèle de Solow-Swan, il étoffe sa proposition à partir du modèle néo-classique de croissance économique de Ramsey–Cass–Koopmans qui a pour particularité de fixer le fait que le choix de consommation et le taux d'épargne (*saving rate*) des individus sont explicitement endogènes et microfondés (Nordhaus, 2018)⁴²¹. Il est important de noter que Nordhaus a fait évoluer le modèle Ramsey–Cass–Koopmans par une sophistication qui tente de prendre en compte les chocs issus de différentes sources de perturbations comme les imperfections du marché, l'hétérogénéité entre les ménages ou d'autres chocs exogènes, en bref, en s'appuyant sur la « théorie du cycle économique réel ».

En revanche, la critique majeure du modèle DICE s'articule autour de l'hypothèse d'une croissance économique basée sur les principes néo-classiques qui poussent à « plus de production, plus de consommation alors que la population mondiale est croissante et que le *Capital naturel* planétaire se réduit » (Stiglitz, 2019)⁴²². D'autres critiques concernent l'utilisation d'un modèle inadapté à l'évolution exponentielle rapide des phénomènes climatiques et à celles des approches économiques récentes inspirées de la « thermodynamique » pour une modélisation systémique plus pertinente (Botzen et van den Bergh, 2012)⁴²³ (Tol, 2020)⁴²⁴.

Mais, actuellement, quelle tendance suit l'approche productiviste, dans le sens de la définition normative actuelle des économistes orthodoxes qui visent une croissance et une maximisation du PIB ? Qu'en est-il des actifs physiques, ces « machines » qui transforment le

⁴²¹ Nordhaus, W. (2018). Evolution of modeling of the economics of global warming: changes in the DICE model, 1992–2017. *Climatic Change*, 148, 623–640. <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2218-y>

⁴²² Stiglitz, J. (2019). *People, power, and profits: Progressive capitalism for an age of discontent*. Penguin UK.

⁴²³ WJ Wouter, B. and van den Bergh, J. (2012). How sensitive is Nordhaus to Weitzman? Climate policy in DICE with an alternative damage function. *Economics Letters*, 117(1), 372-374. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2012.05.032>

⁴²⁴ Tol, R.S. (2020). Selfish Bureaucrats And Policy Heterogeneity In Nordhaus Dice. *Climate Change Economics*, 11(04), 1-16. <https://doi.org/10.1142/S2010007820400060>

pétrole, le charbon, le gaz naturel en énergie et CO₂? Quelle relation entre le PIB et les émissions de CO₂?

Comme le présente le rapport du GIEC, les actions humaines peuvent déterminer l'évolution positive ou négative future du climat. Plusieurs gaz à effet de serre et polluants atmosphériques ont une incidence sur le climat, mais c'est le dioxyde de carbone (CO₂) qui est le principal moteur du changement climatique. De plus, l'amélioration des ensembles de données d'observation permettant d'évaluer le réchauffement historique – passées, présentes et futures –, et l'amélioration de la compréhension scientifique de l'effet des émissions de gaz à effet de serre issues des activités humaines sur le climat permettent de mieux identifier les températures critiques. Comme l'indique la figure 4.2, l'activité humaine se synthétise par le PIB qui ne cesse d'augmenter et de manière rapide depuis 1950 (Madison, 2020)⁴²⁵.

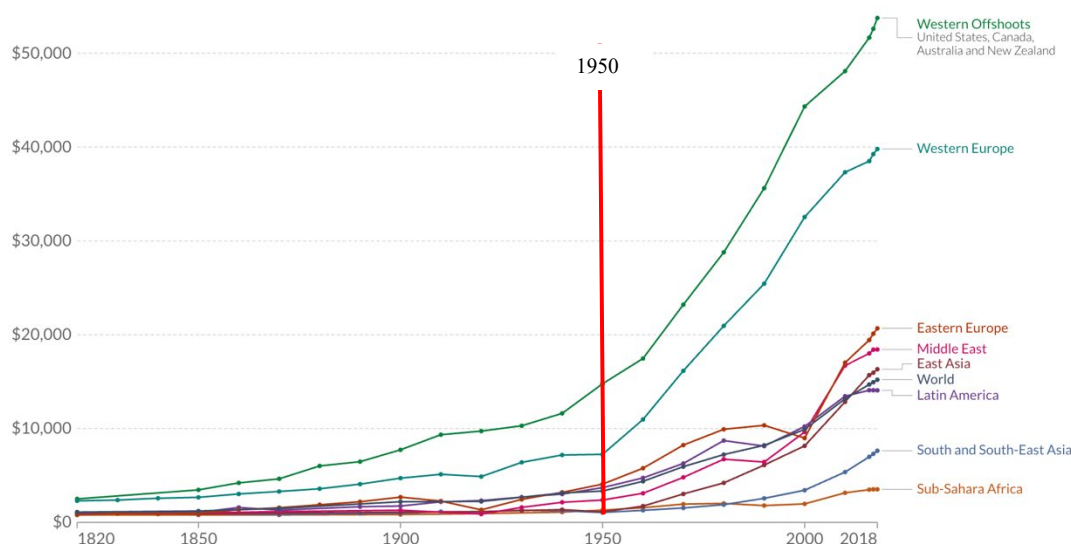


Figure 4.2 : PIB par habitant, 1820 à 2018 - Le PIB par habitant est corrigé des variations de prix au fil du temps (inflation) et des différences de prix entre les pays - il est mesuré en dollars internationaux aux prix de 2011 (Madison, 2020)⁴²⁶.

Ainsi, à moins d'un changement radical dans les activités humaines au cours des 20 prochaines années, il sera impossible de limiter un réchauffement inférieur à 1,5°C, et même

⁴²⁵ Bolt, J. and van Zanden, J.L. (2020). *Maddison style estimates of the evolution of the world economy A new 2020 update*. Maddison-Project Working Paper WP-15.

⁴²⁶ Bolt, J. and van Zanden, J.L. (2020). *Maddison style estimates of the evolution of the world economy. A new 2020 update*. Maddison-Project Working Paper WP-15.

de 2 °C. À titre de comparaison, depuis 1850-1900 jusqu'à aujourd'hui, le réchauffement climatique issu des activités humaines représentait environ 1,1 °C (IPCC, 2021)⁴²⁷.

Plusieurs études révèlent maintenant que l'on observe à l'échelle de certains pays, une décorrélation du PIB par habitant et des émissions de CO₂ par habitant, comme l'illustre la figure 4.3 qui présente le résultat de politiques nationales de réduction des GES pour la période 2005 à 2019, aux É.-U., au Royaume-Uni, en Allemagne et en France. Plus précisément, la France a augmenté son PIB de 15 % alors qu'elle a diminué de 24 % les émissions territoriales.

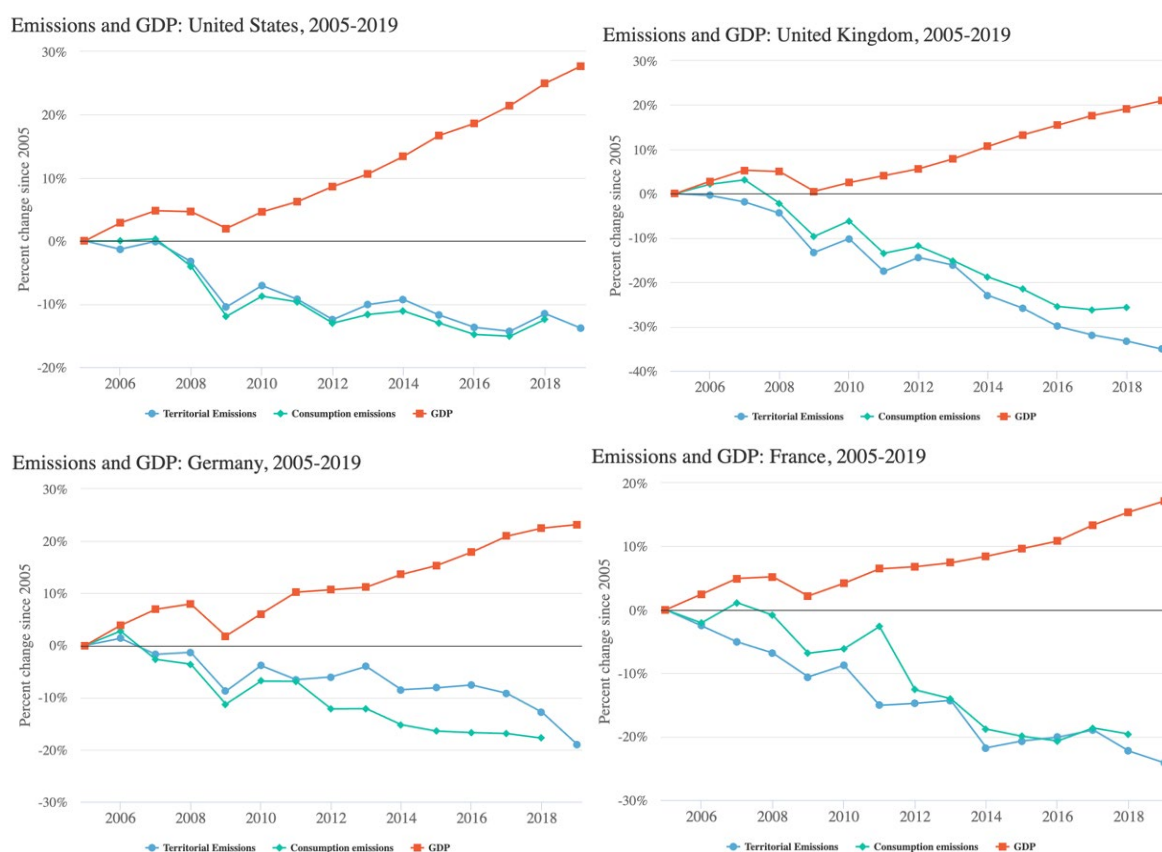


Figure 4.3 : Émissions territoriales et PIB, 2005 à 2019 (Hausfather, 2021)⁴²⁸.

Comme autre exemple, la Suède a augmenté son PIB à un taux double de celui de la France, soit de 30 %, alors qu'elle a diminué son taux d'émissions territoriales au même ordre

⁴²⁷ Skea, J., Shukla, P., Al Khourdajie, A. and McCollum, D. (2021). Intergovernmental Panel on Climate Change : Transparency and integrated assessment model. *Wiley interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 12(5), 2981

⁴²⁸ Hausfather, Z. (2021). *Absolute Decoupling of Economic Growth and Emissions in 32 Countries*. <https://thebreakthrough.org/issues/energy/absolute-decoupling-of-economic-growth-and-emissions-in-32-countries>.

de grandeur, soit de 25 % (Figure 4.4) (Hausfather., 2021)⁴²⁹. Pour atteindre cette performance remarquable, les mesures prises par la Suède relevaient essentiellement de l'augmentation de la production d'hydroélectricité et d'EnR tout en maintenant une part importante pour le nucléaire. Par ailleurs, l'application d'une taxe carbone semble avoir joué un rôle dans ce résultat (Anderson et Lövin, 2015)⁴³⁰.

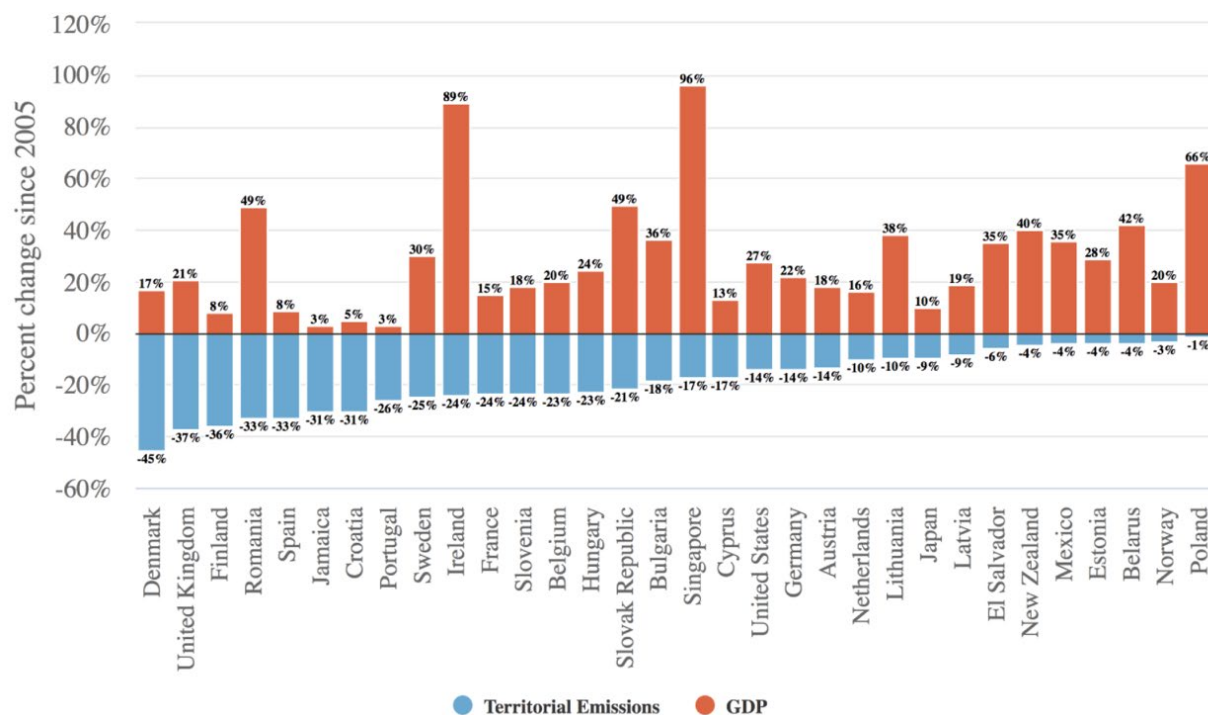


Figure 4.4 : Découplage des émissions territoriales, des émissions de consommation et du PIB pour la période 2005 à 2019, par rapport au niveau de 2005, pour 32 pays dont la population est d'au moins 1 million d'habitants – (Hausfather, 2021)⁴³¹.

En revanche, la plus importante critique émane de la présentation des données qui est basée sur des émissions issues de la « production d'énergie », dont l'énergie carbonée, plutôt que sur les émissions issues de la « consommation d'énergie finale », qui doit inclure les importations d'énergie carbonée, essentiellement le gaz naturel et le pétrole. Avec ce type de bilan, la Suède et sans doute plusieurs pays à l'économie avancée, démontrent qu'ils déplacent

⁴²⁹ Hausfather, Z. (2021). *Absolute Decoupling of Economic Growth and Emissions in 32 Countries*. <https://thebreakthrough.org/issues/energy/absolute-decoupling-of-economic-growth-and-emissions-in-32-countries>.

⁴³⁰ Andersson, M. and Lövin, I. (2015). *Sweden: Decoupling GDP growth from CO2 emissions is possible*. Swedish Environmental Protection Agency, Statistic Sweden & World Bank Blogs. <https://blogs.worldbank.org/climatechange/sweden-decoupling-gdp-growth-co2-emissions-possible>.

⁴³¹ Hausfather, Z. (2021). *Absolute Decoupling of Economic Growth and Emissions in 32 Countries*. <https://thebreakthrough.org/issues/energy/absolute-decoupling-of-economic-growth-and-emissions-in-32-countries>.

leur « pression environnementale », notamment, vers des pays émergents. D'ailleurs, si l'on regarde la relation du PIB en fonction des émissions de CO₂ à l'échelle mondiale, la pression environnementale interpelle sur l'urgence de remettre en cause le principe de croissance continue de l'économie à un taux aussi rapide qu'actuellement, avec, comme indicateur clé, le PIB, ou de s'interroger sur la capacité de la planète à accueillir plus de 7,8 milliards de populations en fonction des limites écologiques et technologiques. De fait, étant donné que les économies, depuis le milieu du XIX^{ème} siècle et particulièrement depuis 1950, se construisent autour des « machines » et dépendent fortement des sources d'énergie fossiles, il existe une relation étroite entre le PIB et les émissions de CO₂ (Figure 4.5) (Bowen et coll., 2009)⁴³².

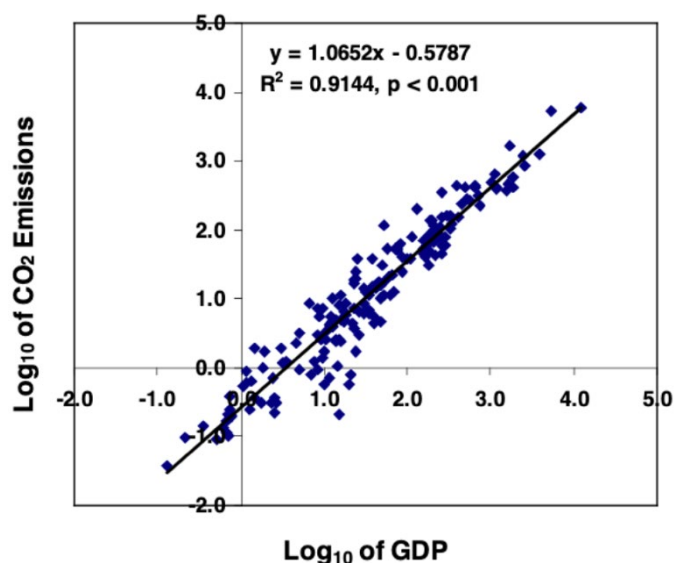


Figure 4.5 : Corrélation entre les émissions de CO₂ dues aux combustibles fossiles (Mt/an) et le PIB (milliards de dollars de 2005) de 173 pays en 2005 (Bowen et coll., 2009)⁴³³.

En effet, par l'observation, en valeur absolue, la relation entre le CO₂ et le PIB, pour un nombre et une diversité importante de pays producteurs et consommateurs d'énergie, les résultats sont significativement remarquables.

La démonstration de cette relation est encore plus édifiante avec le retour d'expérience incluant l'année de référence de la COVID19, l'année 2020. En effet, entre 1965 et 2020, il est

⁴³² Bowen, A. et coll. (2009). *The implications of the economic slowdown for greenhouse gas emissions and targets*. <https://www.ccecep.ac.uk/publication/the-implications-of-the-economic-slowdown-for-greenhouse-gas-emissions-and-targets/>

⁴³³ Bowen, A. et coll. (2009). *The implications of the economic slowdown for greenhouse gas emissions and targets*. <https://www.ccecep.ac.uk/publication/the-implications-of-the-economic-slowdown-for-greenhouse-gas-emissions-and-targets/>

démontré de manière incontestable que la corrélation est directe entre la consommation énergétique totale, essentiellement due aux combustibles fossiles émetteurs de CO₂, et le PIB mondial. Et plus spécifiquement, l'année 2020 est marquée par un recul à la fois du PIB et de la consommation énergétique. Il est ainsi constaté que plus qu'un lien de corrélation, c'est un lien de causalité : sans énergie, le PIB s'effondre, sans activités économiques, le CO₂ diminue (Figure 4.6).

Sachant que 80 % de l'énergie consommée sur la planète est carbonée et que l'intermittence des EnR pose le problème du stockage de l'énergie, et si en plus, il n'y a pas de changement radical dans les modes de consommation des populations, il est légitime de se demander si l'énergie nucléaire ne constitue pas une part importante de la solution pour découpler le PIB du CO₂, jusqu'à ce que des technologies nouvelles existent. Entre l'énergie carbonée et le PIB, le choix devient de plus en plus difficile.

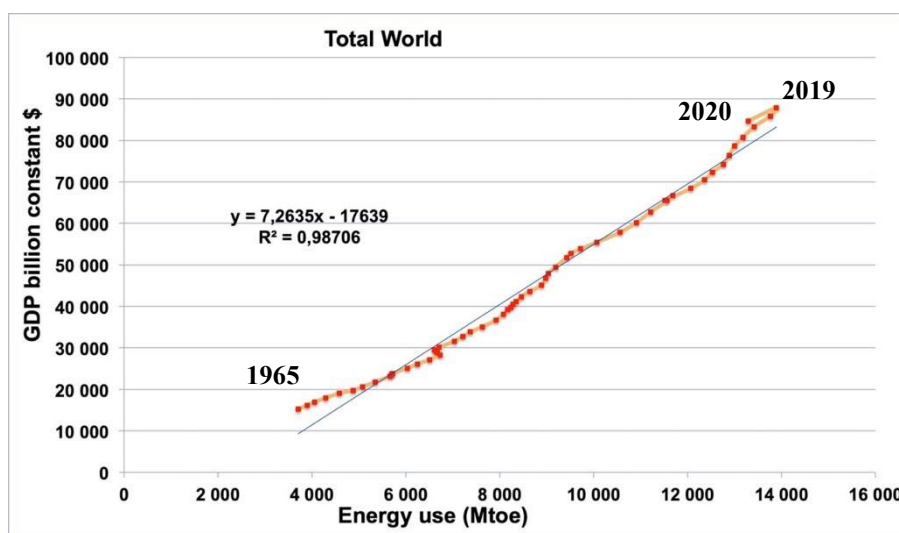


Figure 4.6 : Énergie consommée et PIB en dollars constants pour le monde de 1965 à 2020 (Jancovici, 2021)⁴³⁴.

Ainsi, l'hypothèse de découplage de la croissance économique d'un pays avec certains polluants s'avère difficile à mesurer et à justifier. En effet, l'impact environnemental ou pression environnementale (pollution par les émissions de CO₂ et consommation énergétique) qui diminuerait avec le développement d'un pays selon la Courbe de Kuznets (Kuznets, 1955)⁴³⁵ appliquée au domaine de l'écologie n'est pas démontrée à l'échelle mondiale.

⁴³⁴ Jancovici, J.M. (2021). *Energy Use vs GDP*. (PIB) World Bank; (Energie) BP stat energie. https://www.linkedin.com/posts/jean-marc-jancovici_en-2020-machine-arri%C3%A8re-toute-depuis-activity-6828969314780024832-xmht/

⁴³⁵ Kuznets, S. (1955). Economic growth and income inequality. *The American economic review*, 45(1), 1-28.

De plus, des recherches empiriques semblent indiquer que la mesure de trois types d'émissions de gaz à effet de serre (CO₂, NO_x et SO₂) serait corrélée avec le PIB par habitant (intensité d'usage) selon la Courbe de Kuznets environnementale (*environmental Kuznetscurve* ou EKC), mais pas nécessairement dans une trajectoire exclusivement vertueuse. En fait, quatre relations types et formes de la courbe sont possibles telles qu'illustrées à la figure 4.7 (Selden et Song, 1994)⁴³⁶.

Une courbe d'augmentation de la pollution avec l'augmentation des revenus (a), comme c'est le cas dans une économie émergente qui construit ses infrastructures urbaines et qui industrialise leur économie comme actuellement en Chine ; une courbe de diminution de la pollution avec l'augmentation des revenus (b), comme c'est le cas dans une économie tertiaire financiarisée, numérisée et mondialisée avec délocalisation de la production industrielle comme plusieurs pays de l'OCDE et le Japon ; une courbe en U inversé (c) qui représente la phase de croissance d'un pays industrialisé avec une implantation terminée ou à la marge – et nécessitant une maintenance et un renouvellement - du *Capital productif* (bâtiments et infrastructures), la phase de stabilisation de sa population - voire la diminution - et ensuite la phase d'une économie tertiaire financiarisée, numérisée et mondialisée avec la délocalisation partielle de la production, comme ce fut la trajectoire de plusieurs pays occidentaux. Enfin, une courbe en N ou même en W inversé (d) qui représente l'oscillation entre la régionalisation (au sein d'un pays ou d'un continent) et la délocalisation à l'internationale de productions industrielles identifiées : une forme de régime permanent d'oscillation de la relation d'internalisation et d'externalisation de la production.

⁴³⁶ Selden, T. M., and Song, D. (1994). Environmental quality and development: is there a Kuznets curve for air pollution emissions? *Journal of Environmental Economics and management*, 27(2), 147-162.

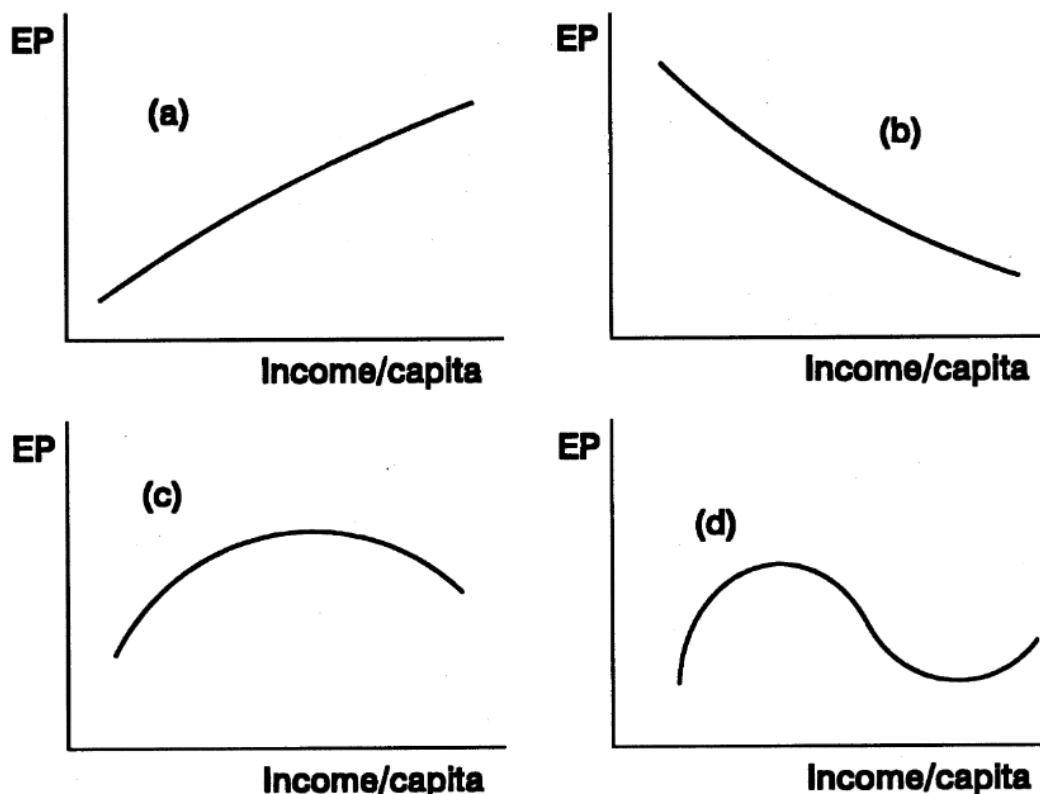


Figure 4.7 : Différentes corrélations entre la pression environnementale (*environmental pressure, EP*) et le revenu par habitant (*per capita income*) (de Bruyn et coll., 1998)⁴³⁷.

Les divers changements de corrélation sont directement liés à des changements économiques structurels (transformation tertiaire et des modes de production, choix d'importation, etc.) ou techniques et technologiques (transformation numérique, transformation écologique) auxquels un ingénieur stratège en milieu urbain doit être constamment à l'affût. L'adaptation des bâtiments et des infrastructures, dont il est responsable, en dépend.

Enfin, pour tenter d'identifier les impacts à l'échelle macroéconomique du *Capital productif* - de ces outils de production que sont les actifs physiques - sur le PIB et les émissions de CO₂, un économiste japonais propose une équation, dite équation de Kaya (ou *Kaya identity*). Celle-ci vise une modélisation théorique de l'intensité de l'énergie et de l'empreinte carbone générée par une activité économique croissante (ou éventuellement décroissante) en fonction d'une population croissante (ou éventuellement décroissante). Ensemble, les quatre

⁴³⁷ De Bruyn, S.M, Van den Bergh, J.C.J.M, et Opschoor, J.B. (1998). Economic growth and emissions: reconsidering the empirical basis of environmental Kuznets curves, *Ecological Economics*. Volume 25. Issue 2. Pages 161-175. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(97\)00178-X](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(97)00178-X)

facteurs de l'identité Kaya expliquent les diverses influences qui contribuent à l'augmentation de la concentration dans l'atmosphère de dioxyde de carbone (Kaya, Yokobori)⁴³⁸ :

$$CO_2 = POP * \frac{PIB}{POP} * \frac{TEP}{PIB} * \frac{CO_2}{TEP} \quad (5)$$

Où :

CO_2 : représente les émissions mondiales de CO_2 d'origine humaine (valeur absolue)

POP : est la population mondiale (valeur absolue)

PIB : est le Produit intérieur brut mondial (ou production en valeur absolue)

TEP : est la consommation mondiale d'énergie (valeur absolue)

Et :

PIB/POP : est le PIB par habitant (ou intensité de production, en valeur relative)

TEP/PIB : est l'intensité énergétique du PIB (valeur relative)

CO_2 / TEP : est l'empreinte carbone de l'énergie (valeur relative)

La forte croissance du niveau de production représenté par le PIB (entre 5 % et 10 %) depuis le milieu du XXème siècle est un « accident de l'histoire » induit par une forte croissance démographique. Contrairement aux espérances, cela n'a pas mené à une meilleure distribution de la richesse. Au contraire, la concentration du capital, de la richesse, est structurellement toujours plus forte et entre les mains de quelques-uns (Piketty, 2013)⁴³⁹. C'est l'échec de la proposition de l'utilitarisme de la fin du XVIIIème siècle qui visait à « maximiser le bien-être collectif par l'agrégation du bien-être individuel maximisé » (Bentham, 1789)⁴⁴⁰.

Quel type de politique mettre en place pour optimiser au mieux cette nouvelle fonction de production ? La fonction de production originale de Solow évolue de deux variables (K et L) et trois constantes (α ; β ; c) à une représentation par quatre variables (K , L , H et N) et quatre constantes (α ; β ; c et d). L'optimisation par les mathématiques de la fonction de production est alors mise à mal. En effet, il est démontré depuis la théorie des jeux qu'on ne peut pas

⁴³⁸ Kaya, Y. and Yokobori, K. (Eds.). (1997). *Environment, energy, and economy: strategies for sustainability*. Tokyo: United Nations University Press.

⁴³⁹ Piketty, T. (2013). *Le Capital au XXIe siècle*. Le Seuil, Collection : Les Livres du Nouveau monde.

⁴⁴⁰ Bentham, J. (1789). *An Introduction to the Principles of Morals and Legislation* (2007). Dover Publications Inc., Dover Philosophical Classics.

mathématiquement maximiser deux variables ou plus en même temps (von Neumann et Morgenstern)⁴⁴¹.

Le système à observer est complexe : d'autres modèles, procédés et méthodes doivent être envisagés. L'optimisation doit alors être soumise à un champ de conditions et de contraintes qui évoluent dans le temps. Par surcroît, la complexité et l'incertitude contemporaines - générées par une surpopulation et par une destruction des ressources naturelles avérées - sont issues d'une grande quantité de classes de variables pour lesquelles les individus ou les entreprises cherchent à maximiser la valeur d'une variable souvent au détriment d'autres.

4.3.2 La valeur à l'échelle microéconomique

Selon la théorie néo-classique, les fondements microéconomiques des fonctions de production permettent de révéler les « relations de forme réduite » qui émergent de manière endogène « des interactions entrée-sortie entre des producteurs et des facteurs hétérogènes en équilibre général ». Cela permet de généraliser les théorèmes d'agrégation existants et d'en faire émerger de nouveaux dès lors que le contexte étudié est construit autour de statistiques microsuffisantes (Baqae et Farhi, 2019)⁴⁴².

Pour parvenir à la microsuffisance des statistiques, historiquement, depuis la crise financière de 1929, les normes comptables britanniques et américaines ont pris une place importante au niveau international pour établir le cadre conceptuel visant à donner une représentation adéquate des rapports financiers des organisations privées (secteur privé, incluant les entreprises cotées en bourse) et des organisations gouvernementales (secteur public : États, collectivités territoriales, etc.).

Même si des particularités peuvent apparaître par pays, l'alignement vers des normes internationales reconnues s'accélère avec la progression de la mondialisation par la financiarisation des activités économiques amorcée dans les années 1980. Depuis 2005, la formalisation se déroule sous l'impulsion d'organes comme la FASB (*Financial Accounting Standard Board*)⁴⁴³, et ses relais internationaux pour le secteur privé l'IASB (*International*

⁴⁴¹ Von Neumann, J. et Morgenstern, O. (1947). *Theory of Games and Economic Behavior* (2007). Princeton University Press.

⁴⁴² Rezza Baqae, D., Farhi, E. (2018). JEEA-FBBVA Lecture 2018: The Microeconomic Foundations of Aggregate Production Functions. *Journal of the European Economic Association*, 17(5), 1337–1392. <https://doi.org/10.1093/jeea/jvz050>

⁴⁴³ *Financial Accounting Standard Board*. <https://asc.fasb.org/>

Accounting Standards Board)⁴⁴⁴ et pour le secteur public (gouvernements) l'IFAC (*International Federation of Accountants*)⁴⁴⁵, à travers des normes comme l'IFRS (*International Financial Reporting Standards*)⁴⁴⁶ ou l'IPSAS (*International Public Sector Accounting Standards*)⁴⁴⁷.

Ces normes visent à produire et garantir, à partir des « principes comptables généralement reconnus » (*Generally Accepted Accounting Principles* ou *GAAP*) (Tableau 4-1), que les états financiers d'une organisation sont complets, cohérents et comparables. Il est ainsi plus facile pour les investisseurs d'analyser et d'extraire des informations utiles des états financiers de l'organisation, privée ou publique, y compris des données sur les tendances sur une période spécifique. Cela facilite la comparaison des informations financières entre différentes organisations.

Tableau 4-1 : Principes comptables généralement reconnus (*GAAP*).

1. Principe de régularité:	Le comptable a respecté les règles et normes en vigueur.
2. Principe de cohérence:	La direction et le comptable s'engagent à appliquer les mêmes normes tout au long du processus de compte rendu, d'une période à l'autre, afin de garantir la comparabilité financière entre les périodes. Les comptables sont censés divulguer et expliquer pleinement les raisons de tout changement ou mise à jour des normes dans les notes de bas de page des états financiers.
3. Principe de sincérité:	La direction et le comptable s'efforcent de donner une image exacte et impartiale de la situation financière d'une entreprise.
4. Principe de permanence des méthodes:	Les procédures utilisées dans l'information financière doivent être cohérentes, ce qui permet de comparer les informations financières de l'entreprise.
5. Principe de non-compensation:	Les informations négatives et positives doivent être communiquées en toute transparence et sans attente de compensation de la dette.
6. Principe de prudence:	Il s'agit de mettre l'accent sur la représentation de données financières fondées sur des faits et non obscurcies par la spéculation.
7. Principe de continuité:	Lors de l'évaluation des actifs, il faut supposer que l'entreprise continuera à fonctionner.
8. Principe de périodicité:	Les écritures doivent être réparties sur les périodes de temps appropriées. Par exemple, les produits doivent être comptabilisés dans la période comptable correspondante.
9. Principe d'importance relative:	La direction et le comptable doivent s'efforcer de divulguer pleinement toutes les données financières et les informations comptables dans les rapports financiers.
10. Principe de la plus grande bonne foi:	Dérivé de l'expression latine "uberrimae fidei" utilisée dans le secteur des assurances. Il présuppose que les parties restent honnêtes dans toutes les transactions.

⁴⁴⁴ *International Accounting Standards Board*. <https://www.ifrs.org/groups/international-accounting-standards-board/>

⁴⁴⁵ *International Federation of Accountants*. <https://www.ifac.org/>

⁴⁴⁶ IFRS Foundation. (2020, 25 août). *List of IFRS Standards*. International Financial, Reporting Standards. <https://www.ifrs.org/issued-standards/list-of-standards/>

⁴⁴⁷ IPSASB. (2020, 30 juillet). *Handbooks, Standards, and Pronouncements*. International Public Sector Accounting Standards Board. <https://www.ipsasb.org/>

Ainsi, les approches conventionnelles de la comptabilité visent à présenter le contenu des comptes annuels, soit : i) L'état de la situation financière ou bilan ; ii) L'état du résultat global ou compte de résultat ; iii) L'état des variations de capitaux propres ; iv) Le tableau de flux de trésorerie ; v) Les notes et annexes qui présentent un résumé des principales méthodes comptables et une description détaillée de chaque article du bilan, du compte de résultat et du flux de trésorerie ; vi) Le rapport de gestion qui présente le résultat opérationnel ainsi que les évolutions des recettes, des dépenses, des capitaux propres et de la trésorerie pour dresser les perspectives générales de l'organisation basée sur les « tendances connues » et dans un « horizon temporel réaliste ».

Par conséquent, les « tendances connues » impliquent une connaissance approfondie de l'organisation, de son environnement, ainsi que des besoins et attentes des différentes parties prenantes. Selon plusieurs théories du management, « les parties prenantes se définissent comme les individus ou groupes d'individus contribuant sur une base explicite ou implicite, à créer de la valeur ou de l'activité pour une organisation tout en étant, soit les bénéficiaires potentiels, soit ceux qui assument les risques (élus/actionnaires, gestionnaires, salariés, usagers/clients) » (Smith, 2003)⁴⁴⁸ (Harrison et coll.)⁴⁴⁹ (Dauphin, 2011)⁴⁵⁰.

Pour sa part, l'« horizon temporel réaliste » est habituellement rarement au-delà de 5 ans et plutôt de 1 à 3 ans. Ce cycle de vie des perspectives d'une organisation est donc à moyen ou court terme - voire très court terme dans le cas de décisions sur un trimestre - lorsqu'on les compare aux cycles de vie des usages – au moins deux à trois générations, pour les actifs physiques des villes - à ceux des composants des bâtiments et des infrastructures d'une ville - 10 à 50 ans, selon les composants - ou à ceux du cycle de vie des mesures à prendre pour limiter les impacts du changement climatique ou pour s'adapter à celles-ci – un horizon autour de 2100, soit 30 à 80 ans.

Malgré des principes de régularité, de cohérence, de sincérité, de permanence des méthodes, de non-compensation, de continuité, de périodicité, d'importance relative et de la plus grande bonne foi, le principe le plus mis à mal par l'évolution récente des normes

⁴⁴⁸ Smith, H. J. (2003). The shareholders vs. stakeholders debate. *MIT Sloan Management Review*, 44(4), 85-90.

⁴⁴⁹ Harrison, J. S., Bosse, D.A. and Phillips, R.A (2010). Managing for stakeholders, stakeholder utility functions, and competitive advantage. *Strategic management journal*, 31(1) 58-74.

⁴⁵⁰ Dauphin, S (2011). Théories du management. *Informations sociales*, 167(5), 6-9.

comptables est celui de la « prudence » (Biondi, 2011)⁴⁵¹ (Zeff, 2016)⁴⁵². La « prudence » vise à mettre l'accent sur la représentation de données financières fondées sur des faits et non obscurcies par la spéculation. En ce sens, c'est ce principe de prudence que doivent habituellement suivre les comptables et financiers pour estimer la « juste valeur » (*fair-value accounting, FVA*)⁴⁵³ d'une organisation. Toutefois, cette « valeur instantanée de marché » pose un problème de volte-face par l'abandon, de fait, du principe de « prudence » (Supiot, 2017)⁴⁵⁴. En effet, plutôt que d'adopter une valeur basée sur l'économie réelle révélant les besoins d'usage et le coût, la « juste valeur comptabilisée » (*FVA*) devient conjoncturelle, spéculative et en continuité avec le clivage entre l'économie réelle et l'économie financiarisée. Et c'est éventuellement cette valeur qui fait l'objet d'une agrégation à l'échelle macroéconomique pour le PIB. En ce sens, il est démontré que l'anticipation spéculative de la valeur mène à des catastrophes économiques, comme la crise des *subprimes* en 2007 (Ryan, 2008)⁴⁵⁵ et la crise bancaire et financière de 2008, même si l'approche comptable des coûts historiques (*historical cost accounting, HCA*) ne semble pas le remède absolu et sans lacune (Laux et Leuz)⁴⁵⁶.

Ainsi, la comptabilité classique considère : le coût historique (*HCA*), lié à la nécessité d'établir une valeur d'usage, et la valeur de marché instantanée (ou *FVA*), liée à la perception et à l'effet conjoncturel de la valeur d'échange. Toutefois, en langage strictement comptable ou financier, la « valeur d'usage » n'existe pas. Les normes et conventions comptables traiteront la dépréciation d'un actif comme une perte de valeur en fonction du « prix de sortie » de celui-ci. Par conséquent, dans ce contexte, la perte de valeur tient compte de la valeur intrinsèque de l'organisation dans son ensemble, ou d'une de ses parties, par rapport à un marché, et non spécifiquement la valeur d'usage de ses actifs physiques, même si celle-ci influence la valeur d'échange.

Ainsi, pour évaluer la perte de valeur, il y a nécessité de la vérification de l'« obsolescence » économique de l'organisation, afin que de tester si l'investissement dans les

⁴⁵¹ Biondi, Y. (2011). The pure logic of accounting: A critique of the fair value revolution. *Accounting, Economics, and Law*, 1(1).

⁴⁵² Zeff, S. A. (2016). *Forging accounting principles in five countries: A history and an analysis of trends*. Routledge.

⁴⁵³ Mesurée à partir de la norme IFRS 13 - évaluation de la juste valeur, ou ASC 820 - *fair-value standard*.

⁴⁵⁴ Supiot, A. (2020, 20 juin). *La gouvernance par les nombres 2 - Le rêve de l'harmonie par le calcul*. Fondation Hugot du Collège de France, Youtube. <https://youtu.be/D3U9IOBz8R8>, (2017).

⁴⁵⁵ Ryan, S.G. (2008). Accounting in and for the subprime crisis. *The accounting review* 83(6), 1605-1638. <https://doi.org/10.2308/accr.2008.83.6.1605>

⁴⁵⁶ Laux, C, et Leuz, C. (2009). The crisis of fair-value accounting: Making sense of the recent debate. *Accounting, Organizations and Society*, 34(6-7), 826-834. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2009.04.003>.

actifs physiques est toujours en adéquation avec les résultats financiers générés par l'organisation. Ce test de l'investissement dans les actifs physiques correspond alors à l'estimation de la perte de valeur d'usage réelle dans le but de produire, celle issue d'une évaluation de l'état de santé physique des actifs (*Asset or Facility condition*), ou dépréciation. Cette appréciation de la valeur est essentiellement adaptée au contexte du secteur privé concurrentiel.

Toutefois, il existe une convention comptable qui se rapproche de la valeur d'usage lorsqu'il y a l'hypothèse d'une « utilisation en continu » ou l'hypothèse d'un « arrêt définitif » de l'usage. Malgré cela, les comptables ou financiers évalueront d'abord, et presque exclusivement, la « valeur d'échange », le prix de sortie.

Ainsi, il y a nécessité de rétablir ou maintenir la meilleure valeur d'usage possible par des actions menant à des dépenses d'investissement (CAPEX) et des dépenses de fonctionnement (OPEX).

En ce sens, il est possible de reformuler la « valeur d'usage » du capital fixe comme étant un élément fondamental de ce qui mène à l'évaluation de la « valeur d'échange ». Dans le cas du secteur public, cette représentation de la valeur par l'usage est beaucoup plus riche et significative puisqu'elle n'a pas de « marché » auquel se confronter. La valeur d'échange n'a pas de sens pour le secteur public tant que la volonté politique et l'intérêt pour les citoyens de ne pas privatiser, demeurent parmi les principes à maintenir. Le cas des contrats de concession et autres types de PPP sont des cas particuliers qui croisent les deux réalités.

Cela étant, le coût d'un bien se définit comme la valeur payée par l'organisation pour l'acquérir afin de le destiner à un usage. Au moment d'une construction neuve, la « valeur actuelle de remplacement » correspondra à la « valeur marchande » du bâtiment ou de l'infrastructure. Par concordance, cette valeur marchande deviendra la valeur d'usage initiale, soit celle estimée à 100 % de son potentiel. Les deux concepts de valeur d'échange et de valeur d'usage coïncident parfaitement au moment précis d'une transaction d'acquisition d'un bien neuf, hors spéculation. Autrement dit, au moment de l'acquisition d'un bien neuf, la valeur d'échange, qui est la valeur actuelle de remplacement, et la valeur d'usage, peuvent être considérées comme la même.

Aussi, durant le cycle de vie de l'actif physique, la « valeur » doit se mesurer à partir d'information générée par une organisation pour subir le test de la cible à atteindre ou du seuil à ne pas dépasser. De manière classique et conventionnelle, l'estimation et l'analyse de la valeur du capital fixe, des actifs physiques, à l'échelle microéconomique sont essentiellement

comptable : une attribution du dénombrement physique (registre d'inventaire) ou une monétarisation du *Capital productif* (valeur comptable).

La prise en compte de considérations telles que l'hétérogénéité et la nature des organisations ou de leurs actifs, de leurs âges et vétustés respectifs, n'existe pas autrement que par l'estimation de la dépréciation par les méthodes d'amortissement. L'amortissement représente la perte de valeur d'usage d'un bien due à l'usure du temps (vétusté ou mise en conformité réglementaire), au dépassement technologique (obsolescence) ou à l'usage. La dotation aux amortissements est la somme que représente cette perte de valeur d'usage. Elle est estimée pour chaque exercice financier jusqu'à la fin de la durée d'usage du bien.

La règle pour déterminer si le bien est amortissable d'un point de vue du comptable est d'abord d'identifier si l'activité, ou le projet relève d'une dépense d'investissement (CAPEX) plutôt que d'une dépense de fonctionnement (OPEX). Ensuite, il est habituel de vérifier si le coût d'acquisition (achat) se situe à minima, par convention, entre 500 € à 15 000 € et si la durée de vie utile est de plus d'un an. L'appréciation du montant et de la durée de vie varient d'une organisation à une autre. Cette règle est voulue assez souple pour permettre l'adaptation du suivi comptable à tout type d'organisation et tout type d'actifs physiques. Par ailleurs, plusieurs organisations (gouvernement national ou local, industrie de l'habitat, des pâtes et papiers, universités, etc.) vont convenir entre elles d'établir une simplification, selon les actifs physiques, des durées d'amortissement ou des montants d'entrée dans la liste des biens amortis afin de pouvoir comparer entre organisations, sans tenir compte d'un raisonnement lié à la valeur d'usage et la perte de valeur d'usage réelle. Toutefois, cette absence de prise en compte de la réalité objective pose le problème de la représentation purement théorique de la valeur qui est ainsi découplée de la mesure empirique de la perte de valeur et des durées de vie utile restantes réelles.

Il existe essentiellement quatre méthodes classiques d'amortissement : l'amortissement dégressif à taux double (*Double Declining Balance*); l'amortissement en fonction du nombre d'unités (*Units of Production*); l'amortissement arithmétique dégressif (*Sum-of-the-Years Digits*); l'amortissement linéaire (*Straight Line*) (Vernimmen, 2021)⁴⁵⁷. La méthode généralement utilisée pour les actifs physiques ayant une durée de vie utile longue est celle de l'amortissement linéaire. Ces méthodes simulent la « perte de valeur d'usage » en fonction d'une « durée de vie utile théorique » pour répondre :

⁴⁵⁷ Le Fur, Y., Quiry, P. et Vernimmen, P. (2021). *Finance d'entreprise 2022* (20^e éd.). Dalloz.

- i) à l'aspect juridique et financier de la dépréciation irréversible par la maintenance et appaue par l'usure, le dépassement technologique, les besoins en remplacement et renouvellement, ou les nouveaux besoins (adaptation fonctionnelle pour de nouveaux usages) ;
- ii) à l'aspect fiscal par ses effets sur le bénéfice avant intérêts et impôts puisque la dotation aux amortissements est déductible du résultat d'une organisation privée comme pour les contrats de concession ou les PPP (Tableau 4-2) ;
- iii) à l'aspect économique afin de déterminer la valeur du capital fixe.

Tableau 4-2 : Illustration du compte de résultat pour une société de projet.

Compte de résultat consolidé (exemple)	
Chiffre d'affaires	+ 1 milliards \$
Achats	- 350 M \$
Charges externes	- 70 M \$
Charges de personnel	- 40 M \$
Autres charges d'exploitation	- 20 M \$
EBITDA / BAIIDA <i>earnings before interest, taxes, depreciation, and amortization</i> Ou bénéfice avant intérêts, impôts, dépréciation et amortissement	+ 520 M \$
Dotations aux amortissements, aux dépréciations et aux provisions	35 M \$
EBIT / BAI <i>earnings before interest and taxes</i> Ou bénéfice avant intérêts et impôts	+ 485 M \$

Selon les conventions comptables actuelles relatives à l'amortissement, l'estimation de la « durée de vie utile comptable » doit être prudemment courte dans une perspective d'économie de marché néolibérale. L'organisation, par la pression des actionnaires qui prennent un risque financier, vise à récupérer son investissement dans un délai « raisonnablement court » afin de se protéger contre les différents risques de perturbations de la valeur (prix et rentabilité), comme l'évolution des tendances du marché issues d'une pression par l'offre ou par la demande, l'apparition d'innovations inattendues ou de disruptions par de nouvelles technologies ou de nouveaux produits et services concurrents. Pour le comptable ou

le financier, le regard porte sur la « valeur d'échange » ce qui le mène à ne pas considérer la « durée de vie utile » comme censée refléter la « durée de vie physique en bon état de fonctionnement ». L'indicateur phare devient alors celui du « rendement des actifs financiers » (*return on asset* ou *ROA*) dont le calcul est le bénéfice divisé par les actifs financiers. Cet indicateur inclut dans son calcul les dépenses pour les investissements pour les actifs physiques (CAPEX).

Même si pour l'ingénieur de production, la maintenance est d'un excellent niveau, une infrastructure industrielle qui fabrique un produit ou offre un service qui n'est plus « utile », qui n'a plus d'usage, cesse ses activités et le démantèlement s'amorce. Mais que signifie le risque financier ? À quelles primes de risque cela correspond-il ? Et de quel ordre de grandeur doit être ce « délai raisonnablement court » ? Ces questions amènent l'élaboration d'autres thèses.

Ainsi, l'ingénierie de conception et l'ingénierie de maintenance doivent dimensionner leurs actifs physiques et la panoplie d'activités OPEX et CAPEX qui en découlent en s'alignant sur les objectifs de l'organisation, qui sont presque toujours influencés d'abord par les contraintes financières. Elles doivent tenir compte tout au long du cycle de vie d'un actif physique : i) des besoins, intentions et critères de conception et de construction originels de l'actif ; ii) des efforts à consentir, en OPEX et en CAPEX, pour maintenir, remplacer et renouveler l'actif, en tout ou en partie ; iii) des conditions de sollicitations, lors du fonctionnement, par des phénomènes exogènes (climat, pollution, etc.) et des phénomènes endogènes (typologie d'usage, durée, fréquence, etc.).

Pourtant, la dialectique nécessaire entre les comptables et les ingénieurs pour garantir cet alignement est souvent inexistante. La démarche doit viser à protéger l'organisation par son regard sur les risques éventuels comme ceux des bouleversements liés au marché, mais aussi, de manière tout aussi importante, de ceux liés à la lutte contre la vétusté - incluant le volet écologique -, à la nécessité de maintenir la conformité réglementaire ou à l'opportunité d'agir sur les actifs physiques existants par des adaptations fonctionnelles salutaires.

C'est pourquoi il est convenable d'affirmer que les durées de vie utiles comptables sont trop courtes ou du moins n'incluent pas les effets de métamorphose lors de la « transformation du système ». Cela incite à considérer les investissements sur les actifs physiques comme du simple « jetable ». La conservation, le réusage, la réutilisation (Note)⁴⁵⁸, évolution des usages

⁴⁵⁸ La réutilisation se concentre sur l'utilisation répétée d'un objet ou d'un produit pour la même fonction, tandis que le réusage implique l'utilisation de ces éléments pour des fonctions différentes ou des usages nouveaux et peut nécessiter des adaptations ou des modifications. Les deux approches contribuent à la réduction des déchets et à la préservation des ressources, mais le réusage peut être considéré comme une forme de réutilisation plus créative.

ou le recyclage de ces patrimoines n'est pas la priorité. La production et l'inscription dans une économie néolibérale ultra consumériste à court terme pour augmenter le PIB sont la priorité.

Ainsi, un paradoxe de la préservation du *Capital naturel* ou, pourrait-on dire, une « critique de la raison verte » émerge de la notion de « durée de vie utile ». Cette « critique de la raison verte » se résume par l'incapacité de rendre compatibles les tentatives de la « finance verte » avec une croissance infinie. En somme, c'est une injonction contradictoire, une expression oxymorique de la volonté et de l'incapacité de tout faire à la fois (Tordjman, 2021)⁴⁵⁹, (Grandjean et Lefournier, 2021)⁴⁶⁰.

En effet, comment convenir d'une « durée de vie utile comptable » réaliste ? Quels effets des innovations et des disruptions sur la compression du cycle des investissements (extraction-construction-production/exploitation/maintenance-consommation-rebut) ? Par exemple, le cas de l'entreprise américaine Eastman Kodak fondée en 1881, au bord de la faillite en 2012 et remontant difficilement la pente depuis, qui n'a pas su comprendre et anticiper la transition numérique, amène à réfléchir aux cycles de vie des actifs physiques en lien avec les innovations. En revanche, dans le cas des pyramides de Gizeh en Égypte, après plus de 4500 ans, il y a encore aujourd'hui un usage. Il a évolué de l'actif physique « tombes des rois et des pharaons » à celui de « site touristique incontournable », mais un usage subsiste toujours.

C'est la confrontation de cycles de vie utile très courts de la « très haute technologie » (*very high-tech*) à celui de cycles de vie utile très longs des actifs physiques à « très faible niveau technologique » (*very low-tech*), dont l'inertie forte. Devons-nous ralentir ou réglementer l'innovation et la disruption pour stabiliser sur le plus long terme possible les cycles de vie des usages ? Est-ce souhaitable ? Et que penser des biens communs, tels que les bâtiments (écoles, hôpitaux, etc.) ainsi que les infrastructures urbaines et de transports ? Faut-il concevoir ces actifs physiques pour des cycles de vie longs ou courts ? Avec quelles technologies ? Quel cycle de vie générationnel ?

Par conséquent, les concepts autour de l'amortissement et la caractérisation du phénomène de perte de valeur d'usage réel sont au cœur de la « Politique technique, économique, écologique et éthique pour les actifs physiques des villes ». Les décisions et les actions qui en découleront doivent provenir de l'analyse d'un système complexe, ouvert et

⁴⁵⁹ Tordjman, H (2021). *La croissance verte contre la nature : Critique de l'écologie marchande*. Sciences. La Découverte.

⁴⁶⁰ Grandjean, A. et Lefournier, J. (2021). *L'illusion de la finance verte*. Ed. Atelier.

transformatif dont le déséquilibre, lié à l'entropie, en une constante. Cette politique doit servir à étayer le principe de prudence, la durée de vie utile devient déterminante pour garantir une évaluation de la valeur des actifs physiques et de leurs besoins futurs en travaux de remplacement ou de renouvellement.

Ainsi, l'intégration à des approches classiques des mathématiques financières deviendrait peut-être possible pour mieux révéler les enjeux, puisque celles-ci dépendent et se fondent sur le « facteur temps » combiné, essentiellement, aux techniques et méthodes de l'actualisation, de la théorie des probabilités, du calcul stochastique, des statistiques et du calcul différentiel.

Il est important de noter que dans le cas des organisations du secteur public en France, depuis juin 2004, une Ordonnance sur les PPP exige que le contrat intègre des critères et objectifs de performance en matière de « développement durable » (expression oxymorique) et d'exécution confiée à des entreprises locales de petites et moyennes tailles ainsi que sur la durée de réalisation, la qualité architecturale des ouvrages et la robustesse financière de l'offre (EPEC, 2012)⁴⁶¹. La volonté politique de comparer la réalisation de projets de grande envergure en mode contractuelle PPP (financement privé, conception, construction, d'exploitation et de maintenance) avec un mode de réalisation conventionnelle publique (financement public et, de manière synthétique, plusieurs contrats ou des activités de régie interne autour de la conception, la construction, l'exploitation et la maintenance) implique de devoir rapprocher les normes et conventions comptables avec les normes et pratiques d'ingénierie.

Ce constat et sa formulation amènent à refonder la mesure « quantitative » des actifs physiques urbains et en y incorporant une mesure « qualitative » des situations organisationnelles et de la valeur d'usage de leurs actifs physiques. La technique de « quantification du qualitatif » sera alors (Royer et coll., 2019)⁴⁶² :

- i) d'identifier les concepts utilisés pour circonscrire ce qu'est le « qualitatif » dans le contexte des actifs physiques (par exemple, la durée de vie restante, le risque de ne pas intervenir, la nature des travaux à réaliser, etc.) ;
- ii) de rendre opérationnels des « indicateurs marqueurs » de l'ordre, du rang, de l'amplitude des composants, systèmes et groupe de systèmes de l'ensemble des

⁴⁶¹ European PPP Expertise Centre. *Le guide EPEC des PPP : Manuel de bonnes pratiques*. Banque européenne d'investissement. DOI: 10.2867/8101

⁴⁶² Royer, I., Garreau, L. et Roulet, T. (2019). La quantification des données qualitatives : intérêts et difficultés en sciences de gestion. *Finance Contrôle Stratégie*, NS-6. <https://doi.org/10.4000/fcs.3312>

actifs physiques d'une organisation (par exemple, en utilisant une nomenclature spécifique stabilisée, en identifiant des seuils et des cibles, etc.) ;

- iii) de trouver les conditions de construction d'une « connaissance transformative » qui comprend l'adoption d'une approche intégrative (recherche d'un assemblage original et pragmatique du tout) et le traitement des systèmes dans leur ensemble. Cette connaissance soutient l'objectif de saisir la complexité des problèmes présents et est critique à l'égard du statu quo actuel. Cette prise en compte du réel par l'expert est nécessaire lors de l'abstraction qualitative (par exemple, en utilisant les techniques et méthodes d'un processus itératif d'*élicitation* afin de formaliser de manière « explicites » les connaissances qui sont « tacites » au regard d'un expert. Cette formalisation est essentielle pour garder la trace du passé et du présent, pour sauvegarder ou partager l'information avec le meilleur niveau de fiabilité possible, etc.).

Un vaste champ de recherche reste à entreprendre sur le plan des externalités positives et négatives générées par la construction de bâtiments (école, hôpitaux, etc.) et d'infrastructures publiques (transport) sur le développement économique, par exemple (Lhotellier, 2021)⁴⁶³. À partir de ces études, serait-il possible de définir ce qu'est une « rentabilité publique », en décrivant ce que l'on entend par rentabilité ? Est-ce que ces investissements sont utiles ? Pour quels usages et quelle durée ? Et comment prendre en compte les coûts de fonctionnement qu'ils génèrent et les bénéfices incommensurables, incluant ceux de l'impact positif sur l'environnement ? Est-ce qu'il est possible d'établir une « juste valeur » (FVA) de l'organisation responsable de la gestion du transport ou des écoles, par exemple ? Quelle valeur pour ce type de capital fixe ? À quelle logique d'expression de la « valeur » ces actifs physiques urbains et publics devraient-ils répondre ?

Qu'en est-il de la valeur d'usage des actifs physiques au XX^{ème} siècle ? Le fait de refonder le concept de valeur d'usage et de perte de valeur d'usage peut-il mener vers une économie écologique circulaire, décarbonée, visant plus le *low-tech* que le *high-tech* en tous sens ?

Enfin, les actifs physiques - les terres agricoles, les écoles, l'habitat, les hôpitaux, les bâtiments tertiaires de bureaux ou institutionnels, les infrastructures urbaines ou industrielles, tant dans le secteur public que dans le secteur privé - sont datés et se caractérisent par leur usage

⁴⁶³ Lhotellier, G. (2021, 14 août). *Les routes de l'impossible - Centrafrique, à leurs risques et périls*. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=NRiUC8m-O7Y>.

et leurs fonctions, en somme par leur valeur d'usage évolutive dans le temps. L'expression de la valeur n'est pas seulement monétariste, plusieurs éléments concourent à son appréciation. L'évaluation de la valeur des immobilisations corporelles, les actifs physiques ou capital fixe, doit se fonder sur leurs coûts historiques et actuels ainsi que sur leurs amortissements pour une durée de vie utile réaliste la plus longue possible pour éviter la « consommation » du stock.

L'évaluation de la valeur et des caractéristiques descriptives des actifs physiques est par essence complexe et multifactorielle.

4.4 Conclusion

La valeur-travail de Marx et la valeur-utilité de Walras positionnent l'humain dans le registre d'un *désir de l'objet* (substantiel) en édulcorant ou camouflant le registre du *désir du lien social* : « la construction d'une économie des grandeurs fait disparaître une économie des relations » (Orléan, 2011)⁴⁶⁴. Et cette économie des grandeurs devient un système qui tend vers une entropie irréversible plutôt que de se fonder sur des activités encourageant la néguentropie, par maintien des usages ou par adaptation aux nouveaux usages.

Les diverses théories classiques sur la valeur, qu'elles soient macroéconomiques par la fonction de production ou microéconomiques par la valeur marchande d'échange, demeurent plutôt muettes : i) sur l'influence de l'extraordinaire développement technique et technologique au cours du XX^{ème} siècle - et particulièrement depuis les années 1950 - ayant entre autres conséquences, la réduction des cycles de vie du *capital productif*, l'épuisement de ressources naturelles, l'accélération du changement climatique, l'accroissement des inégalités sociales par la concentration des savoirs et la prolétarianisation des métiers avec le numérique (robotisation) ; ii) sur l'ornière idéologique néolibérale d'imposition de la comparaison entre le secteur privé et le secteur public pour mettre en évidence les antagonistes et les ressemblances afin de discréditer les actions des uns et des autres ; iii) sur l'intégration de nouvelles perspectives hétérodoxes comme celle de l'intégration du capitalisme cognitif ou d'une meilleure prise en compte des biens et services communs dans l'économie.

Pourtant, dans le contexte écologique et écosystémique de ce début du XXI^{ème} siècle, la valorisation du « capitalisme cognitif » (Moulier Boutang, 2008)⁴⁶⁵ ou de la classification des biens et services sous les notions de « rivalité d'usage » et d'« exclusion d'acquisition »

⁴⁶⁴ Orléan, A. (2011). *L'Empire de la valeur. Refonder l'économie : Refonder l'économie*. Média Diffusion.

⁴⁶⁵ Moulier Boutang, Y. (2008). *Le Capitalisme Cognitif : La Nouvelle Grande Transformation*. Éd. Amsterdam.

(Samuelson, 1954)⁴⁶⁶, révèlent la nécessité de promouvoir une économie autour des biens et services communs (Harding, 1968)⁴⁶⁷ (Ostrom, 1991)⁴⁶⁸ (Giraud, 2018)⁴⁶⁹, ceux qui sont « rivaux » et « non excluables » (ceux provenant de la nature : eau, forêt, minerais, montagne, faune, etc. ; et ceux issus d'une construction sociologique essentielle aux vivants : la santé, l'éducation, etc.). Ainsi, la plus-value dépendra de l'entité collective qui gèrera ces biens et services.

L'économie actuelle élude et se dérobe à la prise en considération des bienfaits d'« *externalités positives* » qui ne sont pas toujours faciles à mesurer, mais qui ont bel et bien leurs effets. « Il y a nécessité de refonder l'économie sur les principes d'un biomimétisme par des activités de dissémination, de dispersion, de pollinisation, en somme de contribution, pour rendre fécond le rôle essentiel de l'homme à la biodiversité économique et sociale » (Moulier Boutang, 2010)⁴⁷⁰. Un rôle visant la néguentropie du système.

Pour le capital fixe, les actifs physiques, dont la régénération est possible, la plus-value pourrait être établie à un seuil assurant la protection et le renouvellement de la ressource sur une durée établie qui pourrait largement dépasser plusieurs générations. La valeur d'usage devient alors centrale dans la réinvention du capitalisme.

Ainsi, pour le *capital productif*, et notamment pour le capital fixe ou les actifs physiques, la transformation d'une économie « d'extraction de la matière et de la valeur » à croissance exponentielle et consumériste vers une économie « de génération d'un renouvellement de la matière et d'une optimisation de la valeur d'usage » à évolution circulaire et écologique nécessite que la construction, la maintenance et le renouvellement d'infrastructures et de bâtiments – actif ou capital fixe, non financier - en milieux urbains, par exemple, soient portés par un « discours » nouveau, articulé par un « langage » adapté.

En somme, il appert que « trois conditions importantes doivent être incluses aux modèles et fonctions de production à venir » (England, 2000)⁴⁷¹ même si cela mène à constater

⁴⁶⁶ Samuelson, P.A. (1954). The Pure Theory of Public Expenditure. *The Review of Economics and Statistics*, 36(4), 387–389. www.jstor.org/stable/1925895

⁴⁶⁷ Hardin, G. (1968). The Tragedy of the Commons. *Science*, 162, 1243-1248. <https://doi.org/10.1126/science.162.3859.1243>

⁴⁶⁸ Ostrom, E. (1991). *Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action*. Cambridge University Press.

⁴⁶⁹ Giraud, G. (2018). Vers une économie politique des communs. *Cités*, 76(4), 81-94.

⁴⁷⁰ Moulier Boutang, Y. (2018). *L'abeille et l'économiste*. Éd. Carnets Nord.

⁴⁷¹ England, R. (2000). Natural capital and the theory of economic growth. *Ecological Economics*, 34, 425-431. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(00\)00187-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(00)00187-7).

une croissance plus lente, voire une décroissance, afin d'espérer atteindre un régime permanent de l'économie mondiale à l'horizon de stabilisation de la population mondiale, en 2100 :

- a) Le *capital naturel* est constitué de ressources rares et limitées ;
- b) Le *capital humain* et le *capital naturel* doivent obligatoirement être couplés pour estimer la valeur de la production ;
- c) Les solutions technologiques et les innovations - générées à partir du *capital humain* et du *capital naturel* – ne peuvent pas perpétuellement augmenter la productivité sans qu'il y ait de conséquences sur le *Capital naturel*.

La transition économique d'une « économie exponentielle et consumériste » vers une « économie circulaire et écologique » adviendra seulement en tenant compte de ce contexte.

Il apparaît alors important pour les APULs, comme pour les États, de dresser des politiques qui visent à :

- i) Encourager des actions orientées vers la sobriété, dans le champ du *Capital naturel* (N) par une prise en charge par les institutions de la réglementation sur le prix de l'énergie, de la pollution et des matières rares ;
- ii) Mettre encore plus d'emphasis sur la combinaison de savoirs issus du *Capital humain* (H) pour le combiner à la force de travail (L) afin de produire un *Capital cognitif* (C) ;
- iii) Limiter (ralentir) la croissance (Y) jusqu'à l'équilibrage de la population mondiale en l'an 2100 à un niveau estimé de 11 milliards d'humains (Roser, 2013)⁴⁷², par l'utilisation des technologies et des découvertes diverses présentes et à venir (α ; β ; c et d).

La mise en évidence du *capital cognitif* (Moulier Boutang, 2008)⁴⁷³ au sein de la fonction de production permet d'inclure les effets d'une production créative - sans valeur économique directement attribuée par le marché - qui génère au sein même des produits et services, une valeur économique, une nouvelle valeur intrinsèque, plutôt immatérielle, parfois sous la forme d'une nouvelle technologie « physique ».

⁴⁷² Roser, M. (2013). *Future Population Growth*. OurWorldInData.org. <https://ourworldindata.org/future-population-growth> [Online Resource]

⁴⁷³ Moulier Boutang, Y. (2008). *Le Capitalisme Cognitif: La Nouvelle Grande Transformation*. Édition Amsterdam, Collection : Multitudes/Idées.

Les politiques publiques qui misent exclusivement sur le volet de la maîtrise du *Capital naturel* par une « croissance verte » faisant fi de la « critique de la raison verte » - expression proposée dans le présent ouvrage – ne s’engagent sur une fausse route. Et estimer que la « finance verte » est possible avec la même approche est une double fausse route. Cela confirme la thèse issue de l’ouvrage de Tordjman (Tordjman, 2021)⁴⁷⁴

Pour illustrer l’alliance entre la nécessité de maîtriser le capitalisme naturel avec le capitalisme cognitif et l’utilisation des technologies, voici le cas, dans le champ de l’architecture, de la conception, de la construction et de l’exploitation et maintenance des bâtiments. Ce rôle technique historique des ingénieurs les mène à incorporer leurs savoirs à l’inspiration de l’architecte. En ce sens, le choix technique (α ; β ; c et d ,) peut être de s’orienter vers une conception sobre et frugale (« *very low tech* ») qui évitera les composants sophistiqués (« *very high tech* ») comme vers l’ajout de pléthore de capteurs gérés par un système de gestion technique centralisé (GTC) afin de limiter les consommations énergétiques (N) ou vers la « conception de matériaux nouveaux » (Note)⁴⁷⁵ (Tribot, 2016)⁴⁷⁶ (H , L et C) qui génèrent une autre gestion de l’exploitation et de la maintenance. Ce type d’alliance est difficile à mesurer, tant sur le plan de la performance instantanée que sur la durabilité d’usage, et à inscrire dans un cadre de valeurs éthiques faisant consensus. La valeur supérieure de l’objet et du processus associé reste à définir.

Par conséquent, pour gérer la complexité et les incertitudes croissantes liées à l’utilisation comptable de la dépréciation par l’outil de l’amortissement, la production d’une valeur intrinsèque immatérielle doit accompagner la démarche. Elle oriente alors - par les données, les informations et la connaissance produites - les décisions et les actions en visant à objectiver les effets de la combinaison de trois cycles de vie :

⁴⁷⁴ Tordjman, H (2021). *La croissance verte contre la nature : Critique de l’écologie marchande*. Sciences. La Découverte.

⁴⁷⁵ Liste des matériaux : IPAC (isolant écologique porteur alvéolaire cellulosé) ; Traitement du bois par haute température (procédé similaire à la pyrolyse) ; Carrelage organique à base d’huile de lin, de fibres naturelles et de céélite – issu de diatomées fossilisées, une classe de micro-algues brunes ; Béton translucide dans lequel ont été insérés des fibres optiques ; Structure des panneaux de verres et d’acier contenant de l’eau permettant de garder une température stable tout au long de l’année ; Briques à partir de ciment et de cellulose provenant de papier et de carton recyclés ; Béton à partir de fibres de lin ; Le béton centenaire, Superhydrophobic Engineered Cementitious Composite (SECC), résistant jusqu’à 120 ans.

⁴⁷⁶ Tribot, S. (2016). 8 matériaux de construction innovants et méconnus. *Techniques de l’ingénieur, L’actu de l’innovation, Matériaux, Biotech & chimie*, 4 janvier 2016, <https://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/articles/8-materiaux-de-construction-innovants-meconnus-29376/>

- i) Celui des orientations organisationnelles : Le cycle de vie de la gouvernance qu'on peut estimer à environ 5 à 6 ans est tributaire dans le cas des APULs des cycles électoraux ;
- ii) Celui de l'expression des besoins des usagers : Le cycle de vie des utilisations est habituellement celui des générations bénéficiaires de l'utilité et tient compte de l'adaptation fonctionnelle à anticiper. Il peut être un cycle centenaire, de deux générations ou d'une génération de 25 ans ;
- iii) Et celui de la vétusté, menant à des défaillances, des pannes ou des bris aléatoires, et des évolutions réglementaires : le cycle de vie des fonctionnalités, soit de l'écrin, le contenant, les systèmes et composants constituant l'actif physique et dans lequel évoluent les usages. Ce cycle varie de 5 à 100 ans en fonction des caractéristiques de chacun des composants et de leur dégradation.

Et c'est par ces données, ces informations et cette connaissance qu'une dialectique peut naître entre les cycles de vie. Il devient possible d'identifier des époques de décision d'investissement pour les actifs physiques au sein d'une ville – constructions et renouvellement de bâtiments et d'infrastructures. Les attributs et caractéristiques de chaque actif physique donnent une valeur d'usage patrimoniale qui invite à la préservation, à la conservation et éventuellement à la mutation des usages par une transformation, un réusage, respectueux « des » « capital » déjà intégrés à l'actif.

Tout comme en macroéconomie, l'optimisation par les mathématiques de la valeur du capital fixe devient impossible du fait de sa nature multifactorielle des contextes. Par exemple, pour ce qui est du « développement durable », il y a nécessairement oppositions et contradictions lors de l'analyse de l'ensemble des variables relevant des aspects environnementaux, sociaux et économiques (*Planet, People, Profit*). Dans le même sens, la gestion d'actifs physiques au sein des APULs est sous la contrainte de l'inflation réglementaire, d'une vétusté croissante, de nouveaux besoins liés à la concentration de la population dans les villes et un financement limité qui rendent difficile l'équilibrage du coût, de la performance et du risque de chacun de ses bâtiments et de ses infrastructures.

La solution d'optimisation ne doit pas passer que par les seules données « normatives », elle doit aussi tenir compte des données « positives » respectueuses du regard citoyen, du salarié, de ceux qui vivent la praxis au quotidien. Il est alors nécessaire de prôner une décision et une action dont les bases éthiques tiennent compte des conséquences (éthique

conséquentialiste), en plus de tenir compte de l'acceptabilité sociale (éthique moraliste) et de l'organisation nécessaire à la mise en action de la décision (éthique déontologique).

En somme, pour l'architecture, l'ingénierie et aussi dans le champ de l'urbanisme, un nouveau concept s'impose pour l'aide à la décision et à l'action : l'optimisation par la « *mathém-éthique* ». Ce néologisme exprime un concept visant à équilibrer l'influence, la volonté et la responsabilité du regard du scientifique ou de l'expert avec celui qui relève d'une orientation, menant éventuellement à des bifurcations, fondées sur une éthique moraliste, déontologique ou conséquentialiste. Son étymologie a pour racine grecque « *mathêma* » qui signifie « instruire, penser, apprendre, apprécier » et de la racine « *êthikós* », signifiant « mœurs, conduite, habitude ». Cette discipline se définit comme l'ensemble des savoirs et connaissances fondé sur des bases éthiques dans le but d'arbitrer entre des paramètres conflictuels lors de prise de décisions et d'actions (Foucault J.-P., 2021)⁴⁷⁷.

Sinon, le scientisme risque de prendre le pas sur l'éthique. Les solutions visant le « tout prévisible », le « tout mathématisable » et le « tout technologie » sont un leurre. Même si, bien évidemment, l'utilisation des apports d'innovation et de technologies de pointe demeurera utile et nécessaire dès lors qu'ils respecteront l'éthique retenue.

⁴⁷⁷ Foucault, J.P. (2021, 18 juin). *La « mathém-éthique », proposition pour un nouveau champ disciplinaire*. Architecture hospitalière et développement durable, Séminaire WEB de la Chaire de management des technologies de la santé de l'EHESP. Paris, France.

**DEUXIÈME PARTIE : LE MODÈLE PACKIT POUR LA
GESTION D'ACTIFS PHYSIQUES ET SON APPLICATION**

CHAPITRE 5 LE CADRE ÉPISTÉMOLOGIQUE ET CONCEPTUEL : LES FONDAMENTAUX

5.1 Introduction

Dans cette deuxième partie, la thèse portera essentiellement sur le cas d'actifs physiques de type bâtiment ou infrastructure, avec leurs caractéristiques architecturales et techniques, bien que l'ensemble des hypothèses, concepts, principes, méthodes et outils se transposent aussi aux infrastructures urbaines diverses (réseaux d'eaux usées et pluviales, réseau d'eau potable, routes et rues, éclairages urbains, parcs, etc.).

En résumé, la première partie de la présente thèse a permis de démontrer trois grandes *hypothèses* qu'il est possible de synthétiser comme suit : il y a une nécessité de recourir au concept de *valeur d'usage* pour introduire un regard nouveau lors de l'élaboration, de la mise en place et du suivi de la politique de la ville en matière de gestion de ses actifs physiques, ses bâtiments et ses infrastructures.

Ainsi, plus spécifiquement, cette conclusion s'appuie sur le constat - issu de l'analyse du *Capital humain*, du *Capital naturel* et du *Capital productif* – que, d'une part, la croissance de la population mondiale et sa concentration dans les milieux urbains génèrent des difficultés liées aux *pouvoirs* et des opportunités liées aux *savoirs* ; que, d'autre part, la destruction du *Capital naturel* contraint les milieux urbains à repenser la production, la consommation et l'utilisation des moyens issus de la biosphère ; et qu'enfin, la transformation d'une *économie linéaire d'extraction de la matière et de la valeur* à croissance exponentielle et consumériste vers une *économie circulaire de génération d'un renouvellement de la matière et d'une optimisation de la valeur d'usage* à évolution stabilisée - oscillation en régime permanent entre croissance et décroissance (Bruyn et coll., 1998)⁴⁷⁸ - et écologique nécessite que la construction, la maintenance et le renouvellement d'infrastructures et de bâtiments – actif ou capital fixe, non financier - en milieux urbains soient portés par un *discours* nouveau, articulé par un *langage* adapté.

Historiquement en Occident, dans la foulée de la révolution industrielle du XIXe siècle, les propositions d'organisation scientifique de l'industrie de Henri Fayol (Fayol, 1916)⁴⁷⁹ et

⁴⁷⁸ De Bruyn, S.M, Van den Bergh, J.C.J.M, et Opschoor, J.B. (1998). Economic growth and emissions: reconsidering the empirical basis of environmental Kuznets curves, *Ecological Economics*. Volume 25. Issue 2. Pages 161-175. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(97\)00178-X](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(97)00178-X)

⁴⁷⁹ Fayol, H. (1916). *Administration industrielle et générale* (1999). Dunod.

Frederick Winslow Taylor (Taylor, 1919)⁴⁸⁰, ainsi que celles des dynamiques urbaines de Jay Wright Forrester (Forrester, 1969)⁴⁸¹ ou de Joël de Rosnay (de Rosnay, 1970)⁴⁸², ont engendré la mise en place d'un modèle de gouvernance des décisions pour la Ville qui repose sur un modèle *mécaniste* dont la structure et la forme sont composées de l'articulation de ses parties. L'approche *normative* de la Ville prend alors la forme d'un système dont les données captées sont statistiquement approchables et reproductibles à l'infini. Un tel modèle semble concilier un respect en apparence de la complexité avec la recherche d'un équilibre statique qui devient à la fois la loi de fonctionnement et l'objectif à atteindre donc la norme.

Ce que nous proposons pour la deuxième partie de la thèse, c'est de se rapprocher de capteurs économiques et sociaux prenant en compte les émergences de solutions intelligentes à des problèmes complexes en recourant d'abord à un modèle de ville de type *Smart City-mécaniste*, dont les composants intègrent certes de multiples *capteurs physiques*, mais qui permet de faire évoluer le modèle de gouvernance et de décision urbaines dans une direction moins auto-réalisatrice et souvent fictive : la *Smart City-organologique* (Note)⁴⁸³.

En ce sens, qu'en est-il de la prise en compte des interactions complexes relevant d'usages variés (Chourabi et coll., 2012)⁴⁸⁴, à des échelles multiples et à des cycles de vie différents, ce qui correspond à la fois à la description théorique de la complexité par Edgar Morin (Morin, 1990)⁴⁸⁵, mais aussi à la vie quotidienne la plus ordinaire du citoyen ? Quelles conséquences doit-on attendre d'un modèle de *Smart City-mécaniste* sur les agents, sur leurs besoins et sur les modalités d'expression de ces derniers ? Y aura-t-il l'apparition d'un doute des agents par rapport à la capacité de maintien et d'adaptation de la ville sur le moyen et long terme ? Or, le dynamisme et l'attractivité d'une grande ville renvoient le plus souvent pour ses habitants, pour les investisseurs à l'innovation dans les solutions apportées, au type de défis qui mêle étroitement les échelles temporelles, les aménagements pluriels et multifonctionnels de l'espace.

⁴⁸⁰ Taylor, F. W. (1919). *The principles of scientific management*. Harper & brothers.

⁴⁸¹ Forrester, J. W. (1969). *Urban dynamics*. MIT Press.

⁴⁸² de Rosnay, J. (1975). *Le macroscope*. Éditions du Seuil.

⁴⁸³ « L'*organologie générale* est une méthode d'analyse conjointe de l'histoire et du devenir des organes physiologiques, des organes artificiels et des organisations sociales. Elle décrit une relation transductive entre trois types d'*organes* : physiologiques, techniques et sociaux. La relation est transductive dans la mesure où la variation d'un terme d'un type engage toujours la variation des termes des deux autres types. »

⁴⁸⁴ Chourabi, H., Nam, T., Walker, S., Gil-Garcia, J. R., Mellouli, S., Nahon, K., ... & Scholl, H. J. (2012, January). Understanding smart cities: An integrative framework. In *2012 45th Hawaii international conference on system sciences* (pp. 2289-2297). IEEE. DOI: 10.1109/HICSS.2012.615

⁴⁸⁵ Morin, E. (1990). *Introduction à la pensée complexe*. Éditions du Seuil.

Par exemple, comment concilier assainissement, rénovation, construction sans éloigner du *centre urbain* les populations à revenu modeste et en même temps maîtriser durablement la pollution automobile si l'on maintient une partition tri fonctionnelle de la ville héritée du fordisme industriel en centre des bureaux et des affaires, centre des loisirs et habitat ? Un doute sur la possibilité des politiques urbaines de répondre à ces défis ne conduit-il pas à l'apparition d'une véritable défiance qui se traduira tôt ou tard par la création spontanée et désorganisée de nouveaux usages pour répondre aux mutations inéluctables de toute ville (Eycheenne, 2009)⁴⁸⁶. Mais cette émergence se ferait-elle alors dans des lieux inappropriés ?

On parlerait de solution *Exit* (défection, renoncement et fuite) et pas de solution *Voice* (prise de parole et concertation) (Hirschman, 1970)⁴⁸⁷. Comment gérer et anticiper l'ensemble des besoins simultanés de maintenance et de transformation de la Ville ? Par quel modèle doit-on gérer le changement d'échelle entre le simple composant physique retrouvé sur un bâtiment, par exemple, et la forme et la morphologie globale de la ville ? Quel modèle intertemporel de gouvernance et de décision est-il supposé entre décideurs et agents pour tenter de résoudre les conséquences d'une asymétrie d'information générale (Akerlof, 1970)⁴⁸⁸, quelles que soient les situations géographiques ? La construction du modèle de gouvernance et de décision pour la ville s'effectue-t-elle alors autour de la constitution d'un groupe d'agents (les points) dans une structure réglementée (les règles) nécessitant un système d'information (les arcs) dans le but de répondre à l'expression de besoins explicites et implicites (effet récursif) (Levine et Pomerol, 1989)⁴⁸⁹ ? N'est-ce pas plutôt une étape vers un modèle plus complet ?

La vogue (*fashion*) des villes intelligentes et soutenables a fait l'objet de nombreuses critiques (Greenfield, 2013)⁴⁹⁰ - dont celles d'Antoine Picon qui a réalisé un panorama assez complet et synthétique de ces critiques (Picon, 2015)⁴⁹¹. Le principal problème est l'intégration dans les modèles de la complexité dynamique, ce qu'Antoine Picon résume en se demandant « comment faire vieillir les smart cities ? ».

⁴⁸⁶ Eycheenne, F. (2009). *La ville 2.0, complexe et familière*. FYP éditions.

⁴⁸⁷ Hirschman, A. O. (1970). *Exit, voice, and loyalty: Responses to decline in firms, organizations, and states* (Vol. 25). Harvard university press.

⁴⁸⁸ Akerlof, G. A. (1970). The Market for "Lemons" : Quality Uncertainty and the Market Mechanism. *The Quarterly Journal of Economics*, 84 (3), 488-500, <https://doi.org/10.2307/1879431>

⁴⁸⁹ Levine, P., & Pomerol, J. C. (1989). *Systèmes Interactifs D'Aide à la décision et Systèmes*. Experts-coll. Traité des nouvelles technologies, série décision assistée par ordinateur, Hermès, Paris.

⁴⁹⁰ Greenfield, A. (2013). *Against the Smart City: A Pamphlet. This is Part I of "The City is Here to Use"*. Do projects. Kindle Edition.

⁴⁹¹ Picon, A. (2013). *Smart Cities : Théorie et critique d'un idéal auto-réalisateur*. Éditions B2.

En somme, pour aboutir à l'étude et l'anticipation du vieillissement des villes, la politique en matière de gestion d'actifs physiques devient centrale (Foucault, J.-P.) et Moulier Boutang, 2017)⁴⁹². Mais qu'est-ce que la gestion d'actifs physiques ?

5.2 La gestion d'actifs physiques

Devant l'importance des sommes engagées et l'inertie que cela engendre pour plusieurs années, les enjeux pour maintenir vivant et utilisable un parc immobilier sont considérables. La maintenance d'anciens bâtiments, leur réhabilitation et renouvellement ou la construction de nouveaux ouvrages impliquent de savoir mettre le curseur décisionnel au bon endroit.

À l'origine, les actifs physiques sont issus de l'*art de bâtir*, de l'*architecture*, dans sa définition originelle. Inscrite dans un espace fini, l'œuvre architecturale se veut le lieu idéal, une *utopie*, qui se transforme dès sa construction et tout au long de son cycle de vie en une *hétérotopie*, des lieux autres, qui ne répondent plus à l'utopie initiale. C'est la réalité des usages concrets (Foucault, M., 1967)⁴⁹³. Ainsi, l'*entropie*, ou perte de valeur d'usage, dans le *système d'actifs physiques*, nécessite des décisions et des actions de gestion des actifs physiques, de *néguentropie*, pour maintenir ou faire évoluer les usages.

Par ailleurs, à l'échelle de la ville et de son parc de bâtiments et d'infrastructures diverses, chaque actif physique devient un gisement pour repenser l'architecture et pour proposer plutôt une *architecture des milieux* en améliorant la dynamique urbaine. La cible devient alors de réfléchir à la création de liens, physiques et sociaux ; d'intégrer la nature, le vivant et leurs cycles ; de responsabiliser et rendre volontaire les décideurs (Bonnet, 2010)⁴⁹⁴.

De ce fait, l'*architecture des milieux* engendre une transformation de la dynamique urbaine à partir de l'existant, sans nécessairement construire à neuf. C'est une refondation des modes opératoires en matière de décisions et d'actions. Une recherche de mise en commun, de partage, de transversalité disciplinaire. C'est aussi dans l'*architecture des milieux* que prend naissance, en quelque sorte, la *gestion d'actifs physiques urbains* sous la forme d'une méta-

⁴⁹² Foucault, J.-P., Moulier-Boutang, Y. (2017). Management of urban complexity: the problem of sustainability in urban planning, *XI International scientific and practical conference "Modern Management: Problems and Prospects" - April 27-28th 2017*, Saint Petersburg State University of Economics, Saint Petersburg (Russia).

⁴⁹³ Foucault, M. (1994). *Dits et écrits, 1954-1988, Tome III : 1976-1979*. Gallimard. DOI: 10.14375/NP.9782070739882

⁴⁹⁴ Bonnet, F. (2015). Architecture des milieux. *Le Portique [En ligne]*, 25 | 2010, document 12, URL : <http://journals.openedition.org/leportique/2493> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/leportique.2493>

discipline, au sens d'Edgar Morin (Morin, 1994)⁴⁹⁵. L'objectif étant d'obtenir un alignement des disciplines techniques (construction, maintenance, environnement) avec des disciplines issues du domaine des sciences humaines, socioculturelles et comportementales (satisfaction et comportement des usagers liés à la mission de l'organisation, finance, comptabilité, économie, droit.).

Et pourtant, l'approche collaborative, souvent utilisée, est celle de la *multidisciplinarité*. La multidisciplinarité fait alors référence à « des individus provenant de différents champs d'études qui travaillent de façon indépendante vers l'atteinte d'un but commun » (Oandasan et Reeves, 2005)⁴⁹⁶. Cet agencement d'activités et de compétences variées s'avère problématique pour assurer la cohérence globale entre les disciplines. Chacun prend position pour son camp.

Par ailleurs, l'*interdisciplinarité*, qui se caractérise par les relations entre des disciplines, vise à prendre en compte une réalité globale à partir du point de vue des spécialistes (Adler et coll., 2008)⁴⁹⁷. Là aussi, une problématique surgit : celle du biais d'un champ disciplinaire sur la vue globale. C'est souvent le cas de projets exclusivement orientés vers les mesures d'économie d'énergie, par exemple.

Et comme le précise Edgar Morin, « Il faut tenir compte de tout ce qui est contextuel, y compris des conditions culturelles et sociales, voir dans quel milieu elles naissent, posent des problèmes, se sclérosent, se métamorphosent. Il faut aussi du méta-disciplinaire, le terme « méta » signifiant dépasser et conserver ». La *méta-disciplinarité* est directement inspirée du texte de Blaise Pascal sur la nécessité de *connaître le tout pour connaître les parties* autant que de *connaître les parties pour connaître le tout* (Pascal, 1666)⁴⁹⁸. C'est ainsi que la vue globale devient cohérente avec l'ensemble des *désirs* : c'est un des objectifs de la gestion d'actifs physiques.

Par conséquent, la *gestion d'actifs physiques (physical asset management)* d'un parc de bâtiments vise à coordonner les décisions et les actions pour maintenir, tout au long d'un horizon temporel souhaité par l'organisation dont elle dépend, une *valeur d'usage* adéquate. L'adéquation se retrouve par l'atteinte de l'alignement entre les décisions (volet stratégique) et les actions (volet opérationnel), en assurant la répartition juste et la distribution adéquate des

⁴⁹⁵ Morin, E. (1994). Sur l'interdisciplinarité. *Bulletin interactif du Centre international de recherches et études transdisciplinaires*, 2(2).

⁴⁹⁶ Oandasan, I., & Reeves, S. (2005). Key elements of interprofessional education. Part 2 : factors, processes and outcomes. *Journal of Interprofessional care*, 19(sup1), 39-48.

⁴⁹⁷ Adler, P. S., Kwon, S. W., & Heckscher, C. (2008). Perspective—professional work: The emergence of collaborative community. *Organization science*, 19(2), 359-376.

⁴⁹⁸ Pascal, B., (1666). *Pensées* (1852). Dezobry et E. Magdeleine.

moyens (volet tactique), avec comme cible la *performance* souhaitée, à un *coût* raisonnable tout en sachant maîtriser les *risques* liés à la *perte de valeur d'usage*. Et pour y parvenir, cela nécessite un processus d'arbitrage, durant tout le cycle de vie du bâtiment : de la programmation fonctionnelle et technique des usages à son aliénation en passant par la conception, la construction et de l'exploitation-maintenance (ISO 55000, 2014)⁴⁹⁹ (55 001, 2014)⁵⁰⁰ (55 002, 2018)⁵⁰¹.

Exprimée autrement, la gestion d'actifs physiques consiste principalement à s'assurer que les dépenses requises pour le maintien et le renouvellement de composants de bâtiments soient alignées et planifiées en se coordonnant avec les missions et objectifs de l'organisation.

La constitution d'un fonds de réserve financière devrait être la voie la plus simple pour éviter les aléas. Mais dans les faits, la détermination du niveau d'effort financier à consentir est complexe à évaluer dans un contexte de contraintes législatives variées, de diversité des vieillissements pour des bâtiments construits à des époques différentes, d'usages différents et de densités occupationnelles fluctuantes. Pour des raisons de liquidité immédiate souvent restreinte, la plupart des organisations n'anticipent le financement de leurs projets que sur un horizon temporel d'un an, et de trois ans dans le meilleur des cas (Lujanen, 2010)⁵⁰² (Mirza et Ali, 2017)⁵⁰³ (Li et coll., 2021)⁵⁰⁴.

⁴⁹⁹ ISO 55000. (2014). *Gestion d'actifs - Aperçu général, principes et terminologie*. <https://www.iso.org/fr/standard/55088.html>

⁵⁰⁰ ISO 55001. (2014). *Gestion d'actifs - Systèmes de management - Exigences*. <https://www.iso.org/fr/standard/55089.html>

⁵⁰¹ ISO 55002. (2018). *Gestion d'actifs — Systèmes de management — Lignes directrices relatives à l'application de l'ISO 55001*. <https://www.iso.org/fr/standard/70402.html>

⁵⁰² Lujanen, M. (2010). Legal challenges in ensuring regular maintenance and repairs of owner-occupied apartment blocks. *International Journal of Law in the Built Environment*.

⁵⁰³ Mirza, S., & Ali, M. S. (2017). Infrastructure crisis—a proposed national infrastructure policy for Canada. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 44(7), 539-548. <https://doi.org/10.1139/cjce-2016-0468>

⁵⁰⁴ Li, T., Li, H., & Zheng, J. D. (2021). Promoting Cooperation in Collective Actions: Evidence from the Reserve Fund for Maintenance in China. Available at SSRN 3916078. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3916078>

C'est par le modèle et procédé évolutif et adaptatif PACKiT que l'on peut localiser, délimiter et circonscrire la complexité autour des actifs physiques (Note)⁵⁰⁵ (Foucault, J.-P., 1997)⁵⁰⁶. Mais que sont les actifs physiques ?

5.3 Les actifs physiques

Les *actifs physiques* sont des biens tangibles (capital fixe) de type bâtiments et infrastructures, appartenant à des agents économiques - personnes physiques ou morales (*organisations*), qui visent à assurer un *usage* principal. Ils possèdent une valeur économique (d'échange, comptable et d'usage). Ils servent de dispositif implanté au sein d'une organisation pour générer, suppléer ou restaurer des fonctions requises d'emblée, manquantes ou compromises. En somme, c'est une sorte de prothèse à l'activité humaine en particulier et à celle du vivant (agriculture, etc.) dans son ensemble.

Les types d'actifs physiques peuvent être de cinq grandes catégories (LégisQuébec, 2022)⁵⁰⁷ :

- **Bâtiments** : Tout élément architectural, structural, un système mécanique, thermique ou électrique d'un bâtiment - tertiaires (écoles, université, etc.) ; de bureaux ; de soins de santé ; de détention ; industriels ; silos et ouvrages d'entreposage ou de stockage, etc.
- **Structures** : Structure, temporaire ou permanente, notamment celle servant : au transport de personnes ou de matière, tels un pont, une route, une grue, un pipeline, un pylône ou les composantes structurales d'un égout ; à l'aménagement

⁵⁰⁵ Le modèle et procédé PACKiT (*Process on Asset for Criticality and Knowledge by inspections and Testimonies*) fut conçu et développé à l'origine en 1997 par Jean-Pascal Foucault ingénieur et directeur du patrimoine immobilier, de la logistique et des achats pour la Commission scolaire Baldwin-Cartier au Canada. La première version se présentait sous la forme d'un *Plan de maintien des actifs physiques* visant notamment à démontrer que les *besoins en investissement* dans des parcs immobiliers publics étaient largement supérieurs à la capacité à payer des organisations publiques. Elle visait aussi une approche de la *mise en priorité* des travaux. Les différentes évolutions et adaptations du PACKiT sont maintenant réalisées par les équipes de tbmaestro SA et ses filiales, sous la supervision scientifique de Jean-Pascal Foucault. Elles ont permis d'aboutir à la création de la société de conseil en gestion d'actifs physiques groupe tbm inc, en 2003 au Canada (devenue tbmaestro inc.), et, en 2011, à la création de la société tbmaestro SA en France à la suite d'un processus d'incubation au sein de l'Université de technologie de Compiègne. Aujourd'hui, la société française tbmaestro SA détient 100 % de la société canadienne tbmaestro inc.

⁵⁰⁶ Foucault, J.-P. (novembre 1997). Évaluation du parc immobilier de la commission scolaire. *Rapport soumis à la Commission scolaire Baldwin-Cartier*. Pointe-Claire, Québec, Canada 21 pp.

⁵⁰⁷ LégisQuébec. (2022, 10 mai). I-9 - Loi sur les ingénieurs. *Publications Québec*. <https://www.legisquebec.gouv.qc.ca/fr/document/lc/I-9>

ou à l'utilisation des eaux, tels un barrage, un bassin de rétention ou les composantes structurales d'un aqueduc.

- **Systèmes** : Tout système de génération, d'accumulation, de transmission, d'utilisation ou de distribution d'énergie sous forme électrique, mécanique ou thermique, tels un équipement industriel ou un système de pompage servant au traitement des eaux; moteur; génératrice, équipement biomédical; treuil d'une grue, moteur d'avion, turbine de centrale hydroélectrique, etc.
- **Dépendances à un ouvrage routier ou ferroviaire** : Fossés; accotements, talus; panneaux de signalisation, marquage au sol, feux de circulation; aires de repos, d'arrêt, de services et de stockage; éclairage; terre-pleins centraux, ronds-points, etc.
- **Procédés à l'échelle industrielle** : Chimiques; métallurgiques, pharmaceutiques; manufacturiers; biotechnologiques; d'extraction minière; du gaz et du pétrole; du traitement des sols, des eaux, des effluents liquides et gazeux, des déchets.

La conception d'un actif physique, sa maintenance et son évolution s'articulent autour de l'expression d'un besoin ou d'une opportunité pour un *usage*. Il y a donc la mise en place d'*ambiances* en lien avec les *usages*. Une *ambiance* se définit comme l'ensemble des propriétés et conditions d'un espace, d'un local, d'un lieu.

De manière synthétique, les huit principales *ambiances* dans un bâtiment sont celles :

- i) de l'étanchéité à l'eau, à l'air et de la résistance des parois (résistance thermique de la couche, de son épaisseur, de sa conductivité thermique utile, configuration des cavités et espaces d'air.) ;
- ii) de la qualité d'air intérieure (maintien des paramètres de processus au niveau adéquat pour : le renouvellement d'air, la concentration des polluants gazeux tels que les composés organiques volatils [COV] et le dioxyde de carbone [CO₂]; la concentration et taille des particules telles que les poussières et les particules fines PM 2,5 et PM 10; la température et taux d'humidité relative;
- iii) de l'éclairage adéquat [naturel et artificiel] avec des paramètres de : puissance totale absorbée par le système [P en watt]; flux lumineux lumineux net [flux en lumen]; rendement [lumen par watt]; distribution de l'intensité lumineuse [en candela ou candela par kilolumen]; température de couleur corrélée [CCT en kelvin]; indice de rendu des couleurs Ra [*Colour Rendering Index*]

- iv) des ondes acoustiques maîtrisées (diffusion et insonorisation avec des paramètres de : échelle et niveau du bruit - décibel dB (A) ; fonctionnement acoustique des parois (effet de masse, résonance, absorption et vibration) ; sources (bruits aériens, d'impacts, d'équipements ou émergents) et propagation du bruit (dispersion ponctuelle, linéaire)) ;
- v) de la sécurité par la protection des personnes et des biens afin d'éviter les atteintes accidentelles ou involontaires à la santé et à la vie (capter les risques d'exploitation du bâtiment à la source, par exemple : incendie, inondation, etc.) ;
- vi) de la sûreté par la maîtrise construite autour du filtrage des flux des actes volontaires de dégradation, de vol ou d'attaques malveillantes de toutes sortes (identifier les flux de personnes et de biens pour les contrôler au mieux) ;
- vii) de l'hygiène et de la salubrité (par l'entretien et le nettoyage réguliers de salissures et de désinfection pour un environnement sain ; par la fourniture de produits ou d'équipements accessibles aux usagers, etc.) ;
- viii) de l'esthétique pour conserver une ergonomie de la psyché (adaptation des espaces pour le confort psychologique de l'utilisateur par le choix et agencement de matériaux et la lutte contre la dégradation volontaire).

Par ailleurs, dans le domaine du bâtiment, les disciplines relèvent traditionnellement de la division et de la spécialisation du travail et ainsi, elles requièrent des connaissances complexes et multiples. « Une discipline tend naturellement à l'autonomie, par la délimitation de ses frontières, le langage qu'elle se constitue, les techniques qu'elle est amenée à élaborer ou à utiliser, et éventuellement par les théories qui lui sont propres » (Morin, 1994)⁵⁰⁸.

La figure 5.1 représente un actif physique avec les relations, tel un *nœud borroméen* écologique, entre les *usages*, les *fonctionnalités* et les *fonctions*. Dans toute conception, au moment de la construction originelle ou lors d'interventions ultérieures de renouvellement des actifs par des travaux de rénovation, de réhabilitation ou autres, la première étape est de définir les *usages* pour déterminer les *espaces* requis et les *ambiances* souhaitées. Pour y parvenir, les concepteurs produisent les *fonctionnalités* issues des composants et systèmes techniques et technologiques qui sont reliées aux *usages* par les *fonctions*.

⁵⁰⁸ Morin, E. (1994). Sur l'interdisciplinarité. *Bulletin interactif du Centre international de recherches et études transdisciplinaires*, 2(2).

Et pour répondre aux exigences écologiques contemporaines, en amont de chaque nouvelle conception, il est impératif de faire : le test de la rupture des *usages* (Usages constants adéquats ? Sur-usages ? Sous-usages ? Mésusage ? Évolution des usages ?) ; le test de la rupture des *fonctionnalités* (Vétusté ? Mise en conformité réglementaire ?) ; et le test de la rupture des *fonctions* (huit de base et d'autres s'il y a lieu).

De plus, à chaque intervention en travaux, un test de recherche de la sobriété technique et technologique doit se faire en vérifiant si le *low-tech* peut se substituer au *high-tech*, et l'inverse. Ainsi l'actif physique devient la synthèse d'un *nœud* qui permet de « tenir » en équilibre.

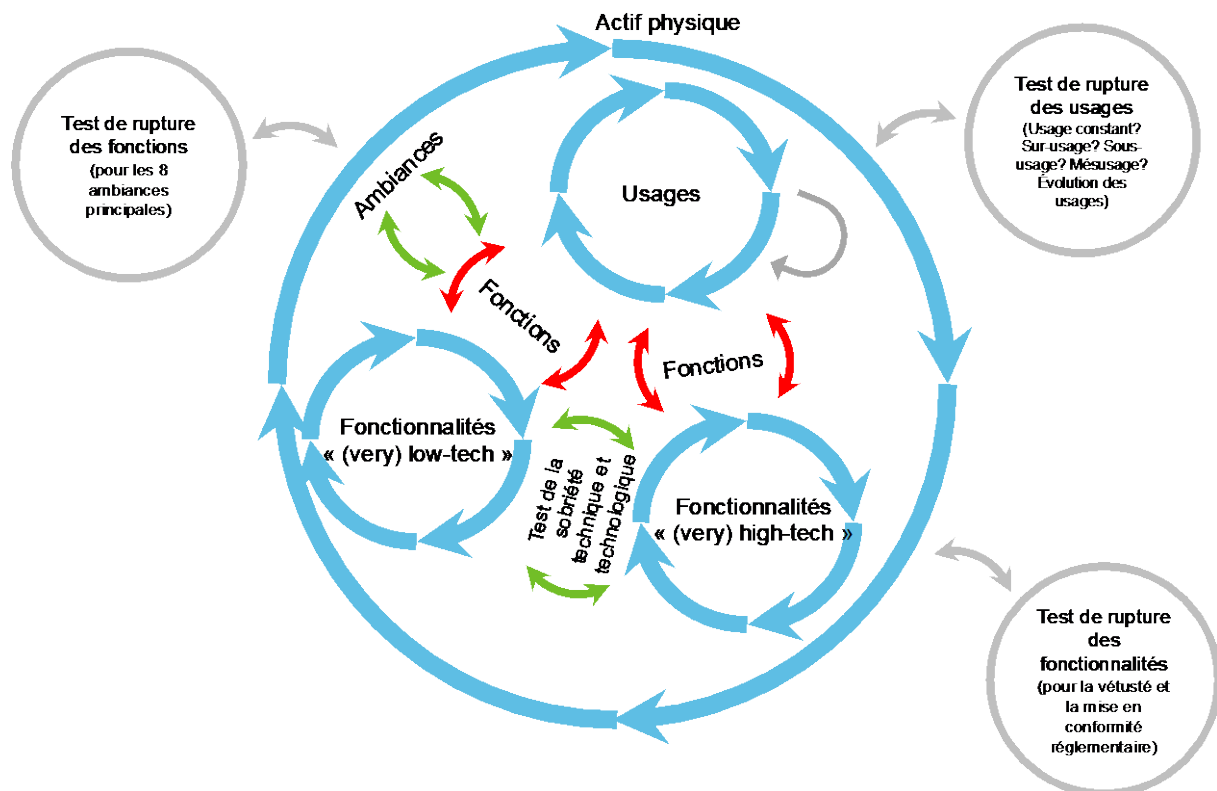


Figure 5.1 : Nœud borroméen écologique entre les *usages*, les *fonctionnalités* et les *fonctions* pour concevoir, maintenir et faire évoluer les *ambiances* d'un actif physique.

Lors d'une vétusté extrême provoquée par l'usure [rupture des fonctionnalités] ou lors de la modification des besoins dans les espaces [rupture des usages] ou même par la dégradation instantanée provoquée par une catastrophe naturelle ou une guerre [rupture des usages et des fonctionnalités], par exemple, un déséquilibre écologique se rompt. La société et le milieu urbain le ressentent. Il y a alors perte de la possibilité de distinguer les *usages*, les

fonctionnalités et les *fonctions*, comme par analogie avec la psychanalyse [Freud, 1930]⁵⁰⁹ [Lacan, 1984]⁵¹⁰ [Bousseyrroux, 2014]⁵¹¹.

Les *usages* se définissent comme étant la destination d'un espace ou d'un procédé au sein d'un actif physique pour satisfaire un besoin identifié par une organisation (lien avec la raison d'être : mission, niveau de services souhaité). C'est le contenu, en opposition au contenant.

Les *fonctionnalités* se définissent comme le caractère technique et technologique d'un composant ou de systèmes (architecturaux, mécaniques, électriques, ou autres) à concevoir, construire et maintenir, et servant de support aux usages. La sobriété passe par la recherche de la modération, de la réserve et de l'arbitrage dans le choix de fonctionnalités adaptées pour les actifs physiques. Selon le besoin, les fonctionnalités peuvent être à inertie forte (*low-tech*) ou à acuité technologique élevée (*high-tech*). C'est le contenant, en opposition au contenu. Les *fonctionnalités* visent à assurer les *ambiances*. Ces ambiances relèvent d'une acceptabilité sociale au sein de l'organisation et au-delà (changement climatique, par exemple).

Enfin, les *fonctions* visent à créer la liaison, la *relation fonctionnelle* entre l'*usage* et les *fonctionnalités*.

Comme indiqué, les actifs physiques sont au service de la raison d'être et de la mission d'une organisation, leur gestion est ainsi d'abord une question de maturité de l'organisation par rapport à la connaissance de ses actifs physiques et des décisions prises (Kenny, 2006)⁵¹² (Grossman, 2018)⁵¹³. Quelle connaissance a-t-elle des usages, fonctionnalités et fonctions dans le bâtiment ? Quel inventaire des *occupations des lieux*, des composants et des systèmes techniques ? Quel inventaire de l'*état de santé des bâtiments (de leur condition)* et des besoins en travaux pour retrouver une valeur d'usage perdue ? Quelles sont les *priorités* par rapport à la raison d'être de l'organisation ? Quelle *capacité à payer* ?

Par la gestion de leurs actifs physiques, les organisations urbaines (incluant les États, régions ou collectivités locales) se retrouvent à devoir conjuguer la réalité opérationnelle, truffée de limites techniques et économiques, avec la réalité stratégique, nécessitant une évolution des usages pour maintenir la raison d'être, les missions et leurs niveaux de services

⁵⁰⁹ Freud, S. (2016). (version originale 1930). *Le malaise dans la civilisation*. Média Diffusion.

⁵¹⁰ Lacan, J., *Le Séminaire. Livre XX, Encore (1972-1973)*, Paris, Le Seuil, 1975.

⁵¹¹ Bousseyrroux, M. (2014). Le nœud borroméen et la question de la folie. Ce qui s'apprend de Joyce. *L'en-je lacanien*, 23, 75-84. <https://doi.org/10.3917/enje.023.0075>

⁵¹² Kenny, J. (2006). Strategy and the learning organization: a maturity model for the formation of strategy. *The Learning Organization*.

⁵¹³ Grossman, R. L. (2018). A framework for evaluating the analytic maturity of an organization. *International Journal of Information Management*, 38(1), 45-51. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2017.08.005>

souhaités, dans des domaines d'activités très variés, comme, entre autres : 1) L'administration publique : Patrimoine de l'État et des administrations publiques locales (APUL) dont les communes, établissements publics de coopération intercommunale (EPCI), départements et régions ; 2) L'enseignement : Établissements d'enseignement primaire, secondaire, supérieur et centres de recherche ; 3) Les infrastructures et l'industrie : Infrastructures de transport (routier, aéroportuaire, portuaire, ferroviaire), réseaux de distribution et usines ; 4) Le médico-social : Centres de santé, structures médico-sociales et associatives ; 5) La défense, justice et sécurité : Tribunaux, établissements pénitentiaires, casernes, bâtiments militaires ; 6) Le sport, loisirs et culture : Salles de spectacle, musées, complexes sportifs ; 7) Le tertiaire : Immeubles de bureaux, agences commerciales ; 8) Le logement et copropriété : Immeubles privés et publics d'habitation.

C'est pourquoi les observations de dégradation des matériaux, des assemblages de matériaux et des systèmes techniques divers dans un domaine plutôt qu'un autre, varieront. Une *moquette* dans un *bâtiment à bureau* d'une *organisation hospitalière* n'aura pas le même taux annuel de dégradation, et donc de cycle de vie, qu'une *moquette* identique dans un *bâtiment à bureau* d'une *organisation de type ville*, par exemple.

Comment alors concilier les informations et la connaissance nécessaires à la prise de décision ? Au sein de quel *Système de gestion des actifs physiques* s'effectue la *transformation* de la valeur d'usage des actifs physiques ?

5.4 Le système de gestion des actifs physiques en milieu urbain

La traçabilité de la *perte de valeur d'usage* devient cardinale pour en évaluer l'impact sur les modèles microéconomiques et macroéconomiques. Cela permet de réintroduire la problématique historique soulevée à l'égard de la *disparition des effets économiques* liés au caractère *hétérogène du capital fixe d'une organisation* - la nature des organisations et de leurs actifs physiques, la datation, la dépréciation et l'état de vétusté présenté de manière imprécise

par l'amortissement comptable (Stiglitz, 1974)⁵¹⁴ (Daniel, 2007)⁵¹⁵ (Piketty, 2013)⁵¹⁶ (Giraud, 2014)⁵¹⁷.

Comme présenté à la figure 5.1, l'*usage* correspond alors à la destination d'un espace ou d'un procédé pour un actif physique afin de satisfaire un besoin identifié par une organisation (lien avec la raison d'être : mission, niveau de services souhaité). Et l'on peut définir la *valeur d'usage (VU) initiale* (à l'année 0, au moment de la mise en service) d'un actif physique comme : la *valeur d'échange moyenne (le prix de marché) de la programmation, la conception, de la construction et des aménagements pour la réalisation d'un actif physique ayant un usage spécifique à une année donnée*.

Tout au long du cycle de vie, cette *valeur d'usage* évoluera selon la *valeur actuelle de remplacement (VAR)* de l'actif. La *valeur actuelle de remplacement* est le prix moyen d'un projet, à une année spécifique, de construction et d'aménagement d'un actif - bâtiment, infrastructure urbaine ou industrielle, incluant les abords et l'intégration au tissu urbain - ayant les mêmes typologies et capacités d'usages que l'actif initial, à iso périmètre, mais selon les types de conception et les méthodes de construction actuels, c'est-à-dire du moment. La VAR exclut les coûts liés à l'acquisition du terrain, mais inclut les frais d'assistance à maîtrise d'ouvrage (FAMO) et les frais d'études et de suivi des travaux (FEST) - honoraires professionnels, dont ceux des architectes, des bureaux d'études techniques et de contrôle, et autres - les contingences ainsi que les coûts liés aux obligations à l'égard de l'aménagement des terrains et du site en interface avec la ville ou de l'intégration des arts.

Ainsi, cette valeur évolue annuellement au fil du cycle de vie en fonction, notamment, de l'offre et de la demande dans l'industrie de la construction et enfin de l'inflation. L'estimation de la VAR est considérée toutes charges comprises (TCC), mais excluant les taxes (HT).

Cette valeur n'est pas en lien direct avec la *valeur d'échange classique* (valeur vénale) issue du marché de l'immobilier traditionnel qui inclut un volet spéculatif souvent non négligeable. La *valeur d'usage* est différente et complémentaire au *coût global de possession*

⁵¹⁴ Stiglitz, J. E. (1974). The Cambridge-Cambridge Controversy in the Theory of Capital; A View from New Haven: A Review Article. *Journal of Political Economy* 82. no. 4. pp. 893-903. <http://www.jstor.org/stable/1837157>.

⁵¹⁵ Daniel, J.-M. (2007, 14 mai). La querelle des deux Cambridge. *Journal Le Monde*. https://www.lemonde.fr/economie/article/2007/05/14/la-querelle-des-deux-cambridge_909576_3234.html

⁵¹⁶ Piketty, T. (2013). *Le Capital au XXI^e siècle*. Le Seuil. Essais. Les Livres du Nouveau Monde.

⁵¹⁷ Giraud, Gaël. (2014). Quelle intelligence du capital pour demain ? Une lecture du Capital au XXI^e siècle de Thomas Piketty. *Documents de Travail du Centre d'Économie de la Sorbonne*. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00969230/document>

(*lifecycle cost*) et elle évolue selon les nouveaux des modes constructifs (aspects culturels, techniques et technologies) et de l'acceptabilité sociale. Par exemple, il serait aujourd'hui à contresens de l'histoire de concevoir un bâtiment énergivore et délétère pour l'environnement et le vivant.

Cette définition de la *valeur d'usage* est contestable si l'on considère qu'une simple application d'un taux d'inflation viendrait mettre à jour la *valeur* sur des temps longs. En effet, une construction de 1956 à laquelle nous appliquons un taux d'inflation selon l'indice BT01 de l'INSEE, par exemple, ne permettrait pas d'estimer de manière juste la *valeur actuelle de remplacement (VAR)*, soit la *valeur d'usage* en date d'aujourd'hui. Bien que nous considérions un patrimoine, capital fixe ou actif physique, ayant les mêmes typologies que celui de 1956, il est impératif de tenir compte des types actuels de conception et de méthodes de construction. Ainsi, la *valeur d'usage initiale* par sa révision tout au long du cycle de vie d'un bâtiment, s'estimera annuellement comme étant la *valeur actuelle de remplacement* afin de tenir compte de l'évolution de la société, de ses besoins et des contraintes qu'elle s'impose. La *valeur d'usage* est tributaire des *transformations* souhaitées ou subies.

Par exemple, depuis la fin du XIX^{ème} siècle et pendant environ 100 ans, la conception des écoles se basait sur le principe *productiviste* en construisant à partir d'un plan rectangulaire, des cellules de taille uniforme, des classes contenant environ 30 à 50 élèves, s'ouvrant sur un couloir (*factory model schools*). Le dispositif était simple : l'élève assiste passivement à l'enseignement et s'exécute sous le contrôle du maître. Il change de classe pour changer de matière sous l'annonce des cloches (*Cells and Bells*).

Au fil du XX^{ème} siècle, une meilleure compréhension des modes d'apprentissages et d'enseignement a permis d'observer que la transmission des savoirs n'est pas unidimensionnelle ou linéaire, mais multiforme et holistique. Cela a mené à une évolution constante des méthodes pédagogiques ayant pour impacts de modifier l'aspect des classes en incorporant du matériel de plus en plus spécifique pour différents usages (musique, informatique, tableau classique remplacé par des écrans liés aux outils numériques, etc.) et en intégrant les aménagements pour favoriser l'autoapprentissage, l'apprentissage par les pairs (apprentissage par problèmes et par projets) ou des aménagements pour faciliter la dynamique pédagogique (toilette à distance moins éloignée des classes pour favoriser moins de déplacements, intégration de bureaux d'enseignants aux classes, création d'aires ouvertes avec

des stations d'expérimentation, etc.). (Serafini, 2002)⁵¹⁸ (Upitis, 2004)⁵¹⁹. Et avec une densité urbaine croissante, le foncier se fait rare, l'intégration des écoles dans le tissu urbain s'envisage de plus en plus à la verticale (Everett, 2021)⁵²⁰.

Dès lors, les bâtiments et infrastructures diverses, avec l'urbanisation croissante, génèrent de l'entropie au sein de chacun des *systèmes de gestion des actifs physiques*. L'ingénierie de la conception et de la *maintenance industrielles* contribue à maintenir la fiabilité, la sûreté de fonctionnement et la *valeur d'usage* des actifs physiques (Schuman et Brent, 2005)⁵²¹ (Hasting, 2010)⁵²².

C'est cette dynamique qu'il est nécessaire d'inscrire dans un contexte de *transformation économique, écologique et numérique*. Et cela implique une compréhension *méta-disciplinaire* accrue de paramètres interdisciplinaires. Ainsi, une meilleure connaissance de l'environnement physique, mais aussi de l'environnement sociologique et économique - menant à la technique et à la technologie par l'éthique, la politique et l'organisation industrielle -, vise l'intégration de la connaissance dans un tout cohérent (Bennett, 1976)⁵²³.

Les politiques économiques qui en découleront se rapprocheront, par construction, des enjeux de limites planchers et plafonds souhaitables (Figure 5.2) pour des fondements sociaux nécessaires à tout humain sur les sujets de la sécurité alimentaire, de la santé, de l'éducation, du revenu et travail (incluant les contributions non rémunérées), la paix et la justice, l'expression politique, l'équité sociale, l'égalité et l'équité humaines, le logement, les réseaux (techniques et humains), l'énergie, l'eau (Raworth, 2017)⁵²⁴.

⁵¹⁸ Serafini, F. W. (2002). Dismantling the factory model of assessment, *Reading & Writing Quarterly*, 18:1, 67-85. DOI: 10.1080/105735602753386342

⁵¹⁹ Upitis, R. (2004). School Architecture and Complexity. *Complicity*, vol.1, n° 1, DOI: <https://doi.org/10.29173/cmplct8713>

⁵²⁰ Everett, D. (2021). *The future of urban schools: integrating community into vertical school architecture* [thèse de maîtrise en architecture, Laurentian University]. URI. <https://zone.biblio.laurentian.ca/handle/10219/3705>

⁵²¹ Schuman, C.A. et Brent, A.C. (2005). Asset life cycle management: towards improving physical asset performance in the process industry. *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 25 No. 6, pp. 566-579. <https://doi.org/10.1108/01443570510599728>

⁵²² Hastings, N. A. (2010). *Physical asset management* (Vol. 2). London : Springer.

⁵²³ Bennett, J. W. (1976). *The ecological transition: cultural anthropology and human adaptation*. (2017). Routledge.

⁵²⁴ Raworth, K. (2017). *Doughnut economics: seven ways to think like a 21st-century economist*. Chelsea Green Publishing.

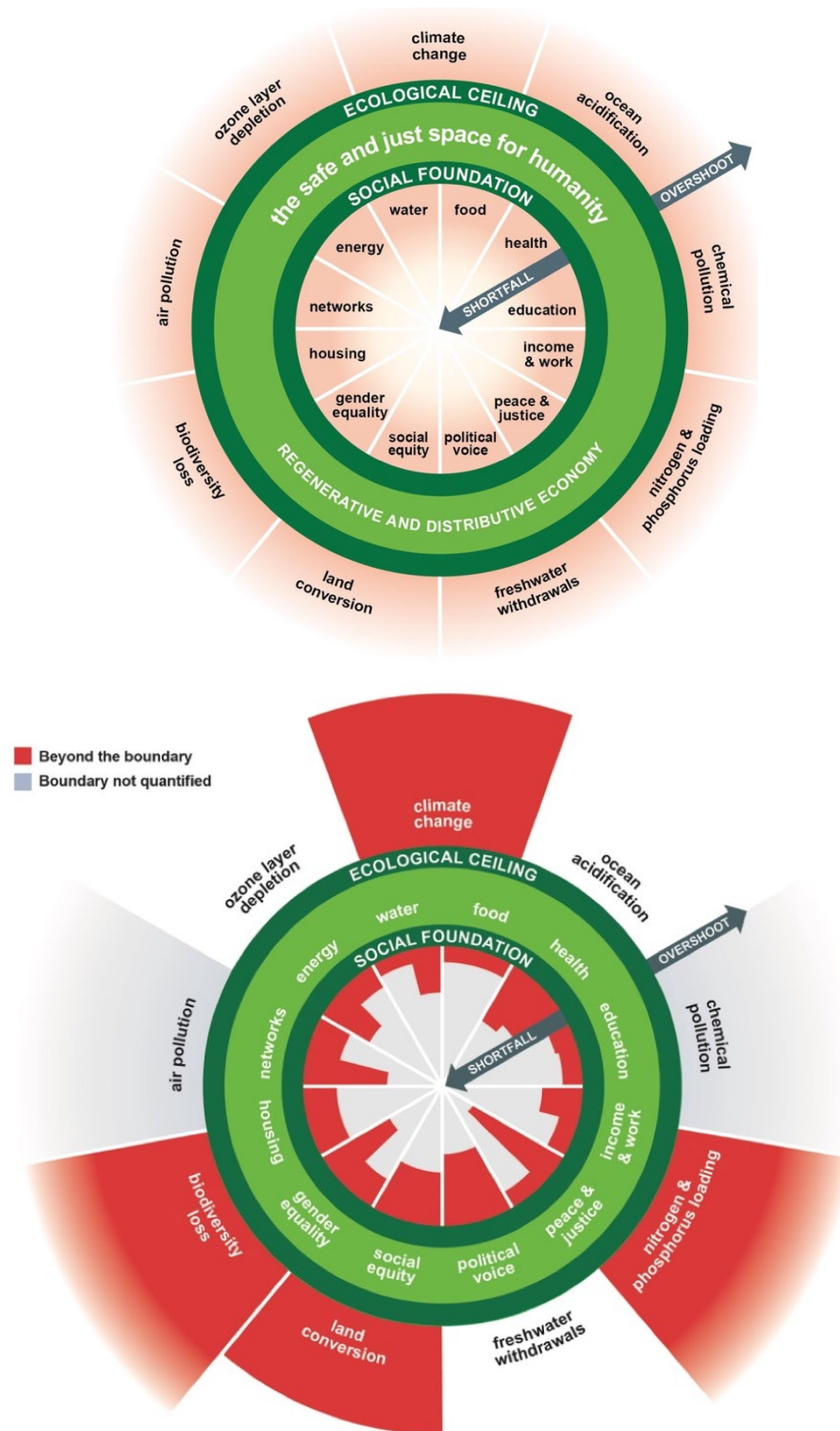


Figure 5.2 : Le modèle économique en beignet (*Doughnut economic model*) (haut) ; les mesures des limites planchers et plafonds à l'échelle de la planète (bas) (Raworth, 2017)⁵²⁵.

⁵²⁵ Raworth, K. (2017). *Doughnut economics: seven ways to think like a 21st-century economist*. Chelsea Green Publishing.

Cela pose la problématique des procédés, méthodes, protocoles et outils pour mesurer, connaître, élaborer et suivre une politique de la dynamique urbaine et de la gestion des actifs physiques.

Le futur est incertain par essence, et la complexité des villes et de leur organisation actuelle n'est plus à démontrer. Ainsi, pour pouvoir implanter et mettre à jour un *système de gestion des actifs physiques* (SGA), en l'occurrence les actifs intégrés au sein d'un parc de bâtiments d'une ville, par exemple, l'adoption du principe de conception du modèle doit s'appuyer sur des buts et objectifs *SMART* (Doran, 1981)⁵²⁶ :

- **Spécifique** : Quel est l'objectif final ? Pourquoi établir un système de suivi de la *valeur d'usage* ? D'où vient le besoin ? Quelle proposition de valeur ? Et pourquoi se doter d'un procédé et d'un outil nouveau ? Pour quelle finalité ? À qui ces informations seront-elles utiles et nécessaires ? Pour quel périmètre de bâtiments ? Qui contribue au travail ? À quel moment ? La description précise de la situation en amont de l'application d'un modèle est fondamentale.
- **Mesurable** : Comment mesurer le résultat du procédé ? Comment évaluer quantitativement et qualitativement les composants, assemblages de composants et systèmes techniques divers ? Quelles sont les contraintes et limites ? Comment identifier l'incertitude ?
- **Atteignable** : Qu'est-ce qu'il est possible de faire ? Quelles sont les données et la connaissance et l'information issues des systèmes d'information existants (ERP, BIM, GMAO, Excel, etc.) ? Quelle fiabilité des données, sur le plan de la complétude et de l'exactitude, est nécessaire ? Quelles données et connaissance nouvelles sont à produire ? Cela permet de définir le niveau de maturité de l'organisation de la ville et l'effort financier à consentir pour établir et suivre le *SGA* pour la valeur d'usage.
- **Réaliste** : Quels impacts du *SGA* sur la prise de décision ? Quelles actions réalistes minimales doivent être assumées pour garantir une implantation réussie et une mise à jour raisonnable ? Quelles ressources humaines et quelles compétences internes et externes sont nécessaires ? Si l'objectif n'est pas réaliste, il s'avère important d'ajuster, modifier, redimensionner la démarche.

⁵²⁶ Doran, G. T. (1981). There's a SMART way to write management's goals and objectives. *Management review*, 70(11), 35-36.

- **Temporellement limité (Time-bounded)** : : Quel est le calendrier et horizon temporel pour implanter le procédé? À quelle fréquence mettre à jour l'information? Quelle planification à rebours pour avoir une vue d'ensemble et une aide à identifier tout ce qui « doit être fait » et par « qui »? Afin de garantir la logistique optimale, un travail préalable d'anticipation des tâches dans un horizon temporel limité est nécessaire.

Ainsi, l'élaboration du modèle et procédé pour le *SGA* est celle d'un *système complexe adaptatif évolutif* qui vise à reproduire la dynamique de *perte de valeur d'usage* et son *anticipation* réaliste autour de principes et de théories pour comprendre et gérer au mieux *l'aversion au risque* des décideurs et les *biais cognitifs* :

- i) Par l'*anticipation rationnelle* (Muth, 1961)⁵²⁷, qui fonde la réflexion économique sur l'idée d'une *représentation probabiliste* du monde et la prise en compte de la maximisation de *l'utilité espérée* par un agent économique. Cela est contestable du fait des fluctuations de l'économie avec les crises, des effets des chaînes de valeur à flux tendus avec la mondialisation, des instabilités géopolitiques avec les effets des changements climatiques et la prise en compte d'une éventuelle limite physique à la croissance, mais on ne peut ignorer les analyses possibles dans un monde en transformation ;
- ii) Par la *rationalité limitée* (Simon, 1957)⁵²⁸, qui incite les décideurs à opter pour une solution *suffisamment* bonne, ayant un *seuil satisfaisant (satisficing)*, plutôt que de trouver une solution optimale. En fait, l'*optimisation* d'un système se fait alors sur la base d'*arbitrage entre des paramètres conflictuels* au sein d'un ensemble - de données, de données dérivées, d'informations et de connaissance - incomplet ou à exactitude perfectible. L'ensemble est à fiabilité variable (complétude et exactitude) du fait de biais cognitifs plus ou moins bien gérés souvent par manque de temps ou de capacité à mesurer les données, mais cette fiabilité doit être conforme aux enjeux.

⁵²⁷ Muth, John F. (1961). Rational expectations and the theory of price movements. *Econometrica: Journal of the Econometric Society* (1961). 315-335.

⁵²⁸ Simon, H. A. (1957). *Models of man; social and rational*. Wiley.

- iii) Par la *théorie des perspectives* (Tversky et Kahneman)⁵²⁹ (Kahneman)⁵³⁰, qui améliore, dans un contexte d'*aversion au risque*, la mesure ou l'estimation probabiliste ou non probabiliste par l'observation de paramètres divers, la prédiction d'une situation évolutive (comme pour la dégradation physique de matériaux et de systèmes techniques) et la prise de décision, par la mise en place d'une heuristique du jugement. Toutefois, il s'avère primordial de tenir compte des biais cognitifs. Et de tenir aussi compte de l'ajustement nécessaire pour limiter les erreurs de décision et pour laisser la place à la bifurcation des actions à partir d'une décision qui se base sur un choix politique ou éthique, par exemple.

Alors, pour guider le processus visant l'identification de différents paramètres conflictuels et de leurs mesures quantitatives et qualitatives, le *SGA* (système de gestion d'actifs physiques) doit être muni de *capteurs* (*sensors*) avec des *étiquettes* (*tags*). Ceux-ci sont nécessaires pour constituer une *ontologie* afin de structurer un modèle de données représentatif des observations et des analyses issues de sondages, d'enquêtes, d'auscultations et de diagnostics qu'ils soient de nature technique, écologique ou économique. Ainsi, à partir d'une *nomenclature* générique, pour chaque composant d'un bâtiment, des *attributs* et des *relations* peuvent alors être établis.

Au sein du *SGA* et lors du processus de prise de décision, l'opération de résolution du problème de maintien de la valeur d'usage, dans un temps limité, en faisant preuve d'inventivité sera celle d'une heuristique de jugement (Tversky et Kahneman, 1974)⁵³¹. Elle encadre le processus de *transformation* fondé sur la *valeur d'usage* (*value-based*). Dès lors, les caractéristiques requises ou désirées par l'organisation « Ville » à partir d'une vue d'ensemble, sans être exhaustives, couvrent les aspects suivants :

- Une éthique conséquentialiste - la conséquence ou risque « *de ne rien faire* » - même si les *étiquettes* (*tags*) et leurs *capteurs* (*sensors*) relèvent de facteurs

⁵²⁹ Tversky, A., Kahneman, D., Judgment under Uncertainty: Heuristics and biases. *Science*, Vol. 185, Issue 4157, pp. 1124-1131, DOI: 10.1126/science.185.4157.1124.

⁵³⁰ Kahneman, D. (2011). *Thinking, fast and slow*. Macmillan.

⁵³¹ Tversky, A., & Kahneman, D. (1974). Judgment under Uncertainty: Heuristics and Biases: Biases in judgments reveal some heuristics of thinking under uncertainty. *science*, 185(4157), 1124-1131.

probabilistes et non probabilistes (*risk-based*) et le traitement de l'incertitude (par analyses de sensibilité, par exemple) (Ruparathna et coll., 2018)⁵³² ;

- Une intégration de l'analyse des coûts et des budgets associés (investissements ou CAPEX et exploitation et maintenance ou OPEX) tout au long du cycle de vie d'usage et en tenant compte de la durabilité et de la valeur d'usage sur le court, le moyen et long terme (*cost-based, lifecycle-driven & budget-driven*) (prix et coût) (Horner et coll., 1997)⁵³³ ;
- Une vision méta-disciplinaire, globale et holistique basée sur la performance factuelle (technique, économique, fonctionnelle, écologique, etc.) (*performance-based*) (Li et Wang, 2022)⁵³⁴ (Hauashdh et coll., 2022)⁵³⁵ ;
- Des apprentissages et des décisions basées sur la confiance (*confidence-based*) qui sont cohérentes, robustes, fiables, démontrables, intelligibles et que l'on peut expliquer (Li et Sethi, 2006)⁵³⁶ (Mattioli et coll., 2021)⁵³⁷.
- Une priorité issue d'une décision équilibrée proportionnellement entre : i) les impacts et leurs intensités ; ii) la complexité de la solution et du contexte interne et externe à l'organisation ; iii) et l'urgence (notion de temporalité et non de priorité) (Bader et coll., 2020)⁵³⁸.

⁵³² Ruparathna, R., Hewage, K., & Sadiq, R. (2018). Multi-period maintenance planning for public buildings: A risk-based approach for climate conscious operation. *Journal of Cleaner Production*, 170, 1338-1353.

⁵³³ Horner, R. M. W., El-Haram, M. A., & Munns, A. K. (1997). Building maintenance strategy: a new management approach. *Journal of quality in maintenance engineering*.

⁵³⁴ Li, H., & Wang, S. (2022, May). New challenges for optimal design of nearly/net zero energy buildings under post-occupancy performance-based design standards and a risk-benefit based solution. In *Building Simulation* (Vol. 15, No. 5, pp. 685-698). Tsinghua University Press.

⁵³⁵ Hauashdh, A., Jailani, J., & Rahman, I. A. (2022). Strategic approaches towards achieving sustainable and effective building maintenance practices in maintenance-managed buildings: A combination of expert interviews and a literature review. *Journal of Building Engineering*, 45, 103490.

⁵³⁶ Li, M., & Sethi, I. K. (2006). Confidence-based active learning. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 28(8), 1251-1261.

⁵³⁷ Mattioli, J., Terrier, F., Cantat, L., Chiaroni, J., Barreteau, M., Bonhomme, Y., ... & Alix, C. (2021, July). IA de confiance : condition nécessaire pour le déploiement de l'IA dans les systèmes de défense. In *APIA (Conférence Nationale sur les Applications Pratiques de l'Intelligence Artificielle)*.

⁵³⁸ Bader, B. H., Badar, M. A., Rodchua, S., & McLeod, A. (2020). A study of the balancing of lean thinking and stakeholder salience in decision-making. *The TQM Journal*.

La constitution du SGA, figure 5.3, suit habituellement un modèle de la forme *Input, Control, Output, Mechanism* (ICOM) :

- i) Les *intrants* (input), en amont d'une transformation (décision ou action), qui sont des données, des informations et de la connaissance incomplètes ; elles sont classées comme suit, sans être exhaustives : i) le contexte (interne et externe) ; ii) Les parties prenantes de l'organisation et pour les décisions spécifiques ; iii) les besoins, attentes et échelles de la valeur. iv) les conséquences d'un retard (urgence de prendre une décision) ; v) les informations et connaissances utiles et nécessaires à la décision ; vi) la fiabilité, le risque et l'incertitude de l'information.
- ii) Les *contrôles* ou *contraintes*, pendant la transformation (décision ou action), qui influencent ou dirigent le fonctionnement du processus de transformation (lois, normes et réglementations, capacité à payer et budgets, environnement politique et organisationnel, exigences des usagers et clients, etc.) ; on y retrouve les thèmes de : i) la prise de décision stratégique et gouvernance ; ii) l'aversion aux risques et limites d'acceptabilité ; iii) l'engagement juridique et politique ; iv) les contraintes (économiques, techniques ou écologiques) ; v) la culture de l'organisation et les comportements en « silo ».
- iii) Les *mécanismes* ou *automatismes*, pendant la transformation, qui font fonctionner le processus (les individus avec leur intuition et leur limite rationnelle, les outils, les machines, logiciels et autres dispositifs d'automatisation, etc.). En résumé, cela correspond : i) aux personnes clés et de référence ; ii) aux méthodes et outils d'aide à la décision ; iii) aux méthodes de communication, de consultation, de concertation et de collaboration ; iv) aux compétences en matière de prise de décision ; v) à la Culture de l'organisation et aux comportements coopératifs.
- iv) Les *extrants* (output), qui sont le résultat de l'activité et sont transmis à d'autres processus (Ampleur des besoins en travaux et liste de mise en priorité de travaux). Cela prend la forme : i) de la justification et l'analyse de rentabilité ou du coût-bénéfice (pour qui ? et pour quoi ?) ; ii) d'un consensus (acceptation par les parties prenantes) ; iii) de décisions de mise en œuvre (et résultats qui en découlent) ; iv) de la réalisation de la valeur (y compris le suivi des avantages) ;

v) des sensibilités de décisions (boucle de rétroaction) ; vi) d'enregistrements (saisie des informations d'audit et des « mérites » d'alternatives).

Il est important de noter que la valeur reflète les désirs des parties prenantes selon des facteurs de décision et options de décision propre à chaque organisation. Ces facteurs et options peuvent être : i) des obligations légales ou politiques (mise en conformité) ; ii) des coûts (investissement ou CAPEX, exploitation et maintenance ou OPEX, coûts d'opportunité perdus) ; iii) une performance (intérêts et avantages d'une amélioration de l'utilisation) ; iv) des risques à éviter et maîtriser ; v) une durabilité souhaitée (pas seulement environnementale, tous les aspects de la durabilité) ; vi) une perception sociale ou sociétale (réputation, éthique, motivation, responsabilité sociale des entreprises, désir de « communs »). Par conséquent, cela répond à beaucoup plus que la synthèse classique de la gestion d'actifs physiques du coût, du risque et de la performance en intégrant l'aspect de la valeur et la nécessité de caractériser l'horizon temporel.

La figure 5.3 illustre cette heuristique de jugement pour le processus de décision, d'action et de transformation de la valeur dans le contexte de la gestion d'actifs physiques lors d'un « arrêt sur image ». Pour construire un SGA qui répond à l'attente de l'organisation, des boucles de rétroaction et d'amélioration continue, à partir des résultats et des enjeux vers les intrants (1), le processus de transformation (2), les mécanismes et les facilitateurs (3) ainsi que vers les contrôles et contraintes (4). Mais qu'en est-il du mode dynamique ? Quels horizons temporels ? Quelle synthèse pour le cycle de vie ?

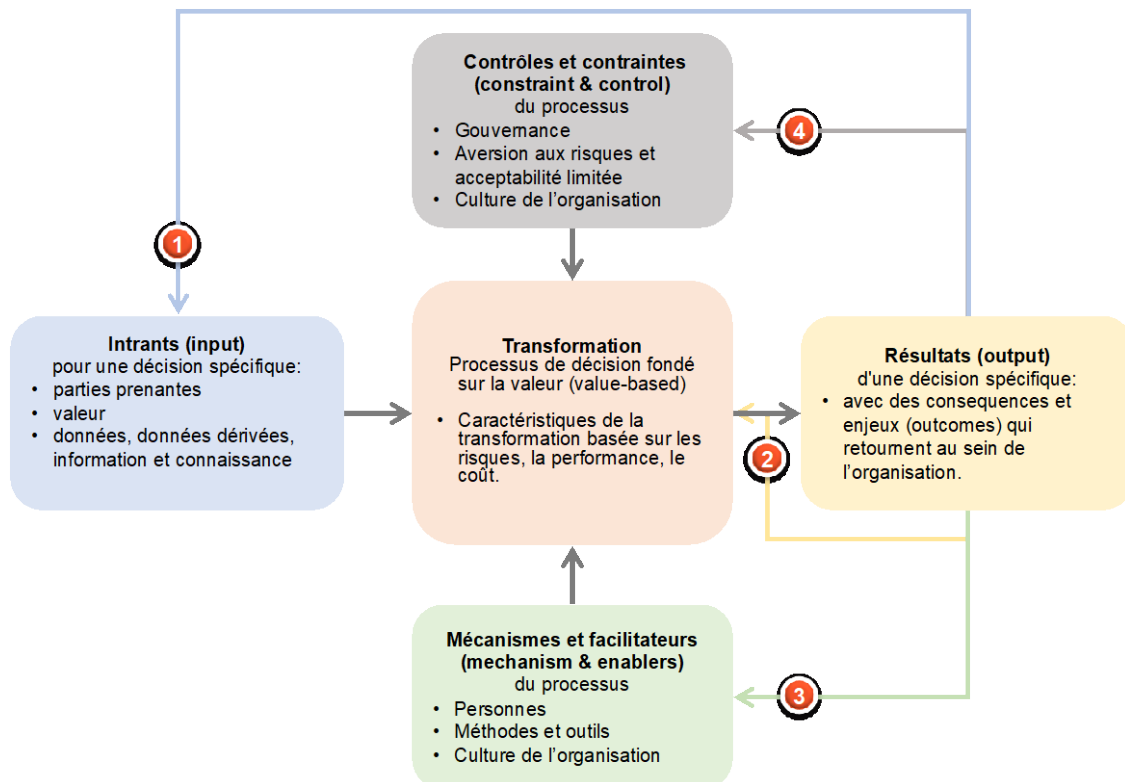


Figure 5.3 : Système de gestion d'actifs physiques et processus de prise de décision lors de la transformation de la valeur d'usage.

5.5 Les cycles de vie

Comme nous l'avons traité dans la première partie de la thèse, les approches pour l'étude et la prise en compte du *cycle de vie d'un actif physique* divergent entre les *ingénieurs* et les *comptables*. Les uns, se servent d'une observation, quasi exclusivement, de l'espérance de vie technique d'actifs physiques - leurs composants et leurs systèmes -, et les autres, s'appuient sur les conventions comptables qui encouragent l'estimation d'une *durée de vie utile théorique* pour une utilisation à durée déterminée souvent prématurée par rapport à la durée technique d'un bien. Dans les faits, les deux approches devraient parfaitement se superposer, ce qui n'est pas le cas.

La *gestion d'actifs physiques* accompagne le processus de transformation de l'organisation. Elle a alors pour objectif de réconcilier les deux visions en tenant compte du maintien ou de la maximisation de la *valeur d'usage* tout au long du *cycle de vie*, sous des contraintes ou des contrôles en continu et selon des mécanismes spécifiques qui seront traités plus loin.

À titre de rappel, pour le secteur privé, la durée déterminée du cycle de vie est un délai *raisonnablement court* ayant pour but de se protéger contre les différents risques de

perturbations de la valeur (prix et rentabilité). Le comptable ou le financier vise ainsi à mettre en place un indicateur du *rendement des actifs financiers* (*return on assets* ou *ROA*) pour une *durée de vie physique en bon état de fonctionnement*.

Ainsi, sur le plan comptable et fiscal, en France, il est inscrit dans le *plan comptable général* (PCG) que l'*amortissement* d'un actif est la perte de valeur d'un bien immobilisé d'une organisation, du fait de l'*usure du temps* ou de l'*obsolescence*. La répartition de son montant amortissable, c'est-à-dire de sa valeur brute (prix) sous déduction de sa valeur résiduelle, se détermine en *fonction de son utilisation*. Le mode d'amortissement annuel traduit le taux annuel de consommation des avantages économiques attendus de l'actif, par une organisation. Donc en pratique, la durée d'amortissement des composants devrait correspondre à la « *durée à courir* » ou « *durée de vie restante* » jusqu'à son *remplacement*. Il est aussi mentionné que la durée d'amortissement des éléments décomposés (composants et systèmes) d'un bien immobilisable, comme pour un bâtiment, est (DGFP, 2022)⁵³⁹ :

- i) Soit déterminée au moment de la construction (identifié à l'origine) selon une *durée normale d'utilisation* comme recommandé par l'industrie en fonction de la nature des composants et leurs conditions d'exploitation.
- ii) Soit déterminée en cours de vie, par une comptabilité séparée, selon une *durée de vie d'utilisation restante*.

Pour illustrer, le tableau 5-1 présente un exemple de durées d'amortissement admises en fiscalité et leur transposition en pourcentage annuel, pour un immeuble.

⁵³⁹ Gouvernement France, DGFP. (10 janvier 2022). *Bulletin Officiel des Finances Publiques. Amortissements, Règles de déduction, Durée et taux d'amortissement, Durée normale d'utilisation des biens amortissables.* <https://bofip.impots.gouv.fr/bofip/2060-PGP.html/identifiant=BOI-BIC-AMT-10-40-10-20131216>

Tableau 5-1 : Exemple de durées d'utilisation et de taux d'amortissement comptable pour différents composants d'un bâtiment valorisé à 20 M€.

Composants	Valorisation (€)	Répartition (%)	Durées d'utilisation (ans)	Taux d'amortissement annuel (%)	Dotation annuelle (€)
Toiture	2 000 000,00 €	10%	25	4,00%	80 000,00 €
Installations électriques	1 000 000,00 €	5%	25	4,00%	40 000,00 €
Étanchéité	1 000 000,00 €	5%	15	6,67%	66 666,67 €
Ascenseurs	400 000,00 €	2%	15	6,67%	26 666,67 €
Agencements intérieurs	1 600 000,00 €	8%	15	6,67%	106 666,67 €
Structure (gros œuvre)	14 000 000,00 €	70%	80	1,25%	175 000,00 €
Bâtiment	20 000 000,00 €	100%	40	2,50%	500 000,00 €

Il y a donc une convention nouvelle qui s'avère une tentative de conciliation et d'adossement de la vision comptable et de la vision de l'ingénierie industrielle. Mais est-ce que cette référence à l'industrie tient compte de tous les facteurs qui influencent la dégradation d'un bâtiment ? Est-ce qu'elle vise une approche d'économie consumériste linéaire ou d'économie écologique et circulaire ? La dégradation et l'amortissement comptable (dépréciation) s'adossent-elles parfaitement ? Est-ce que la *perte de valeur d'usage* est corrélée avec la *perte d'utilisation* ? D'où viennent les informations sur les *durées de vie utile* pour les composants et systèmes techniques ? Est-ce que la dotation annuelle aux investissements pour les bâtiments d'une ville est suffisante pour garantir un fonds de réserve qui assurera le renouvellement des actifs physiques sur des horizons temporels de 50 ans, 100 ans, voire au-delà ? N'y a-t-il pas une complexité et des incertitudes sous-jacentes ?

Cette approche *liée à l'âge* est considérée comme *déterministe* et anticipe presque automatiquement, à moins d'une réglementation contraignante, le démantèlement et la mise au rebut, ou l'extrême vétusté des actifs physiques, ce qui est à contresens par rapport aux démarches écologiques de conservation, de réusage, de réutilisation, d'évolution des usages ou de recyclage, bref, des revalorisations de toutes sortes.

Comme aussi évoqué dans la première partie de la thèse, un paradoxe de la préservation du *Capital naturel*, ou ce que nous nommons une *critique de la raison verte* (Note)⁵⁴⁰ émerge de la notion de *durée de vie utile*. Cette *critique de la raison verte* se résume par l'incapacité de rendre compatibles les tentatives de la *finance verte* avec une croissance infinie. En somme,

⁵⁴⁰ Expression conceptuelle proposée par l'auteur de la présente thèse.

c'est une injonction contradictoire, une expression oxymorique de la volonté et de l'incapacité de faire les deux à la fois (Tordjman, 2021)⁵⁴¹ (Grandjean et Lefournier, 2021)⁵⁴².

Par ailleurs, pour lutter contre la *perte de valeur d'usage*, l'*entropie*, sur la base de la *Maintenance (néguentropie) axée sur la fiabilité (Reliability-Centered Maintenance, RCM)* (Nolan et Heap, 1978)⁵⁴³, l'ingénieur de production industrielle ou de maintenance industrielle sait que les défaillances (les bris, les pannes et pertes de performance) - des composants et systèmes qu'il exploite - sont *liés à l'âge* dans seulement 10 % à 30 % des cas pour des actifs physiques comme les avions de ligne, les navires militaires et les sous-marins. D'autre part, il a été démontré que la distinction des *modèles de défaillance* qui permettent la caractérisation des distributions de défaillances *liées à l'âge* et celles *non liées à l'âge* fournit un cadre décisionnel stratégique pour la maintenabilité de composants spécifiques et l'optimisation des performances techniques dans les opérations de maintenance industrielle (Alencar, 2021)⁵⁴⁴.

Ainsi, par l'observation d'une série de modèles, les phénomènes aléatoires représentent 90 % à 70 % des défaillances, comme Howard L. Resnikoff le démontre dans son ouvrage de 1978. Les statistiques sont lacunaires. Il en déduit un paradoxe : « La politique de gestion d'actifs, incluant son exploitation-maintenance, doit, en somme, être basée sur la volonté et la responsabilité » (Resnikoff, 1978)⁵⁴⁵.

Autrement dit, pour parvenir à déduire de nouveaux modèles par actif (composants, systèmes), il préconise d'augmenter la collecte de données pertinentes, l'établissement de données dérivées menant à des informations et une connaissance sur ce qui « semble advenir » (aspect conséquentialiste) (Tableau 5-2). Même si, a priori, leurs mesures peuvent être exclusivement *qualitatives* (de l'ordre du *vraisemblable*) et à échantillons faibles.

⁵⁴¹ Tordjman, H. (2021). *La croissance verte contre la nature : Critique de l'écologie marchande*. Sciences. La Découverte.

⁵⁴² Grandjean, A. et Lefournier, J. (2021). *L'illusion de la finance verte*. Ed. Atelier.

⁵⁴³ Nowlan, F. S., & Heap, H. F. (1978). *Reliability-centered maintenance*. United Air Lines Inc San Francisco Ca.

⁵⁴⁴ Alencar, AR. "Reliability and Maintainability Strategies for Repairable Systems in a Mass Transit Rolling Stock Subway." *Proceedings of the 2021 Joint Rail Conference. 2021 Joint Rail Conference*. Virtual, Online. April 20–21, 2021. V001T04A001. ASME. <https://doi.org/10.1115/JRC2021-57999>

⁵⁴⁵ Resnikoff, H. L. (1978). *Mathematical aspects of reliability-centered maintenance*. UNITED AIR LINES INC SAN FRANCISCO CA. Source : chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.plant-maintenance.com/articles/mathematical_aspects_RCM.pdf

Tableau 5-2 : Classification pour le registre des actifs physiques.

Classe	Caractéristique
Données	Les <i>données</i> sont des <i>caractérisations</i> souvent unidimensionnelles et en valeur absolue ou en mesure qualitative. Par exemple, la surface de 20 000 m ² du bâtiment A ou le bâtiment A est en mauvais état.
Données dérivées	Les <i>données dérivées</i> sont l'expression d'un <i>fait</i> en <i>valeur relative</i> permettant l'analyse et la comparaison avec des entités similaires. Elles peuvent introduire la mise en relation de la <i>mesure quantitative</i> avec la <i>mesure qualitative</i> . Par exemple, les besoins en travaux du bâtiment A sont de 1 200 €/m ² alors que ceux du bâtiment B sont de 200 €/m ² . Le bâtiment A est dans un état critique par rapport au bâtiment B.
Information	L' <i>information</i> est la mise en contexte et les clés d'interprétation, à un <i>moment d'observation</i> , des données et des données dérivées. Par exemple, en 2022, la consommation d'énergie du bâtiment A s'élève à 250 kWh / m ² . an ce qui constitue une consommation trop élevée par rapport aux cibles de bâtiments à énergie positive. Le bâtiment est à risque très élevé d'impact sur l'environnement. Il est préférable de le reconstruire.
Connaissance	La <i>connaissance</i> est l'accumulation et la structuration de l' <i>information</i> de manière à comprendre et interpréter la situation passée et présente. Et éventuellement, lorsque les échantillons sont assez grands, elle permet de dresser des modèles (prédictif) pour améliorer la décision par anticipation sur le court terme (moins de 5 ans), le moyen terme (10 à 15 ans) ou le long terme (25 à 30 ans).

Toutefois, sans données ou avec des échantillons trop faibles, il n'y a pas de statistiques et sans statistiques, il n'y a pas de *probabilités*. C'est seulement par une constance et une persévérance dans les mesures *quantitatives* et *qualitatives* lors de la collecte de données qu'il sera éventuellement possible, par les méthodes d'analyse des données de vie (*Life data analysis* ou *LDA*), de transformer les observations en *modèles probabilistes* de pannes, de bris, de défaillances, d'usages, d'occupations, de risques et de durées de vie restantes, par exemple.

Par ailleurs, surtout dans le domaine des bâtiments et des infrastructures non industrielles comme ceux des villes, une série de causes fréquentes de la difficulté à obtenir les données limitent grandement la mise en forme de modèles *probabilistes* (Tableau 5-3) (Nelson, 2003)⁵⁴⁶. Il faut alors procéder autrement.

Ainsi, dans un bâtiment au sein des *milieux urbains*, pour une proportion largement majoritaire d'usages, d'occupations, de composants et de systèmes techniques le tout prévisible et le tout mathématisable sont un leurre. Les modèles basés sur les statistiques sont à prendre avec beaucoup de recul. Il n'y a pas de *lois de vieillissement* démontrées pour ces cas.

⁵⁴⁶ Nelson, W. B. (2003). *Applied life data analysis* (Vol. 521). John Wiley & Sons.

Tableau 5-3 : Causes de la difficulté à obtenir des données pour les actifs physiques urbains.

Cas	Description
1	Données manquantes, introuvables ou jamais collectées.
2	Erreur sur les données saisies en base de données ou obtenues lors d'un audit technique, économique ou environnementale.
3	Mauvaise prise en compte des conditions de fonctionnement (usages, taux d'occupation, climat, pollution, etc.)
4	Prise en compte du temps d'opération/fonctionnement plutôt que le temps écoulé depuis l'installation/construction d'origine.
5	Données sur la durée de vie utile enregistrées seulement durant la période de garantie et pas au-delà.
6	Composants non enregistrés dans le registre des équipements alors qu'ils sont défectueux (mauvaise traçabilité des événements de défaillance, de bris ou de panne, d'occupation des espaces).
7	Bases de données issues d'un plan de garantie utilisé pour les aspects financiers, mais non pour une rétroaction d'ingénierie. (dépréciation comptable plutôt que dégradation physique)

Cependant, certaines données sont essentielles pour construire la connaissance de l'organisation en matière de gestion d'actifs et de dynamique urbaine. Dans le cas de la gestion d'actifs à l'échelle d'un bâtiment, il s'avère primordial de mesurer : les besoins en actions (travaux OPEX et CAPEX divers) et leurs caractérisations. Cette observation est corroborée depuis au moins la fin des années 1970 et remet en cause la forme classique de la *courbe en baignoire* (*Bathtub curve*) qui est une représentation *probabiliste* simplifiée d'incidents pour des équipements ou des systèmes. Il y a plusieurs formes de cette courbe selon les spécificités et conditions d'utilisation de chaque actif physique (Broberg, 1973)⁵⁴⁷ (Allen, 2001)⁵⁴⁸ (Zabawski, 2014)⁵⁴⁹ (Kosky et coll., 2021)⁵⁵⁰

⁵⁴⁷ Broberg, H. (1973). *Failure Rate Functions from Test Data*.

⁵⁴⁸ Allen, T. M. (2001). Us navy analysis of submarine maintenance data and the development of age and reliability profiles. *Department of the Navy SUBMEPP*.

⁵⁴⁹ Zabawski, E. (2018). Failure probability curves. *Tribology & Lubrication Technology*, 74(2), 8-8.

⁵⁵⁰ Kosky, P., Balmer, R., Keat, W., & Wise, G. (2021). *Chapter 14-mechanical engineering. Exploring Engineering (Fifth Edition)*, edited by P. Kosky, R. Balmer, W. Keat, and G. Wise (Academic Press, 2021) fifth edition ed, 317-340.

Mais quelles représentations du cycle de vie des actifs physiques permettent de circonscrire les décisions et les actions de la gestion d'actifs en milieu urbain ? Comment observer et analyser ces cycles de vie ? Quelle synthèse en faire pour mesurer et suivre l'entropie, la perte de valeur d'usage ?

La première considération consiste à comprendre qu'une dialectique - sous la forme de la reconnaissance du caractère inséparable de propositions contradictoires et qui sont unies dans une synthèse - s'établit à l'échelle de l'organisation de la ville, donc du parc d'actifs physiques dans son ensemble, de manière maîtrisée ou non, entre trois cycles de vie fondamentaux (Figure 5.4) :

- i) Le *cycle de vie organisationnel et de la gouvernance* tous les 5 à 6 ans, basé sur une durée de vie de mandats (électifs, nominatifs) et qui constitue un *cycle politique* ;
- ii) Le *cycle de vie des utilisations* tous les 25 ans, basé sur une durée de vie utile et qui constitue un *cycle générationnel*. Ici nous faisons la distinction entre le terme *utilisation*, qui est l'action d'employer utilement les espaces dans un bâtiment, et le terme *usage*, qui signifie l'action de mise en activité effective d'espaces dans un bâtiment, selon les *ambiances* requises. L'*usage* est ainsi une action supérieure à l'*utilisation*. Il est la jauge du nouage adéquat de tous les aspects du *nœud borroméen écologique* (Figure 5.1).
- iii) Le *cycle de vie des fonctionnalités* tous les 5 ans à 150 ans, basé sur une *durée de vie d'usures* et qui constitue les *cycles des dégradations* par une utilisation prolongée. L'usure est *technique* et issue d'analyse de la *résistance des matériaux*, des composants et des systèmes en ingénierie industrielle. C'est par des observations sous conditions d'*utilisation* – nombre d'heures d'opération d'un système indépendamment de l'*usage*, par exemple - et avec une prudence sur l'usure prématurée en tenant compte d'un facteur correctif de la *durée de vie* avant le *remplacement* pour se prémunir contre des réclamations ou pour garantir la *durée de vie utile*. Par exemple, en France, la garantie décennale des constructeurs est l'obligation de souscrire à une assurance de responsabilité civile décennale. Elle garantit la réparation des dommages – vices de construction - qui apparaissent après la date de réception des travaux. Elle ne représente donc pas la *durée de vie réelle des fonctionnalités*.

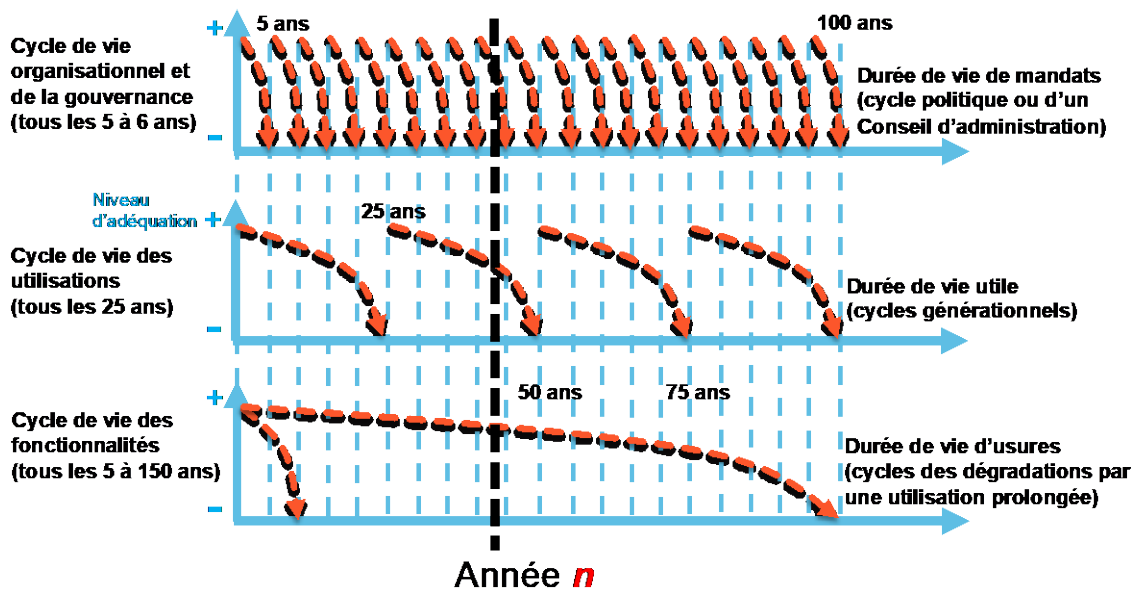


Figure 5.4 : Dialectique décisionnelle pour les actifs physiques et cycles de vie fondamentaux.

En ce qui concerne le cycle de vie des fonctionnalités, il est important de noter que les experts sont d'accord sur la classification des différents cycles de vie d'usures comme retrouvée au Tableau 5-4, extrait de la norme ISO 15686-1 (ISO 15686, 2011)⁵⁵¹. On y définit la *durée de vie utile* comme la période débutant à la date de mise en service d'un bâtiment, durant laquelle un actif ou ses différentes parties atteignent ou dépassent les performances requises, avant son remplacement. Les performances requises peuvent être diminuées et être acceptables. Ainsi, l'actif physique doit demeurer *utile* sans toutefois que cela coïncide parfaitement avec l'*usage*.

⁵⁵¹ ISO 15686-1. (2011) (fr). *Bâtiments et biens immobiliers construits - Conception prenant en compte la durée de vie - Partie 1 : principes généraux et cadre*. <https://www.iso.org/obp/ui/fr/#iso:std:iso:15686:-5:ed-1:v1:fr>

Tableau 5-4 : Classement des durées de vie d'utilisations.

Classe	Acronyme	Définition
Durée de vie prévue à la conception (<i>design life</i>)	DVC ou DL	Celle décidée par le concepteur visant un niveau de service et de performance adéquat.
Durée de vie de référence (<i>reference service life</i>)	DVréf ou RSL	Celle issue d'essais en temps réel ou accéléré, à échelle réelle ou sur un échantillon, direct ou indirect, servant de base à l'estimation dans d'autres conditions d'utilisations.
Durée de vie estimée (<i>estimated service life</i>)	DVE ou ESL	Celle de la durée de vie de référence corrigée d'un facteur tenant compte des conditions d'utilisations.
Durée de vie prévue (<i>predicted service life</i>)	DVP ou PSL	Celle issue des performances enregistrées observées dans la pratique courante.
Durée de vie restante ou résiduelle (<i>remaining service life</i>)	DVR ou rsl	Celle anticipée avant un remplacement en fonction des performances enregistrées.

La principale critique de ces définitions réside dans les méthodes industrielles pour mesurer les durées de vie (Tableau 5-4). Les biais se situent autour de la difficulté à prendre en compte les causes multifactorielles et interrelationnelles entre les composants lors des dégradations au fil du temps. Le résultat demeure ainsi théorique pour les quatre premières classes de durée de vie (DVC, DVréf, DVE et la DVP).

La *durée de vie restante* (DVU), lorsqu'elle est de 5 ans ou moins, s'avère la plus réaliste à mesurer lors d'auscultation d'un bâtiment. En effet, l'agent technique qui observe des composants et des systèmes en conjonction avec le contexte des usages est en mesure d'anticiper environ sur des horizons de 5 ans ou moins. Au-delà de 5 ans, cela devient une tendance, qui nécessitera d'être corrigée à l'aune d'observations successives au 3 à 5 ans. On convient que la *durée de vie restante*, qui est estimée par l'observateur technique, est celle qui prend le mieux en compte les aspects ayant un impact sur la performance et la dégradation des composants au cours de leur durée de vie. Cela altère la durée de vie documentée par les industriels ou même celle par les organisations qui gèrent des actifs physiques. Ces dernières deviennent théoriques.

Il est à noter que l'observation sur un horizon temporel de 5 ans ou moins coïncide avec l'horizon temporel habituellement minimalement requis pour permettre le montage financier d'un projet ambitieux au sein d'une organisation.

En somme, les trois classes de facteurs influencent la *perte de valeur d'usage* d'un bâtiment sont :

- En amont de la mise en service :
 - *La conception et la construction originelles* : En tenant compte des usages et des fonctionnalités (choix d'implantation sur le site, de matériaux et d'assemblage de matériaux, de systèmes, etc.) nécessaires aux fonctions à une époque donnée pour :
 - a) la performance inhérente aux composants et systèmes ;
 - b) le niveau de sophistication et de détail de la conception du bâtiment (*low tech vs high tech*) ;
 - c) les modes constructifs disponibles ;
 - d) les normes de qualité d'exécution et du suivi des travaux.
- Au moment de la mise en service et en aval :
 - *Les sollicitations* : Lors du passage du bâtiment d'un mode statique à un mode dynamique avec les effets d'une activité évoluant au fil du temps et avec des conditions extérieures qui fluctuent en fonction des phénomènes suivants :
 - a) *Endogènes* : l'environnement intérieur, les conditions d'utilisation, typologies d'usages, durées, fréquences d'utilisation, niveau de sûreté et sécurité de fonctionnement, fiabilité des fonctions (incluant le surusage, le mésusage, l'évolution des usages et les dégradations volontaires) ;
 - b) *Exogènes* : l'environnement extérieur, climat, pollution, actions humaines.
 - *Le niveau d'effort consenti* : Pour assurer des actions de néguentropie en luttant contre la perte de valeur d'usage (vétusté et mise en conformité réglementaire), par la maintenance, le remplacement et le renouvellement des actifs physiques :
 - a) *Maintenance courante* (reliée aux dépenses de fonctionnement, OPEX) ;
 - b) *Maintien d'actifs* (relié aux dépenses d'immobilisation ou d'investissement, CAPEX) ;
 - c) *Mise en conformité* par les lois, la réglementation ou les normes obligatoires (reliée à l'OPEX ou au CAPEX).

Par ailleurs, depuis le premier choc pétrolier de 1973, des modèles d'*analyse du coût du cycle de vie* (*life-cycle cost analysis* ou LCCA) font l'objet d'études. Elles visent la conversion des phénomènes physiques de consommation de matériaux (matière) et d'énergie - avec leurs effets sur la pollution dans certains cas -, en coûts, pour la période de la construction et de son exploitation ultérieure (Ruegg, 1978)⁵⁵² (Bekker, 1982)⁵⁵³ (Asiedu et Gu, 1998)⁵⁵⁴.

La Figure 5.5 montre le flux de trésorerie pour douze phases classiques de la gestion d'un projet d'architecture sur une durée de vie de deux générations, soit 50 ans. Il est rare de construire un bâtiment pour une période inférieure. Dans le cas des écoles ou d'hôpitaux, le cycle observé est de l'ordre de 50 à 75 ans, avec bien évidemment, une valeur d'usage résiduelle plus ou moins grande à la fin de chaque cycle.

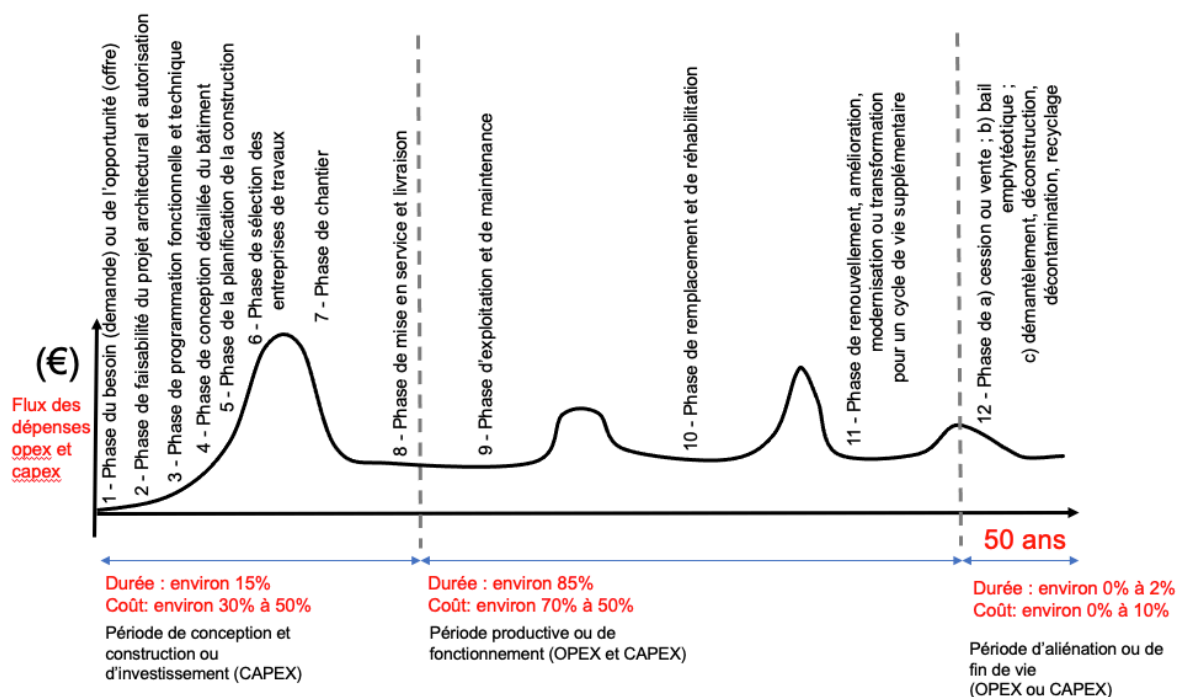


Figure 5.5 : Bâtiment hospitalier : répartition schématique linéaire du coût pour un cycle de vie de 50 ans.

Et dans le contexte des considérations écologiques actuelles et futures, avec les difficultés de recyclage des déchets issus de la construction, il est souhaitable d'avoir l'ambition

⁵⁵² Ruegg, R. T. (1978). *Life-Cycle Costing: A guide for selecting energy conservation projects for public buildings* (Vol. 113). Department of Commerce, National Bureau of Standards.

⁵⁵³ Bekker, P. C. F. (1982). A life-cycle approach in building. *Building and Environment*, 17(1), 55-61. [https://doi.org/10.1016/0360-1323\(82\)90009-9](https://doi.org/10.1016/0360-1323(82)90009-9)

⁵⁵⁴ Asiedu, Y., & Gu, P. (1998). Product life cycle cost analysis: state of the art review. *International journal of production research*, 36(4), 883-908. <https://doi.org/10.1080/002075498193444>

d'étendre le cycle de vie à plus de 100 ans, comme c'est le cas pour les gares parisiennes, par exemple. Tant pour le *coût* que pour la *durée*, la *période productive*, ou de fonctionnement après la mise en service, s'avèrent habituellement de poids plus important que pendant la *période d'investissement*, ou de conception et de construction. Enfin, les enjeux sur la fin de vie, lors de la *période d'aliénation*, sont centraux dans le contexte de la recherche de solutions écologiques.

Toutefois, l'adoption de ces modèles et leur utilisation s'avèrent équivoques : on observe une fiabilité « faible » des données utilisées, sur le plan de la complétude et de l'exactitude. Celui-ci est démontré par les écarts importants entre le résultat issu d'un modèle théorique et la réalité objective décomptée du projet, tant sur la période de la conception-construction que sur la période de l'exploitation-maintenance (Kshirsagar et Abdelhamid, 2010)⁵⁵⁵. Ces écarts ont pour source l'*inflation législative*, la vétusté croissante des bâtiments au fil du cycle de vie, les évolutions d'usages menant à la nécessité d'adaptations fonctionnelles, ainsi que le contexte économique mouvant.

Pour différentes typologies de bâtiment, une répartition des principales périodes du cycle de vie suit des ordres de grandeur plutôt qu'au niveau d'une exactitude qui mènerait à une vérité universelle. À ce jour, il n'y a donc pas de phénomènes ou lois de vieillissement normalisés pour les bâtiments dans leur ensemble, par exemple, malgré un certain consensus entre experts (ISO 15686, 2008)⁵⁵⁶ (Figure 5.6) (Figure 5.7).

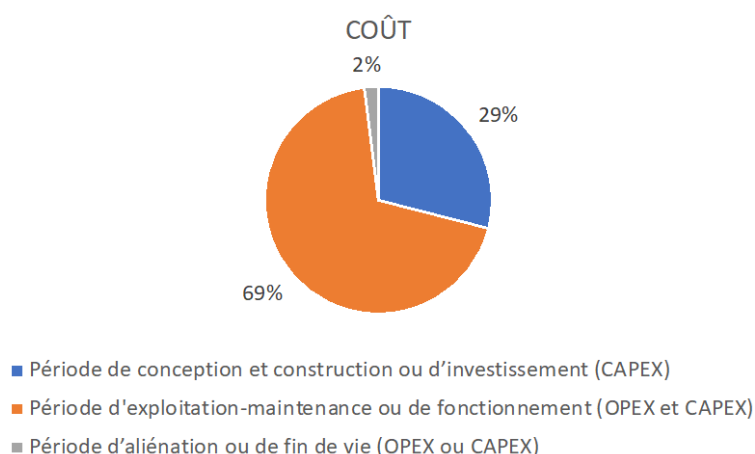


Figure 5.6 : Bâtiment hospitalier : répartition théorique du coût, cycle de vie de 50 ans.

⁵⁵⁵ Kshirsagar, A. S., El-Gafy, M. A., & Abdelhamid, T. S. (2010). Suitability of life cycle cost analysis (LCCA) as asset management tools for institutional buildings. *Journal of Facilities Management*.

⁵⁵⁶ ISO 15686-5. (2008) (fr). *Bâtiments et biens immobiliers construits - Prévion de la durée de vie - Partie 5 : Approche en coût global*. <https://www.iso.org/obp/ui/fr/#iso:std:iso:15686:-5:ed-1:v1:fr>

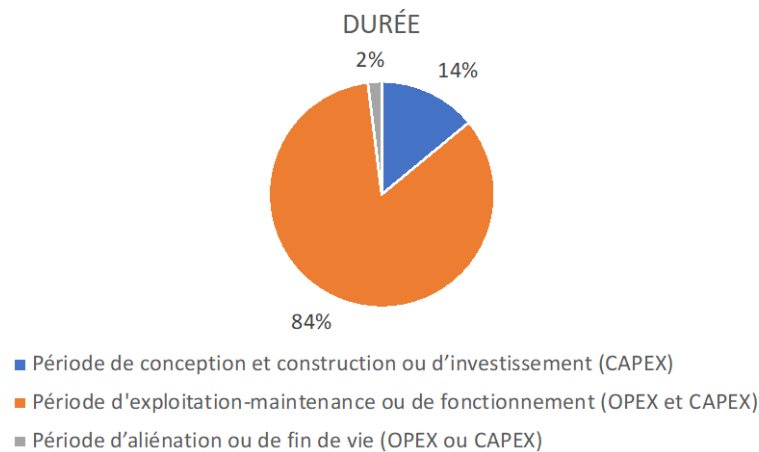


Figure 5.7 : Bâtiment hospitalier : répartition objective décomptée de la durée, cycle de vie de 50 ans.

Même si les études de coût global de possession (*Life Cycle Cost Analysis* ou LCCA) demeurent intéressantes pour identifier une tendance - encore plus qu'un ordre de grandeur - et qu'elles coïncident avec la question permanente de l'organisation *ville* sur sa *capacité à payer*, les études récentes, en même temps des enjeux environnementaux, s'orientent intensivement vers l'évaluation du cycle de vie (*life-cycle assessment* ou LCA) (Guinee et coll., 2011)⁵⁵⁷. En intégrant, l'évaluation du cycle de vie (LCA) aux études de coût global de possession (LCCA), à terme, le but vise à réussir la transformation vers la *construction circulaire* à l'infini (McDonough et Braungart, 2010)⁵⁵⁸. Cette juxtaposition du cycle de vie de la matière et de l'énergie combinée à l'utilisation de technique novatrice de construction devrait, selon la théorie, ultimement mener à une *économie circulaire et écologique*, viable.

Mais quelle synthèse doit-on envisager pour une représentation intégratrice des cycles de vie ?

Cela nous plonge dans le problème philosophique classique sur la *nature des choses*. Est-ce que le *bateau de Thésée* dont tous les *composants* sont remplacés par d'autres, demeure

⁵⁵⁷ Guinee, J. B., Heijungs, R., Huppes, G., Zamagni, A., Masoni, P., Buonamici, R., ... & Rydberg, T. (2011). Life cycle assessment: past, present, and future. *Environ. Sci. Technol.* 2011, 45, 1, 90–96, <https://doi.org/10.1021/es101316v>

⁵⁵⁸ McDonough, W., & Braungart, M. (2010). *Cradle to cradle: Remaking the way we make things*. North point press.

le même bateau (Plutarque, 1937)⁵⁵⁹ ? Est-ce que, par exemple, un bâtiment hospitalier garde son identité malgré les interventions en travaux tout au long de sa durée de vie d'usage ?

La manière la plus judicieuse de résoudre la situation est de considérer la *valeur d'usage*, et son cycle de vie, comme la mesure intégratrice de tous les besoins en travaux nécessaires pour représenter le *nœud borroméen écologique* (Figure 5.1). Elle intégrera, en dynamique, les enjeux du cycle de vie *organisationnel*, du cycle de vie des *utilisations* et du cycle de vie des *fonctionnalités* (Figure 5.4), à un moment donné d'observation.

Au début de la vie du bâtiment, la *valeur d'usage initiale* est de 100 %, soit égale à la *valeur actuelle de remplacement*. Et au fur et à mesure de la vie, l'usage fluctuera conformément aux trois classes de facteurs qui influencent l'état de santé (cf. pp. 207-208). Il y aura dégradation ou *perte de valeur d'usage*. De fait, par l'analyse de la perte de valeur d'usage l'organisation devient en mesure d'élaborer une stratégie pour mener les actions opérationnelles adéquates afin de maintenir, d'améliorer ou de laisser se dégrader le bâtiment et ses composants en toute connaissance de cause.

Comme l'illustre la figure 5.8, pour deux bâtiments, une organisation peut élaborer des stratégies différentes autour des cinq classes d'action possibles : (1) la *construction* neuve, l'ajout d'actifs ou la *reconstruction* (rénovation majeure, reconversion, requalification) lors d'un changement d'usage en fin de cycle de vie ; (2) l'*aliénation* par la cession, la déconstruction et le recyclage ou le bail emphytéotique ; (3) le *renouvellement*, soit le maintien d'actifs (remplacement, modernisation, amélioration ou modification) ; (4) la *maintenance*, soit le *bien-être des bâtiments* par la maintenance courante ou régulière ; (5) l'*exploitation*, soit le *bien-être des usagers* par la gestion des *ambiances*.

⁵⁵⁹ Amyot, J. (1937). *Plutarque : Les Vies des hommes illustres, tome I*. Gérard Walter (Éditeur scientifique). Gallimard.

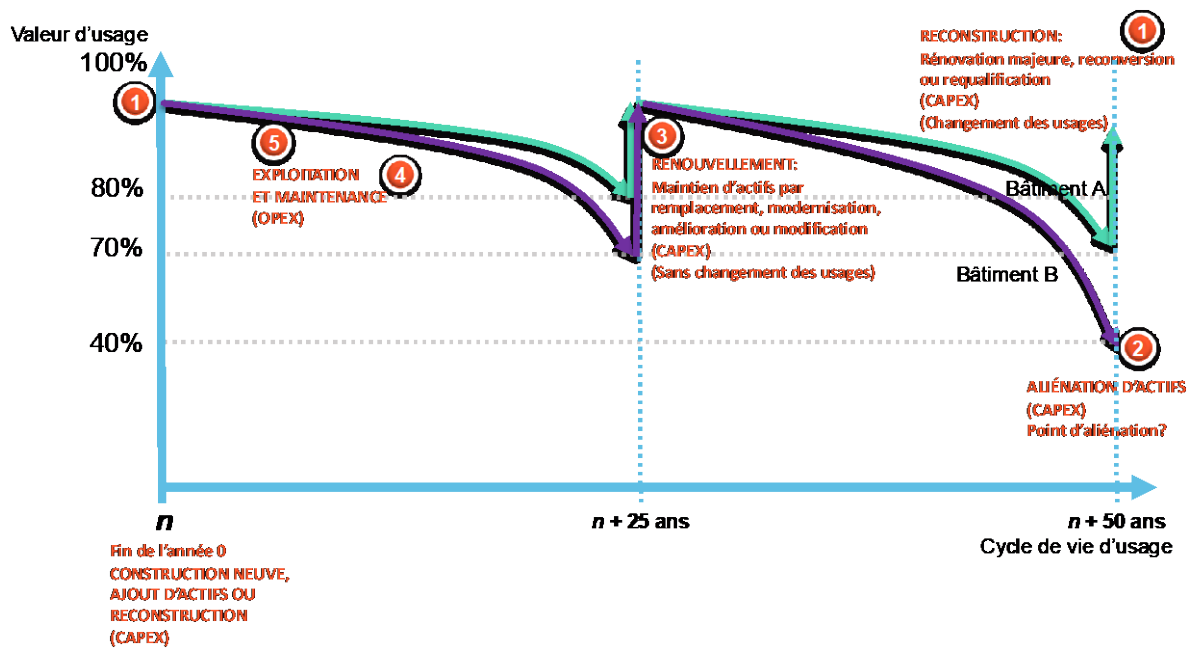


Figure 5.8 : Modèle dynamique d'évolution des actifs physiques. Exemple pour deux bâtiments hospitaliers sur un cycle de vie d'usage de 50 ans.

On constate que le bâtiment « A » a une valeur d'usage d'environ 80 % de la valeur actuelle de remplacement à l'année 25, soit une perte de valeur d'usage de 20 %, et de 70 % de la valeur actuelle de remplacement à l'année 50, soit une perte de valeur d'usage de 30 %. Par ailleurs, le bâtiment « B » a une valeur d'usage d'environ 70 % de la valeur actuelle de remplacement à l'année 25, soit une perte de valeur d'usage de 30 %, et de 40 % de la valeur actuelle de remplacement à l'année 50, soit une perte de valeur d'usage de 60 %.

Ainsi, tout au long du cycle de vie de l'usage, la valeur d'usage et la perte de valeur d'usage se mesurent. L'adossement réaliste et réel souhaité entre les actifs financiers et les actifs physiques devient possible. La dépréciation et la dégradation du capital fixe se confondent pour identifier un taux d'amortissement comptable juste et raisonnable.

5.6 Les parties prenantes

Pour garantir une intégration des *valeurs* et pour en déduire la *valeur d'usage*, la prise de décision devrait être consensuelle ou sujette à une communication qui explique et renseigne. Dans ce sens, le contenu du système de gestion d'actifs doit s'élaborer et être suivi autour des parties prenantes (*stakeholders*). Elles sont les organisations et personnes clés, internes ou externes à la ville, et qui contribuent au processus de décisions par des consultations, prises en compte, consensus. Elles contribuent aussi à la mise en place de facteurs de décision menant à

l'acceptation des résultats par le plus grand nombre. Afin d'éviter les malentendus, il est de mise de dresser une carte (cartographie ou charte de rôles et responsabilités) afin d'identifier et de statuer sur les intérêts, les rôles et les responsabilités des parties prenantes.

Les parties prenantes d'une organisation, et notamment ses décideurs, agents et usagers, créent, acquièrent et transfèrent continuellement des connaissances. Ainsi, les actifs physiques (tangibles ou matériels) sont adossés à des actifs financiers (conventionnés) et se caractérisent par des actifs informationnels (intangibles ou immatériels). Comme cela, l'organisation peut s'adapter à la complexité et l'incertitude ambiante. Le modèle organisationnel qui en découle est celui de l'organisation apprenante (*Learning Organization*). Une organisation qui a la capacité à intégrer le changement nécessaire pour alimenter et suivre une base de connaissances menant à la meilleure prise de décision possible (Garvin et coll., 2008).

Par ailleurs, la tolérance à la vétusté accrue et à la faible évolution des usages est socioculturelle (selon les organisations) et économique (en fonction de la capacité à payer au moment de l'observation). L'organisation ne cherche pas à résoudre de manière absolue toutes les pertes de valeur techniques et environnementales, mais plutôt à établir une criticité basée sur les risques et la capacité à la résilience (Taleb, 2007)⁵⁶⁰ (Taleb, 2010)⁵⁶¹ par alignement avec les objectifs, orientations et intentions politiques de l'organisation.

Il a été démontré que les données collectées et la connaissance qu'elles génèrent doivent impérativement s'appuyer sur un modèle qui dépasse la simple lecture technique et environnementale des paramètres et variables à contrôler. Les capteurs (intégrant le concept de détecteur) à utiliser pour mener un audit de bâtiment seront alors de quatre grandes classes (Foucault, J.-P. et Moulner Boutang, 2015)⁵⁶² :

- Les capteurs physiques non humains, basés sur la caractérisation de la nature des matériaux et des paramètres de processus ;
- Les capteurs d'émotions physiques, basés sur l'appréciation, l'évaluation de la situation et l'alerte ;

⁵⁶⁰ Taleb, N. N. (2007). *The black swan: The impact of the highly improbable* (Vol. 2). Random house.

⁵⁶¹ Taleb, N. N. (2010). Antifragility, Robustness, and Fragility, Inside the 'Black Swan' Domain. *SSRN Electron. J.*

⁵⁶² Foucault, J.-P., Moulner Boutang, Y. (2015). Towards economic and social "sensors": condition and model of governance and decision-making for an organological smart city. *IET Conference Proceedings, 2015, p. 7 -7* ., DOI: 10.1049/cp.2015.0262

- Les capteurs de la sémantique et des opinions, basés sur l'étymologie, la grammaire, la logique et les écarts de style ;
- Les capteurs des signaux faibles de l'intelligence basés sur les interactions et l'émergence de nouveaux comportements.

Alors, les parties prenantes deviennent alors centrales dans le processus d'observation, de constats, de captation et même de préconisations de décisions et d'actions. Les audits de l'état de santé du bâtiment, et du portefeuille d'actifs physiques dans lequel il est inscrit, s'articulent autour d'activités d'inspections techniques, économiques, écologiques et organisationnelles ainsi que de la prise en compte de témoignages des différentes parties prenantes, qu'ils soient des agents techniques d'exploitation et de maintenance, de gestion de projets, de comptabilité et de finance, des décideurs stratégiques, des sous-traitants ou des usagers.

Le modèle et le procédé d'élaboration et de suivi du Système de gestion d'actifs physiques s'appuient sur le leadership et la bienveillance d'un méta-auditeur neutre inspiré par les théories de la gestion d'Elton Mayo (Mayo, 1934)⁵⁶³, F. Roethlisberger et W.J. Dickson (Roethlisberger et William, 1939)⁵⁶⁴ ou plus récemment Henry Mintzberg (Mintzberg, 1990)⁵⁶⁵ et Omar Aktouf (Aktouf et coll., 2012)⁵⁶⁶.

Toutefois, il ne faut pas perdre de vue que la principale critique des approches datant d'avant 1970 est qu'elles émettent l'hypothèse que les travailleurs et les citoyens d'une ville, par exemple, n'ont pas la rationalité requise pour participer de manière significative à la prise de décision en matière de gestion. Cela confère aux dirigeants possesseurs du capital le monopole de l'autorité sur le lieu de travail et dans la communauté au sens large. Les décisions deviennent *descendantes (top down)* alors que la complexité et l'hétérogénéité de l'état des parcs d'actifs physiques nécessitent une connaissance, souvent qualitative, *ascendante* et fiable

⁵⁶³ Mayo, E. (1934). The Human Problems of an Industrial Civilization. *Nature* 134, 201. <https://doi.org/10.1038/134201b0>

⁵⁶⁴ Roethlisberger, F. J., & Dickson, W. J. (2003). (original 1939). *Management and the Worker (Vol. 5)*. Psychology press.

⁵⁶⁵ Mintzberg, H. (1990). The design school: reconsidering the basic premises of strategic management. *Strategic management journal*, 11(3), 171-195.

⁵⁶⁶ Aktouf et coll. (2012). *Le management entre tradition et renouvellement, 5e édition*. Gaëtan Morin éditeur.

(*bottom up*) pour garantir la meilleure décision (Callon, 1990)⁵⁶⁷. Ainsi, le *calculocentrisme* (Note)⁵⁶⁸ des actions et résultats du travail issu du capitalisme néolibéral rend difficile l'équilibrage entre capital et don (Callon et Latour, 1997)⁵⁶⁹.

L'organisation de la ville industrielle fonctionne plutôt selon la *théorie de la traduction et des réseaux*. Cette approche sociologique prend en compte tous les *actants* au sein de la ville, dont les humains, les objets (non-humains) et les discours. Ainsi, l'approche rejette les positions externalistes, rationalistes, la naturalisation (le réalisme) ou même la sociologisation. Le fait scientifique exclusif n'est pas considéré comme la résultante des jeux de pouvoir (Latour et coll., 2006)⁵⁷⁰.

Pour toutes les considérations précédentes et pour la formation préalable que cela exige, il est recommandé de procéder avec un méta-auditeur externe formé et qui agit comme tiers de confiance. Cela a pour but d'éviter les conflits d'intérêts et les autres écueils lors des campagnes d'audit de l'état de santé d'un parc d'actifs physiques. De fait, l'évaluation des besoins en travaux constituant le portefeuille de projets d'investissement en maintien d'actifs de la ville devrait être conforme aux enjeux de l'organisation. La fonction principale du méta-auditeur est alors de garantir la meilleure fiabilité des données (complétude et exactitude), d'assurer une cadence au projet d'évaluation de l'état de santé afin d'éviter une campagne d'audit qui s'éternise (complétude temporelle) et de formuler une synthèse de la criticité et des décisions de réalisation de projets à mettre en œuvre.

Le profil du méta-auditeur se caractérise par des connaissances disciplinaires multiples et interdisciplinaires suffisantes pour interroger les nombreux spécialistes des disciplines afin de les amener à révéler l'information pertinente : architecture - incluant l'aspect des usages et du taux occupationnels -, ingénierie électrique et mécanique du bâtiment, ingénierie civile des structures et des aménagements extérieurs. Peuvent se greffer des super-spécialistes comme pour les ascenseurs, l'accessibilité des personnes à mobilité réduite ou encore les analyses sismiques, sociologiques, urbanistiques et autres.

⁵⁶⁷ Callon, M. (1990). Techno-economic networks and irreversibility. *The sociological review*, 38(1_suppl), 132-161.

⁵⁶⁸ Ce néologisme que nous proposons vise à caractériser la conviction illusoire du tout mathématisable, c'est-à-dire une foi excessive dans la capacité, de tout réduire aux mathématiques et à la science.

⁵⁶⁹ Callon, M., & Latour, B. (1997). 'Tu ne calculeras pas !' ou comment symétriser le don et le capital. *Revue du MAUSS*, 9(1), 45-70.

⁵⁷⁰ Latour, B., Akrich, M., Callon, M. (2006). Sociologie de la traduction. DOI : 10.4000/books.pressesmines.1181

Des rencontres doivent être prévues avec les agents d'exploitation et de maintenance ainsi que certains usagers qui vivent au quotidien les aléas dans le bâtiment, sans oublier les agents issus d'autres champs disciplinaires liés à l'économie, la comptabilité, la finance ou aux comportements et demandes des usagers.

Enfin, le méta-auditeur doit avoir une grande capacité d'entregent, d'écoute, de curiosité, de compréhension et de synthèse des données afin d'en tirer une connaissance fiable.

Il est à noter qu'une contrainte forte imposée aux décideurs vient de la nécessité et de l'obligation d'atteindre et de maintenir une *conformité réglementaire* et parfois à une *politique interne ou une norme*. Ainsi, ce type de contrainte peut primer sur d'autres considérations, y compris celle de l'étude de la valeur, dans le processus de prise de décision. Il existe essentiellement trois catégories de *conformité* :

- i) Les engagements *obligatoires (mandatory)*, essentiellement les obligations légales et réglementaires imposées par une instance hiérarchiquement supérieure ;
- ii) Les engagements *auto-imposés*, tels que ceux issus de politiques internes et les normes non obligatoires ;
- iii) Les *attentes conventionnelles* en fonction des demandes des usagers et en comparaison avec le « marché » (« La comparaison avec la concurrence ou par la pression des pairs, m'impose une façon de faire. »).

Enfin, le processus de décisions doit inclure l'aspect de la *durabilité (sustainability)*, dans le sens reconnu du *développement durable* (Brundtland, 1987)⁵⁷¹, en visant l'évaluation de la performance de la ville par rapport aux trois piliers que sont :

- i) L'aspect social, par les conséquences sociales pour l'ensemble des parties prenantes à l'activité de la ville ;
- ii) L'aspect environnemental, sous l'angle de la maîtrise de l'énergie et de la pollution afin de préserver l'équilibre des écosystèmes ;

⁵⁷¹ Brundtland, G. (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*. United Nations General Assembly document A/42/427. <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>

- iii) L'aspect économique, afin de convenir de cibles « planchers » minimums et de cibles « plafonds » maximums pour rester dans une zone de décision respectueuse des écosystèmes (Figure 5.2) (Raworth, 2017)⁵⁷².

En conclusion, comment s'effectue alors la prise de décision à l'issue de l'élaboration et la mise en place du Système de gestion d'actifs physiques ? Quels sont les ressorts pour garantir une décision éclairée, conforme aux enjeux de la ville, aligner entre les aspects stratégiques et les aspects opérationnels, et qui enfin maximisent la *valeur d'usage* ? Comment réduire l'écart entre les aspirations et les réalisations ?

5.7 La prise de décision

Le processus de prise de décisions pour la gestion d'actifs physiques est multifactoriel. Elle nécessite d'intégrer des considérations sur les coûts, la performance et les risques, et ce, tout au long du cycle de vie. De ce fait, elle s'articule autour de compétences décisionnelles basées sur la *rationalité limitée* (Simon, 1957)⁵⁷³, l'*anticipation rationnelle* (Muth, 1961)⁵⁷⁴ - lorsque des retours d'expériences mesurables sont possibles -, et sur l'expérience - permettant le sentiment instinctif (*gut feeling*). Ainsi, il est indispensable de prendre en compte la *cognition* et les *émotions* afin de générer l'adaptation et l'autonomie suffisante pour répondre à des contraintes de complexité et d'incertitude (Allain, 2013)⁵⁷⁵. Cette prise de décisions a alors un positionnement visant le *point idéal* (*sweet spot*), celui qui assure le meilleur alignement entre les décisions stratégiques et les actions opérationnelles. Elle vise à se conformer au mieux à la raison d'être, à la mission et aux objectifs d'une organisation ;

⁵⁷² Raworth, K. (2017). *Doughnut economics: seven ways to think like a 21st-century economist*. Chelsea Green Publishing.

⁵⁷³ Simon, H. A. (1957). A behavioral model of rational choice. *Models of man, social and rational: Mathematical essays on rational human behavior in a social setting* (1957), 241-260.

⁵⁷⁴ Muth, John F. (1961). Rational expectations and the theory of price movements. *Econometrica: Journal of the Econometric Society* (1961). 315-335.

⁵⁷⁵ Allain, P. (2013). La prise de décision : aspects théoriques, neuro-anatomie et évaluation. *Revue de neuropsychologie*, 5, 69-81. <https://doi.org/10.3917/rnc.052.0069>

À partir des étapes classiques d'un processus de décision (Roe, Busemeyer et Townsend)⁵⁷⁶, nous proposons les étapes pour celui de la gestion d'un système d'actifs physiques (Figure 5.9). Elles visent à élaborer un *discours* par un *langage approprié* entre des objets (les actifs physiques : machines, équipements, composants, groupes de composants, systèmes techniques, etc.) et des humains (les parties prenantes : usagers, responsables financiers, de maintenance, etc.). Ces étapes consistent en :

- i) Établir ou choisir une nomenclature et développer un thésaurus pour générer un répertoire structuré de termes et mots-clés dans le but d'être en mesure d'analyser et de classer des *données* et des contenus ;
- ii) Collecter à l'aide de *capteurs* techniques et environnementaux ainsi qu'économiques et sociaux, lors d'une procédure d'évaluation et de contrôle ou audit, les *informations* par une mesure quantitative et qualitative pertinente à partir d'un protocole - règles pour l'observation de paramètres et règles pour le processus itératif d'*élicitation* visant à capter la *connaissance* d'*experts ciblés*. Ceci pour garantir au mieux que les *données* et *données dérivées* soient à un niveau de fiabilité (complétude et exactitude) conforme aux enjeux de l'organisation. Cette collecte mènera à une construction globale de la *connaissance* stabilisée dans le temps ;
- iii) Élaborer une méthodologie - intégrant les méthodes d'inspection, de diagnostic, d'auscultation tant techniques et environnementales ainsi qu'économiques, sociales - pour l'analyse d'échantillons (par artefacts) ou la déduction (par le raisonnement) de faits et de preuves en tentant de limiter l'incertitude ;
- iv) Procéder à la simulation de mise en priorité et à l'analyse de la criticité afin d'obtenir le scénario le plus réaliste en tenant compte d'un scénario optimiste et d'un scénario pessimiste ou d'autres variantes ;
- v) Élaborer un Plan pluriannuel des travaux d'investissement (CAPEX) et un Plan de maintenance courante (OPEX) visant l'adossement des deux plans d'action pour maîtriser les risques ;

⁵⁷⁶ Roe, R. M., Busemeyer, J. R., & Townsend, J. T. (2001). Multialternative decision field theory: A dynamic connectionist model of decision making. *Psychological Review*, 108(2), 370–392. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.108.2.370>

- vi) Réaliser les actions appropriées de maintenance (OPEX) et de travaux d'investissement (CAPEX) ;
- vii) Revoir la qualité et la pertinence de la décision (amélioration continue).

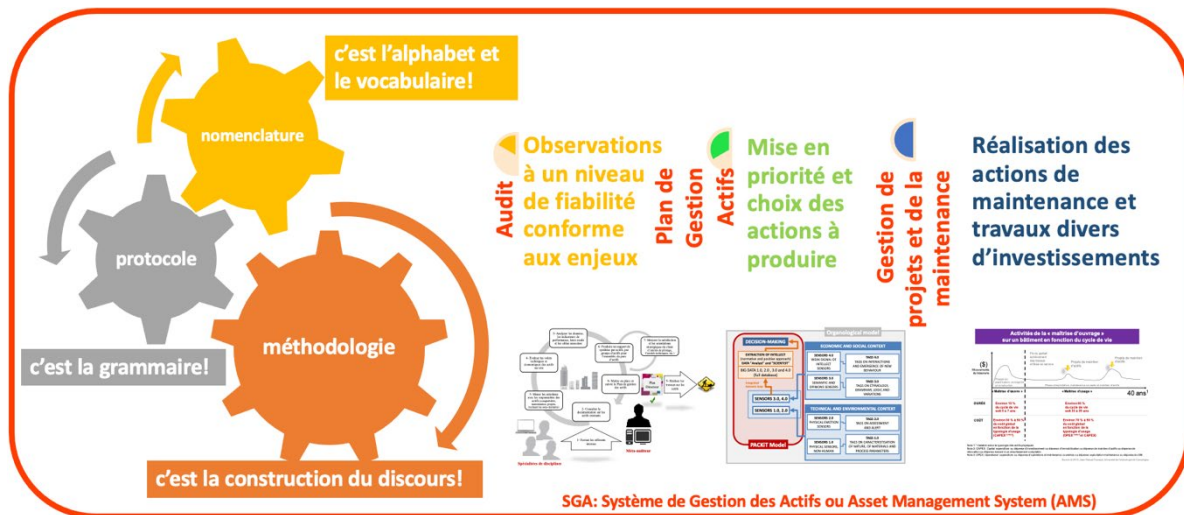


Figure 5.9 : SGA - Synthèse du processus de décision pour gestion d'actifs physiques.

De manière plus spécifique, les *données*, *données dérivées* et *informations* pour un bâtiment, au moins pour le volet technique, comme mentionné précédemment au Tableau 5-3, amènent le problème de l'outil adéquat pour saisir et sauvegarder le tout. Dans le domaine du bâtiment et des infrastructures, l'outil BIM est celui qui se développe de plus en plus avec comme objectif ultime de produire un *jumeau numérique* pour les bâtiments (*Numerical Twin*). Originellement le BIM est une maquette numérique à laquelle des informations sont greffées et qui vise à encourager la saisie d'un maximum d'informations avec des niveaux de détail (*LOD : Level Of Detail*) et d'informations (*LOI : Level Of Information*) souvent trop détaillés.

La figure 5.10 représente un exemple du modèle de Stanford pour la réalisation d'un seul maillage polygonal afin de décrire complètement un objet (Turk et Levoy, 1994)⁵⁷⁷ (Curless et Levoy, 1996)⁵⁷⁸. Cette représentation d'un lapin (*Stanford Bunny*) est utile comme métaphore pour expliquer l'intérêt de limiter ses efforts de saisie de données, données dérivées

⁵⁷⁷ Turk, G., & Levoy, M. (1994, July). Zippered polygon meshes from range images. In *Proceedings of the 21st annual conference on Computer graphics and interactive techniques* (pp. 311-318).

⁵⁷⁸ Curless, B., & Levoy, M. (1996, August). A volumetric method for building complex models from range images. In *Proceedings of the 23rd annual conference on Computer graphics and interactive techniques* (pp. 303-312).

et informations à ce qui est pertinent, utile, nécessaire et, donc, conforme aux enjeux de l'organisation en fonction des phases de vie des actifs physiques.

Le lapin en (a) avec près de 70 000 triangles est la représentation la plus réaliste (complétude et exactitude). Comme le serait un BIM réaliste d'un bâtiment. Le contenu doit alors être à minima l'ensemble des informations contenues dans le *Dossier d'interventions ultérieures sur l'ouvrage* (DIUO) contenant toutes les informations nécessaires à l'exploitation et la maintenance des matériaux et équipements et notamment le *Dossier des ouvrages exécutés* (DOE), en somme, les plans de récolements, les diagrammes techniques et autres schémas fonctionnels. C'est ce qui devrait être remis au maître d'ouvrage à la ville, lors de la mise en service du bâtiment.

Dans la pratique, il est possible de synthétiser, par le retour d'expériences de plusieurs stages de fin d'études, les difficultés classiques rencontrées pour l'utilisation de l'outil BIM dans le cadre d'un projet de construction (Tableau 5-5). Elles se résument à la complexité de coordination du processus et de la difficile constance dans le suivi des règles et conventions de saisie de l'information.

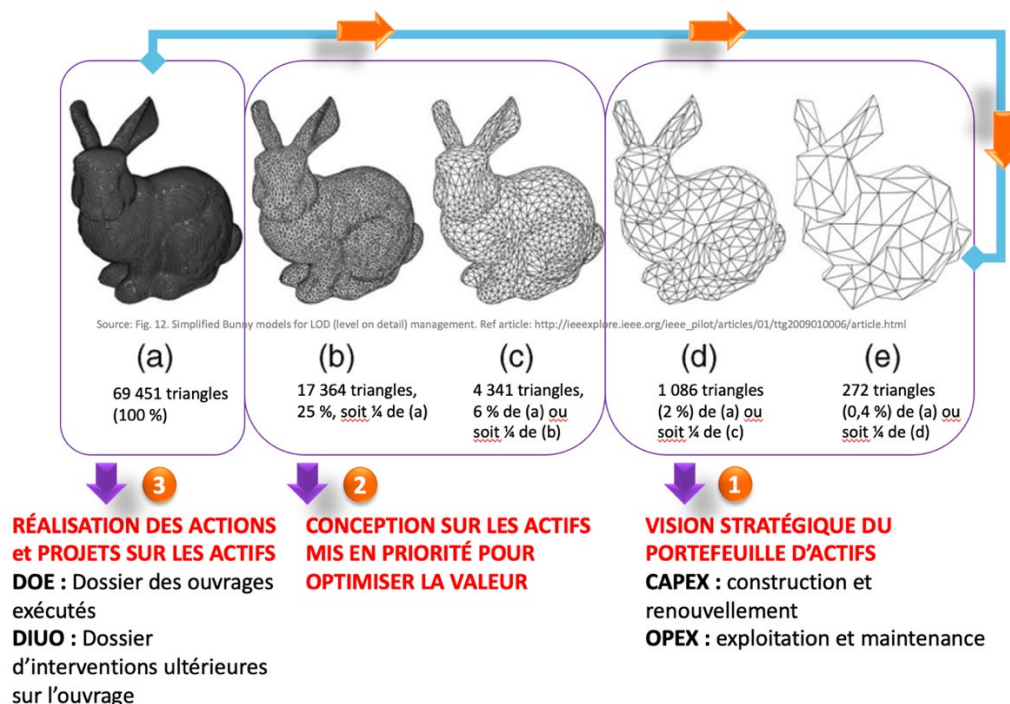


Figure 5.10 : Données, données dérivées et informations : conforme à la connaissance nécessaire pour répondre aux enjeux.

Ainsi, dans les faits, comme évoqués au Tableau 5-3, les DIUO et DOE sont très souvent incomplets. Les responsables de la gestion d'actifs physiques doivent apprendre à utiliser une représentation dégradée du « lapin » comme en (e) tant pour l'élaboration d'un *Schéma directeur immobilier* que pour le *Plan de maintenance courante*.

Tableau 5-5 : Onze difficultés lors de l'utilisation de l'outil BIM pour la gestion du projet de construction d'un bâtiment.

Phase du projet	Description
Conception	Difficulté au moment de la conception d'utiliser le BIM comme un outil agencé à des outils simulations (thermiques, électriques, environnementales, de coût global, etc.).
Construction	Difficulté au moment de la construction d'utiliser le BIM comme outil de création de plans d'exécution (comme pour disposer les échafaudages en cas d'interventions futures, obtenir les dessins d'atelier et de poses spécifiques au constructeur).
Conception et construction	Difficulté des différents intervenants d'un projet de construction à s'astreindre à la convention de traçabilité de l'information (illettrisme BIM : il y a un coût d'entrée non négligeable).
Construction et exploitation maintenance	Difficulté du gestionnaire BIM (<i>BIM manager</i>) à garantir la fiabilité de l'information (complétude et exactitude).
Exploitation et maintenance	Difficulté au moment de l'exploitation d'utiliser le BIM comme outil de gestion de l'exploitation et de la maintenance.
Toutes les phases du cycle de vie de l'actif	Difficulté à gérer l'interface entre les phases d'un projet (p. ex., les concepteurs et constructeurs ont une « <i>pensée en réseaux techniques</i> » pour coordonner les travaux de construction alors que les exploitants et mainteneurs ont une « <i>pensée en points techniques</i> » pour coordonner la maintenance des ambiances, des usages, des systèmes).
Toutes les phases du cycle de vie de l'actif	Difficulté intrinsèque aux outils BIM de gérer la complexité entre la maquette numérique (aspect géométrique : <i>LOD - Level Of Detail</i>) et les informations techniques (aspect exploitation maintenance et renouvellement : <i>LOI - Level Of Information</i>).
Toutes les phases du cycle de vie d'un contrat	Difficulté, dans le cadre de contrats globaux (de type <i>concession</i> ou PPP) et encore plus de contrats conventionnels (ou traditionnels) de garantir la complétude, l'exactitude et la pérennité des informations BIM ayant de la valeur pour la prise de décision.
Toutes les phases du cycle de vie de l'actif	Difficulté à démontrer les <i>économies</i> promises par l'utilisation du BIM.
Toutes les phases du cycle de vie de l'actif	Difficulté intrinsèque aux outils BIM de gérer la complexité entre la maquette numérique (aspect géométrique : <i>LOD - Level Of Detail</i>) et les informations techniques (aspect exploitation maintenance et renouvellement : <i>LOI - Level Of Information</i>).
Toutes les phases du cycle de vie de l'actif	Difficulté à implanter et <i>faire vivre</i> l'outil BIM comme <i>outil numérique central</i> d'un dispositif de gestion d'actifs durant tout le cycle de vie intégrant les outils de : 1° Gestion et pilotage stratégiques (plateforme 3t : aide à la décision et suivi de la décision) ; 2° Gestion et pilotage tactiques (ERP: allocation, répartition et suivi des ressources) ; 3° Gestion et pilotage opérationnels (Gestion de projets de construction ou GMAO: suivi d'exploitation et de la maintenance). Le BIM devient alors un <i>outil numérique périphérique à l'écosystème numérique</i> .

Au moment de l'élaboration et du suivi de la méthodologie pour construire un outil d'aide à la décision et à l'action, il convient de dire que les résultats d'un processus de décision basé sur des *experts* sont aussi bons que les jugements des experts sur lesquels le processus est basé. L'*expert* est alors autant une personne technique dans un champ disciplinaire (maintenance, écologie, économie, etc.) qu'un *usager* du quotidien qui constate et peut témoigner des ruptures d'*usages*, de *fonctionnalités* et de *fonctions*.

Dès lors, la principale mesure de la fiabilité d'une expertise peut être définie comme la capacité à distinguer les *occurrences occasionnelles* des *occurrences aléatoires* et si leur *nature* est *conjoncturelle* ou *structurelle*. Il a été démontré que les jugements entre ceux émanant d'experts d'au moins 10 ans d'expérience et ceux produit par des novices de moins de 3 ans d'expérience reflètent des *biais* systématiques par rapport à la logique statistique normative. Ces biais peuvent être importants lorsque la précision, la constance et la cohérence sont des attributs importants du jugement requis (Cleaves, 1987)⁵⁷⁹. La démarche devient celle de l'apprentissage en continu qui peut notamment mener à l'*apprentissage par renforcement profond (deep learning)* (Stevens et Pradhan, 2016)⁵⁸⁰ ou à la logique floue augmentée (Zalila, 2018)⁵⁸¹ dès lors que l'Intelligence Artificielle (IA) de confiance se greffe au processus. Comme pour le jeu Tetris, c'est la répétition du jeu sérieux de la gestion d'actifs en réintégrant cet apprentissage qui permettra à terme l'amélioration continue du *Système de gestion d'actifs physiques* et des *décisions* qu'il génère.

Ainsi, il est important de comprendre que l'étape de *collecte* à partir d'un protocole est essentielle et particulièrement pour le volet du processus itératif d'*élicitation*, afin de garantir une base de connaissances fiable et stable. En gestion des connaissances, *éliciter* est l'action d'aider un *expert* dans une discipline à formaliser un mode de raisonnement dans le but de sauvegarder ou de partager ses connaissances. Ce qui est *tacite* (transmis par l'apprentissage et la formation-action) devient *explicite* (ce qui est transmis par une base de données, une gestion documentaire, une bibliothèque).

⁵⁷⁹ Cleaves, D. A. (1987). Cognitive biases and corrective techniques: proposals for improving elicitation procedures for knowledge-based systems. *International Journal of Man-Machine Studies*, 27(2), 155-166.

⁵⁸⁰ Stevens, M., & Pradhan, S. (2016). Playing tetris with deep reinforcement learning. *Convolutional Neural Networks for Visual Recognition CS23*, Stanford Univ., Stanford, CA, USA, Tech. Rep.

⁵⁸¹ Zalila, Z. (2018). Chapitre 36. L'intelligence artificielle floue augmentée : vers une médecine prédictive personnalisée. Dans : éd., *Architecture et ingénierie à l'hôpital : Le défi de l'avenir* (pp. 271-282). Rennes : Presses de l'EHESP. <https://doi.org/10.3917/ehesp.lange.2018.01.0271>

La difficulté majeure lors d'un processus itératif d'élicitation est i) d'éviter la rétention d'information qui est la source de pouvoir relatif pour l'expert au sein d'une organisation, et ii) d'éviter l'induction de biais cognitifs (Fairchild, 2002)⁵⁸². Le Tableau 5.6 dresse la liste des biais cognitifs les plus fréquents dans le contexte d'un processus de prise de décision (Kahneman, 2011)⁵⁸³.

Tableau 5-6 : Biais cognitifs fréquents lors de prises décision pour les actifs physiques.

Type de biais	Problématique	Exemple d'erreur ou biais cognitif
Représentativité Heuristique (Representativeness Heuristic)	Quand deux objets sont similaires sans lien de causalité, sont-ils corrélés entre eux ?	Le bâtiment A et le bâtiment B ont été construits en 1950, ils sont assurément dans le même état de santé.
Biais d'ancrage (Anchoring Bias)	L'utilisation d'une donnée ou information préexistante, sert-elle de point de référence pour toutes les données subséquentes?	Le coût de remplacement des ascenseurs de toutes écoles est le même que celui du bâtiment A sans nécessité de vérifier les caractéristiques techniques de chacun.
Biais d'excès de confiance (overconfidence bias)	Les capacités et les moyens d'un individu ou d'une organisation génèrent-ils une illusion de contrôle, un trop grand optimisme, une trop forte conviction que notre ambition, notre désir sera assouvi?	L'ensemble des 4000 bâtiments de notre parc immobilier sera rénové pour améliorer leur performance énergétique d'ici 5 ans.
Biais d'auto-service (Self-Serving Bias)	L'attribution d'un poids positif important aux compétences, aptitudes et capacités d'un individu ou d'une organisation est-elle démesurément supérieure au poids accordé à la chance, au hasard heureux?	Nous pouvons réaliser l'élaboration et le suivi d'un schéma directeur immobilier, tout en réalisant les actions de maintenance courante et les projets d'investissement avec la même équipe.
Mentalité de troupeau (Herd Mentality)	Quelle propension avons-nous à suivre aveuglément les autres, à nous laisser influencer par l'émotivité, sans une analyse indépendante ?	Les informations dans le système de gestion d'actifs ont été saisies il y a 10 ans par Jean-Pierre. Il était rigoureux et compétent. Je ne vérifie pas les données.
Aversion aux pertes (Loss Aversion)	Dans le cas d'engagements financiers, avons-nous plus tendance à considérer les pertes (dépenses) que les gains (cycle de vie plus long, effet social, opportunités nouvelles, etc.) lors de la prise de décision et l'action?	L'isolation de la toiture coûte trop cher, nous n'avons pas les moyens.
Encadrer les biais cognitifs (Framing Cognitive Bias)	Prenons-nous une décision sur la base de la façon dont les informations sont présentées (la forme) ou plutôt que sur la base des faits (le fond)?	Les bâtiments ont l'air en bon état. Les usagers ne se plaignent pas. Même si les ingénieurs nous disent qu'il est vétuste, nous ne ferons pas de travaux.
Erreur narrative (Narrative Fallacy)	Sommes-nous influencés par la meilleure histoire (storytelling), la plus facile à comprendre, la plus stimulante et convaincante, sans nous attarder aux autres aspects?	Les travaux d'investissement sont prioritaires pour les jeux Olympiques de 2024. Le remplacement des toitures des écoles attendra.
Biais de confirmation (Confirmation Bias)	Est-ce que les individus ou l'organisation estiment, à tort, qu'ils « savaient depuis le début » le résultat obtenu (fausse capacité d'anticipation)?	Je savais que les infiltrations d'eau et les vents violents après les orages de l'an dernier mèneraient à démolir notre bâtiment pour en reconstruire un neuf.

⁵⁸² Fairchild, A.M. (2002). Knowledge management metrics via a balanced scorecard methodology, *Proceedings of the 35th Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, pp. 3173-3180, doi: 10.1109/HICSS.2002.994356

⁵⁸³ Kahneman, D. (2011). *Thinking, fast and slow*. Macmillan.

Dans le contexte d'une réalité avec des causes et conséquences multifactorielles, comme celles liées à la *transformation* de la *valeur d'usage* au sein d'un *système de gestion d'actifs physiques*, les critères de *prise de décisions* ne doivent pas viser exclusivement à *maximiser* ou *minorer* un seul paramètre plutôt qu'un autre (le coût, par exemple). Il est nécessaire d'*optimiser* dans le sens de *l'arbitrage entre des paramètres conflictuels ou indépendants*.

Au lieu d'investir son temps dans l'évaluation de toutes les options possibles avant de prendre la meilleure solution - ce à quoi tendent de s'astreindre les décideurs qui veulent seulement maximiser ou minorer, paramètre par paramètre -, il est souhaitable de cibler un processus de décisions par une approche qui vise ce qui est *satisficing* (satisfaire et suffire : *satisfying and sufficing*) (Simon, 1957)⁵⁸⁴. On vise alors la recherche d'une solution adéquate et efficace, en somme, l'efficience.

Cette méthode aboutit une analyse permettant d'aboutir à des conclusions vraisemblables sans nécessairement trouver la solution optimale au sens classique du terme.

Pour cette raison, des heuristiques apparaissent à toutes les étapes de la prise de décision, du diagnostic initial à la prédiction de la valeur d'usage en passant par des estimations de vraisemblance ou probabiliste, par exemple. Elles visent à gagner du temps lors d'un processus de décision et d'action en ne tenant pas compte de toute la complexité et des informations d'une situation. Par voie de conséquences, elles mènent parfois à des biais et des erreurs dans la prise de décision. Il est alors important de limiter ces biais cognitifs ou erreurs.

À partir des sections qui précèdent, comment appréhender le concept de valeur ? Quelle synthèse possible en considérant ce qui est incommensurable et ce qui ne l'est pas ? Quelle approche de la « valeur » pour la gestion d'actifs physiques urbains ?

⁵⁸⁴ Simon, H. A. (1957). *Models of man; social and rational*. Wiley.

5.8 Les approches de la valeur

Au cours du processus de *transformation* qui s'inscrit au sein de l'organisation « ville », les quatre approches classiques d'étude de la valeur (Ives et Kendal, 2014)⁵⁸⁵ sont prise en compte, notamment, par le *système de gestion d'actifs physiques*:

- i) Par la philosophie, en étudiant le sens et les implications *éthiques* de la valeur. L'éthique est alors *moraliste*, lorsqu'elle trace le contour de l'acceptation sociale. P. ex., « notre ville respecte la réglementation et situe l'écologie au-dessus de tout »; elle est *déontologique*, lorsqu'elle vise à reproduire un processus avec des phases, des étapes et des activités spécifiques. P. ex., « notre ville se conforme à un processus d'appel d'offres rigoureux afin de recourir au *mieux-disant* »; et elle est *conséquentialiste* lorsqu'elle vise à étudier la conséquence d'une décision de produire ou non, une action. P. ex., « notre ville doit connaître les risques et diminuer les incertitudes liées à la dégradation des écoles »;
- ii) Par la psychologie, en étudiant la compréhension subjective d'un ensemble d'assignation de valeur à des lieux physiques spécifiques ou relevant de considérations abstraites. P. ex. « ce patrimoine de la ville doit être valorisé sur le plan de l'histoire, il y a un risque important de dégradation »;
- iii) Par la géographie, la sociologie et l'anthropologie, en étudiant l'identification et la relation de valeur entre des groupes sociaux et des lieux spécifiques, p. ex. « l'avènement des outils numériques et des possibilités offertes par le télétravail amène à revoir notre valorisation des espaces de travail et de leur dispersion au sein de la ville »;
- iv) Par l'économie, la conservation et la science, en étudiant de manière commensurable des valeurs attribuées - évaluer, comparer au moyen d'une même unité - en utilisant une échelle de valeur commune (p. ex, le coût et la performance technique doivent être améliorés pour obtenir un cycle de vie supplémentaire).

⁵⁸⁵ Ives, C and Kendal, D (2014), The role of social values in the management of ecological systems, *Journal of Environmental Management*, vol. 144, no. 1, pp. 67-72.

Lors de la réalisation d'un projet pour une nouvelle infrastructure (bâtiment ou autres), c'est de la responsabilité et de la compétence de l'architecte, associé aux ingénieurs des diverses spécialités techniques, de formuler une réponse *physique intégratrice* de toutes ces approches de l'étude de la *valeur*. Et c'est de la responsabilité de la ville, par son *ingénieur stratège* en *gestion d'actifs physiques*, de maintenir cette valeur tout au long du cycle de vie. Mais pouvons-nous identifier une *valeur synthèse* de l'ensemble de ces approches ?

Depuis la mise en place de l'économie de marché, cette synthèse s'effectue, au sein d'organisations privées, autour de la notion de *valeur d'échange* (ou valeur marchande). Elle est complétée par une *valeur comptable* (*book value*) qui exprime la valeur des actifs dépréciée des amortissements cumulés (il y a donc la nécessité de choisir une durée de vie utile, un cycle de vie comptable). Cette approche conventionnelle de monétarisation par la transformation de l'organisation en valeur économique, par une représentation basée sur l'argent, permet une utilisation de cette information dans le cadre de la gestion courante et de la production annuelle du compte de résultat et d'un bilan comptable d'une organisation. Elle contribue aux activités liées au financement de projets, à l'allocation budgétaire des ressources, ainsi qu'aux critères de décision liés à l'argent (ou à la validation des bénéfices, dans le cas du secteur privé). La règle obligatoire en *finance d'entreprise* lors de la présentation d'un bilan consiste à avoir un montant total égal des actifs et des passifs (Figure 5.11).

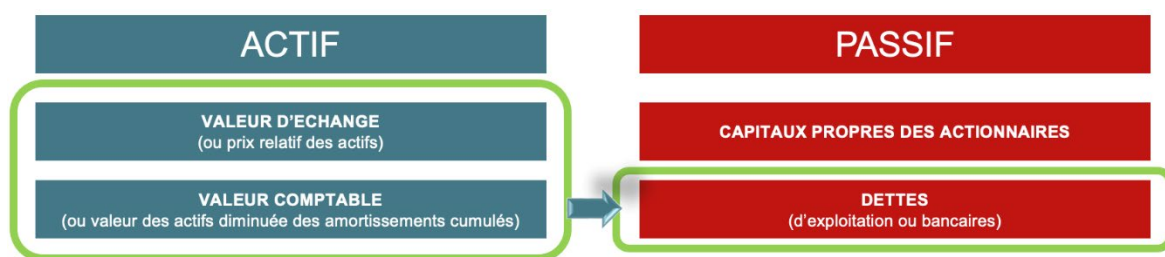


Figure 5.11 : Bilan comptable d'une organisation et principe du collatéral.

Ainsi, mécaniquement, si la *valeur d'échange* est faible - c'est le cas pour les actifs physiques publics comme les hôpitaux et les écoles, p. ex. - et que la *durée d'utilisation* s'achève, menant aussi à une *valeur comptable* faible - une grande partie des constructions pour des bâtiments publics date de l'intensification de l'industrialisation depuis 1950 (environ entre 40 et 75 ans) - et qu'en même temps les *dettes* sont élevées et que la capacité à solliciter financièrement les citoyens (« actionnaires » du pays, de la ville, de la collectivité) par les

impôts et les taxes (capitaux propres) est limitée, il y a un déséquilibre entre l'actif et le passif : il y a insuffisance de la valeur des actifs transférables ou d'une garantie apportée, servant de gage au remboursement de la dette, dans le cas où le bénéficiaire de ce dernier ne pourrait pas satisfaire ses obligations de paiement (Vernimmen, 2021)⁵⁸⁶. Dans le cas de biens publics, les marchés financiers seront enclins à estimer que le *collatéral* est insuffisant et il y aura décote du pays ou de la collectivité, avec comme impact, une augmentation du taux d'emprunt pour couvrir le risque de défaillance.

En somme, la proposition classique d'évaluation et d'utilisation de la *valeur* est lacunaire dans le contexte d'organisations publiques comme les villes. La comptabilité conventionnelle ne tient pas compte de la *valeur d'usage* comme garantie apportée de la sécurité, de la fiabilité et de la sûreté de fonctionnement dans le cas d'un *outil de production* (école, hôpitaux, ponts, etc.) pour lequel aucun ou très peu d'acquéreurs potentiels n'existent.

Les bâtiments et infrastructures d'une ville sont des *biens communs* dans le sens des *commons* de Elinor Ostrom qui démontre par ses recherches qu'entre des politiques de gouvernance sous le contrôle coercitif de l'État et la privatisation post-libérale des ressources, il existe une multitude de solutions possibles pour réussir à gouverner les *commons* (Ostrom, 1991)⁵⁸⁷.

La notion de *biens communs* est un concept qui a plusieurs sens. En économie, il désigne les biens publics comme ressources qui sont *rivales* et *non exclusives*, car ils peuvent être *dégradés* par leur consommation ou utilisation. La notion de *commons* renvoie également à une forme de propriété collective fournissant la possibilité et le droit de l'utiliser par tous, afin d'éviter la privatisation de certaines ressources ou enclosures (périmètre et droit de la propriété). La voie proposée est, par exemple pour une ville, celle de l'autogouvernance ou autonomie urbaine pour éviter les *extractions de valeurs* et plutôt *générer de la valeur* (Communs.org, 2022)⁵⁸⁸. L'autogestion pose toutefois le problème de la volonté et de la responsabilité des différentes parties prenantes.

Ainsi, la proposition majeure de la présente thèse consiste, à tout le moins, à rendre obligatoire, par les *conventions comptables*, l'inscription au bilan de la *valeur d'usage* et de la *perte de valeur d'usage* des actifs physiques pour les villes et autres organisations publiques.

⁵⁸⁶ Le Fur, Y., Quiry, P. et Vernimmen, P. (2021). *Finance d'entreprise 2022* (20^e éd.). Dalloz.

⁵⁸⁷ Ostrom, E. (1991). *Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action*. Cambridge University Press.

⁵⁸⁸ Portail des Communs. (2021, 20 septembre). *Une introduction à la notion de commons : Qu'est-ce qu'un commun?* <https://lescommuns.org/>

Cela marquerait le fait que ce ne sont pas de simples *biens tangibles* ou *actifs physiques* qui sont régis exclusivement par les règles du marché, mais des biens publics *communs* qui réfèrent à des usages et services *communs*, sur le long terme.

Aujourd'hui, les aménageurs ou créateurs de la ville jouent un rôle de *planificateur* traditionnel, avec une logique urbaine classique de distribution et de concentration des activités par lotissement de l'espace avec des fonctions prédéfinies sur des horizons temporels, pouvant varier selon les contextes juridiques (de 30 ans à 70 ans dans le cas de certains pays, comme pour la Chine par sa loi de 2007).

Fragmenter ainsi les objets physiques en temporalité d'avec les réalités évolutives, sociales et économiques implique une gouvernance qui se limite souvent à un arbitrage entre l'expression des besoins fondamentaux et une réalisation à partir d'un foncier brut. La valeur est ainsi fragmentée et se rapproche de celle du *marché* plutôt que de celle liée à l'organisation « ville », la *valeur d'usage*.

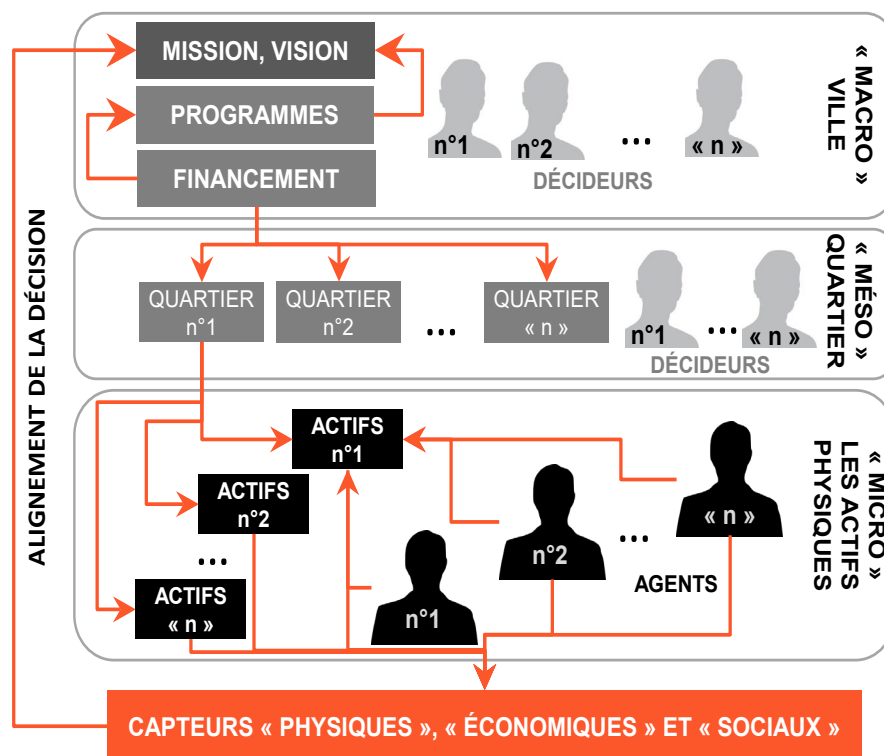


Figure 5.12 : Schéma de la dynamique humaine de la *Smart City-organologique*
 (Note)⁵⁸⁹ : captation des flux ascendants et descendants pour amplifier les incitations bidirectionnelles.

⁵⁸⁹ «L'organologie générale est une méthode d'analyse conjointe de l'histoire et du devenir des organes physiologiques, des organes artificiels et des organisations sociales. Elle décrit une relation transductive entre trois

Le *flux décisionnel* est alors essentiellement une *cascade (top down)* de mesures de *réglementation* entre les différentes *parties prenantes (stakeholders)* et les différentes échelles de décision (micro, méso, macro) telles qu'illustrées dans la figure 5.12.

Au mieux, cette typologie de gouvernance et décisions pour la Ville est alors poussée vers un modèle de type *Smart City-mécaniste*. La variation et l'évolution du phénomène de captation, d'extraction et d'analyse de données sont guidées par une approche *normative - ex ante* - issue de l'observation d'un expert technique et environnemental (Figure 5.13). Cette organisation, sa représentation et son optimisation s'articuleront autour des actifs immobiliers, industriels et d'infrastructures diverses, ainsi que de leurs capteurs physiques. La logique appliquée devient celle de la *maintenance* traditionnelle d'objets techniques.

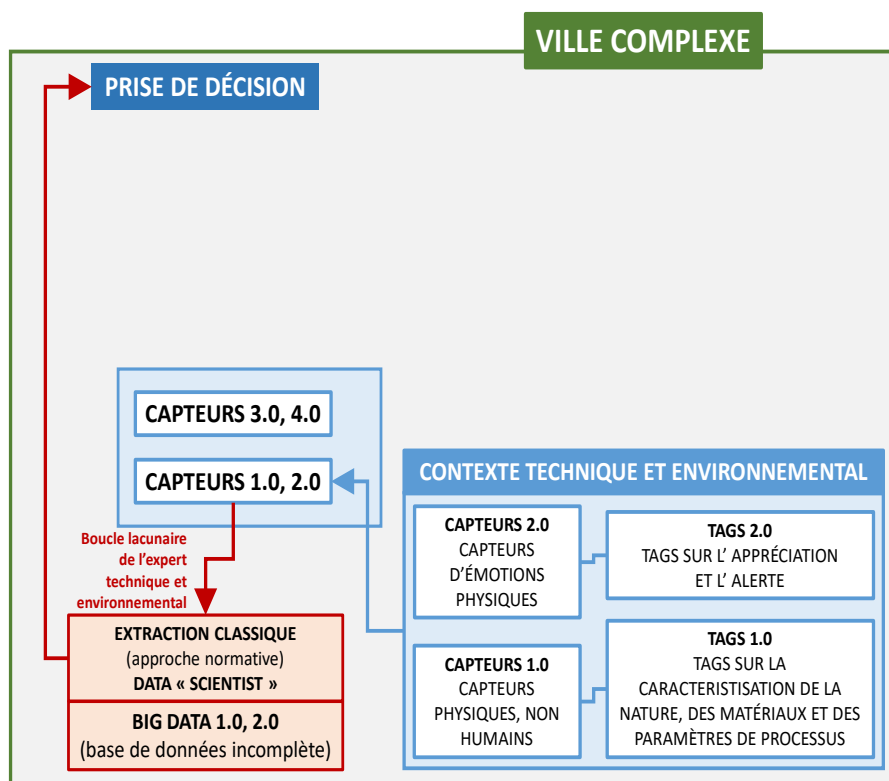


Figure 5.13 : Schéma du Modèle « Smart City-mécaniste ».

La nature de ces capteurs est relativement simple et prévisible puisque les actifs physiques sont rarement conçus en interdépendance avec des phénomènes comportementaux économiques ou sociaux d'où peuvent émerger des *chocs exogènes*. Le *modèle prédictif* de la

types d'*organes* : physiologiques, techniques et sociaux. La relation est transductive dans la mesure où la variation d'un terme d'un type engage toujours la variation des termes des deux autres types. »

ville est alors basé sur des hypothèses d'un vieillissement de l'environnement construit selon une évolution *statistiquement déterministe, séquentielle* et sur la base d'une *information récursive limitée*. Chacun des composants constituant la Ville possède une fonctionnalité spécifique pour répondre à un usage souhaité et considéré comme pérenne.

Certes, la technologie numérique intervient pour stocker des informations en continu, les mettre à la disposition des agents, mais il s'agit toujours de mesures objectives menant à un traitement des *mégadonnées (big data)* selon une méthode jugée trop rapidement comme *scientifique*. On demeure dans le tableau de bord de la situation : au moyen de capteurs d'occupation d'emplacement de parkings en centre-ville, on cherchera à en optimiser le taux d'occupation, avec en variante optionnelle l'application d'une politique tarifaire permettant d'inciter les agents à changer de comportement.

On qualifiera de *mécaniste* un tel pilotage de la ville : les réponses rationnelles sont inscrites dans des réponses préprogrammées selon les valeurs indiquées par le nombre de places physiquement disponibles. L'expert spécialisé (*data scientist*) - crédité d'une fiabilité qui n'est pas démontrée, ni falsifiable, par l'expérimentation ainsi entreprise - aura déterminé *ex ante* les solutions elles-mêmes commandées par un taux de remplissage optimal physique sans remettre en cause les effets de la mise à disposition de parkings en centre-ville sur la croissance de la motorisation individuelle, par exemple. D'autre part, un tel outil fonctionne dans une *boucle d'équilibre stationnaire* qui écarte d'emblée une perspective de mutation dynamique du transport urbain vers des solutions écologiquement plus satisfaisantes du point de vue de la transition énergétique et des mesures de lutte contre le dérèglement climatique ainsi que de renforcement de la résilience face à ses effets.

Le chantier de recherche sur l'observation du vieillissement et l'étude des évolutions d'usages des *smart cities* est encore largement à explorer et la conjonction des modèles prédictifs statistiques et des algorithmes ou réseaux neuronaux pour aider à la décision (Breiman, 2001)⁵⁹⁰, avec la sociologie appuyée sur des statistiques très sophistiquées sur de petits échantillons, devrait permettre de ne plus opposer corrélation frustrante (méthode inductive à partir de *big data* sur des données non structurées et dont la fiabilité – complétude et exactitude - est souvent remise en cause) à causalité hypothético-déductive sur de petits échantillons (incomplète) (Daas et Puts, 2014)⁵⁹¹ pour approcher la complexité urbaine. En

⁵⁹⁰ Breiman, L. (2001). Statistical modeling: The two cultures (with comments and a rejoinder by the author). *Statistical science*, 16(3), 199-231.

⁵⁹¹ Daas, P., & Puts, M. (2014). Big data as a source of statistical information. *The Survey Statistician*, 69(1), 22-31.

ce sens, des boucles lacunaires de décision par isolement et le découplage de la captation, de l'extraction et de l'analyse de données entre l'approche normative - ex ante - et l'approche positive - ex post – mèneront à une défaillance du *Système de gestion d'actifs physiques* (Figure 5.14) (Foucault, J.-P. et Moulier Boutang, 2015)⁵⁹².

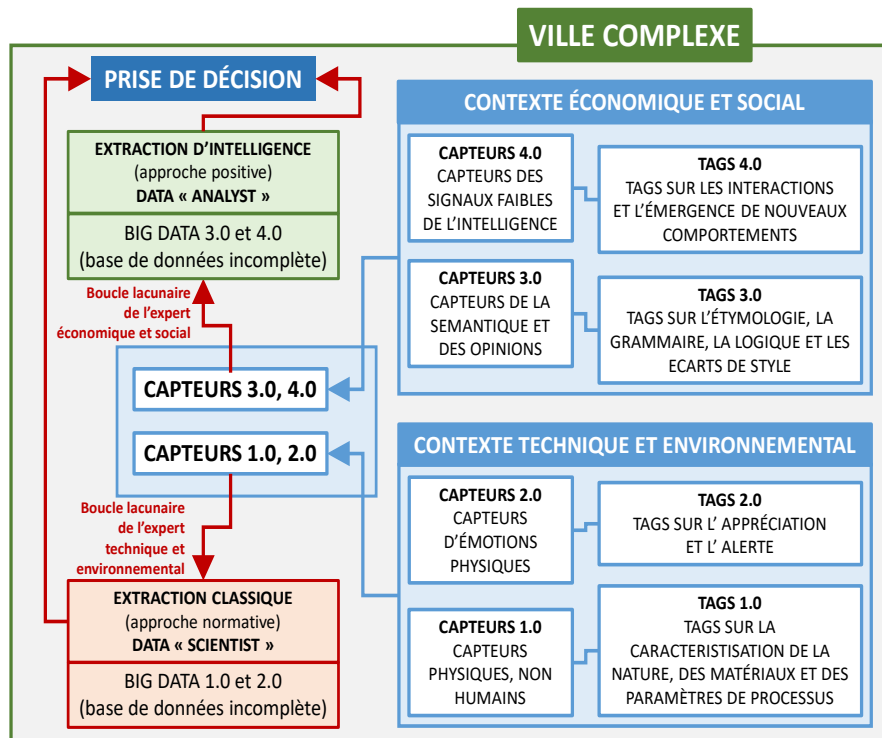


Figure 5.14 : Schéma du Modèle défaillant de la « Smart City ».

Ainsi, il est nécessaire de compléter le *bilan financier* d'une organisation « ville » par une inscription des informations et des connaissances issues de la mise en place d'outils comme le *Schéma directeur* et son *Plan pluriannuel de projets d'investissement* ainsi que le *Plan de maintenance courante (corrective et préventive)*, afin d'accompagner le décideur. Sa lutte contre l'entropie du système, à toutes les échelles, incluant celle de la planète, par des actions de néguentropie, en découleront : des actions de maintenance courante (OPEX) et de maintien d'actifs par remplacement de composants et systèmes techniques ou par le renouvellement des usages (CAPEX).

⁵⁹² Foucault, J.-P., Moulier Boutang, Y. (2015). Towards economic and social "sensors": condition and model of governance and decision-making for an organological smart city. *IET Conference Proceedings, 2015*, p. 7.-7., DOI: 10.1049/cp.2015.0262

En somme, la *valeur d'usage* est alors vue comme intégratrice de la conception originelle de l'architecte, et de ses ingénieurs spécialisés, ainsi que de l'évolution des usages en dynamique, influencée par les aspects économiques et sociaux au sein des organisations publiques (pays, collectivités territoriales et locales, etc.) afin d'éviter les défaillances d'évaluation de la *valeur d'usage* et, par conséquent, de la prise de décision.

5.9 Conclusion

Vers quels modèles et procédés doivent s'orienter l'évaluation de la valeur d'usage et ses caractérisations ? Comment obtenir une intégration adaptative de l'évolution des usages, des fonctions et des fonctionnalités pour affiner la décision ? Quel modèle pour une *Smart City-organologique* afin de garantir le meilleur alignement possible des décisions ?

La *Smart City-mécaniste* génère une optimisation autour de l'objet qui a beaucoup de mal à tenir compte des phénomènes endogènes comme exogènes sur lesquels on ne peut pas effectuer un calcul statistique de risques : des phénomènes « incertain-certain ». Des risques qui se transforment en *incertitude pure* qui néanmoins s'avèrent d'autant plus possibles que le degré de complexité s'accroît : des phénomènes « incertain-incertain ». Ce sont les « cygnes noirs » (*Black swan*), qui sont des phénomènes imprévus et imprévisibles en termes de calcul de probabilité (Taleb, 2007)⁵⁹³.

Le problème de la gouvernance urbaine ne se limite plus en ce cas à évaluer le risque objectif mesuré par des capteurs physiques qui peuvent entraîner la prise de décision quasi automatique, mais à rendre les différents types d'agents moins fragiles à la survenue possible d'un « cygne noir » (Taleb, 2010)⁵⁹⁴. Ainsi le nombre de bouches à incendies et d'extincteurs peut donner lieu à un capteur physique, la vérification de leur état à distance ou par tests réguliers est un capteur 2.0, mais tout signal faible de la confiance ou de la défiance entre les équipes chargées de la sécurité ou de la maintenance est un capteur 3.0 (Figure 5.14). Tandis que les éléments qui traduisent un fort degré d'échanges et de discussions au sein des équipes, ou entre elles, sont un capteur 4.0.

⁵⁹³ Taleb, N. N. (2007). *The black swan: The impact of the highly improbable* (Vol. 2). Random house.

⁵⁹⁴ Taleb, N. N. (2010). Antifragility, Robustness, and Fragility, Inside the 'Black Swan' Domain. *SSRN Electron. J.*

Or, dans la gestion des « catastrophes » comme dans leur prévention, la résilience des organisations collectives est décisive (Bourrier, 1998)⁵⁹⁵. La ville relève de l'incertitude et pas simplement du risque calculable pour reprendre la distinction de F.H. Knight (Knight, 1921)⁵⁹⁶. Comment traduire cela concrètement ? On se sert de capteurs physiques bien entendus qui servent à signaler (c'est-à-dire sélectionner et juger) de façon explicite et directe une situation, sur un actif physique, une perception ; mais ils ne suffisent pas : il faut aussi intégrer un signalement « implicite et indirect » qui incorpore un jugement intelligent. En effet, l'ensemble des appartenances culturelles, des affiliations sociales et des relations économiques retrouvées au sein d'une ville unissent les agents et génèrent des interdépendances qui rajoutent un degré supplémentaire à la complexité de la prise de décision.

En ce sens, pour gérer au mieux les conséquences d'une asymétrie d'information entre les décideurs et les agents, le modèle de gouvernance et de décision qui permet une *régulation* doit reposer tant sur le taggage *explicite et direct* que sur le taggage *implicite et indirect*. Cela permet de passer d'un mode de gouvernance et de décision par la *réglementation* à un mode, par la *régulation* en identifiant les incitations « techniques », « économiques » et « sociales » adéquates afin de trouver un équilibre nouveau basé sur le tableau d'ensemble que dessinent les représentations de mégadonnées (*big data*). On passe aussi d'une conformité statique à des règles, préalablement définies par une politique ou par un acte de gestion, à une adaptation dynamique reposant sur la normativité dynamique émergeant de l'interaction des parties prenantes.

Il est important de noter que la notion d'incitation proposée n'est pas exclusivement celle retrouvée de manière classique dans la littérature et qui signifie que le *décideur* mettra en place une politique ou une réglementation pour provoquer un comportement souhaitable des agents (*top down*). L'incitation devient bidirectionnelle (*top down et bottom up*). En plus de l'observation de l'expression des besoins explicites, des informations ascendantes permettent l'intégration, la déduction et la mise en forme de la carte des préférences implicites des agents, à partir de retours de la connaissance de l'échelle micro des activités dans la ville. Ainsi, une incitation ascendante se constitue et complète la réponse par la *régulation*. Cela apporte une correction a posteriori de l'observation de l'expression des besoins bidirectionnels.

⁵⁹⁵ Bourrier, M. (1998). *Le nucléaire à l'épreuve de l'organisation*. FeniXX.

⁵⁹⁶ Knight, Franck H. (1921). *Risk, Uncertainty, and Profit*. Boston, MA : Hart, Schaffner & Marx ; Houghton Mifflin Co.

Il faut également tenir compte de ce que l'arbitrage entre les préférences et les choix exprimés par les différents types d'agents ne relèvent pas simplement d'un calcul de risque traditionnel. La *probabilité d'occurrence*, issue de mesures et de statistiques, devient une *vraisemblance*, issue du raisonnement déductif sur ce qui peut advenir. Au royaume de la décision dans un univers complexe, pour tout ce qui ne relève pas d'un pilotage automatique nous pouvons avoir affaire le plus souvent à l'émergence de distributions bipolaires non gaussiennes, ce que N.N. Taleb nomme le « pays de l'Extrémistan » et non plus du « Médiocristan ». C'est en particulier le cas lorsqu'il y a conflit d'intérêts contraires entre les parties prenantes. L'utilisation de *capteurs économiques et sociaux* devient une évidence pour construire des ensembles de données nouvelles. Elle permet l'émergence d'une meilleure cohérence et d'un alignement plus étroit entre les volontés et responsabilités économiques et sociales, dans une boucle de décisions vertueuses qui vise à créer une harmonie et un métabolisme constamment renouvelés (Kaplan et Norton, 2005)⁵⁹⁷.

En ce sens, il est essentiel de prendre en compte les facteurs de complexification du modèle de gouvernance et de décision (Foucault, J.-P. et Moulrier Boutang, 2015)⁵⁹⁸ :

- ceux de la transmission à toutes les échelles (macro : stratégique ; méso : tactique ; et micro : opérationnelle) de la connaissance de l'état de la ville à partir d'une *morphologie*, d'une *anatomie* et d'une *physiologie* organisationnelle spécifique et sous tous ses paramètres et indicateurs en mode bidirectionnel (*top down – bottom up*) (Figure 5.12) et (Figure 5.15) ;
- celui de l'harmonie et du métabolisme souhaités ou nécessaires de la décision en intertemporel (Foucault et Leclerc, 2003)⁵⁹⁹ qui devraient tenir compte des nouvelles tendances culturelles et sociales ainsi que de l'émergence d'innovation (Figure 5.8).

⁵⁹⁷ Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (2005). The balanced scorecard: measures that drive performance. *Harvard business review*, 83(7), 172.

⁵⁹⁸ Foucault, J.-P., Moulrier Boutang, Y. (2015). Towards economic and social "sensors": condition and model of governance and decision-making for an organological smart city. *IET Conference Proceedings, 2015*, p. 7.-7., DOI: 10.1049/cp.2015.0262

⁵⁹⁹ Foucault, J.-P. et Leclerc, G. (2003). *Le tableau de bord MAESTRO pour la gestion des installations*. Presses internationales polytechniques. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00954290>

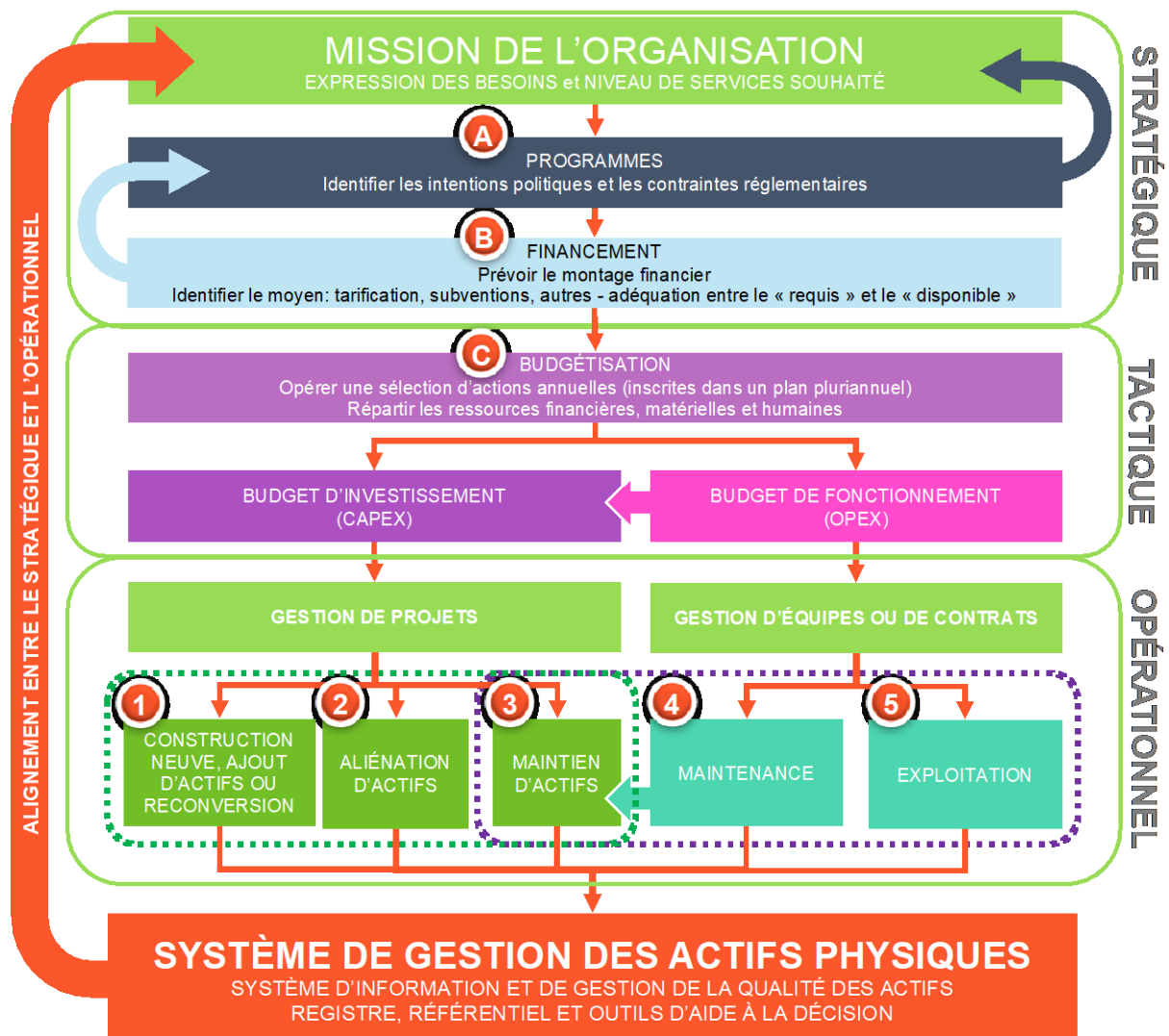


Figure 5.15 : Schéma du métabolisme par la dynamique des flux d'activités d'une organisation de gestion des actifs physiques.

La confrontation de l'usage des actifs physiques à cette trajectoire à *rationalité limitée* - particulièrement parce que l'information est le plus souvent incomplète et chère à obtenir ou à traiter - conduit généralement à proposer une prise de décision et une gouvernance par *anticipation adaptative* qui se contente d'un critère de *satisficing* et non plus d'optimisation classique d'un seul paramètre (Simon, 1956)⁶⁰⁰. Ainsi, la *Smart City-mécaniste* se transforme

⁶⁰⁰ Simon, H. A. (1956). Rational choice and the structure of the environment. *Psychological Review*, 63(2). 129–138. <https://doi.org/10.1037/h0042769>.

en *Smart City-organologique* (Figure 5.16). Notre modèle capte les *signaux faibles* émis par les préférences des agents dans la ville (Foucault, J.-P. et Moulier Boutang, 2015)⁶⁰¹.

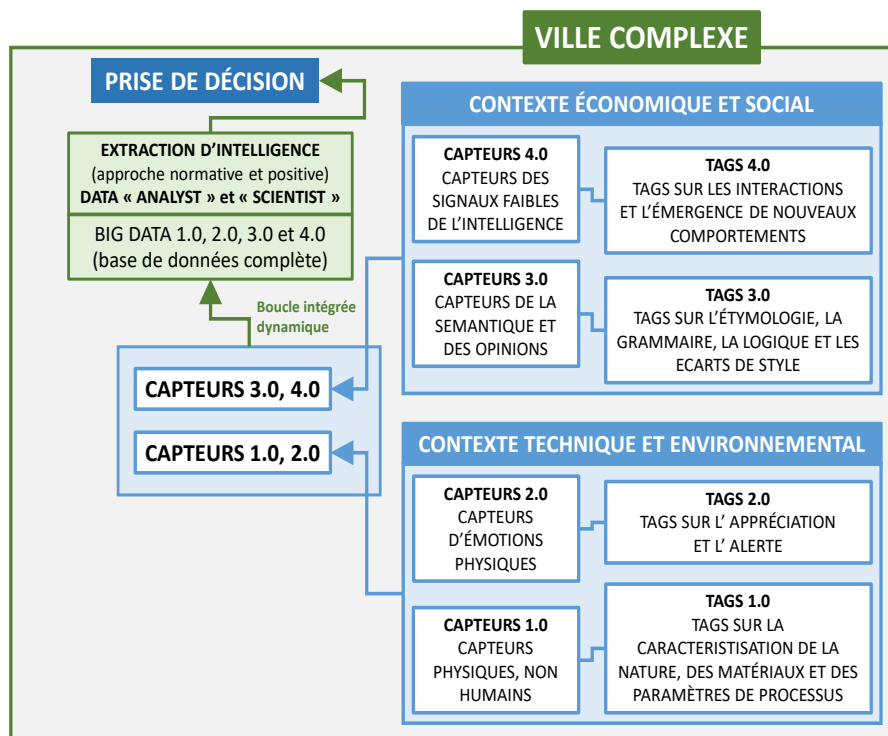


Figure 5.16 : Modèle « *Smart City-organologique* » : boucle intégrée des approches normatives - ex ante - et positives - ex post - de la captation, de l'extraction et de l'analyse de données.

Ainsi, les problématiques liées à la *valeur d'usage* d'un bâtiment s'inscrivent d'abord dans l'écosystème organisationnel dont la fonction première est de coordonner les décisions et les actions, au sein d'un *système de gestion d'actifs*, visant la programmation, la conception, la construction, l'exploitation, la maintenance et le maintien par remplacement et renouvellement des actifs physiques. Les grandes classes de paramètres qui influencent une organisation urbaine dans la sélection et les choix de ses décisions et actions se dressent autour de :

- La prise en compte de la santé et de la sécurité des usagers (travailleurs et des visiteurs) ;

⁶⁰¹ Foucault, J.-P., Moulier-Boutang, Y. (2015). Towards economic and social "sensors": condition and model of governance and decision-making for an organological smart city. *IET Conference Proceedings, 2015*, p. 7.-7., DOI: 10.1049/cp.2015.0262

- L'évaluation de l'adéquation des *ambiances* (qualité des lieux fréquentés) par la prise en compte des critères de conception ;
- La capacité de l'organisation à maintenir disponibles les procédés, les espaces et leurs ambiances (qualité des services offerts) au niveau souhaité de fiabilité et de robustesse ;
- La tenue de registres et d'inventaires (physiques et de besoins en travaux) permettant la traçabilité de l'information ;
- L'évaluation du risque, de sa maîtrise et de sa gestion et de la mise en place de plans d'urgence, de crise ou de résilience ;
- La mesure des effets sur l'écologie, le climat, l'énergie et l'aspect social ;
- L'anticipation de la pérennité des actifs physiques, par une forme de dialectique, du *cycle de vie de la gouvernance*, avec le *cycle de vie des utilisations*, avec leurs anticipations générationnelles et le *cycle de vie des fonctionnalités* (assemblages de matériaux, composants, systèmes techniques et technologiques, etc.) (Figure 5.4).

Enfin, le cadre conceptuel et épistémologique présenté, tant sur le plan historique du *Capital humain*, du *Capital naturel* et du *Capital productif* que sur le contour strictement géographique et physique d'une ville et de ses actifs physiques contemporains, vise à élaborer et mettre en application un modèle et procédé afin de résoudre certains aspects des *modèles mécanistes* actuellement utilisés.

Au chapitre 6, le modèle PACKiT (*Process on Asset for Criticality and Knowledge by Inspection and Testimonies*) (cf. note 497, p. 182) est présenté et décrit. Et au chapitre 7, l'application du modèle est réalisée sur un parc de 226 écoles du territoire urbain de Montréal au Canada. Par l'application du modèle et procédé PACKiT sur ce portefeuille immobilier d'écoles existantes, nous testerons trois hypothèses fondamentales qui exercent une influence sur la *valeur d'usage* :

H₄ : La méthode de dépréciation comptable linéaire est insuffisante pour identifier la juste dotation nécessaire aux amortissements et ainsi identifier la perte de valeur d'usage pour garantir le renouvellement et de remplacement des actifs physiques.

H₅ : L'indice de vétusté physique (IVP) et les caractérisations du maintien d'actifs à 5 ans (MA5) permettent de créer un référentiel pour suivre chaque bâtiment et le comparer aux autres, afin de mieux anticiper le financement et la répartition des ressources budgétaires.

H₆ : L'analyse des besoins en travaux à réaliser, en prenant en compte les caractéristiques (*ce que nous devrions faire*) pour ramener la valeur d'usage à 100%, permet de hiérarchiser les travaux dans un contexte de contraintes budgétaires (*ce que nous sommes en mesure de faire*).

CHAPITRE 6 LE MODÈLE ET PROCÉDÉ PACKIT D'ALIGNEMENT DES DÉCISIONS ET DES ACTIONS PAR LA VALEUR D'USAGE

6.1 Introduction

Ce chapitre présente une approche, un modèle et un procédé afin d'améliorer la compréhension du *métabolisme* d'une organisation et de sa gestion des actifs physiques (capital fixe) par l'observation de sa *morphologie*, son *anatomie* et sa *physiologie*. Ce processus d'observation biomimétique permet d'améliorer les actions à mettre en place.

En somme, par l'analyse de la *valeur d'usage* et de la caractérisation des effets des décisions, le modèle et procédé PACKiT vise à garantir une forme d'homéostasie des activités de l'organisation par l'architecture et l'ingénierie immobilière (Foucault, J.-P., 2018)⁶⁰².

L'état de santé d'un parc d'actifs physiques, les biens construits, peu importe la typologie, est ainsi l'un des facteurs qui déterminent la *valeur d'usage* et la *perte de valeur d'usage* des actifs. Toutefois, la caractérisation de l'état de santé est multifactorielle, comme les critères de décisions qui en découlent. Aussi, l'observation des cycles de vie des matériaux et des assemblages de matériaux (systèmes techniques), des utilisations, des usages et de leurs évolutions (systèmes fonctionnels) ainsi que la gouvernance et les orientations qui en découlent (systèmes décisionnels) influence la durée de vie des bâtiments et la *valeur d'usage*. De ce fait, entre autres facteurs prépondérants, l'évaluation du *risque* et la compréhension de l'*aversion aux risques* des décideurs deviennent nécessaires.

Pour toutes les organisations, un éventuel objectif de minimisation des dépenses de fonctionnement ou d'investissement ne doit pas compromettre l'adéquation de la qualité des usages - niveaux de services souhaités - et la mission de l'organisation. En fait, cela signifie qu'à tout moment de la vie utile d'un bâtiment, lors d'un « arrêt sur image », un alignement doit apparaître entre le cycle de vie des fonctionnalités des actifs physiques - pour garantir les ambiances -, le cycle de vie des utilisations et le cycle de vie des décisions et de la gouvernance organisationnelles.

La *gestion d'actifs physiques* consiste principalement à ce que la coordination des actions et des outils (Annexe A) permet d'assurer que les investissements requis pour le

⁶⁰² Foucault, J.-P. (2018). Métabolisme, flexibilité et maintien des actifs immobiliers hospitaliers : méthode d'audit et modèle PACKiT. Dans F. Langevin (dir.), *Architecture et ingénierie à l'hôpital : Le défi de l'avenir* (199-211). Presses de l'EHESP.

renouvellement de composants du bâtiment soient planifiés et suivis par un *système de gestion d'actifs*.

La constitution d'un fonds de réserve financière est la voie la plus simple pour éviter les aléas. Mais dans les faits, la détermination du niveau d'effort financier à consentir est complexe, à évaluer dans un contexte de diversité des vieillissements de bâtiments construits à des époques différentes, d'usages variés et de densités occupationnelles fluctuantes. Pour des raisons de liquidité immédiate souvent restreinte, la plupart des organisations n'anticipent le financement de leurs projets que sur un horizon temporel très court d'un an et de trois ans dans le meilleur des cas.

Ainsi, la revue des approches d'évaluation de l'état de santé et des besoins en travaux associés pour programmer des priorités mène à synthétiser le tout en deux grandes classes de modèles, auxquelles d'autres se rattachent :

- Celle relevant de l'analyse de données issues de capteurs (et détecteurs) identifiant le dépassement inadéquat d'un seuil technique par fonction du bâtiment (*Condition-based & Threshold-based*) ;
- Celle relevant de l'analyse de données liées au suivi de l'attribut de durées de vie théoriques prédéfinies par composant du bâtiment (*Age-based & Cost-based*).

Les autres modèles qui s'y rattachent selon les situations d'audit relèvent des approches basées sur :

- i) la performance des composants et des systèmes techniques en matière de paramètres de résultats (*output* avec faits et preuves) en tenant compte en partie de la liaison avec l'usage (*Performance-based and evidence-based*),
- ii) le risque attribué aux composants et aux systèmes du quotidien, ceux relevant d'action de maintenance courante, soit environ 30 % des composants d'un bâtiment (*Risk-based*),
- iii) le cycle de vie technique des composants et systèmes et l'inscription dans un calendrier budgétaire établi (*Lifecycle-based and lifecycle-driven & budget-driven*).

La principale critique de ces modèles, c'est qu'ils sont essentiellement conçus autour d'une appréciation purement quantitative et normative de capteurs (capteurs 1.0 et capteurs 2.0) issus du *contexte technique et environnemental*. Des aspects issus du *contexte économique et social* (capteurs 3.0 et capteurs 4.0), tels que la sécurité, la conformité à la législation, la qualité

d'usage, la qualité des ambiances, l'emplacement, la flexibilité, les risques de panne et leurs conséquences sur l'usage, jouent un rôle important dans la prise de décision, mais sont habituellement souvent exclus du champ d'application de ces modèles ou inclus seulement partiellement (Figure 5.14).

Par conséquent, l'un des apports majeurs de la présente thèse est de proposer un modèle pouvant s'inscrire dans une *troisième classe de modèles* basée sur :

- i) la *valeur d'usage (value-based)*,
- ii) la *connaissance* pour la caractérisation des composants notamment par les équipes responsables des actifs physiques lors d'un processus itératif d'élicitation afin de limiter les biais cognitifs (*knowledge-based*),
- iii) l'*éthique conséquentialiste* qui vise à appréhender la conséquence principale pour l'organisation «de ne rien faire», sous la forme de caractérisation de l'impact, de l'intensité de l'impact et de la vraisemblance d'apparition de l'impact (*consequentialist-based ethic*),
- iv) la *confiance* permettant la capacité à expliquer les décisions et actions. Cette confiance passe par l'utilisation d'un tiers de confiance (personne physique et outils du numérique), qui garantit la qualité des données et des analyses qui en découlent ainsi que la cohérence, robustesse, fiabilité, démontrabilité, intelligibilité du modèle et de son procédé (*trust-based*).

Il est important de noter que les premières recherches scientifiques sur le sujet de l'*approche basée sur la valeur* pour la gestion d'actifs physiques remontent à environ 2015, l'année suivant la première édition de la norme ISO 55000 (Hastings, 2015)⁶⁰³. Et les articles scientifiques sont, depuis, très peu nombreux, et oscillent entre l'aspect technique et l'aspect économique sans une liaison entre ces deux aspects et les autres facteurs d'influences. Le consensus entre experts reste à trouver.

Ainsi, le modèle PACKiT (*Process on Asset for Criticality and Knowledge by Inspections and Testimonies*) est un métaprocédé visant la fiabilité des données conformément aux enjeux de la gestion des actifs d'une organisation. Il donne une vue et un panorama d'ensemble d'une organisation et de ses actifs physiques pour rassembler les équipes autour de

⁶⁰³ Hastings, N. A. J. (2015). *Physical asset management: With an introduction to ISO55000*. Springer.

décisions éclairées ayant un impact immédiat, tout en impulsant une stratégie de long terme à l'égard de la qualité de l'information souhaitée ainsi que de l'amélioration continue souhaitable.

Le PACKiT vise à ce que l'organisation puisse « réconcilier le changement et la continuité » (Mintzberg, 1987)⁶⁰⁴. Il s'agit de prendre en considération le changement de la raison d'être de l'organisation en fonction du contexte (rôles et missions, économie et financement, vétusté et réglementation) ainsi que la nécessité de continuer les actions pour les usagers au sein des actifs physiques. Ainsi, la *planification stratégique* devient l'*apprentissage stratégique*. Parmi les objectifs saillants, il s'agit de :

- Capturer et traiter l'information distillée dans tous les organes de l'organisation et ainsi générer une aide à la décision ;
- Générer un portefeuille de projets d'investissement en maintien d'actifs (ou *Plan de maintien des actifs* ou *Plan pluriannuel* de projets) ;
- En déduire, par adossement et par un audit complémentaire, un *Plan de maintenance* courante corrective et préventive - visant à maintenir les *ambiances* à leur meilleur niveau de performance ;
- Produire un *Plan d'investissement pluriannuel* qui inclut les aliénations et les constructions neuves, par exemple ;
- Permettre un alignement, une régulation et un arbitrage économiques de ces projets afin de permettre à l'organisation de continuer à assurer sa mission dans les conditions souhaitées ;
- Mettre en place et suivre un modèle récursif d'amélioration continue.

L'objectif ultime de l'utilisation du modèle PACKiT est d'améliorer la prise de décision afin de garantir la valeur d'usage adéquate des actifs physiques d'une organisation, à un moment donné en permettant d'étirer le cycle de vie et réduire la morbidité des actifs physiques - réduire la vétusté et l'obsolescence.

Pour bien comprendre la démarche collaborative suivie, il s'agit de faire l'analogie entre l'évaluation de l'état de santé d'une personne, auscultée par un médecin généraliste, et l'évaluation de l'état de santé d'un parc d'actifs physiques, ausculté par un méta-auditeur formé.

Lors de l'auscultation, le médecin interroge son patient sur son hérédité (type de conception et de construction d'origine de l'actif physique), sur ses bonnes et moins bonnes

⁶⁰⁴ Mintzberg, H. (1987). *Crafting strategy* (pp. 66-75). Boston, MA : Harvard Business School Press.

habitudes (niveau d'effort consenti en maintenance régulière, en mise en conformité et en maintien des actifs physiques par renouvellement) ainsi que sur son mode de vie et son niveau de stress (sollicitations endogènes par les usages plus ou moins importants et fréquents ainsi que les différentes sollicitations exogènes comme le degré d'impacts de l'environnement sur les actifs). Il y a un donc à la fois une *inspection* sur le site des bâtiments et un *processus itératif d'élicitation* avec toutes les personnes clés de l'organisation afin de caractériser l'état de la situation sous la forme de divers capteurs (paramètres) et leurs étiquettes (tags) (indices et indicateurs).

Dans le cas où le seuil critique de certains indicateurs de base (pression, taux de cholestérol, poids, etc.) est dépassé et qu'un risque de défaillances élevé est identifié, le médecin recommande au patient, soit des mesures simples pour redresser la situation, soit des mesures plus complexes, soit des auscultations supplémentaires plus spécialisées pour obtenir un diagnostic précis de la situation et des mesures à prendre. C'est exactement la même approche qui est suivie par le PACKiT.

La nécessité d'une *précision* et d'un *détail* fin vient seulement après un diagnostic préliminaire simple, mais complet. En termes de *fiabilité de l'information*, la recherche de la *complétude* devient prioritaire par rapport à la recherche de l'*exactitude*. L'*exactitude* viendra de la nécessité d'auscultations supplémentaires pour comprendre les problématiques, de réaliser un projet d'investissement qui nécessite plus de détails ou de la répétition, dans le temps, des audits.

Enfin, le modèle PACKiT et ses outils sont basés sur une gestion de la connaissance - les faits et *performances*, les *seuils* et *cibles*, les *coûts* et *cycles de vie*, les *risques* et la *criticité*, et autres - afin de garantir le meilleur alignement entre la raison d'être d'une organisation et sa valeur globale.

Cela constitue un véritable système de management de la qualité et un authentique référentiel de performance de l'exploitation d'un parc d'actifs physiques. Il s'alimente par la captation et le suivi d'attributs (*tag*) en lien avec la *rupture d'usage*, comme le *risque* « *de ne rien faire* » (éthique conséquentialiste), la *nature des travaux* à réaliser (OPEX ou CAPEX), les *intentions politiques* et les *contraintes réglementaires*, les *sources de financement* (incluant le budget) et le *délai avant que l'intervention* soit nécessaire dans un *horizon raisonnablement prévisible de cinq ans*. En somme, il y a une couverture de tous les aspects des besoins liés à la *vétusté*, à la *réglementation* et aux *adaptations fonctionnelles*.

L'évaluation de l'état de santé par l'entremise du PACKiT est un aspect central de l'évaluation et du soutien à la politique de la ville en matière de gestion d'actifs. Mais elle n'est pas exclusive et ne régit pas la politique. Elle l'inspire. C'est une aide à la décision.

6.2 Champ d'application

L'audit PACKiT des actifs physiques peut être appliqué à tous les biens construits (capital fixe), y compris les infrastructures urbaines (routes, éclairage urbain, réseaux enfouis, etc.) ou les infrastructures industrielles.

Cette méthode est aussi bien adaptée à l'échelle d'un composant, d'un système technique, de l'ensemble d'un bâtiment qu'à l'échelle d'un parc de bâtiments. Elle offre une méthodologie d'enquête spécifique pour évaluer et enregistrer les besoins en maintien de la valeur d'usage des actifs physiques d'une organisation provenant des affectations et occupations des lieux, de pannes, défaillances, défauts et bris, présents (correctifs) et à venir (préventifs), qui peuvent être constatés par tous les moyens nécessaires ou obtenus de sources diverses (Annexe A).

L'évaluation de l'état de santé d'un actif physique, de ses composants et de ses systèmes techniques est basée sur un processus itératif d'élicitation – par entretiens individuels, groupes de discussion, questionnaires de sondage et d'enquête, observations et inspections non destructives, études de cas, brainstorming, etc. - visant à identifier les aspects quantitatifs et qualitatifs pour la formulation de « ce qu'il faudrait faire » comme travaux : ce sont les besoins en maintien d'actifs (BMA). Le résultat de démontage, d'échantillonnage et de forage de trous d'inspection peut être inclus dans l'audit.

Les niveaux de détail (*LOD : Level Of Detail*) et d'information (*LOI : Level Of Information*) ne doivent pas être trop exhaustifs, ils doivent être d'une fiabilité conforme aux enjeux de l'organisation avec une attention particulière à la *complétude* des données plutôt que l'*exactitude*. Par exemple, le modèle de classification des composants d'un bâtiment doit être une nomenclature permettant les synthèses (Annexe B).

L'objectif de la suite de ce chapitre est de présenter la méthodologie pour le modèle et procédé PACKiT dont voici les objectifs spécifiques :

- Assurer l'uniformité, l'objectivité et reproductibilité de l'audit ;
- Fournir une structure de classification des composants et des usages (Annexe B) ;
- Fournir un aperçu de l'état de santé qui est reproductible par des campagnes successives ;

- Fournir des données d'entrées basées sur des faits, des preuves ou des processus itératifs démarches d'élicitation étoffées pour éviter les biais cognitifs (Annexe A) ;
- Satisfaire à la réglementation et aux exigences de politiques internes à l'organisation ;
- Résorber la vétusté ;
- Réduire les dépenses énergétiques (sobriété) et la production de pollution (CO₂) ;
- Produire le Plan d'action et mettre en priorité les investissements (CAPEX). Partir de « ce qu'il faudrait faire » (coût de l'ensemble des besoins en maintien d'actifs) et établir « ce que l'on peut faire » (capacité à payer) ;
- Lorsque requis, optimiser l'utilisation des locaux (occupations/usages) ;
- Lorsque requis, produire un Plan de maintenance régulière (OPEX) ;
- Communiquer et rendre des comptes sur l'état réel par rapport à l'état souhaité ;
- Rechercher de nouvelles sources de financement ou cofinancement ;
- Fournir une méthode pour établir des plans d'action et évaluer le fonctionnement de la gestion des actifs physiques à différentes échelles de l'organisation (multi-échelle), pour différents sites (multisites) et pour différentes typologies d'actifs (école, hôtel de ville, hôpital, etc.).

L'audit et les informations contenues dans le rapport final doivent être appuyés sur des preuves et faits, quantitatifs ou qualitatifs, pour que l'aide à la décision soit riche en scénarios alternatifs possibles, pour le court, moyen et long terme, en fonction de la conjoncture organisationnelle. Il aboutit à, d'une part, un classement de l'indice de vétusté physique (IVP) qui intègre l'ensemble des besoins en travaux pour limiter la dégradation ou améliorer la valeur d'usage. Et d'autre part, lorsque requis, il aboutit au classement sous l'aspect occupationnel (taux temporel et taux surfacique) et sous l'aspect de l'appréciation des usages (fonctions adéquates) des locaux des bâtiments afin de déterminer ceux dont on doit se départir et ceux dont l'utilisation doit être revue.

6.3 Références normatives

Le modèle et procédé PACKiT est compatible avec les normes actuelles dans le domaine des actifs physiques, des biens construits (bâtiments et infrastructures), du *facility management* de la maintenance, de classifications liées aux BIMs. Plus spécifiquement, il a été élaboré à partir des références normatives suivantes :

- ASTM E3035 – 15 (2020),
- ASTM E1557-09 (2020),
- FD X60-000 (2016),
- FD X60-012 (2006),
- FD X60-212 (2006),
- ISO 15686-1 (2011),
- ISO 15686-2 (2012),
- ISO 15686-3 (2002),
- ISO 15686-5 (2008),
- ISO 15686-9 (2008),
- ISO 17021-5 (2014),
- ISO 31000 (2018),
- ISO 55000 (2014),
- ISO 55001 (2014),
- ISO 55002 (2018),
- ISO 6707-1 (2004),
- NF EN 13306 (2018),
- NF EN 13460 (2009),
- NF EN 15221-1 (2006),
- NF EN 15221-2 (2006),
- NF EN 15221-3 (2011),

- NF EN 15221-4 (2012),
- NF EN 15221-5 (2012),
- NF EN 15221-6 (2012),
- NF EN 15221-7 (2012),
- NF EN 15331 (2011),
- NF EN 15341 (2007),
- NF EN 17007 (2017).

6.4 Thésaurus de descripteurs techniques : terminologie et définitions

Aux fins d'utilisation du modèle et procédé PACKiT, les termes et définitions ci-dessous s'appliquent. Ils sont présentés dans un ordre séquentiel logique plutôt que de manière alphabétique. À titre complémentaire, l'ISO et la CEI tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées aux liens suivants :

- CEI Electropedia : <http://www.electropedia.org>
- ISO : <https://www.iso.org/obp>

6.4.1 Maître d'ouvrage

Toute organisation (personne morale) ou son représentant (personne physique) qui sont légalement responsables d'un portefeuille d'actifs physiques (bâtiments ou infrastructures). Les concessionnaires ou les contractants d'un PPP sont réputés comme maîtres d'ouvrages (ou propriétaires) tout au long de leur contrat, dans la limite des responsabilités qui leur sont conférées. Les propriétaires peuvent demander d'inclure le parc d'actifs physiques dont ils sont locataires pour compléter la vue d'ensemble du portefeuille sous leur responsabilité.

6.4.2 Actif physique

Bien tangible construit (capital fixe) - c'est-à-dire un élément, composant, mécanisme, sous-système, unité fonctionnelle, équipement ou système - qui peut être décrit et considéré individuellement et ayant une valeur potentielle ou réelle pour une organisation. Des exemples

d'actifs physiques sont des matériels, des machines, des usines, des bâtiments, des infrastructures, etc.

6.4.3 Usage

Action de mise en activité effective d'espaces ou de procédés d'un actif physique, selon les ambiances requises au moment de la conception originelle. Cette destination d'un actif physique vise à répondre et satisfaire à un besoin identifié par une organisation, en lien avec la raison d'être, la mission et le niveau de services souhaité, pour ses usagers (Note)⁶⁰⁵.

6.4.4 Fonctionnalité

Caractère technique et technologique d'un composant ou de systèmes (architecturaux, mécaniques, électriques, etc.) à concevoir, construire et maintenir, servant de support aux usages par les ambiances.

6.4.5 Sobriété

Recherche de la modération, de la réserve et de l'arbitrage dans le choix de fonctionnalités adaptées pour les actifs physiques. Selon le besoin, les fonctionnalités peuvent être à inertie forte (*low-tech*) ou à acuité technologique élevée (*high-tech*).

6.4.6 Fonction

Liaison ou relation fonctionnelle entre l'usage et les fonctionnalités.

6.4.7 Ambiance

Ensemble des propriétés et conditions d'un espace, d'un local, d'un lieu de manière à satisfaire un usager.

⁶⁰⁵ Ici, nous faisons la distinction entre le terme utilisation, qui est l'action d'employer utilement les espaces dans un bâtiment, et le terme usage, qui signifie l'action de mise en activité effective d'espaces ou de procédés. L'usage est ainsi une action antérieure et supérieure à l'utilisation. Il est la jauge du nouage adéquat de tous les aspects du nœud borroméen écologique (Figure 5.1)

6.4.8 Valeur d'usage (VU)

La valeur d'usage est égale à la valeur actuelle de remplacement. Elle nécessite une estimation de son coût, à une année donnée.

6.4.8.1 Valeur d'usage initiale

Prix moyen de la programmation, de la conception, de la construction et des aménagements pour la réalisation d'un actif physique ayant un usage spécifique à l'année 0, au moment de sa mise en service qui correspond à la date de construction originelle.

La valeur d'usage initiale correspond à une valeur d'acquisition d'un bien construit par un maître d'ouvrage à une année de construction donnée. En ce sens, à ce moment du cycle de vie, elle correspond à la *valeur d'échange*.

6.4.8.2 Valeur Actuelle de Remplacement (VAR)

Coût moyen de construction et d'aménagement d'un actif - bâtiment, infrastructure urbaine ou industrielle, incluant les abords et l'intégration au tissu urbain - ayant les mêmes typologies et capacités d'usages que l'actif initial, à iso périmètre, mais selon les types de conception et les méthodes de construction actuels.

La VAR exclut les coûts liés à l'acquisition du terrain, mais inclut les frais d'assistance à maîtrise d'ouvrage (FAMO) et les frais d'études et de suivi des travaux (FEST) - honoraires professionnels dont ceux des architectes, des bureaux d'études techniques et de contrôle, etc. - les contingences ainsi que les coûts liés aux obligations à l'égard de l'aménagement des terrains et du site en interface avec la ville ou de l'intégration des arts.

La VAR évolue annuellement au fil du cycle de vie en fonction, notamment, de l'offre et de la demande dans l'industrie de la construction et de l'inflation. L'estimation de la VAR est considérée toutes charges comprises (TCC), mais excluant les taxes (HT).

6.4.8.3 Valeur d'usage restante ou résiduelle

La valeur d'usage restante d'un actif est la valeur actuelle de remplacement (ou valeur d'usage) de l'actif déduction faite de sa vétusté physique (Valeur d'usage restante = VAR – MA5).

6.4.9 Nomenclature technique

Classification et décomposition hiérarchiques (Note)⁶⁰⁶ des actifs physiques sur le plan :

- Des fonctionnalités techniques (conformément à la norme ASTM E1557-09 (2020) – UniFormat) ;
- Des usages, de leur typologie et de leur géolocalisation (conformément aux découpages utilisés par l'organisation) ;
- Économique (conformément aux normes comptables de l'organisation).

6.4.10 Allocation des actifs

Affectation pour une ou plusieurs activités et attribution à une ou plusieurs personnes, par un maître d'ouvrage, d'espaces pour une utilisation spécifique. Les allocations sont spécifiées par les étiquettes suivantes : alloué, non alloué ou partiellement alloué. Des espaces peuvent être alloués et être sans occupation.

6.4.11 Occupation

Caractère d'un espace - un lieu, un local - qui est habité et utilisé par une ou des personnes. Les modalités d'occupations sont spécifiées par les étiquettes suivantes : emploi du temps, fréquentation, horaires d'ouverture.

6.4.12 Densité d'occupation générale

Indicateur permettant d'apprécier l'occupation d'un actif avec un indicateur unique par le croisement des indicateurs de densités d'occupation temporelle et surfacique. La densité d'occupation générale est spécifiée par les étiquettes suivantes :

- Adéquate ;
- Optimisable ;
- Saturée.

⁶⁰⁶ La nomenclature des actifs est définie de manière à permettre un pilotage efficace et à prix raisonnable : l'audit, l'enregistrement des résultats dans un registre pour la traçabilité, l'analyse interactive, l'évolution du périmètre du parc de bâtiment de manière la plus interopérable possible.

6.4.12.1 Densité d'occupation temporelle

Indicateur permettant d'apprécier la durée d'occupation de l'actif sur une plage horaire donnée. La plage horaire d'un actif d'un parc immobilier est définie en fonction de la typologie d'usage actuelle de l'actif et des horaires d'ouverture.

L'indicateur d'occupation temporelle évalue donc l'occupation de l'actif sur la base des créneaux d'occupation spécifique de l'actif. La densité d'occupation temporelle est spécifiée par les étiquettes suivantes :

- Adéquate : la majorité des créneaux est occupée (selon la typologie actuelle et la plage horaire).
- Sous-occupée : un nombre important de créneaux est disponible pour des activités.
- Saturée : il y a plus de demandes que de créneaux disponibles pour réaliser les activités.

6.4.12.2 Densité d'occupation surfacique

Indicateur permettant d'apprécier l'occupation des surfaces en fonction du nombre d'utilisateurs. La densité d'occupation surfacique est spécifiée par les étiquettes suivantes :

- Adéquate : la surface évaluée correspond à l'utilisation qui en est faite. (Nombre d'utilisateurs adéquat et accueil de matériels pour l'usage possible)
- Sous-occupée : la surface évaluée est surdimensionnée par rapport à l'occupation actuelle, ou n'est pas entièrement occupée.
- Saturée : la surface évaluée est sous-dimensionnée par rapport à l'occupation actuelle ou au nombre d'utilisateurs/usagers.

6.4.13 Surface de plancher brute (SDPB)

Surface mesurée pour l'ensemble des niveaux d'un bâtiment, y compris toutes les surfaces à l'intérieur et mesurées par rapport au nu extérieur des murs ceinturant la construction. Ceci inclut :

- a) penthouses et mezzanines, sous-sols et passerelles de connexion fermées/abritées ;
- b) épaisseur de mur périphérique ;
- c) colonnes et piliers extérieurs ;
- d) murs porteurs et cloisons ;
- e) colonnes et piliers intérieurs ;

- f) murs non porteurs ;
- g) cloisons souples et démontables ;
- h) locaux pour installations de services mécaniques (par exemple, locaux d'ascenseur et chaufferies, ainsi qu'appareil de chauffage et de refroidissement) ;
- i) locaux pour installations de services électriques (par exemple, conducteurs et génératrices, ainsi que locaux de communication secteur) ;
- j) locaux pour autres installations de services (par exemple, installations de gestion des déchets et entrepôts d'entretien des installations) ;
- k) puits d'escalier, puits d'ascenseur et escaliers roulants ;
- l) couloirs et autres surfaces de circulation ;
- m) commodités comprenant toutes les surfaces sanitaires (par exemple, toilettes, douches et vestiaires, ainsi que salles de nettoyage) ;
- n) espaces auxiliaires centraux (par exemple, halls d'entrée et espaces de restauration, ainsi qu'espaces sociaux et de loisir) ;
- o) espaces auxiliaires locaux (par exemple, espaces de réunion, espace pour l'archivage et le stockage, ainsi que zones pour impression et photocopie) ;
- p) espaces de travail (par exemple, bureaux fermés, laboratoires, ateliers, zones d'enseignement ou salles d'opération).

Il faut exclure les surfaces comprenant des vides, des atriums, des auvents et des cavités.

6.4.14 Reconstruction

Reconstruction :

Action d'investissement (CAPEX) suivant la maintenance régulière et courante en période de fonctionnement (OPEX) d'un actif physique qui approche de la fin de sa durée de vie utile ou pour lequel il convient de prévoir une *rénovation majeure*, une *reconversion* ou une *requalification* et ainsi *changer les usages pour une nouvelle allocation des lieux* afin de lui donner une vie utile étendue (Figure 5.8). Cette action peut aussi être nommée dépenses de CAPEX pour la construction ou la reconstruction des actifs (CC ou CRec).

6.4.15 Besoin de maintien d'actifs (BMA)

Estimation du coût de tous les travaux de *renouvellement* pour contrer la vétusté, la mise en conformité réglementaire et l'adaptation fonctionnelle, pour un même usage, qui se caractérisent par leur non-réurrence à court terme, une valeur d'usage ajoutée et habituellement sujette à l'amortissement comptable ou de type CAPEX (Figure 5.8).

Ces travaux sont sous la forme d'actions ciblées et ponctuelles qui ont pour objectif principal de rétablir, conserver la valeur d'usage existante des bâtiments, des terrains et des infrastructures, sans en changer l'usage et l'allocation des lieux, sauf à la marge. Les activités de ce type d'actions doivent contribuer à allonger la durée de vie utile de manière significative (largement supérieure à 2 ans).

Il existe quatre classes d'actions de *renouvellement pour le maintien d'actifs* étiquetées comme suit :

- Remplacer
- Moderniser
- Améliorer
- Modifier

6.4.16 Maintien d'actifs à 5 ans (MA5)

Lors d'un audit technique, économique et écologique, identification et estimation du coût des besoins en maintien d'actifs - *renouvellement* requis de type CAPEX de « ce que nous devons faire » - dans les cinq ans à venir (horizon temporel de 5 ans, cf. 6.4.19.2) pour permettre de rétablir ou de maintenir la valeur d'usage d'un actif physique, de ses systèmes techniques et de ses composants, en le ramenant dans un état spécifié (maintenance) ou en mesure d'assurer un service déterminé (ambiance).

Le MA5 peut aussi être nommé dépenses de CAPEX pour le renouvellement des actifs à l'horizon de 5 ans (CR5).

IMPORTANT de noter que le MA5 est constitué de la somme des besoins en travaux relevant du *déficit de maintien d'actifs* (DMA) (court terme) et du *maintien d'actifs régulier* (MAR) (moyen terme). Ainsi : $MA5 = DMA + MAR$

Pour un regroupement de MA5, plusieurs types de *projets* sont possibles. Le choix des *projets* doit correspondre à la stratégie d'ingénierie souhaitée par le maître d'ouvrage (bouquet de travaux passant d'une action relevant de la simple rustine à une action nécessitant la reconstruction ; regroupement de types de travaux pour générer des économies d'échelle ou pour faciliter la logistique des travaux, etc.)

Le MA5 est l'expression du besoin réel en travaux de renouvellement et pourra être mis en relation avec la *capacité financière* de l'organisation. En fonction de l'analyse de « ce que nous pouvons faire », le MA5 peut être engagé partiellement ou totalement dans un *Plan pluriannuel de projets d'investissement*.

L'estimation du MA5 est considérée toutes charges comprises (TCC), mais excluant les taxes (HT).

6.4.17 Déficit de maintien d'actifs

Besoins en maintien d'actifs dont les défaillances sont avérées ou sur le point de l'être. Ce *renouvellement à court terme* des actifs (horizon temporel de 0 à 1 an, cf. 6.4.19.2) vise à permettre de *rétablir* la valeur d'usage d'un actif physique.

IMPORTANT de noter que le *déficit de maintien d'actifs* (DMA) est constitué de la somme des besoins en travaux issue du MA5, déduction faites du *maintien d'actifs régulier* (MAR) (moyen terme). Ainsi : $DMA = MA5 - MAR$

6.4.18 Maintien d'actifs régulier

Besoins en maintien d'actifs dont les défaillances sont à venir dans un horizon temporel de 2 à 5 ans. Ce *renouvellement à moyen terme* des actifs (cf. 6.4.19.2) vise à permettre de *maintenir* la valeur d'usage d'un actif physique.

IMPORTANT de noter que le *maintien d'actifs régulier* (MAR) est constitué de la somme des besoins en travaux issue du MA5, déduction faites du *déficit de maintien d'actifs* (DMA) (court terme). Ainsi : $MAR = MA5 - DMA$

6.4.19 Indice de Vétusté Physique (IVP)

Grandeur de l'état de la vétusté physique ou de la condition d'un bien construit en fonction de la valeur actuelle de remplacement (VAR). En anglais, les termes *Asset Condition Index* (ACI) ou *Facility Condition Index* (FCI) sont utilisés.

Le maintien d'actifs à 5 ans s'exprime, en valeur absolue, en euros alors que l'indice de vétusté physique (IVP) s'exprime, en valeur relative, en pourcentage en fonction de la valeur de remplacement, qui elle aussi est en euro.

$$\text{IVP} = (\text{MA5}/\text{VAR}) \times 100$$

Cet indice est l'expression relative du maintien d'actifs à 5 ans, donc des besoins de l'organisation en interventions de renouvellement.

Par le calcul de l'indice de vétusté physique (IVP) de ses actifs, une organisation est amenée à mesurer les efforts à consentir pour lutter contre la perte de valeur d'usage (entropie du système).

Toutefois, cette seule mesure ne peut suffire à évaluer la criticité. Il est impératif de compléter l'audit de l'état des actifs physiques et de leurs composants par une appréciation des risques des investissements en maintien d'actifs à prévoir à court, moyen ou long terme (durées de vie restantes).

L'IVP, exprimé en pourcentage, permettra de comparer les actifs les uns par rapport aux autres selon leur état de vétusté constaté. L'échelle de cotation de l'état peut varier d'une organisation à l'autre et d'une typologie d'actifs physiques à une autre. En revanche, la référence issue de consensus entre experts et la mieux documentée à ce jour sur le sujet (Gouvernement du Québec, 2021)⁶⁰⁷ propose le Tableau 6-1.

De même, le calcul des IVP de chacune des catégories techniques permet de définir transversalement, sur l'ensemble du patrimoine, celles qui pourraient faire l'objet d'un marché global permettant de réaliser des économies d'échelle importantes.

⁶⁰⁷ Gouvernement du Québec. (2021). Cahier d'instructions, Plan annuel de gestion des investissements publics en infrastructures. ISBN 978-2-550-89260-1 (en ligne). <https://www.tresor.gouv.qc.ca/infrastructures-publicques/publications/>

Tableau 6-1 : Indice de vétusté physique, état et cote pour les actifs physiques.

IVP	ÉTAT	COTE
0 à 5 %	Idéal	(cote A) Très bon.
<p>L'infrastructure est habituellement récente ou elle est remise à neuf.</p> <p>Elle rend le service sans interruption ou ralentissement, assure la sécurité des personnes et n'affecte pas leur santé.</p>		
> 5 % à 10 %	Adéquat	(cote B) Bon.
<p>L'infrastructure présente un niveau léger de dégradation et de défectuosité.</p> <p>L'immeuble, l'ouvrage de génie civil ou, le cas échéant, l'équipement nécessite certains travaux de maintien d'actifs.</p> <p>Habituellement, l'infrastructure est dans son deuxième tiers de vie utile. Des interruptions ou ralentissements de service de l'infrastructure peuvent survenir occasionnellement.</p> <p>L'infrastructure assure la sécurité des personnes et n'affecte pas leur santé.</p>		
> 10 % à 15 %	Tolérable	(cote C) Satisfaisant.
<p>L'infrastructure présente un niveau modéré de dégradation et de défectuosité.</p> <p>L'immeuble, l'ouvrage de génie civil ou, le cas échéant, l'équipement nécessite régulièrement des travaux de maintien d'actifs.</p> <p>Habituellement, l'infrastructure est dans son troisième tiers de vie utile. Des interruptions ou ralentissements de service de l'infrastructure surviennent occasionnellement. Au besoin, des mesures d'atténuation des risques sont en place.</p> <p>L'infrastructure assure la sécurité des personnes et n'affecte pas leur santé.</p>		
> 15 % à 30 %	Préoccupant	(cote D) . Mauvais.
<p>L'infrastructure présente un niveau élevé de dégradation et de défectuosité.</p> <p>L'immeuble, l'ouvrage de génie civil ou, le cas échéant, l'équipement nécessite des travaux de maintien d'actifs importants et parfois urgents. Habituellement, l'infrastructure dépasse sa durée de vie utile. Des interruptions ou ralentissements de service de l'infrastructure surviennent souvent. Au besoin, des mesures importantes d'atténuation des risques sont en place.</p> <p>L'infrastructure assure la sécurité des personnes et n'affecte pas leur santé.</p> <p>Un rétablissement dans un état au moins satisfaisant, un remplacement ou une mise hors service de l'infrastructure devrait être envisagé.</p>		
> 30 %	Critique	(cote E) . Très mauvais.
<p>L'infrastructure présente un niveau très élevé de dégradation et de défectuosité.</p> <p>L'immeuble, l'ouvrage de génie civil ou, le cas échéant, l'équipement nécessite des travaux de maintien d'actifs très importants et souvent urgents. Habituellement, l'infrastructure dépasse nettement sa durée de vie utile. Des interruptions ou ralentissements de service de l'infrastructure surviennent très souvent. Des mesures très importantes d'atténuation des risques sont en place.</p> <p>L'infrastructure assure la sécurité des personnes et n'affecte pas leur santé.</p> <p>Un rétablissement dans un état au moins satisfaisant, un remplacement ou une mise hors service de l'infrastructure s'impose.</p>		

6.4.20 Renouvellement

Renouvellement :

Grandes actions, modernisantes ou non modernisantes de *maintien d'actifs* par *remplacement*, *modernisation*, *amélioration* ou *modification* d'envergure importante, peu fréquentes durant le cycle de vie d'un actif physique, habituellement comptabilisées comme des dépenses d'investissement (CAPEX) et visant à rétablir, maintenir ou augmenter la valeur de l'actif.

Elles se réalisent *sans changements des usages* et visent un *maintien de l'allocation des lieux*. Elles font habituellement l'objet d'un étalement de leur coût sur la durée d'utilisation ou durée de vie utile, par un amortissement comptable (Figure 5.8).

6.4.20.1 Remplacement ou renouvellement non modernisant

Remplacement ou renouvellement non modernisant :

Ensemble des actions destinées à effectuer le changement des fonctionnalités d'un actif physique par une version différente de l'actif d'origine sans changer la fonction ou l'usage ni améliorer la sûreté de fonctionnement.

6.4.20.2 Modernisation ou renouvellement modernisant

Modernisation ou renouvellement modernisant :

Ensemble des actions d'amélioration et de modification apportées à l'actif physique en tenant compte des transformations par des avancées et innovations technologiques, pour satisfaire à de nouvelles exigences ou progrès techniques ainsi qu'aux changements des exigences liées aux usages et à leur niveau de service ou de qualité. La modernisation est souvent caractérisée par des actions qui impliquent un savoir-faire détenu par le fabricant ou une société spécialisée à l'aide d'un équipement de soutien logistique industriel.

6.4.20.2.1 Amélioration ou renouvellement modernisant

Amélioration ou renouvellement modernisant :

Ensemble de toutes les actions destinées à améliorer les fonctionnalités - la fiabilité, la maintenabilité ou la sécurité intrinsèque - d'un actif physique, sans changer la fonction. Une amélioration peut également être introduite afin d'empêcher une mauvaise utilisation en fonctionnement et afin d'éviter des défaillances.

6.4.20.2 Modification ou renouvellement modernisant

Modification ou renouvellement modernisant :

Ensemble des actions destinées à changer une ou plusieurs fonctions d'un actif physique. Une modification se rapporte au changement des fonctionnalités requises d'un actif physique pour donner à cet actif une réponse adaptée à l'usage.

6.4.21 Estimation des coûts

L'estimation du coût des besoins en travaux repose sur plusieurs ratios issus de bases de données et de références externes indépendantes diverses (RSmeans, Bâtiprix, Yardstick, par exemple), et surtout sur les ratios propres à la base de données constituée par l'expérience d'un méta-auditeur (tiers de confiance).

En plus, une comparaison avec les coûts généralement pratiqués par le maître d'ouvrage est recommandée. Ces coûts sont essentiels, car ils tiennent compte des contraintes spécifiques à l'organisation (conditions locales et régionales en matière d'offres concurrentielles, conditions de chantiers diverses : géographie et climat, travaux en condition amiante, propriétés typographiques et géologiques des sols (sismique), travaux en espaces restreints, etc.).

La certitude et la précision des coûts dépendent de la maîtrise de ce qui précède ainsi que de la connaissance des éléments quantitatifs concernés (effort d'estimation conforme aux enjeux de l'organisation). En fonction des enjeux pour l'organisation, l'estimation peut être indiquée comme ayant une marge d'incertitude de 50 %, 30 %, 10 % ou 5 %.

6.4.22 Caractérisation du MA5

Distinguer, définir, dépeindre les propriétés et caractéristiques de chacun des besoins de maintien d'actifs à un horizon temporel de 5 ans - « ce que nous devrions faire » - à l'aide de paramètres divers, au-delà du coût de l'action à prévoir.

Les cinq paramètres retenus sont ceux de la *nature d'action*, l'*horizon temporel*, le *risque*, l'*intention politique et réglementaire*, la *source de financement*. D'autres peuvent s'ajouter en fonction des enjeux organisationnels. Le modèle et procédé PACKiT est un système adaptatif ouvert et évolutif.

L'intérêt de cette caractérisation est de produire la meilleure nuance possible pour la criticité des travaux et de définir une mise en priorité des actions afin de les inscrire sous la forme d'un Plan annuel de gestion des investissements (PAGI) ou d'un Plan pluriannuel des investissements pour les bâtiments et infrastructures (SPSI, PSP, PPI, PQI, PDMA, etc.).

6.4.22.1 Nature d'action de maintien d'actifs

Paramètre visant à établir, pour chacune des actions identifiées durant le processus d'audit, la *cause principale* du besoin en travaux de renouvellement pour le maintien des actifs physiques.

6.4.22.1.1 Vétusté physique corrective

Travaux requis :

- à la suite du constat d'une *défaillance (panne, bris) effective*, d'un composant ou d'un système de l'actif,
- ou de l'*apparition imminente assurée* dans un *horizon temporel* prévisible.

Il y a alors besoin de *rétablir* le bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé conformément aux recommandations des fabricants, de références techniques connues ou de l'expérience des responsables de la maintenance. Ces travaux ont pour effet d'allonger la durée de vie utile de manière significative (supérieure à 2 ans).

6.4.22.1.2 Vétusté physique préventive

Travaux requis :

- *avant* l'apparition d'une *défaillance (panne, bris)*, d'un composant ou d'un système de l'actif.

Il y a alors besoin de *maintenir* le bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé conformément aux recommandations des fabricants, de références techniques connues ou de l'expérience des responsables de la maintenance. Ces travaux ont pour effet d'allonger la durée de vie utile de manière significative (supérieure à 2 ans).

6.4.22.1.3 Mise en conformité

Travaux requis de *mise en conformité* légale, réglementaire ou normative dont, notamment, ceux relevant : de la sécurité du travail, de la sécurité du public, de la sûreté, de l'environnement et d'autres obligations sociales.

La nécessité de réaliser ces travaux relève de trois niveaux d'adhésion de l'organisation :

- Les engagements *obligatoires*, surtout ceux légaux et réglementaires ;
- Les engagements *auto-imposés*, tels que les politiques et les normes internes à une organisation ;
- Les conventions *acceptées ou attendues*, telles que les conventions sociétales, les conventions sectorielles, la pression par les pairs (concurrence) pour satisfaire les exigences des usagers.

Ces actions peuvent être à un *horizon temporel* incluant celles :

- Exécutables immédiatement ;
- Bénéficiant d'un délai d'implantation ;
- Bénéficiant d'une mesure compensatoire.

6.4.22.1.4 Adaptation fonctionnelle

Travaux de renouvellement requis pour *moderniser* par *amélioration* ou *modification* d'un composant, d'un assemblage de composants ou d'un système afin d'adapter l'actif à l'usage existant.

Ces actions sont une réingénierie de l'existant issue de la nécessité de tenir compte :

- Des changements de l'évolution des exigences liées aux usages (capacités, charges ou dimensions) et à leur niveau de service ou de qualité (augmentation de la sollicitation, ajustement à la concurrence) ;
- Des transformations par des avancées et innovations technologiques, pour satisfaire à de nouvelles exigences ou progrès techniques.

Ces actions visent à :

- Améliorer les fonctionnalités - la fiabilité, la maintenabilité ou la sécurité intrinsèque - d'un actif physique, sans changer la fonction. Cette amélioration a pour but d'empêcher une mauvaise utilisation en fonctionnement, afin d'éviter des défaillances.
- Changer une ou plusieurs fonctions d'un actif physique. Cette modification se rapporte au changement des fonctionnalités requises d'un actif physique pour donner à cet actif une réponse adaptée à l'usage existant.

6.4.22.2 Horizon temporel ou Durée de vie restante

Paramètre de l'expression de la *durée de vie restante* (DVR). Il vise à établir la durée la plus réaliste possible avant la fin de la fiabilité et de la sûreté de fonctionnement d'un composant ou d'un système pour chacune des actions de renouvellement identifiées durant le processus d'audit.

L'horizon temporel réaliste et prévisible (ou quasi prévisible) est de cinq ans. Le concept de *durée de vie restante* est à différencier de celui couramment utilisé de *durée de vie théorique* d'un composant ou d'un système. Même si la *durée de vie théorique* est fréquemment suggérée dans des références bibliographiques reconnues ou dans le cadre de recommandations par les équipementiers et constructeurs, elle est truffée d'incertitude puisqu'elle impose un modèle déterministe de dégradation et de dépréciation physique des matériaux.

L'horizon temporel est également l'expression de l'*urgence* d'agir sans retard (« ce que nous devrions faire »). Il est donc impératif de dissocier le concept *temporel de l'urgence* au concept de *risque*. En effet, des travaux peuvent être urgents (remplacer une portière d'automobile emboutie pour des raisons essentiellement esthétiques, p. ex.), mais ne comportent pas le même *risque* que des travaux de même urgence qui aurait des conséquences plus graves et d'intensité plus importante (remplacer les freins de la même automobile, p. ex.).

Les trois classes de Durée de vie restante ou *horizon temporel* sont de :

- Court terme :
 - **DVR de zéro** : Action de maintien d'actifs à réaliser immédiatement ;
 - **DVR d'un an** : Action de maintien d'actifs à réaliser d'ici le prochain exercice financier (12 à 18 mois).
- Moyen terme :

- **DVR de 2 à 3 ans** : Action de maintien d'actifs à réaliser au cours d'un plan triennal ;
- **DVR de 4 à 5 ans** : Action de maintien d'actifs à réaliser au cours d'un plan quinquennal.
- Long terme :
 - **DVR de + de 5 ans** : Action de maintien d'actifs à réaliser au cours d'un plan sur 10 ans ou 20 ans.

IMPORTANT de noter que le MA5 est constitué de la somme des besoins en travaux relevant du *déficit de maintien d'actifs* (DMA) (court terme) et du *maintien d'actifs régulier* (MAR) (moyen terme).

Ainsi : $MA5 = DMA + MAR$

Ces classes visent à établir le moment où une omission d'action appropriée de maintien d'actifs serait la source d'une conséquence pouvant nuire à la fiabilité ou la sûreté de fonctionnement.

Lors de l'évaluation de l'*horizon temporel* du besoin de maintien d'actifs, il est important de tenir compte du composant observé, de la typologie de l'actif dans lequel il se trouve, du niveau de qualité des lieux et de services souhaités.

6.4.22.3 Risque

Paramètre indiquant l'*effet* de l'*incertitude* sur la raison d'être, la mission, les objectifs attendus, la mise en œuvre des stratégies ainsi que la production d'une organisation.

Un *risque* est généralement exprimé à partir (Note)⁶⁰⁸ :

- de la *source d'origine*, qu'il s'agisse d'une action ou d'une omission (par exemple, le manque d'entretien de la toiture d'une école) (R) ;
- qui mène à un *événement* (par exemple, une infiltration d'eau dans le bâtiment) (E) ;
- qui entraîne *effet* ou *impact* de changement de circonstances (par exemple, un effet ou impact sur la capacité de l'organisation à fournir des services nécessitant l'arrêt de l'enseignement et l'évacuation des locaux) (e) ;

⁶⁰⁸ En résumé : $R = (E) = ((e) \leftrightarrow (i)) \leftrightarrow (V)$. Le symbole \leftrightarrow exprime une « liaison » et non une multiplication formelle.

- d'une certaine *intensité* (par exemple, une intensité modérée, si la réparation est effectuée dans un délai d'un jour) (i) ;
- et avec une *vraisemblance* d'occurrence. (par exemple, une occurrence élevée fondée davantage sur des raisonnements (non probabilisables) que sur les données statistiques (probabilisables), étant donné que les signes d'infiltration et de détérioration générale du toit vieux de 30 ans sont apparents depuis plusieurs années) (V).

La finalité du *management du risque* est la *création* et la *préservation* de la *valeur d'usage* afin de maintenir ou d'améliorer la performance et les objectifs d'une organisation. Il permet d'identifier, d'analyser et de traiter les effets de l'incertitude, qu'ils soient une menace (p. ex. fermeture temporaire d'un bâtiment) ou une opportunité (p. ex. réaffectation des activités dans un deuxième bâtiment et fermeture définitive du premier).

6.4.22.3.1 Source d'origine du risque et évènement

Lors d'un audit de l'état d'un bâtiment ou d'une infrastructure, il y a détection et identification par inspection et diagnostic d'un besoin en travaux pour le maintien de l'actif (un de ses composants ou de ses systèmes) dont l'absence d'intervention mène à *évènement*. L'évènement s'exprime par la *Nature d'impact*, l'*Intensité de l'impact* et la *Vraisemblance d'occurrence*.

6.4.22.3.2 Nature de l'impact

Situation qui est produite nécessairement par un *évènement*. C'est la conséquence « de ne rien faire » qui peut s'avérer *certaine* (statistiquement fondée), ou *incertaine* (relevant d'un raisonnement vraisemblable). Elle peut être exprimée de façon *qualitative* ou *quantitative*. Toutefois, dans le domaine des bâtiments et infrastructures, il n'existe pas à ce jour de sources de données statistiquement fiables pour envisager une mesure *quantitative* et *certaine*. Pour chacun des composants d'un actif physique.

L'expression de la conséquence se décline en *nature d'impact*. Il y a six classes d'impact :

- **Intégrité des personnes :**
 - Intégrité physique des personnes : accidents, blessures légères ou graves, etc.
 - Santé des personnes : conditions de travail, hygiène-salubrité, etc.
- **Intégrité du patrimoine :**
 - Accélération et amplification des dégradations des composants et systèmes ;

- Causalité des dégradations : dégradations sur d'autres composants que le composant en défaut (ex. : une fuite risque de dégrader le béton armé, le revêtement de sol, des équipements électriques ou autres).
- **Perte de capacité de services :**
 - Perte du fonctionnement de l'activité principale ou secondaire de l'organisation, remettant en question la capacité de cette dernière à assumer ses missions et à atteindre ses objectifs ;
- **Dégradation de la qualité de services :**
 - Corriger un inconfort ou une nuisance liée aux *ambiances* : thermiques, lumineuses, acoustiques, visuelles, etc. ;
 - Améliorer le niveau de qualité d'une prestation de services pour se conformer à ce qui se fait dans d'autres lieux similaires ;
 - Améliorer les temps de trajet des usagers (flux des déplacements intérieurs et extérieurs).
- **Dégradation de l'environnement :**
 - Impact environnemental direct : Pollution, rejet de déchets organiques, chimiques, radioactifs et hydrocarbures directement dans l'environnement ;
 - Impact environnemental indirect (performance énergétique) : surconsommation, faible rendement, empreinte écologique, émission de GES, etc.
- **Surcoût d'exploitation :**
 - Coût de réintervention en maintenance surélevé comparé au coût de remplacement du composant ;
 - Coût élevé d'utilisation d'un mode palliatif (embauche de vigile et gardien plutôt que de réparer le système de badges, etc.).

6.4.22.3.3 Intensité de l'impact

Degré de force ou de puissance de l'impact. C'est l'évaluation du niveau d'intensité de l'impact causé par la défaillance d'un composant ou d'un système. L'intensité de l'impact s'exprime par une appréciation qualitative de l'ampleur de la conséquence d'un évènement. Elle est représentée sur une échelle à quatre niveaux : faible, modérée, élevée, très élevée).

6.4.22.3.4 Vraisemblance ou probabilité d'occurrence

Possibilité qu'une défaillance (panne, bris ou perte de performance) ayant un impact sur l'organisation se produit.

Cette possibilité est définie, mesurée ou déterminée, au moment de l'audit et dans l'intervalle de la *durée de vie restante*, de façon objective ou subjective, qualitative ou quantitative, et peut être décrite au moyen de termes généraux ou mathématiques (telles une probabilité ou une fréquence sur une période donnée, lorsque cette information est accessible).

Essentiellement, la vraisemblance d'occurrence tire sa source de raisonnements issus du retour d'expérience des personnes auditées lors d'un processus itératif d'élicitation.

6.4.22.4 Intention politique et réglementaire

Paramètre attribuable à un ou plusieurs besoins de maintien d'actifs (BMA) résorbant une contrainte réglementaire ou soutenant un même enjeu politique (technique, économique, écologique, organisationnel, etc.).

La liste des Intentions Politiques et Réglementaires (IPR) est spécifique à chaque organisation en fonction de ses besoins et des enjeux à couvrir. À titre d'exemple, ce paramètre vise à mettre en évidence des sujets comme : l'accessibilité universelle avec un handicap (personnes à mobilité réduite (PMR)) ; la performance énergétique ou de réduction des GES ; la suppression de l'amiante ; la création d'un nouveau service (programme de chimie dans les écoles. p. ex.).

6.4.22.5 Source de financement

Paramètre attribuable à un ou plusieurs besoins de maintien d'actifs (BMA) pour préciser les modalités de financement d'un BMA. L'identification de la Source de Financement (SF) peut mener au constat qu'il n'y a pas de SF prévu au moment de l'audit.

Ce paramètre permet de révéler au décideur que des efforts pour trouver un financement supplémentaire sont nécessaires ou que la répartition et la distribution des moyens financiers entre les dépenses d'investissement (CAPEX) et les dépenses de fonctionnement (OPEX) - et au sein de ces deux catégories budgétaires – exigent la prise en compte des priorités de l'organisation afin de préserver ou d'améliorer la valeur d'usage.

La liste des Source de Financement (SF) est spécifique à chaque organisation en fonction de ses besoins et des enjeux à couvrir. À titre d'exemple, ce paramètre visera des sujets comme : une garantie décennale ; une subvention ; une charge du locataire ; un budget d'investissement

spécifique prévu ; budget de fonctionnement (exploitation et maintenance) prévu ; (ou même) un financement non prévu.

6.4.23 Indice de maintien des actifs physiques (IMA)

Paramètre visant à identifier l'effort consenti en réalisation annuelle de travaux pour le renouvellement des actifs visant le maintien ou l'amélioration de la valeur d'usage. Ce taux est calculé, au sein d'une organisation, à l'échelle d'un actif (une école, p. ex.), d'une typologie (toutes les écoles, p. ex.) ou sur l'intégralité du patrimoine (les écoles, les lieux culturels, les sites sportifs, etc., p. ex.).

L'indice de maintien des actifs physiques (cf 6.4.21) correspond à la *dépense d'investissement* pour le renouvellement des actifs (CAPEX) des bâtiments en fonction de la *Valeur actuelle de remplacement* (%). Il est l'expression relative de l'effort consenti annuellement pour le renouvellement du capital fixe (actif physique) de l'organisation.

$$\text{IMA} = ((\text{travaux réalisés annuellement pour le MA5}) / (\text{VAR})) \times 100$$

Cet IMA permet de comparer le taux de renouvellement avec le taux d'amortissement comptable. En théorie, ces deux taux devraient coïncider.

Tableau 6-2 : Taux de renouvellement des actifs physiques et cycle de vie.

Un taux de renouvellement de:	... correspond à un cycle de vie de (ans) :
0,50%	200
0,67%	150
1,00%	100
1,33%	75
2,00%	50
2,50%	40
3,33%	30
4,00%	25
5,00%	20
10,00%	10

6.4.24 Autres Indices et Indicateurs de performance

D'autres paramètres et indicateurs annuels peuvent être intégrés au système ouvert et évolutif PACKiT. La réalisation de cet aspect de l'audit permet de mieux connaître les dépenses d'investissement actuellement consenties sur chaque actif physique et de les comparer aux besoins en investissement à 5 ans recensés dans le cadre de l'audit.

Cela permet de traduire un éventuel sous-investissement ou surinvestissement. Les dépenses de fonctionnement annuel sont également étudiées. Les informations sur ces dépenses sont collectées à partir d'extractions des livres comptables de l'organisation.

Ils permettent ainsi de comparer plus facilement les résultats obtenus pour chaque actif et de les croiser notamment avec les résultats de l'audit technique.

Les principaux indicateurs de performance touchent les cinq aspects suivants :

- De l'analyse financière du fonctionnement (Figure 5.8) :
 - Indice de la *dépense de fonctionnement* (OPEX : exploitation et maintenance) des bâtiments en fonction de la *surface de plancher brute* (\$ ou €/m²) :
 - La globalité des dépenses OPEX ou pour chacune des activités liées aux *ambiances* (consommation énergétique - électricité, gaz, CPCU, etc. - et en eau, entretien nettoyage/ménager – hygiène et salubrité -, entretien technique et physique, bâtiment et site – maintenance – (régie interne ou contrats de maintenance et d'exploitation de chauffage, ascenseur, SSI et autres), sûreté, sécurité, taxe et assurance, etc., charges de loyers et de copropriété.
 - Indice de la *dépense de fonctionnement* (OPEX : exploitation et maintenance) des bâtiments en fonction de la *Valeur actuelle de remplacement* (%) :
 - Au global des dépenses OPEX ou pour chacune des activités liées aux *ambiances* (consommation énergétique - électricité, gaz, CPCU, etc. - et en eau, entretien nettoyage/ménager – hygiène et salubrité -, entretien technique et physique, bâtiment et site – maintenance – (régie interne ou contrats de maintenance et d'exploitation de chauffage, ascenseur, SSI

et autres), sûreté, sécurité, taxe et assurance, etc., charges de loyers et de copropriété.

- Indice de la *dépense de fonctionnement* (OPEX : exploitation et maintenance) des bâtiments en fonction de la *dépense de fonctionnement de l'organisation* (%) :
 - Au global des dépenses OPEX ou pour chacune des activités liées aux *ambiances* (consommation énergétique - électricité, gaz, CPCU, etc. - et en eau, entretien nettoyage/ménager – hygiène et salubrité -, entretien technique et physique, bâtiment et site – maintenance – (régie interne ou contrats de maintenance et d'exploitation de chauffage, ascenseur, SSI et autres), sûreté, sécurité, taxe et assurance, etc., charges de loyers et de copropriété.
- De l'analyse des principaux processus et des efforts consentis (Figure 5.8) :
 - Indice de maintien des actifs physiques (IMA) (cf. 6.4.20 et 6.4.17) :
 - La *dépense d'investissement* pour le *renouvellement* des actifs (CAPEX) des bâtiments en fonction de la *Valeur actuelle de remplacement* (%). (incluant les prestations P3 pour le chauffage, s'il y a lieu),
 - Indice de reconstruction des actifs physiques (IRA) :
 - La *dépense d'investissement* pour la *rénovation majeure*, la *reconversion* ou la *requalification* (CAPEX) de bâtiments existants, et ainsi *changer les usages* pour *une nouvelle allocation des lieux* en fonction de la *Valeur actuelle de remplacement* (%).
 - Indice de vétusté physique des actifs (IVP) (cf. 6.4.21) :
 - Le maintien d'actifs à 5 ans s'exprime, en valeur absolue, en euros ou dollars, alors que l'indice de vétusté physique (IVP) s'exprime, en valeur relative, en pourcentage (%) en fonction de la *valeur de remplacement*, qui elle aussi est en euro. $IVP = (MA5/VAR) \times 100$. Cet indice est l'expression relative du maintien d'actifs à 5 ans, donc des besoins de l'organisation en interventions de renouvellement.
 - Indice d'efficacité énergétique des actifs (IEE) :

- *La consommation énergétique en kWh d'un bâtiment en fonction de la surface de plancher brute (kWh/m²)*
 - Indice d'efficacité du service de maintenance (IESM) :
 - *Le temps moyen de réalisation d'une demande d'intervention (OPEX, corrective et préventive) (jours/demande) et le nombre de demandes d'interventions pour une surface de plancher brute de 1000 ou 10 000 m², selon la taille de l'organisation.*
- De l'apprentissage et de l'innovation :
 - Indice de mesure de l'effort consenti par l'organisation, en fonction de la masse salariale des équipes de gestion des actifs physiques (exploitation, maintenance, ingénierie et gestion de projets) pour assurer le développement professionnel des différents corps de salariés. Il permet de définir dans quelle mesure l'organisation estime important le développement des connaissances et des compétences de ses employés responsables de la gestion des actifs physiques.
 - *Indice en formation continue en fonction de la masse salariale des employés responsable de la gestion d'actifs (%).*
- De qualité de service aux usagers :
 - Indice de la *qualité des lieux fréquentés* : Cet indice mesure le niveau de satisfaction des usagers des actifs physiques à l'égard de la sécurité, des usages, de la fonctionnalité, du confort et de l'esthétisme des lieux fréquentés par les usagers.
 - *Score en fonction d'une enquête auprès des personnes clés ou de leur représentant légitime (%)*
 - Indice de la *qualité des services offerts* : Cet indice mesure le niveau de satisfaction perçu par les usagers des actifs physiques à l'égard de la qualité de prestation des services (courtoisie, efficacité, rigueur, professionnalisme, etc.).
 - *Score en fonction d'une enquête auprès des personnes clés ou de leur représentant légitime (%)*

Ces indices et indicateurs sont retrouvés dans un ouvrage publié en 2003. Il y fut démontré que le suivi et le calcul réguliers de ces indicateurs permettent de fournir une meilleure connaissance

du *métabolisme* de l'organisation. Entre autres, en procédant à des analyses croisées d'indices et indicateurs pour déduire des liens de causalité ou de corrélation entre les activités (Foucault, J.-P. et Leclerc, 2003)⁶⁰⁹.

En plus de ce qui précède, la mesure d'autres paramètres et indicateurs vise à prendre en compte la performance actuelle du parc de bâtiment et de sa gestion organisationnelle pour dresser des scénarios réalistes d'évolution.

Ces données sont utiles au moment d'établir la stratégie de gestion des actifs afin de mesurer l'impact des scénarios d'évolution du patrimoine étudié sur les dépenses d'investissement et de fonctionnement.

Un recensement des recettes affectées aux actifs peut également être effectué. Il concerne uniquement les redevances versées par les utilisateurs de l'équipement au titre de son occupation, et les refacturations de charges. Les recettes d'exploitation ne sont donc habituellement pas prises en compte.

À noter qu'en fonction du Plan d'enregistrement comptable spécifique à chaque organisation, certaines limites et spécificités émergent souvent comme :

- Des dépenses de fonctionnement qui sont groupées à l'échelle de l'organisation, par unité opérationnelle ou par service : elles peuvent être proratisées au regard des surfaces des bâtiments associées ;
- Des situations spécifiques selon les bâtiments avec une difficulté de concaténer et de classer les dépenses en énergies, eau, taxes et services dans le cas où l'organisation ne paye pas directement ces dépenses de fonctionnement : en cas de refacturation aux usagers, si ces postes sont inclus aux loyers, ou lors du paiement direct par les usagers.

⁶⁰⁹ Foucault, J.-P. et Leclerc, G. (2003). *Le tableau de bord MAESTRO pour la gestion des installations*. Presses internationales polytechniques. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00954290>

6.5 Aperçu du PACKiT : procédé d'audit et de suivi des actifs physiques

6.5.1 Général

La méthodologie, modèle et procédé PACKiT, d'évaluation d'une organisation et de son parc d'actifs physiques, bâtiments ou infrastructures, décrite dans le présent document, est un processus structuré destiné à fournir une évaluation et une aide à la décision cohérente, comparable et reproductible du métabolisme issu des activités de la gestion d'actifs physiques.

En identifiant les écarts par rapport à des cibles et seuils souhaités, les causes et les conséquences de l'action ou de l'inaction, l'audit d'évaluation doit être réalisé conformément :

- i) Aux enjeux de l'organisation ;
- ii) Au niveau de maturité de l'organisation pour sa connaissance actuelle et antérieure de ses activités liées à la gestion d'actifs - fiabilité des données et de l'information sur l'axe de la complétude et de l'exactitude - ;
- iii) Aux exigences ciblées par l'organisation sur les aspects du niveau de détail réaliste souhaité (LOD, LOI), de la teneur des livrables, de la date souhaitée du dépôt des rapports, voire du budget de réalisation de l'audit.

Un accord préalable à l'audit est nécessaire entre le maître d'ouvrage des actifs physiques et le méta-auditeur pour convenir de la faisabilité et des limites de l'audit.

6.5.2 Protocole et méthodologie de l'audit

L'audit PACKiT vise à permettre un alignement, une régulation et un arbitrage écologique (écosystème organisationnel) de projets d'investissement (CAPEX), en identifiant le cas échéant des actions souhaitables de maintenance régulière (OPEX), afin de permettre à l'organisation de continuer à rendre sa mission.

Il vise l'analyse des aspects techniques, économiques et environnementaux (énergie, pollution, etc.) afin de minimiser la *perte de valeur d'usage* et, par surcroît, à maintenir ou maximiser la *valeur d'usage* d'un actif physique, un bâtiment, en particulier, et de l'ensemble du portefeuille de bâtiments d'une organisation. En somme, le PACKiT cherche à *capter* et *traiter* l'information distillée dans tous les organes de l'organisation et ainsi *générer* une aide à la décision.

L'analyse par « arrêt sur image » d'audits, lors de campagnes successives, permet d'évaluer, en instantanée et en dynamique, l'effet des décisions de l'organisation sur l'évolution de l'état de santé des actifs physiques et sur leur métabolisme.

Une campagne d'audit est souhaitable sur une base *annuelle* dans le cas d'un parc immobilier en *très mauvais état* ou lors d'*investissements massifs* pour rattraper un retard important dans la mise à niveau des usages. Dans les autres cas, les campagnes d'audit peuvent être réalisées tous les trois ou cinq ans. Au-delà, l'effet d'un *apprentissage stratégique* par la connaissance du métabolisme se dissipe et la maîtrise de la gestion des actifs physiques se perd.

La mission d'audit se réalise par l'accompagnement d'un *méta-auditeur* formé afin de garantir la qualité du résultat et la cadence du procédé : c'est le principe du *tiers de confiance*.

De manière synthétique, la Figure 6.1 illustre les cinq phases principales d'un audit PACKiT qui se déclinent en activités et tâches spécifiques. Dans les sections suivantes, les phases essentielles de l'audit et la description des principales activités à prévoir sont présentées.

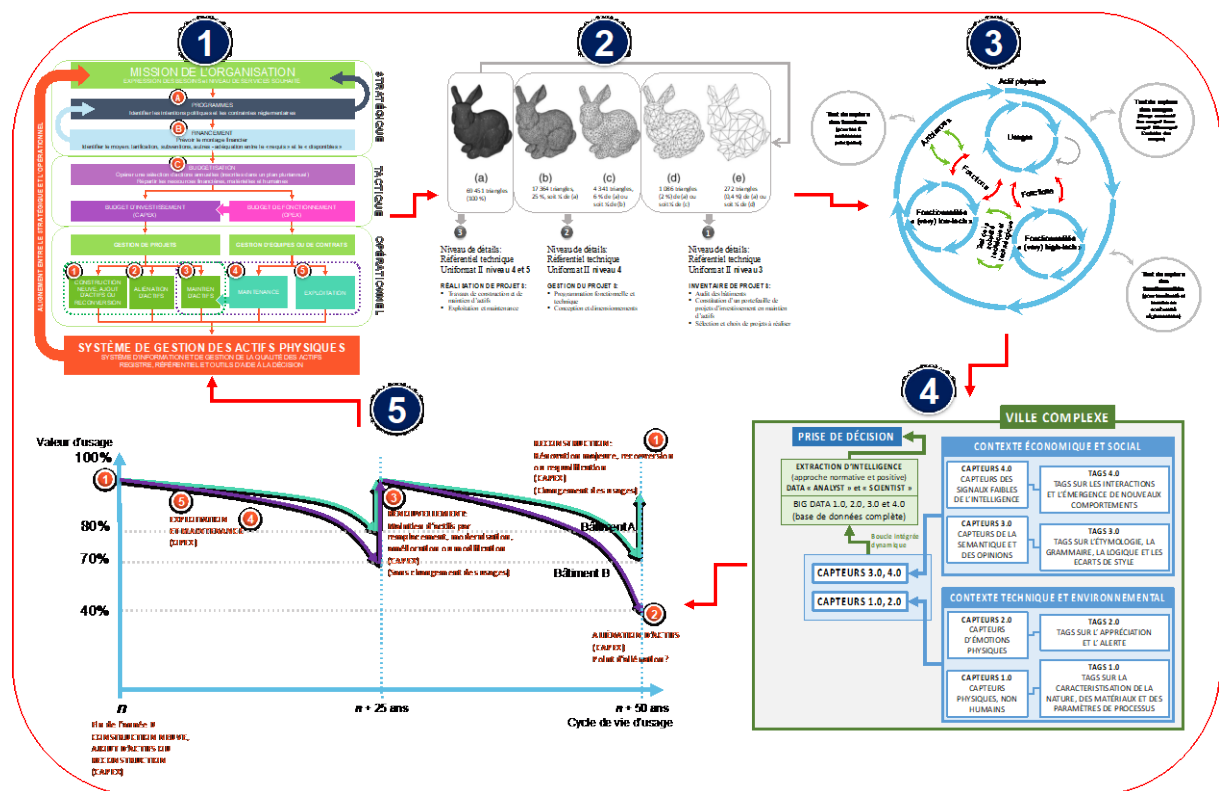


Figure 6.1 : Schéma du procédé normalisé PACKiT d'audit et de suivi des actifs physiques.

6.5.2.1 Phase 1 : Préparation de l'audit

1. Exigences de compétences s'appliquant des méta-auditeurs PACKiT pour gestion des actifs physiques. Ce sont ceux qui sont responsables d'animer le processus d'audit et de produire le rapport d'examen et de préconisation d'actions. Éventuellement, ils peuvent être amenés à prendre la décision d'une certification (conformité à une politique interne, un label ou une norme).
2. Les méta-auditeurs doivent connaître et comprendre :
 - 2.1. Les termes, définitions et principes du modèle et procédé PACKiT et de leur application en gestion d'actifs physiques ;
 - 2.2. Les interactions entre les prises de décisions techniques et environnementales ainsi qu'économiques et sociales ;
 - 2.3. L'application de principes de base de la gestion comptable et financière pertinents pour la gestion d'actifs.
 - 2.4. Les pratiques, activités et méthodologies fondamentales pertinentes de la gestion d'actifs physiques et de leur application principale, dont notamment :
 - 2.4.1. Les pratiques de gestion des informations des actifs (registres, inventaires, traitement de l'information et rapports, etc.) ;
 - 2.4.2. Le processus de prise de décision et des priorités de l'organisation auditée ;
 - 2.4.3. Les outils et méthodes de gestion d'actifs ;
 - 2.4.4. L'approche du coût global de possession (CGP ou TOTEX = OPEX + CAPEX) et des mathématiques financières afférentes ;
 - 2.4.5. Les approches fondées sur le management du risque et la résilience ;
 - 2.4.6. La planification, l'organisation, l'ordonnancement, le pilotage, la coordination et la mise en œuvre d'un portefeuille des projets d'investissement, d'activités et de tâches d'exploitation et de maintenance ;
 - 2.4.7. Les techniques d'analyse statistique pour connaître la pertinence et les limites d'utilisation de ces outils.
3. Identifier le méta-auditeur formé à réaliser la mission d'audit PACKiT afin de garantir la qualité du résultat et la cadence de l'audit : c'est le principe du tiers de confiance.

4. Dresser la liste des bâtiments inclus dans le périmètre de l'audit : quelles typologies d'actifs physiques (écoles, lieux sportifs, culturels, de culte, etc.) ? Quel nombre pour chacune des typologies et quelle la surface de plancher brute pour chaque bâtiment ? Quelle dispersion dans la ville ou le territoire ?
5. Former le maître d'ouvrage, ses personnes clés, sur la méthodologie pour garantir un maximum d'efficacité et de fiabilité des données et des informations afin de construire une connaissance fiable.
6. Mettre en place un Comité de pilotage (COPIL) qui se réunit mensuellement pour suivre le déroulement de l'audit, répondre aux questions stratégiques et approuver le rapport final. Aussi, mettre en place un Comité technique (COTECH) qui se réunira une fois par semaine afin de garantir une logistique fluide d'accès aux documents, aux personnes et aux lieux. Enfin, il est nécessaire d'identifier une personne relais au quotidien entre le méta-auditeur et les équipes de l'organisation.
7. Présenter pour adoption un échéancier de la mission d'audit, incluant les activités de toutes les phases subséquentes :
 - 7.1. Le détail : Quel niveau de complétude et d'exactitude pour la collecte de données ? Pour les simulations, les analyses et les scénarios ? Pour le rapport final ?
 - 7.2. Les personnes clés : Combien de personnes internes et externes à l'organisation contribuent en incluant les sous-traitants spécialisés ? Qui solliciter et à quelle fréquence ? Suivi de la mission ?
 - 7.3. Les réunions : Combien de réunions (COPIL, COTECH, autres) ? Qui convier aux réunions intermédiaires et de restitution ?
 - 7.4. Les visites et entretiens d'inspection : Quels documents existants ? Quelle cadence ? Plus ou moins 10 000 m² par semaine par méta-auditeur ?
8. Évaluer la stratégie et le niveau actuel de connaissance de l'organisation en matière de gestion d'actifs physiques (Figure 5.15) (Figure 6.1) :
 - 8.1. La raison d'être : Quelle est la mission ? Quel est le niveau de services souhaité ? Quels sont les besoins et opportunités connus ?
 - 8.2. Les programmes : Quels sont les intentions, objectifs et orientations politiques ou les contraintes réglementaires ?

- 8.3. Le financement : Quelle source de financement est connue (montage financier, tarification, subventions, régulation économique par une organisation supérieure ou tutelle, autre) ? Quelle adéquation entre les moyens « requis » et ceux « disponibles » ? Quelles sont les sources de financement ou opportunités économiques ? Quelle capacité à payer ?
- 8.4. Le budget : Quel processus de sélection, de choix des actions (projets, maintenance, etc.) et d'inscription dans un plan annuel ou pluriannuel ? Quelles répartitions et distributions des moyens financiers entre l'investissement (CAPEX) et le fonctionnement (OPEX) ? Est-ce qu'elles se font par programme, par unité opérationnelle, par site, par bâtiment, par composant ? Quelles règles et clés de répartition ?
- 8.5. Les personnes clés : Pour le budget d'investissement (CAPEX), quel mode de gestion de projets est habituellement utilisé (types : loi MOP, Conception-Réalisation, Conception-Réalisation-Exploitation-Maintenance, Concession, PPP, etc.) ? Qui supervise ces activités pour le maître d'ouvrage ? Pour le budget de fonctionnement, est-ce que les activités sont internalisées (régie interne) ou externalisées (sous-traitants, impartition, etc.) ? Quelles instances de décision ? À quelle fréquence (jalon) ? Qui sont les personnes clés et comment les joindre ?
- 8.6. Les actions et activités principales : Quelles sont les *constructions* (ajouts d'actifs) ou *reconstructions* (reconversion d'actifs existants) à venir ? Quelle est la liste prévue d'*aliénation d'actifs* (cession, déconstruction et recyclage, bail emphytéotique) ? Quels sont les projets identifiés pour le *maintien d'actifs* (renouvellement d'actifs existants) ? Et sur le plan du fonctionnement, y a-t-il des protocoles ou plans de *maintenance régulière* (bien-être des bâtiments et de leurs composants) ou d'*exploitation* (bien-être des usagers) ?
- 8.7. Le système de gestion des actifs : à quel niveau de maturité, de développement et d'intégration la gestion d'actifs est-elle au sein de l'organisation ? Le processus d'aide à la décision est « candide » et relève d'une politique basée sur des actions correctives (OPEX et CAPEX) ? Relève-t-il plutôt d'une politique « en développement » basée sur des actions préventives ? Peut-être que la politique de l'organisation est plutôt axée sur la « compétence » par de bonnes pratiques alliant l'équilibrage entre le coût, la performance et le risque ? OU finalement, la politique est construite sur des critères d'« excellence » provenant de meilleures pratiques qui visent la maximisation de la

valeur d'usage ? Quelle organisation du capital humain ? Quelle gestion des *risques* et du *cycle de vie* ? Quelle gestion de l'information et du processus de décision ? Quelle planification des actions et quelle stratégie globale ?

6.5.2.2 Phase 2 : Classification et estimation des VAR

9. Appliquer à chacun des bâtiments de la liste du périmètre de l'audit, la classification des fonctionnalités (trois niveaux : catégorie technique, groupe de composants ou systèmes et composants), des usages et des fonctions par bâtiment et par catégorie technique (Figure 5.10) (Figure 6.1) (Annexe B) :
 - 9.1. La typologie du bâtiment : Quels usages (principaux et secondaires) ? Une école, un immeuble de bureaux, un hôpital, un aéroport, etc. ?
 - 9.2. Le classement technique : Quelles catégories techniques parmi les 10 catégories suivantes :
 - 9.2.1. Infrastructures (Fondations, constructions de sous-sol)
 - 9.2.2. Structure (Constructions de plancher et charpentes)
 - 9.2.3. Enveloppe extérieure (Murs, fenêtres, portes)
 - 9.2.4. Toiture (Couvertures, ouvertures)
 - 9.2.5. Systèmes de finition (Constructions intérieures, escaliers, revêtements intérieurs, équipements, ameublements et décorations)
 - 9.2.6. Systèmes mécaniques (Plomberie, chauffage, ventilation et conditionnement de l'air, protection incendie)
 - 9.2.7. Moyens de transport (Ascenseurs, trottoirs roulants, etc.)
 - 9.2.8. Systèmes électriques (Distribution, éclairage, communication, systèmes de sûreté, etc.)
 - 9.2.9. Constructions spéciales et démolition
 - 9.2.10. Abords du bâtiment (Aménagements extérieurs, systèmes mécaniques extérieurs, etc.)

- 9.3. Le référentiel d'espace : Quels bâtiments devons-nous évaluer ? Quelles surfaces de plancher brutes ? Quelle allocation des espaces ? Quelles occupations temporelles et surfaciques ?
10. Estimer et calculer les coûts pour la VAR des bâtiments de la liste du périmètre de l'audit par typologie de bâtiment et par typologie de catégorie technique de composants (cf. art 6.4.8.2 et 6.4.21) :
- 10.1. L'année de construction d'origine : Quelle année, quelle époque de construction à l'origine ? Quelles évolutions, sur ce bâtiment, des modes de constructions et de matériaux par période de 10 ans ?
- 10.2. La valeur actuelle de remplacement : Quel est la valeur d'usage maximale actuelle pour un bâtiment neuf de même typologie et à iso périmètre (même surface de plancher brute) ?

6.5.2.3 Phase 3 : Collecte de données par un processus itératif d'élicitation

11. Repérer, colliger et déterminer la fiabilité des informations provenant de documents techniques, occupationnels et fonctionnels, énergétiques et environnementaux, financiers et comptable, d'urbanisme et autres (Annexe A) :
- 11.1. Dossier de l'ouvrage exécuté (DOE) et Dossier des interventions ultérieures sur l'ouvrage (DIUO) : Quels documents sont disponibles issus du moment de la construction et de la mise en service du bâtiment ? Plan, Cahiers de charges, Devis, Rapports, Calcul de charges et algorithmes de fonctionnement, Diagrammes techniques, Études, Dessins et croquis, Manuel d'opération et de maintenance des équipements, systèmes et composants ?
- 11.2. Dossier en cours d'exploitation de l'ouvrage (DCEO), dont notamment :
- 11.2.1. Rapports techniques :
- 11.2.1.1. Rapports de vérification électrique, gaz, SSI (Système de Sécurité Incendie, etc.
- 11.2.1.2. Diagnostics Accessibilité universelle pour les PMR (Personne à Mobilité Réduite), Ad'AP (Agenda d'Accessibilité Programmée), DAT (Dossier Accessibilité Transmis à la Mairie, la ville).

- 11.2.1.3. Diagnostic de Performance énergétique (DPE).
 - 11.2.1.4. Audits énergétiques : Mesures et enregistrements de températures en continu pendant une semaine, idéalement en période de chauffe ; Relevés et enregistrements d'intensités sur des équipements conséquents dont on ignore la consommation ; Utilisation d'une caméra thermique ; Analyse de combustion des chaudières lorsque les précédentes analyses ne sont pas disponibles ; État des lieux des chaufferies (contrats d'entretien) ; Simulations thermiques dynamiques (STD).
 - 11.2.1.5. Diagnostic Amiante DTA (Dossier Technique Amiante) et DAPP (Dossier Amiante Parties Privatives).
 - 11.2.1.6. Rapport des Commissions de Sécurité.
 - 11.2.1.7. Diagnostics plomb, radon, structurel, etc.
 - 11.2.1.8. Historique des travaux effectués.
 - 11.2.1.9. Plans à jour des bâtiments.
- 11.2.2. Rapports occupationnels :
- 11.2.2.1. Conventions d'occupation, baux commerciaux, etc.
 - 11.2.2.2. Écoles : effectifs par classe, par école, perspective d'évolution des effectifs, etc.
 - 11.2.2.3. Équipements sportifs et culturels : plannings d'occupation, fréquentation, etc.
 - 11.2.2.4. Salles polyvalentes, locaux associatifs : plannings d'occupation ou de réservation des salles, nombre d'utilisateurs, etc.
 - 11.2.2.5. Besoins occupationnels et fonctionnels actuels ou futurs (horizon de 5 ans).
- 11.2.3. Rapports financiers et comptables (cf. notamment 6.4.22.5 ; 6.4.23 et 6.4.24) :
- 11.2.3.1. Bilan et résultat des dépenses d'investissement (CAPEX) et de fonctionnement (OPEX) réalisés durant les 5 dernières années, avec devis ou factures.
 - 11.2.3.2. Budgets d'investissement (CAPEX).

- 11.2.3.3. Devis de travaux en cours ou non réalisés.
- 11.2.3.4. Consommations en fluides, autres dépenses de fonctionnement.
- 11.2.3.5. Plan Pluriannuel d'Investissement (PPI)
- 11.2.3.6. Bilan des cessions et des déclarations d'intention d'aliéner (DIA)

11.2.4. Rapports d'urbanisme :

- 11.2.4.1. Cadastre
- 11.2.4.2. Plan local d'urbanisme (PLU)
- 11.2.4.3. Projet d'Aménagement et de Développement Durable (PADD)
- 11.2.4.4. Plan de prévention des risques naturels d'inondation (PPRi) et Programmes d'Actions de Prévention des Inondations (PAPI)
- 11.2.4.5. Plan de Déplacements Urbains (PDU)
- 11.2.4.6. Études prospectives (développement urbain, démographique)

12. Procéder à un examen de contrôle et de vérification pour chaque composant, de chaque bâtiment, et pour chacun des usages, par un processus itératif d'élicitation – par entretien individuels, groupe de discussion, questionnaires de sondage et d'enquête, observations et inspections, étude de cas, brainstorming, etc. - par le méta-auditeur - aide à formaliser les connaissances d'un expert non formé au PACKiT (personnes clés : de la programmation stratégique organisationnelle, de la comptabilité et de la finance, de l'ingénierie de construction et des projets, de l'ingénierie de maintenance et de l'exploitation, les usagers, etc.) pour la sauvegarder et la partager - afin de tester la rupture des usages, des fonctionnalités et des fonctions du nœud borroméen ((Figure 5.1) (Figure 6.1) :

12.1. Le constat :

- 12.1.1. Est-ce qu'il y a une rupture des *usages* ? : évolution des usages (surusage, mésusage, sous-usage) ou usages constants ? Quels nouveaux usages, le cas échéant ? Ou quelles surfaces requises et quels aménagements des horaires pour améliorer la situation ?
- 12.1.2. Est-ce qu'il y a une rupture des *fonctionnalités* ? : Les ambiances ne peuvent plus être assurées par vétusté ou par manque de mise en conformité

réglementaire : Quelles défaillances (bris, panne ou sous-performance) présentes ou à venir ? Quelles pathologies observées ? Quelles sont les causes et les conséquences techniques ? Quelles ampleur et quantité ?

12.1.3. Est-ce qu'il y a une rupture des *fonctions* ? L'usage est adéquat, les fonctionnalités ne sont pas vétustes ou ne se situent pas en dessous de l'application de la réglementation, mais la fonction mérite une adaptation fonctionnelle par renouvellement pour garantir les *ambiances* souhaitées (cf. 6.4.7) (p. ex. l'isolation d'un mur extérieur pour réduire la consommation énergétique et améliorer le confort des usagers).

12.2. La solution technique ou occupationnelle :

12.2.1. Localisation ou géolocalisation : Quels pièces, étages, façades, etc. ?

12.2.2. La description des travaux : Quelle gamme ou quel bouquet de travaux sont possibles (de la rustine au renouvellement modernisant, cf. 6.4.20) ? Quel verbe d'action à l'infinitif ? Remplacer ? Remettre ? Renouveler ? Changer ? Poser ? Déposer ? Assainir ? Excaver ? Isoler ? Installer ? Finir ? Peinturer ? Etc.

12.2.3. L'estimation du coût (cf. 6.4.21) : Quelle source d'estimation du coût ? Quelle méthode ? Quel niveau de certitude ?

12.2.4. La durée de vie avant d'intervenir (cf. 6.4.22.2) : Quel horizon temporel avant que le besoin de la réalisation technique du projet en maintien d'actifs ne devienne critique ? Un an, trois ans, cinq ans, plus de cinq ans ?

12.2.5. La nature principale des travaux (cf. 6.4.22.1) : Correctif (après la défaillance), préventif (avant la défaillance pour garantir la performance), mise en conformité, adaptation fonctionnelle (rupture de la fonction pour assurer les *ambiances* (cf. 6.4.7) ?

12.2.6. La nature des risques (cf. 6.4.22.3) : Quelles sont les conséquences techniques, organisationnelles, systémiques en termes de risques ? Quelle gravité ? Quelle intensité ? Quelles probabilités ou vraisemblances d'occurrence ?

6.5.2.4 Phase 4 : Simulations, analyse et scénarios

13. Saisir les données, l'information et la connaissance traitées en phase 3 (cf.6.5.2.3) dans la plateforme collaborative 3t qui est un moteur de traitement des données articulées autour des logiciels myA et evA (tbmaestro SA, 2022)⁶¹⁰. Le moteur 3t est développé sur la base du modèle PACKiT qui inclut le modèle de « Smart City-organologique » avec sa boucle intégrée des approches normatives - *ex ante* - et positives - *ex post* - de la captation, de l'extraction et de l'analyse de données (Figure 5.16) (Figure 6.1) (Figure 6.2) :

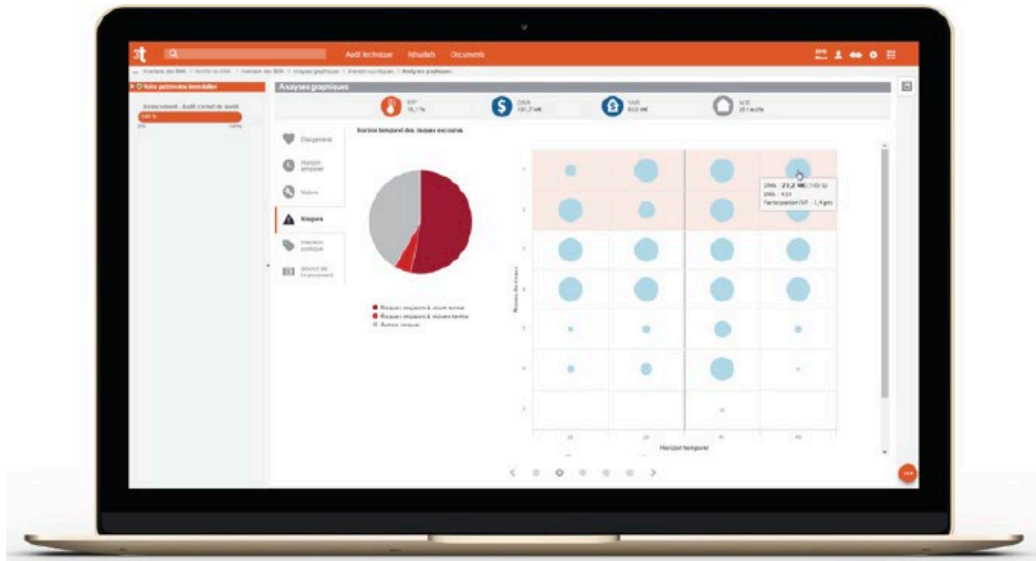


Figure 6.2 : Illustration de l'application d'aide à la décision (extrait : plateforme 3t evA, copyright © tbmaestro SA, 2022 - tous droits réservés).

13.1. Base de données : Centraliser les données, les informations et les indicateurs de performance qui en découlent dans une base de données centralisées, le 3t, avec un accès multi-usager, entièrement sur internet (full web), pour généraliser les meilleures pratiques en ingénierie collaborative, dématérialisation des informations sur les actifs et de gouvernance globale de l'organisation (Figure 6.3) (Figure 6.4) (Figure 6.5) (Figure 6.6).

⁶¹⁰ tbmaestro SA. (2022). Plateforme collaborative 3t : logiciels myA et evA. www.tbmaestro.com

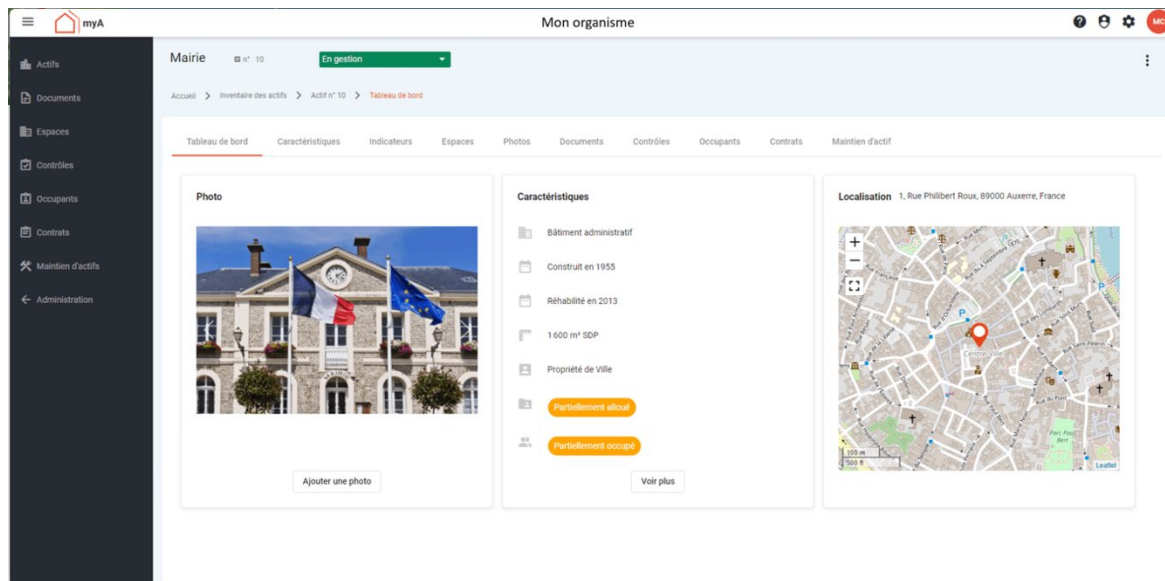


Figure 6.3 : Illustration de la base de connaissance : information administrative détaillée par bâtiment (extrait : plateforme 3t myA, copyright © tbmaestro SA, 2022 - tous droits réservés).

Groupe	Nom de l'actif	Somme(Surface de plancher (SDP...))	Somme(Surface utile br...)
Bâtiments municipaux ou communaut...	(5)	7 995 m ²	7 756 m ²
Ecoles primaires	(14)	15 930 m ²	15 449 m ²
Bâtiments de bureaux (multi-usager)	(1)	1 938 m ²	1 880 m ²
Entrepôts	(1)	3 234 m ²	3 137 m ²
Centres sociaux	(1)	3 337 m ²	3 239 m ²
Bâtiments sportifs	(1)	14 850 m ²	14 405 m ²
Immeubles d'habitation	(1)	2 584 m ²	2 506 m ²

Lignes: 34 Moyenne: 7124 Total: 14 Min: 1938 Max: 15930 Somme: 49868

Figure 6.4 : Illustration de la base de connaissance : information sur les surfaces de tous les bâtiments (extrait : plateforme 3t myA, copyright © tbmaestro SA, 2022 - tous droits réservés).

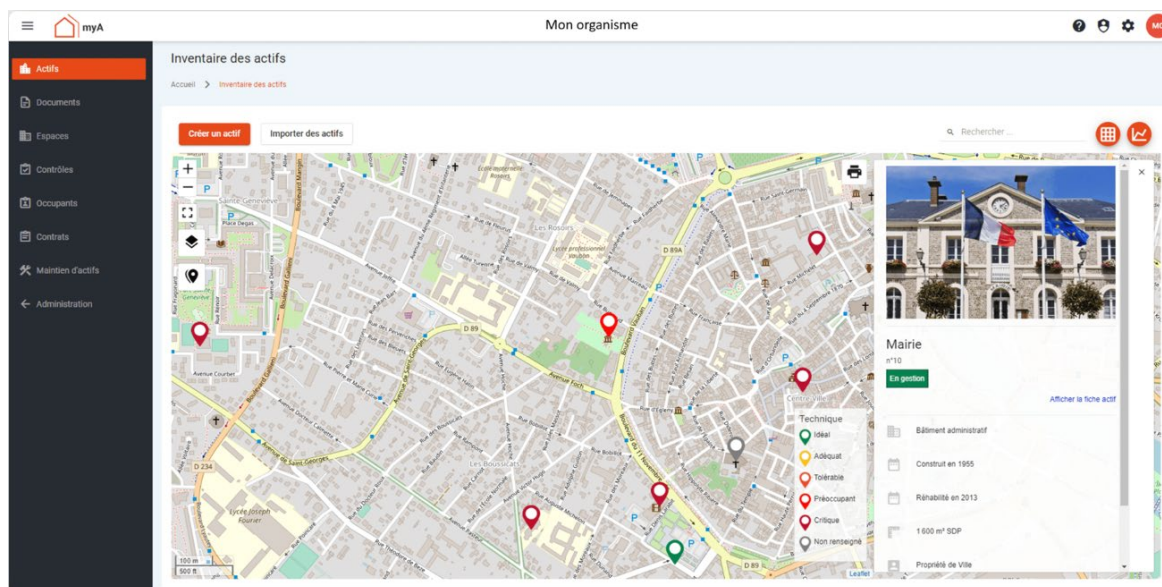


Figure 6.5 : Illustration de la base de connaissance : géolocalisation de tous les bâtiments (extrait : plateforme 3t myA, copyright © tbmaestro SA, 2022 - tous droits réservés).

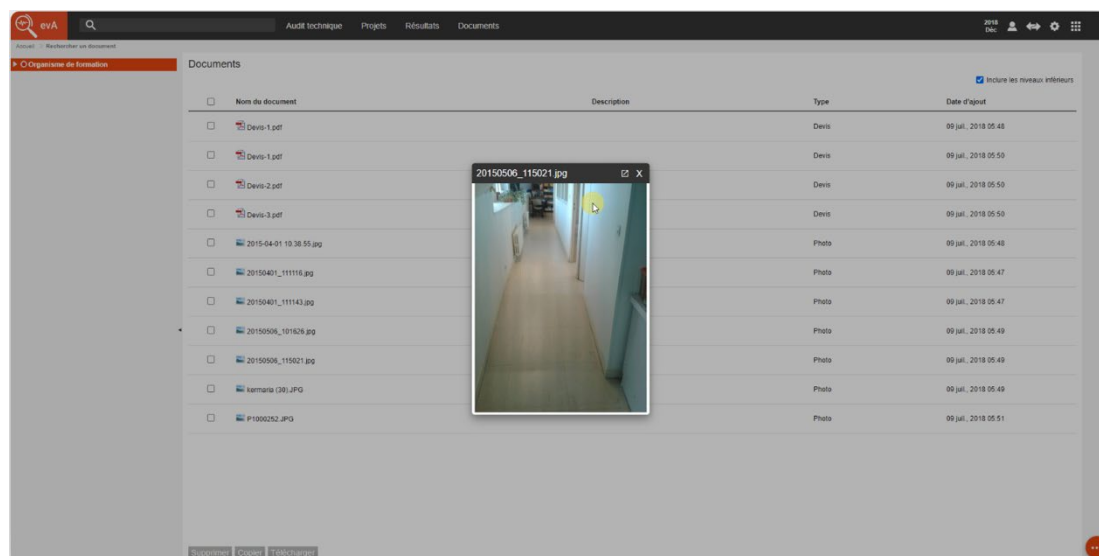


Figure 6.6 : Illustration de la base de connaissance : gestion électronique des documents (GED) et stockage (extrait : plateforme 3t evA, copyright © tbmaestro SA, 2022 - tous droits réservés).

13.2. La plateforme collaborative et la suite de logiciels de gestion des actifs physiques : Le moteur 3t et ses logiciels evA et myA permettent de générer en accéléré la connaissance pour élaborer divers outils de gestion des actifs physiques, dont notamment, le Schéma directeur immobilier, le Plan de maintien d'actifs, le Plan annuel ou pluriannuel des projets (ou opérations), etc. Ils permettent aussi un suivi en intertemporel des décisions d'action, des effets du temps et les paramètres principaux influençant la dégradation et dépréciation du parc d'actifs physiques (Figure 6.7).

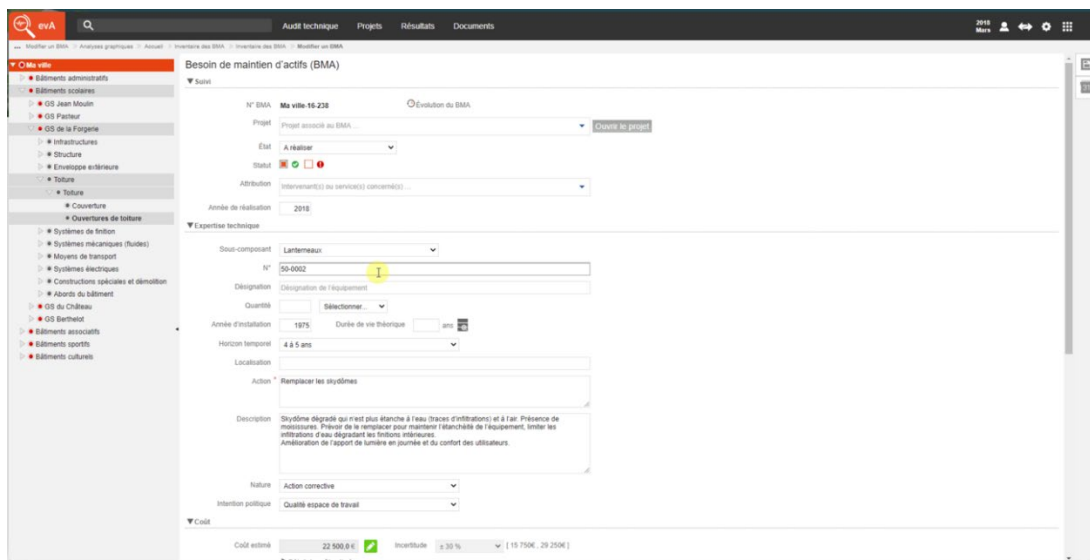


Figure 6.7 : Illustration de la collecte des données : caractérisation de chacun des besoins en travaux du MA5 pour chacun des bâtiments (extrait : plateforme 3t evA, copyright © tbmaestro SA, 2022 - tous droits réservés).

14. Procéder à des simulations et des analyses par graphiques et tableaux croisés, dont notamment les suivantes (Figure 6.8) :

- 14.1. Inventaire des besoins en travaux (IBMA) : Quelle liste des travaux issus de l'audit technique et des risques ? Quelles caractérisations ?
- 14.2. Surface de plancher brute : Quelle SDPB par bâtiment ? Par typologie de bâtiment ? Pour l'ensemble du portefeuille d'actifs physiques de l'organisation ?

- 14.3. Indice de Vétusté Physique : Quel IVP par bâtiment ? Par catégorie technique de ces bâtiments ? Par typologie de bâtiment ? Pour l'ensemble du portefeuille d'actifs physiques de l'organisation ? Quel IVP en fonction de l'âge des bâtiments ?
- 14.4. Nature d'action de maintien d'actifs physiques (en valeur absolue et en valeur relative) : Quel MA5 pour chaque nature d'action par bâtiment ? Par catégorie technique de ces bâtiments ? Par typologie de bâtiment et par unité opérationnelle ? Pour l'ensemble du portefeuille d'actifs physiques de l'organisation ? Quel IVP en fonction de l'âge des bâtiments ? Quelles natures d'action de maintien d'actifs par horizon temporel ? Par niveau de risque, par IPR ou par SF ?
- 14.5. Horizon temporel (en valeur absolue et en valeur relative) : Quel MA5 pour chaque horizon temporel par bâtiment ? Par catégorie technique de ces bâtiments ? Par typologie de bâtiment et par unité opérationnelle ? Pour l'ensemble du portefeuille d'actifs physiques de l'organisation ? Quel horizon temporel par nature d'action, par risque, par IPR ou par SF ?
- 14.6. Risque (en valeur absolue et en valeur relative) : quel MA5 pour chaque nature de risque par bâtiment ? Par catégorie technique de ces bâtiments ? Par typologie de bâtiment et par unité opérationnelle ? Pour l'ensemble du portefeuille d'actifs physiques de l'organisation ? Quel risque par nature d'action, par horizon temporel, par IPR ou par SF ?
- 14.7. Intention politique et réglementaire (en valeur absolue et en valeur relative) : Quel MA5 pour chaque IPR par bâtiment ? Par catégorie technique de ces bâtiments ? Par typologie de bâtiment et par unité opérationnelle ? Pour l'ensemble du portefeuille d'actifs physiques de l'organisation ? Quel IPR par nature d'action, par horizon temporel, par risque ou par SF ?
- 14.8. Inventaire des besoins occupationnels et fonctionnels (IBOF) : Quelle liste des travaux issus de l'audit occupationnel et fonctionnel ? Quelles caractérisations ? Quelles modernisations sont requises ?
- 14.9. Allocation : Quelles affectations par espace dans un bâtiment ? Par typologie de bâtiment ? Pour l'ensemble du portefeuille d'actifs physiques de l'organisation ?
- 14.10. Occupation : Quelles densités surfaciques et temporelles d'utilisation des espaces ? Y a-t-il adéquation, sous occupation ou saturation ? Une optimisation est-elle possible et souhaitable ?

- 14.11. Fonctionnelle : Quelle adéquation des fonctions requises pour les usages ? Y a-t-il adéquation ou inadéquation ? Quelles fonctions manquent (sanitaires, isolation (phonique ou thermique) des lieux, vestiaires, stationnements, etc.) ?

The screenshot shows the 'Inventaire des besoins de maintien d'actifs (IBMA)' interface. A modal window titled 'Tri et filtres - Catégorie technique' is open, displaying a list of technical categories with checkboxes for selection. The categories include: Structure, Enveloppe extérieure, Toiture, Systèmes de fixation, Systèmes mécaniques (fluides), Systèmes électriques, and Abords du bâtiment. The background table lists various assets with columns for Status, Actif, Cat. tech., N° IBMA, Action, Description, Coût, Solde, Horiz. temp., État, Commentaires, and MAJ.

Figure 6.8 : Illustration de la simulation des données : Liste d'inventaire des besoins en maintien d'actifs MA5, par catégorie technique (extrait : plateforme 3t evA, copyright © tbmaestro SA, 2022 - tous droits réservés).

6.5.2.5 Phase 5 : Stratégie, plan d'action et rapport

15. Dresser la liste des stratégies, des objectifs à atteindre et des priorités d'actions à poser, au regard des phases précédentes du PACKiT en approfondissant avec le COPIL les analyses et les scénarios afin de déterminer les recommandations d'actions menant à des dépenses CAPEX et OPEX (Figure 6.1) :

15.1. Contexte actuel et contexte souhaité (Figure 5.2) (Figure 5.3) : De quel environnement organisationnel contraint doit-on tenir compte (aspects techniques et environnementaux, économiques et sociaux en interne et en externe de l'organisation, etc.) ?

15.2 Analyse de la criticité, couche des risques : Quel classement combinatoire des paramètres du risque, par l'entremise d'un jeu sérieux basé sur la méthode du *processus d'analyse hiérarchique (analytic hierarchy process ou AHP)* (Saaty et

Peniwati, 2013)⁶¹¹ (cf. 6.4.19.3)? Quel niveau de risque à partir des 96 combinaisons de risques possibles (6 natures de l'impact, 4 niveaux d'intensité de l'impact et 4 niveaux de vraisemblance d'occurrence) (Figure 6.9)? Quelle aversion aux risques des décideurs? Quelle distribution par classe de risques sur 7 niveaux de risques (de besoins en travaux de maintien d'actifs (MA5) très fortement risqués à besoins en travaux de maintien d'actifs absolument pas risqués) issue du classement combinatoire (Figure 6.10)? Quels risques majeurs (habituellement les 2 premières classes de niveaux de risques)?

Nature d'impact	Intensité	Gravité Conséquence	Probabilité d'occurrence			
			Peu probable	Faible	Forte	Avérée
Personnes	Très élevée	Mort	2	1	1	1
Personnes	Élevée	Blessure grave avec convalescence longue	3	2	1	1
Capacité de services	Très élevée	Impossibilité de l'organisation à assumer ses fonctions fondamentales	3	2	1	1
Environnement	Très élevée	Catastrophe environnementale	3	2	1	1
Personnes	Modérée	Blessures légères avec convalescence courte	4	3	2	1
Patrimoine	Très élevée	Dégradations d'ordre structurelles	4	3	2	1
Capacité de services	Élevée	Impossibilité de l'organisation à assumer ses fonctions principales	4	3	2	1
Patrimoine	Élevée	Dégradations significatives non structurelles	5	4	3	2
Qualité de services	Très élevée	Standarts de qualité de services minimum non respectés	5	4	3	2
Environnement	Élevée	Pollution importante	5	4	3	2
Capacité de services	Modérée	Impossibilité de l'organisation à assumer ses fonctions mineures	5	4	4	3
Qualité de services	Élevée	Ambiance visuelles/olfactives/thermiques fortement dégradés	5	4	4	3
Surcoût d'exploitation	Très élevée	Surcoût important du budget/an en maintenance-exploitation (> 50%)	5	4	4	3
Personnes	Faible	Blessure mineure	6	6	5	4
Patrimoine	Modérée	Dégradations d'équipements de l'actif	6	6	5	4
Capacité de services	Faible	Impossibilité de l'organisation à assumer ses fonctions facultatives	6	6	5	4
Environnement	Modérée	Pollution mineure	6	6	5	4
Surcoût d'exploitation	Élevée	Surcoût majeur du budget/an en maintenance-exploitation (30% à 50%)	6	6	5	4
Qualité de services	Modérée	Ambiances visuelles/olfactives dégradés	7	7	6	6
Environnement	Faible	Emissions de Gaz à Effet de Serre (GES)	7	7	6	6
Surcoût d'exploitation	Modérée	Surcoût modéré du budget/an en maintenance-exploitation (10% à 30%)	7	7	6	6
Patrimoine	Faible	Dégradations des finitions intérieures	7	7	7	7
Qualité de services	Faible	Ambiances visuelles/olfactives légèrement dégradés	7	7	7	7
Surcoût d'exploitation	Faible	Surcoût mineur du budget/an en maintenance-exploitation (< 10%)	7	7	7	7

Figure 6.9 : Illustration du résultat d'un *processus d'analyse hiérarchique* avec des décideurs de l'organisation (extrait du résultat : plateforme 3t evA, copyright © tbmaestro SA, 2022 - tous droits réservés).

⁶¹¹ Saaty, T. L., & Peniwati, K. (2013). *Group decision making: drawing out and reconciling differences*. RWS publications.

Niveau de risque	Définition
Niveau n°1	Besoins de maintien d'actifs très fortement risqués
Niveau n°2	Besoins de maintien d'actifs fortement risqués
Niveau n°3	Besoins de maintien d'actifs risqués
Niveau n°4	Besoins de maintien d'actifs moyennement risqués
Niveau n°5	Besoins de maintien d'actifs faiblement risqués
Niveau n°6	Besoins de maintien d'actifs non risqués
Niveau n°7	Besoins de maintien d'actifs absolument pas risqués

Figure 6.10 : Sept classes de niveaux de risques (classes de *risques majeurs* constitués des niveaux n°1 et n°2, copyright © tbmaestro SA, 2022 - tous droits réservés).

- 15.3 Analyse de la criticité, couche de la temporalité : Quelles urgences à *court terme* (DVR de zéro à un an, correspondant au Déficit de maintien d'actifs (DMA) (cf. 6.4.17 et 6.4.22.2) ? Qu'en est-il du *moyen terme* (DVR de 2 à 5 ans, correspondant au Maintien d'actifs régulier (MAR) (cf. 6.4.18 et 6.4.22.2) ?
- 15.2. Analyse de la criticité, couche occupationnelle et fonctionnelle : Par co-construction de la stratégie avec les groupes de travail (COPIL, COTECH et autres instances), quels sont les besoins et priorités sous l'angle occupationnel et fonctionnel ? Quel croisement de l'information entre l'audit technique, environnemental et des risques avec l'audit occupationnel et fonctionnel (matrice technique, occupationnelle et fonctionnelle ou TOF) ? Quel plan d'action à partir d'une analyse globale : Quelles sont les *constructions* (ajouts d'actifs) ou *reconstructions* (reconversion d'actifs existants) souhaitées ? Quelle est la liste à prévoir pour l'*aliénation d'actifs* (cession, déconstruction et recyclage, bail emphytéotique) ? Quels sont les projets prioritaires identifiés pour le *maintien d'actifs* (renouvellement d'actifs existants) ? Et sur le plan du fonctionnement, y a-t-il besoins d'une réorganisation des activités (Optimisation d'emplois du temps ou d'activités), un réaménagement simple des espaces (Modification des usages sans travaux majeurs incluant les déménagements) ou une continuité de la surveillance par la mise en place ou la révision des protocoles ou plans de *maintenance régulière* (bien-être des bâtiments et de leurs composants) ou d'*exploitation* (bien-être des usagers) ?

16. Élaborer un rapport conforme à l'accord préalable à l'audit entre le maître d'ouvrage des actifs physique et le méta-auditeur. Ce rapport contient l'ensemble des documents suivants :

- 16.1. Dresser et présenter l'état des lieux : par un inventaire et registre, issus de l'audit technique et environnemental ainsi que de l'audit occupationnel et fonctionnel incluant notamment, les besoins en travaux pour les bâtiments et leurs caractérisations ainsi que les niveaux d'occupation et d'adéquation fonctionnelle des espaces avec les opportunités d'optimisation (liste au format Excel ou par accès internet sur la plateforme 3t) (Figure 6.11).

Statut	Actif	Cat. tech.	N° EMA	Action	Description	Coût	Incertitude	Dépense	Solde	Hertz. temp.	État	Nature	Impact p.
<input type="checkbox"/>			15-156	Repandre l'entrebâ	Entrebâ dégradé, présence de blocs de bois de poutres. Risque...	2 k€	± 30 %	-	2 k€	4.8.5 ans	En cours		
<input type="checkbox"/>			15-573	Adapter ou créer une rampe d'accès pour garantir l'accessibi...	Risque de non-conformité vis-à-vis de la réglementation PMR...	35 k€	± 30 %	-	35 k€	1 an	À réaliser		
<input type="checkbox"/>			15-24	Remplacer les protections solaires intérieures	Stores intérieurs endommagés, décolorés, matériau ancien car...	1,7 k€	± 30 %	-	1,7 k€	2.8.3 ans	À réaliser		
<input type="checkbox"/>			15-29	Remplacer les portes extérieures	Vitalité importante constatée de certains blocs-porte extérie...	8,4 k€	± 30 %	-	8,4 k€	2.8.3 ans	À réaliser		
<input type="checkbox"/>			15-83	Remplacer les skydômes	Skydôme dégradé qui n'est plus étanche à l'eau (traces d'infl...	1,5 k€	± 30 %	-	1,5 k€	5 ans	À réaliser		
<input type="checkbox"/>			15-45	Réconfigurer les locaux pour garantir l'accès aux persones ...	Risque de non-conformité vis-à-vis de la réglementation PMR...	2,9 k€	± 30 %	-	2,9 k€	Immédiat	À réaliser		
<input type="checkbox"/>			15-41	Aménager les blocs-portes intérieurs pour garantir l'accès a...	Risque de non-conformité vis-à-vis de la réglementation PMR...	2,5 k€	± 30 %	-	2,5 k€	2.8.3 ans	À réaliser		
<input type="checkbox"/>			15-65	Adapter les blocs sanitaires existants pour garantir l'accès...	Risque de non-conformité vis-à-vis de la réglementation PMR...	1,4 k€	± 30 %	-	1,4 k€	Immédiat	À réaliser		
<input type="checkbox"/>			15-75	Rénover le bloc sanitaire	Bloc sanitaire en mauvais état (panneau de douche rouillé...	2 k€	± 30 %	-	2 k€	2.8.3 ans	À réaliser		
<input type="checkbox"/>			15-70	Remplacer la chaudière	Chaudière présentant des traces de vétusté. Risque de perte...	5 k€	± 30 %	-	5 k€	5 ans	À réaliser		
<input type="checkbox"/>			15-74	Remplacer les émetteurs de chaleur	Émetteurs de chaleur vétustes et peu performants. Remplacer...	12,5 k€	± 10 %	-	12,5 k€	2.8.3 ans	À réaliser		
<input type="checkbox"/>			15-61	Remplacer les tableaux électriques	Tableaux électriques à fusibles vétustes, non coffrés et en ...	500 €	± 30 %	-	500 €	Immédiat	À réaliser		
<input type="checkbox"/>			15-4	Mettre en conformité les places de stationnement dédiées aux...	Risque de non-conformité vis-à-vis de la réglementation PMR...	450 €	± 30 %	-	450 €	1 an	À réaliser		
<input type="checkbox"/>			15-1	Améliorer la signalétique	Obsolète de la signalétique extérieure. Améliorer les co...	500 €	± 30 %	-	500 €	1 an	À réaliser		

Figure 6.11 : Exemple de la liste d'inventaires des besoins en maintien d'actifs, MA5, pour tous les bâtiments (extrait : plateforme 3t evA, copyright © tbmaestro SA, 2022 - tous droits réservés).

- 16.2. Intégrer la vision stratégique : à l'aide de Carnets de santé décrivant les bâtiments et présentant l'état des actifs physiques à toutes les échelles (globale, par unité opérationnelle, par secteur, par typologie de bâtiment, par bâtiment) ainsi que les croisements de la connaissance entre les différents paramètres (Figure 6.12) (Figure 6.13).

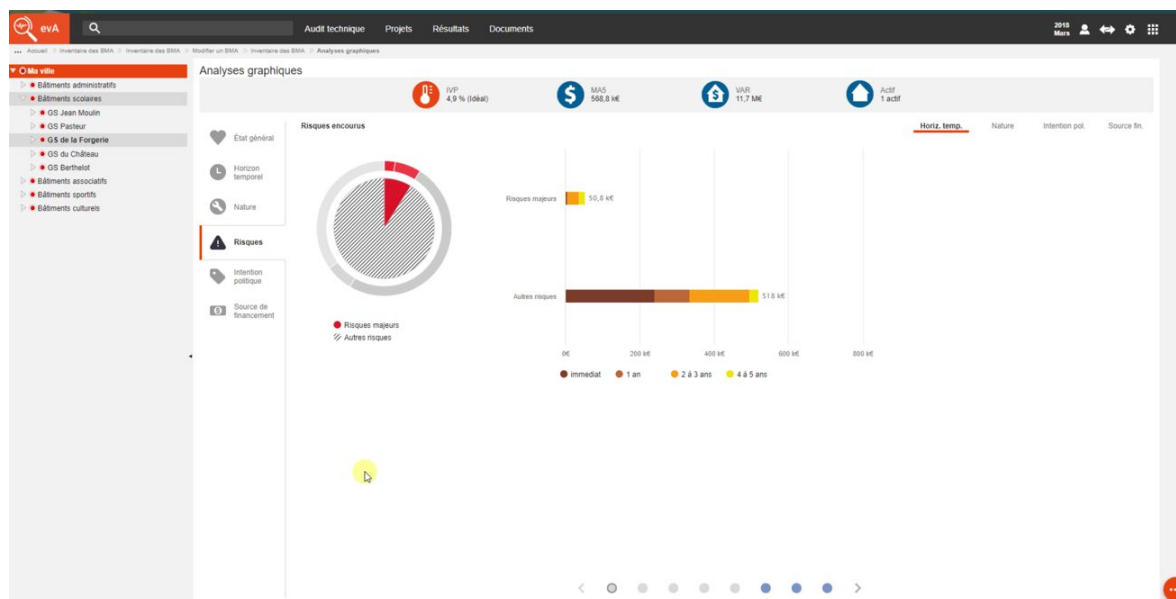


Figure 6.12 : Exemple du croisement de la connaissance entre les risques et l'horizon temporel à l'échelle d'un bâtiment (extrait : plateforme 3t evA, copyright © tbmaestro SA, 2022 - tous droits réservés).

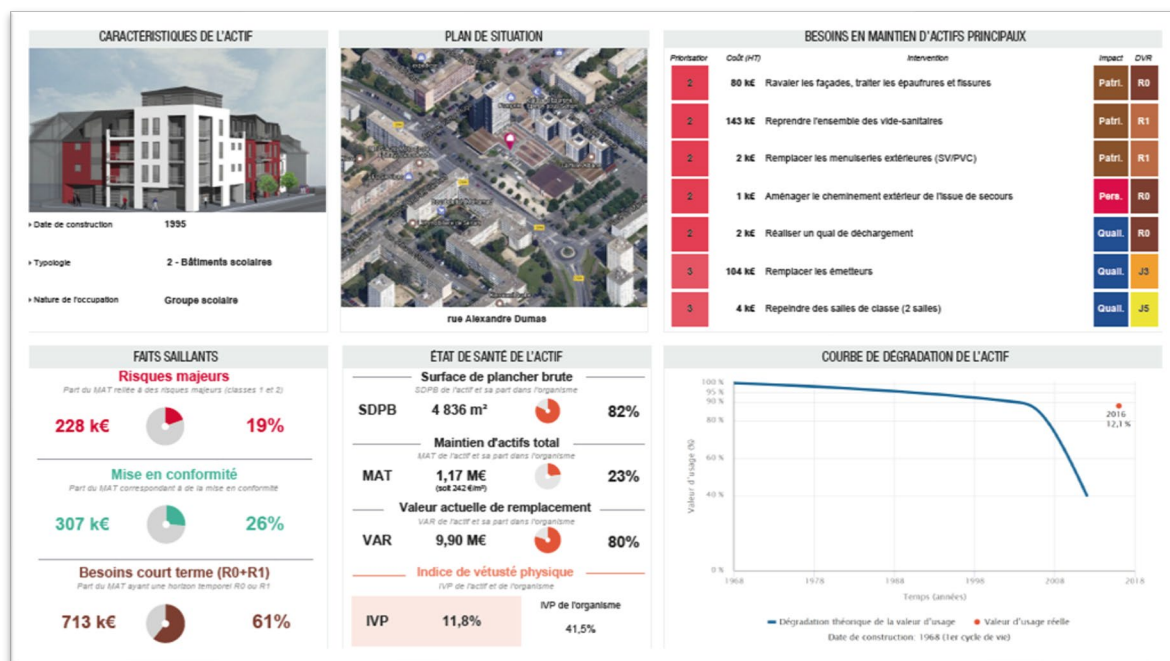


Figure 6.13 : Exemple d'une fiche de synthèse technique et environnementale pour un bâtiment (copyright © tbmaestro SA, 2022 - tous droits réservés).

SYNTHÈSE AUDIT TECHNIQUE, OCCUPATIONNEL, FONCTIONNEL, FINANCIER

Attention : Tous les montants sont exprimés en euros hors taxes et ne comprennent pas les coûts annexes (études, pilotage, AMO, etc.)

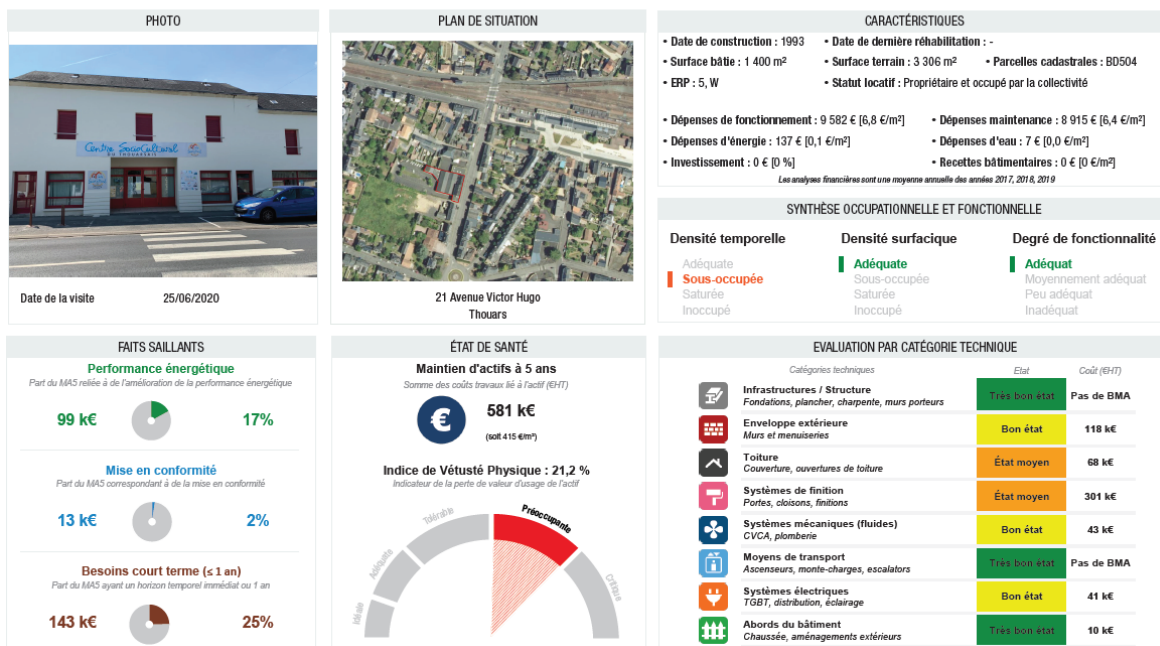


Figure 6.15 : Exemple d'une fiche de synthèse globale pour un bâtiment (copyright © tbmaestro SA, 2022 - tous droits réservés).



Figure 6.16 : Exemple d'une fiche de synthèse pour une opération immobilière visant plusieurs bâtiments (copyright © tbmaestro SA, 2022 - tous droits réservés).

CHAPITRE 7 APPLICATION EMPIRIQUE : PLAN STRATÉGIQUE DE RENOUVELLEMENT DES BÂTIMENTS DE L'ORGANISATION SCOLAIRE URBAINE (OSU) ⁶¹²

7.1 Introduction

Depuis sa fondation en 1846 et jusqu'à aujourd'hui, l'OSU a pour raison d'être l'accompagnement de la société canadienne, et plus spécifiquement celui de son milieu urbain local, dans ses transformations économiques et sociales, en élaborant, implantant et suivant les politiques du système éducatif pour des élèves de 4 ans à 17 ans et pour des adultes souhaitant terminer leurs études secondaires ou acquérir une formation professionnelle spécialisée dans divers métiers.

Les activités de cet organisme public, qui joue un rôle d'intermédiaire entre les établissements scolaires et le ministère de l'Éducation, sont majoritairement financées par l'État.

La mission spécifique est d'organiser les services éducatifs dans les établissements d'enseignement préscolaire (maternelle) et primaire (P), secondaire (S), les établissements spécialisés pour les élèves handicapés ou en difficultés d'adaptation ou d'apprentissage (EHDAA), les centres de formation professionnelle (FP) et d'éducation des adultes (EA).

En 2022, l'OSU, qui compte près de 18 000 salariés, regroupe environ 114 200 élèves - dont environ 78 600 au secteur des élèves de moins de 17 ans ainsi qu'environ 6 700 pour des élèves récemment arrivés au pays - qui sont répartis dans 188 établissements (121 écoles primaires ordinaires et 5 écoles primaires pour les (EHDAA) ; 24 écoles secondaires ordinaires et 7 écoles secondaires (EHDAA) ; 4 écoles combinant les primaires et secondaires ordinaires ainsi que 3 écoles primaires et secondaires EHDAA ; 9 écoles de métiers de la formation professionnelle ; 15 centres de la formation générale des adultes).

Dans ce chapitre qui vient illustrer par un exemple le modèle PACKiT, on a cherché à définir les enjeux, les défis, les limites, le financement à prévoir ainsi que la stratégie à adopter pour le renouvellement d'un parc immobilier de grande taille en date de 2013. Pour établir les

⁶¹² Dans un but de protection à minima des données organisationnelles et des autres informations qui permettraient l'identification explicite de la personne morale concernée, le nom de l'organisation est changé pour l'Organisation Scolaire Urbaine (OSU).

fluctuations du métabolisme des divers bâtiments étudiés, la recherche est basée sur la mesure, l'observation et l'analyse de la *valeur d'usage* ; de la *perte de valeur* ; de son financement ; et de caractérisations des besoins en travaux conformément au modèle et procédé PACKiT (cf. chapitres 5 et 6).

Le parc immobilier de l'OSU, qui date de plus de 175 ans en 2022, est de grande taille avec une hétérogénéité des usages et des besoins en travaux. Cela apporte une complexité intéressante pour dresser la vue d'ensemble du parc de bâtiments scolaires. Sur cet exemple significatif on testera la validité des hypothèses suivantes :

- H₄ : La méthode de dépréciation comptable linéaire est insuffisante pour identifier la dotation correcte nécessaire aux amortissements et ainsi identifier la perte de valeur d'usage pour garantir le renouvellement et de remplacement des actifs physiques.
- H₅ : L'indice de vétusté physique (IVP) et les caractérisations du maintien d'actifs à 5 ans (MA5) permettent de créer un référentiel pour suivre chaque bâtiment et le comparer aux autres, afin de mieux anticiper le financement et la répartition des ressources budgétaires.
- H₆ : L'analyse des besoins en travaux à réaliser, en prenant en compte les caractéristiques (*ce que nous devrions faire*) pour ramener la valeur d'usage à 100 %, permet de hiérarchiser les travaux dans un contexte de contraintes budgétaires (*ce que nous sommes en mesure de faire*).

Notez qu'il a été choisi d'effectuer un arrêt sur image à la période 2012-2013, période pour laquelle l'ensemble des données est suffisant et disponible.

Enfin, dans les sections qui suivent, la synthèse de la recherche a pour objectif d'établir le portrait global des besoins en travaux nécessaires pour maintenir les bâtiments audités de l'OSU à un niveau maîtrisé de la *valeur d'usage*. Cette maîtrise doit se faire par une stratégie d'intervention articulée autour du *maintien d'actifs à 5 ans* (MA5), des *risques* associés et d'autres caractéristiques permettant de proposer un Schéma Directeur immobilier basé sur la *criticité* des besoins en travaux.

7.2 Phase 1 : Préparation de l'audit

7.2.1 Connaissance antérieure (2012) et organisation de l'audit

En 2012, Jean-Pascal Foucault (auteur de la présente thèse) fut sollicité pour accompagner l'OSU qui était confrontée à une situation de vétusté importante de son parc immobilier.

Au cours des années précédentes et jusqu'en 2012, l'OSU avait déjà pris conscience d'un accroissement des besoins en matière d'investissements de ses 288 immeubles. Plus précisément, la situation était perçue comme préoccupante sur les 226 immeubles en exploitation ou sur le point de l'être (pour 9 d'entre eux). Les besoins étaient également préoccupants pour le parc de bâtiments excédentaires (62 immeubles), en revanche ils n'ont pas été pris en compte dans le traitement et la caractérisation de la *connaissance antérieure*.

Ces besoins émanent de différentes sources comme les adaptations fonctionnelles et les transformations nécessaires pour accueillir la nouvelle clientèle issue de la croissance de la population d'élèves, la baisse du ratio par classe d'enseignant par élèves, la réappropriation d'immeubles excédentaires, les contraintes liées à la réalisation de travaux sur des immeubles dont la valeur patrimoniale culturelle est avérée et la vétusté due à un sous financement perçu de la mesure budgétaire pour le maintien d'actifs, pour ne nommer que celles-ci.

Dans ce contexte de grande complexité technique et d'incertitude avérée du financement de l'ensemble des besoins à combler, l'OSU a souhaité confier une mission de recherche pour établir le portrait de la situation en matière de résorption du maintien d'actifs de ses immeubles à l'horizon de 5 ans (MA5). Ce portrait devant mener à la mise en évidence des enjeux et défis de la gestion du parc immobilier de l'OSU ainsi que d'un plan d'action pour aborder dans les meilleures conditions la suite des évènements.

À partir de la connaissance existante (données, données dérivées et informations), il y avait d'abord nécessité d'établir le degré de maturité du système de gestion d'actifs utilisé ainsi que la fiabilité des données antérieures que l'OSU possédait. Le cadrage et le point de référence proposés consistaient à faire reposer la recherche sur la nécessité de maintenir la *valeur d'usage* à un niveau adéquat et d'identifier un seuil de financement nécessaire pour la résorption des besoins en travaux à 5 ans (*maintien d'actifs à l'horizon de 5 ans ou MA5*).

Dans le cadre du processus de la recherche, Monsieur Cyril Chateau, ingénieur diplômé en Génie Urbain de l'Université de technologie de Compiègne, a joué le rôle du méta-auditeur

et a été formé par Jean-Pascal Foucault, chercheur, conformément aux spécifications du modèle PACKiT (cf. 6.5.2).

7.2.1.1 Présentation du parc de bâtiments scolaires

La répartition des statuts d'exploitation (utilisation) des 288 bâtiments propriétés de l'OSU et répartis sur 1,5 million de m² et se divise en trois classes (Figure 7.1).

De plus, la distribution du parc de bâtiments se présente en douze époques de construction (Figure 7.2 et Figure 7.3).

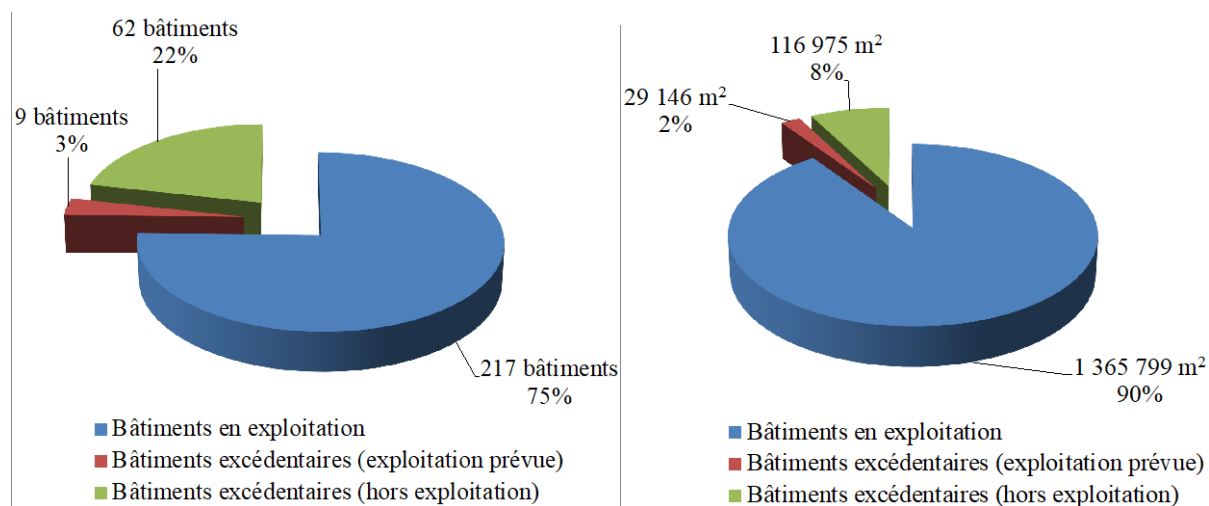


Figure 7.1 : Répartition en nombre de bâtiments et en pourcentage par type d'exploitation des 288 actifs et 1,5 million de m² « propriétés » de l'OSU (février 2012).

Clés d'interprétation et analyse :

- La composition du parc de bâtiments est une donnée primordiale à prendre en considération pour avoir une vue globale et complète des différents enjeux de la gestion du patrimoine immobilier.
- L'OSU possède 3 types de statuts d'exploitation :
 - Les bâtiments en exploitation ;
 - Les bâtiments excédentaires avec exploitation prévue prochainement ;
 - Les bâtiments excédentaires (hors exploitation scolaire).

- Une distinction a été effectuée entre les bâtiments excédentaires, car la gestion de ceux avec une exploitation prévue est complètement différente. Ils ne sont pas encore utilisés en tant que tel, mais ne sont plus non plus considérés comme des excédentaires en ce sens où la problématique de maintien d'actifs est bel et bien présente puisqu'ils seront réintégrés très prochainement dans le parc.
- La proportion de bâtiments excédentaires est relativement importante en nombre de bâtiments (62 immeubles, soit 22 % du parc immobilier). Bien que représentant seulement 8 % des surfaces propriétés de l'OSU, ces 116 975 m² constituent un gisement potentiel pour répondre en partie à la conjoncture de croissance présente et future du nombre d'élèves.
- Pour éviter d'omettre les besoins en maintien d'actifs et les besoins de financement inhérents aux immeubles excédentaires, il est fortement recommandé d'inclure dès que possible ces immeubles dans la réflexion globale sur les usages présents et à venir du parc immobilier.
- Puisque le financement octroyé par le ministère (bailleur de fonds principal) concerne uniquement les bâtiments en « exploitation scolaire », la suite, de la présente recherche portera sur les 226 immeubles en « exploitation scolaire » ou sur le point de l'être.

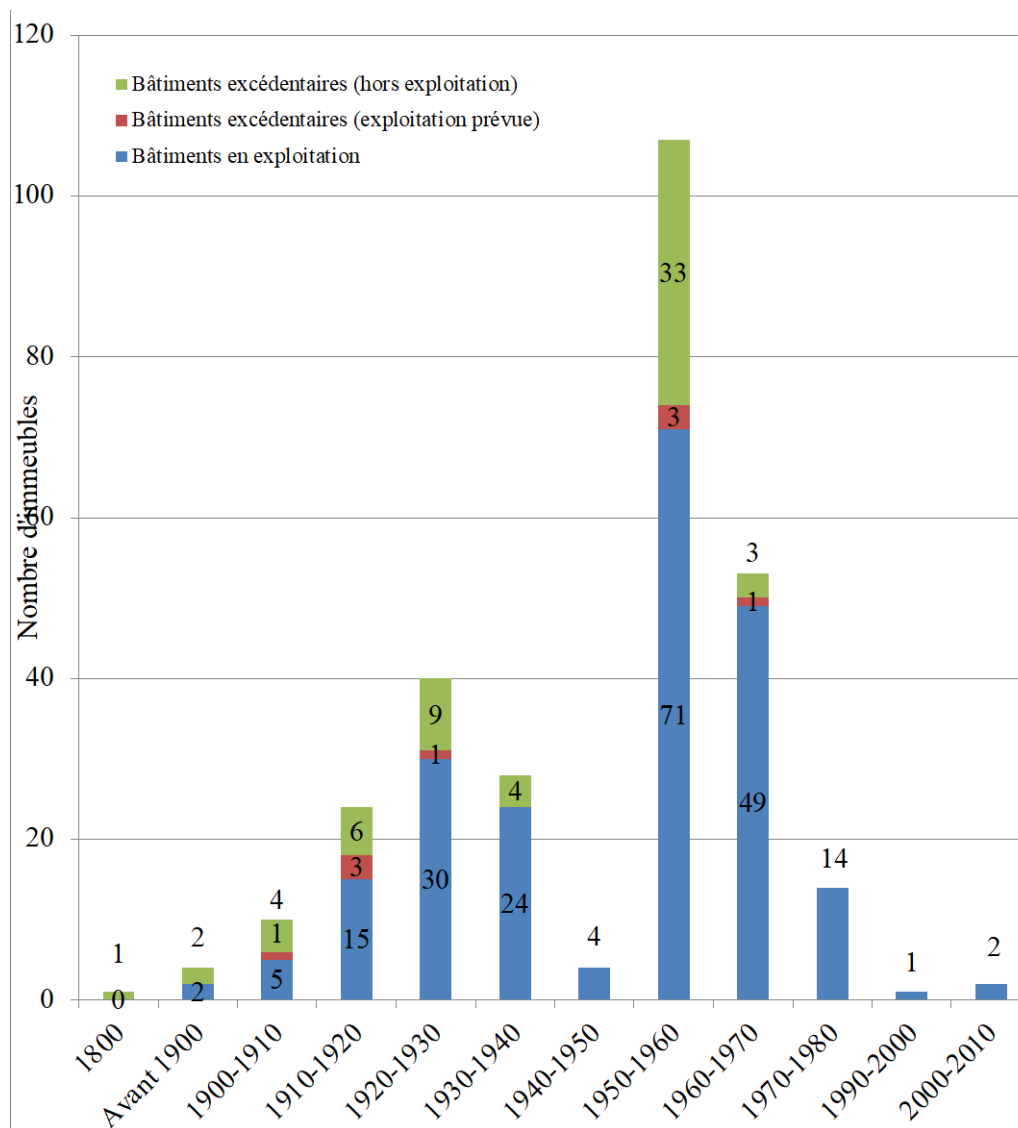


Figure 7.2 : Distribution par nombre d'immeubles selon les époques de construction en fonction de leur exploitation pour les 288 actifs « propriétés » de l'OSU (février 2012).

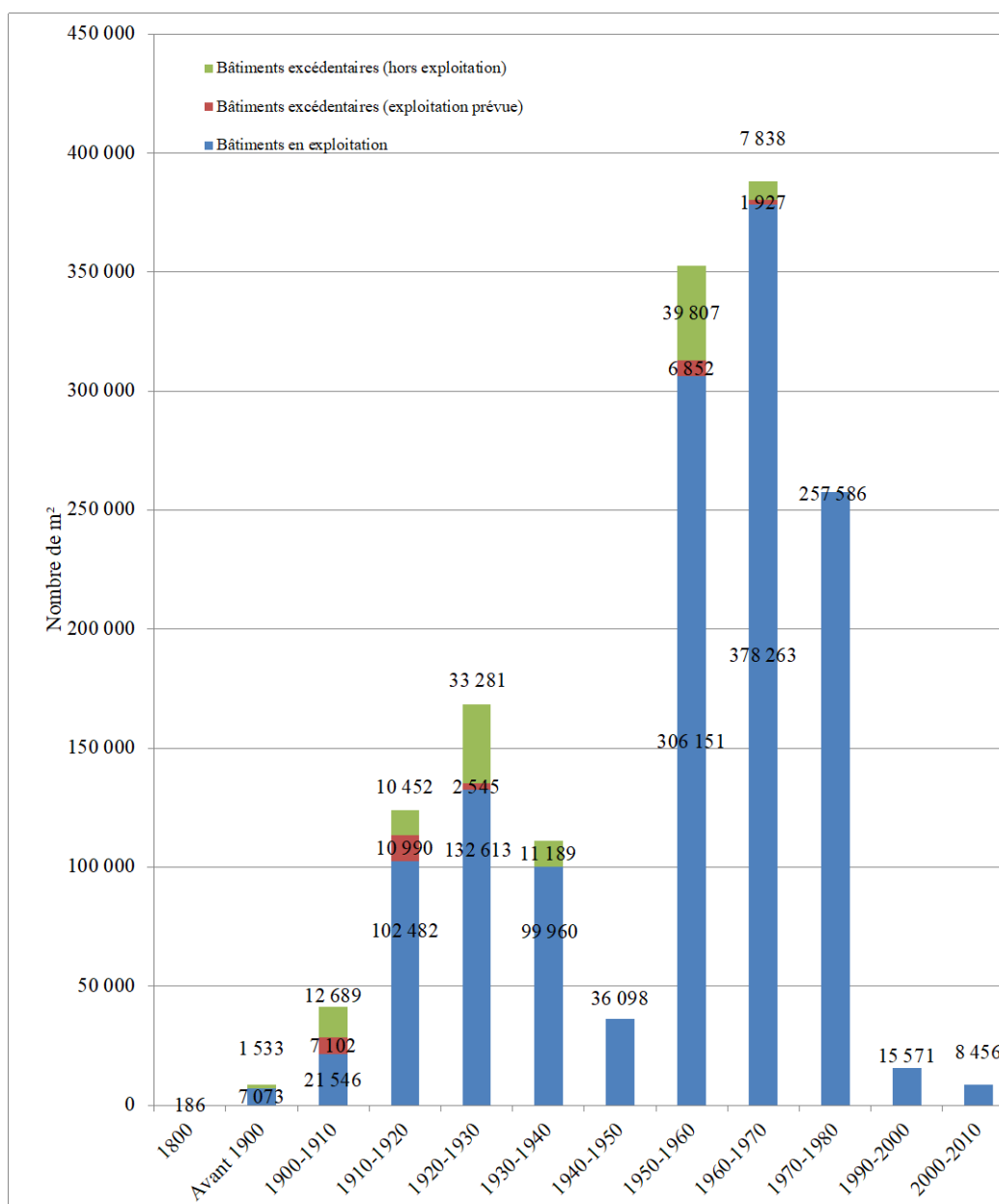


Figure 7.3 : Distribution par surface selon les époques de construction en fonction de leur exploitation pour les 1,5 million de m² « propriété » de l'OSU (février 2012).

Clés d'interprétation et analyse :

- La distribution des immeubles du parc de bâtiments de l'OSU, selon les époques de construction, fournit une information sur le « débit » du développement et de la croissance du parc immobilier en identifiant les moments fastes de construction.

- Elle permet aussi de donner un aperçu des cycles de vie pour ainsi mieux mettre en contexte les défis actuels, notamment de budgets et de main-d'œuvre, ainsi que de réintervention en maintien d'actifs.
- Sur un plan plus technique, elle informe aussi sur les modes constructifs des différentes époques (type de matériaux, d'assemblages de matériaux et de systèmes de toutes les catégories techniques).
- Essentiellement deux grandes époques de 30 ans de construction se distinguent : celle de 1910 à 1940 et celle de 1950 à 1980. Environ 40 % du parc immobilier date d'avant 1950 et la quasi-totalité des 60 % restants a été construite entre 1950 et 1980.
- Sur le plan technique, ces deux époques se caractérisent, d'une part, par des constructions de plus petites surfaces et dont les composants et les assemblages de composants sont moins complexes - peu de systèmes de ventilation, de chauffages ou d'autres équipements électromécaniques centralisés, peu ou pas de systèmes architecturaux complexes, etc. - (époque 1910 à 1940) et, d'autre part, par des constructions de grandes surfaces (écoles secondaires polyvalentes) effectuées durant une période relativement courte pour répondre à une demande « urgente » d'évolution du système éducatif en lien avec le baby-boom.
- En considérant que le cycle de vie d'utilisation (cf. Tableau 5-1 et Figure 5.1) d'un immeuble est estimé autour de 40 à 50 ans, le parc immobilier de l'OSU est de toute évidence vieillissant. La grande majorité des bâtiments en sont à leur 2^e voire leur 3^e cycle de vie d'usage.
- Dans les circonstances actuelles, avec une telle composition du parc immobilier, il est primordial pour l'OSU de continuer à développer et à maintenir une culture de la :
 - Connaissance qualitative et quantitative du patrimoine immobilier ;
 - Compréhension du métabolisme et de la dynamique des usages des bâtiments ;
 - Maîtrise des besoins en maintien d'actifs (MA5) (cf. 6.4.16) et du déficit de maintien d'actifs (DMA) (cf. 6.4.17) par une maîtrise des risques associés (cf. 6.4.22.3).

7.2.1.2 Dépenses en travaux de renouvellement pour la période 1999 à 2013

Le tableau 7-1 présente les *dépenses annuelles d'investissement* consenties pour le renouvellement des actifs (CAPEX) (cf. 6.4.23) des 226 bâtiments de l'OSU et la part pour l'échantillon retenu (cf. 7.3.2). Ces dépenses sont issues de différentes mesures budgétaires (cf. 6.4.22.5) octroyées par le ministère.

Pendant la période de 1999 à 2013, les sommes investies pour l'échantillon des 40 immeubles de la présente étude correspondent à 29,4 % du total des investissements, soit une part légèrement supérieure à la proportion de 24,5 % de la *valeur actuellement de remplacement* (VAR) de l'échantillon par rapport à l'ensemble des 226 bâtiments scolaires.

Tableau 7-1 : Efforts consentis en travaux de renouvellement des bâtiments, OSU, 1999-2013.

Période	Total des investissements (226 bâtiments en exploitation)	Part de l'échantillon de 40 bâtiments (\$)	Part de l'échantillon de 40 bâtiments (%)
1999-2000	4 076 878 \$	1 988 815,18 \$	48,8%
2000-2001	5 105 081 \$	2 717 444,98 \$	53,2%
2001-2002	5 317 795 \$	3 476 493,00 \$	65,4%
2002-2003	5 473 801 \$	4 169 575,80 \$	76,2%
2003-2004	5 655 814 \$	1 477 042,60 \$	26,1%
2004-2005	5 755 374 \$	904 241,80 \$	15,7%
2005-2006	15 173 977 \$	1 392 059,00 \$	9,2%
2006-2007	18 883 235 \$	1 569 025,60 \$	8,3%
2007-2008	26 863 414 \$	4 325 581,60 \$	16,1%
2008-2009	46 488 898 \$	9 397 546,60 \$	20,2%
2009-2010	53 166 418 \$	11 684 504,40 \$	22,0%
2010-2011	53 698 044 \$	15 940 538,40 \$	29,7%
2011-2012	50 646 257 \$	21 522 956,60 \$	42,5%
2012-2013	56 094 501 \$	22 966 610,20 \$	40,9%
moyenne annuelle	25 171 392 \$	7 395 174 \$	
total	352 399 486 \$	103 532 436 \$	29,4%

7.2.2 Estimation préliminaire de la valeur actuelle de remplacement des bâtiments

Le PACKiT requiert de procéder à l'estimation de la VAR (cf. 6.4.8.2). Cet étalon est utile, et même central, pour relativiser les données financières afin de les rendre commensurables et comparables.

Rappelons que l'estimation de la VAR n'est pas un travail anodin. En effet, l'octroi du financement pour la résorption des besoins en MA5 (cf. 6.4.16) et du déficit de maintien d'actifs (DMA) (cf. 6.4.17) de l'OSU s'effectue sur la base d'un pourcentage de cette VAR. On comprend donc l'intérêt d'avoir une estimation la plus en adéquation et fiable possible avec la réalité. La certitude de l'information devient un enjeu.

Il est à noter que l'IVP, la perte de valeur d'usage d'un bâtiment, correspond dans les faits à la valeur relative du montant d'argent nécessaire pour remettre à neuf le bien. Autrement dit, normalement, si la fonction mathématique de la dépréciation est l'expression d'un lien de causalité avec celle de la dégradation physique, le taux de dépréciation comptable annuel devrait correspondre à l'IVP divisé par 5 (anticipation des besoins sur 5 ans).

Dans le cadre de la présente recherche, le choix a été fait de limiter l'estimation de la VAR à celle d'une *école primaire*. Les écoles primaires représentent 64 % des 226 bâtiments. Ce choix est pertinent, par sa fiabilité sous l'axe de la *complétude*, pour illustrer et mettre en évidence les principaux enjeux et les défis de la gestion du parc des bâtiments de l'OSU. En revanche, une étude approfondie et détaillée de la VAR pour chaque typologie d'immeuble constituant le patrimoine immobilier (primaire, secondaire, FGA, CFP, centre administratif, etc.) est fortement recommandée pour améliorer la fiabilité sous l'axe de l'*exactitude* (précision et ampleur) des besoins ainsi que pour avoir une réflexion construite et complète sur les seuils à ne pas dépasser et les cibles à atteindre dans le but de maîtriser le déficit de maintien d'actifs. Effectivement, du fait d'une part plus importante de systèmes électromécaniques, il est possible que pour les 36 % des autres bâtiments, la VAR soit éventuellement majorée de 10 à 20 %.

Le lecteur doit donc interpréter avec prudence les résultats de cette partie de la présente recherche, car la VAR d'une école primaire représente une fourchette basse par rapport aux autres typologies d'immeubles. Ce qui fait augmenter la valeur relative des besoins en travaux (MA5) (cf. 6.4.16), c'est-à-dire, la valeur de l'indice de vétusté physique (IVP) (cf. 6.4.19).

La méthode d'estimation de la VAR se réalise essentiellement par comparaison de coûts de projets de construction récents similaires à la typologie d'immeuble étudiée. Les coûts

incluent le coût des travaux et les autres coûts assimilables au projet, dont les frais d'études et de suivi des travaux. Cela permet de connaître au mieux la valeur actuelle de remplacement, c'est-à-dire la valeur de reconstruction à partir d'un terrain nu, selon les matériaux, les modes constructifs et les autres techniques ou méthodes d'aujourd'hui et à iso périmètre (cf. 6.4.8.2).

À l'annexe E, il est présenté des estimations de la VAR pour trois projets récents (2011) d'écoles primaires. Cette analyse comparative conforte notre intuition selon laquelle la VAR théorique actuellement utilisée par le bailleur de fonds est nettement sous-évaluée. Aux fins de représentation des résultats, il est choisi dans la présente étude de retenir la VAR dont la certitude est la meilleure dans l'attente d'une étude plus approfondie. En ce sens, nous utiliserons la VAR unitaire de 2700 \$/m² pour chacun des immeubles de la recherche. (le remboursement partiel des taxes permet de passer de 2800 \$/m² à 2700 \$/m²)

La VAR totale retenue pour l'ensemble des 288 immeubles du patrimoine immobilier de l'OSU est alors estimée à environ 4 milliards \$. Et dans les faits, en corrigeant la VAR pour tenir compte de chaque typologie de bâtiments (primaire, secondaire, FGA, CFP, centre administratif, etc.), la VAR est probablement entre 4 et 4,3 milliards \$. À titre de comparatif, la VAR du ministère (bailleur de fonds) est estimée à 2,468 milliards \$.

Cependant, puisque la mesure budgétaire du financement des projets de maintien d'actifs ne concerne pas les immeubles excédentaires, ceux-ci sont exclus de l'étude. Or, pour les 226 immeubles en exploitation – ou sur le point de l'être, c'est-à-dire en incluant les 9 excédentaires bientôt réutilisés - une VAR de 3,697 milliards \$ au lieu de la VAR du ministère, estimée à 2,372 Mrds \$, actuellement utilisée, soit environ 65 % de la VAR des 226 immeubles.

7.2.3 Collecte et traitement de données existantes

La base de données de 2012 du patrimoine immobilier de l'OSU est essentiellement constituée de deux sources d'informations que sont le « plan directeur des travaux » de l'OSU (essentiellement des fichiers Excel), d'une part, et de l'application logicielle SIMACS (Système Informatisé de Maintien des Actifs des Commissions Scolaires), d'autre part.

Le Plan directeur de l'OSU

Au sein du service du patrimoine immobilier et de la logistique, pour la planification des travaux, l'OSU s'est dotée d'un plan directeur, réalisé en interne.

Ce plan directeur est un plan pluriannuel des investissements en maintien d'actifs à réaliser au cours des cinq prochaines années (*ce que nous sommes en mesure de faire*). On y retrouve, toutes les interventions à réaliser jugées « urgentes » au moment de l'étude. Rigoureusement, nous pouvons dire que les interventions « urgentes » relèvent plutôt de la notion d'« horizon temporel » que de la notion de « criticité » (risques et autres facteurs). Toutes les estimations présentes dans le plan directeur sont issues de rapports d'expertises bien étayés par des experts de l'ingénierie et de l'architecture, ou issues de réévaluations par ces mêmes experts des données présentes dans l'application logicielle SIMACS. Ce sont donc des données jugées très fiables.

En revanche, ce plan directeur est parfaitement lacunaire puisqu'il ne concerne que les travaux urgents - depuis même plusieurs années - qui sont des évidences et qui omettent parfois la vision systémique et intégrée des besoins en travaux sur un bâtiment (*ce que nous devrions être en mesure de faire*).

L'application SIMACS

Le deuxième outil de suivi des besoins en maintien d'actifs immobiliers est l'outil SIMACS. Cette application numérique est développée par le « bailleur de fonds » (le ministère) pour permettre à l'OSU d'avoir à disposition un inventaire normalisé des principaux actifs de chacun des bâtiments. C'est aussi un outil de planification et de reddition de compte de l'OSU auprès du ministère pour les travaux de *renouvellement des actifs* (cf. 6.4.20).

Le ministère demande à l'OSU de renseigner cette base de données pour établir les *besoins en maintien d'actifs (MA5)* (cf. 6.4.16) pour permettre la résorption du *déficit de maintien d'actifs* (6.4.17). À titre d'information, l'enveloppe budgétaire de l'OSU pour la *résorption et le maintien du déficit de maintien* (mesure budgétaire 50620), octroyée par le ministère, est établie en partie selon le poids relatif de son *déficit de maintien d'actifs* par rapport au déficit de maintien d'actifs total de l'ensemble des parcs immobiliers similaires financé par le ministère (environ 4000 à l'échelle du Québec), multiplié par l'enveloppe budgétaire disponible à l'échelle nationale. Le 1^{er} mars de chaque année, le ministère procède à une lecture de SIMACS afin d'établir la répartition de l'enveloppe pour l'année scolaire suivante.

Cette base de données est un outil qui peut sembler adéquat pour répertorier les travaux à effectuer sur les actifs du parc immobilier. Cependant, aujourd'hui, tous les actifs et leurs

composants ne sont pas au registre de l'inventaire et donc les données entrées dans ce logiciel sont incomplètes.

De plus, les estimations saisies dans SIMACS étant souvent issues d'inspections visuelles sommaires, elles sont souvent sous-évaluées. L'observation et le diagnostic s'inscrivent alors dans une logique de travaux par « objet », plutôt que dans une logique de travaux par « projet », issus de la prise en compte de plusieurs objets du fait de l'effet de contagion des dégradations. Sans compter le modèle d'estimation des coûts de travaux qui ne tient pas compte de conditions particulières de réalisation des travaux (site occupé, travaux de soir ou de week-end, etc.) et qui omet parfois les effets sur le prix de travaux liés entre différents composants (approche systémique). Enfin, les durées de vie théoriques automatisées dans SIMACS ne tiennent pas compte des phénomènes multifactoriels influençant la dégradation des bâtiments (la conception et la construction d'origine ; le niveau d'effort consenti en maintenance régulière, en maintien des actifs et en mise en conformité ; les sollicitations exogènes – climat, pollution, etc. – et endogènes – usage, durée, fréquence, etc.).

Cela mène à des coûts de besoins en travaux pour le maintien d'actifs souvent largement sous-estimés. Ainsi, une troisième source de données a été considérée dans le cadre de cette étude : les extrapolations internes.

Les extrapolations internes

N'ayant ni le personnel ni le temps d'effectuer les relevés de terrain pour alimenter la base de données du logiciel SIMACS, les équipes de projets de construction, renouvellement et rénovation de l'OSU ont dû procéder, pour les besoins de la présente recherche, à des extrapolations afin d'obtenir une vision globale des travaux à effectuer sur le patrimoine immobilier. Ce travail s'est effectué sans audit, encadré par un méta-auditeur externe, tiers de confiance.

Pour ce faire, suivant les cas, ils se sont appuyés sur les travaux déjà réalisés sur des bâtiments similaires ou sur les plans et devis de professionnels pour des travaux semblables.

Ces estimations, réalisées sans faire de relevés sur le terrain, donnent un ordre de grandeur du coût des travaux lorsqu'aucune expertise détaillée n'avait été effectuée sur les actifs immobiliers.

Certitude de l'estimation des besoins en maintien d'actifs à 5 ans (MA5)

L'estimation du MA5 de l'OSU totalise 1,3 milliard \$, en 2012, et est issue de trois sources (Tableau 7-2 et Figure 7.4).

Tableau 7-2 : Estimation des besoins en maintien d'actifs à horizon de 5 ans (MA5).

Sources des données	BMA (MA5)	Proportion
Plan Directeur de l'OSU	491 711 383,00 \$	38,15%
Base de données Simacs	242 397 996,00 \$	18,80%
Extrapolation (sans audit "terrain")	554 945 538,00 \$	43,05%
Total	1 289 054 917,00 \$	100%

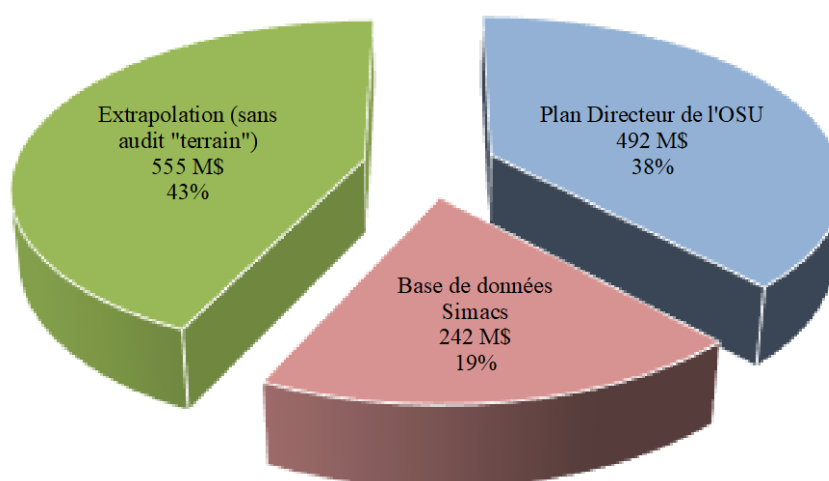


Figure 7.4 : Répartition des 1,3 milliard \$ de besoins en maintien d'actifs à 5 ans (MA5) en fonction de la source des audits d'évaluation des besoins en travaux pour les 226 immeubles « en exploitation » du parc immobilier de l'OSU (février 2012).

Même si la part d'informations issues de SIMACS est la plus faible, ce qui pénalise le financement, il est important de noter qu'une part des estimations contenues dans le Plan directeur de l'OSU est issue de SIMACS. Cependant, ces estimations SIMACS, qui sont basées sur un calcul à partir de quantités entrées en inventaire multipliées par des prix génériques et tenant compte d'une durée de vie théorique pour le remplacement, doivent toujours faire l'objet

d'une vérification détaillée pour s'assurer de leur validité et de leur fiabilité avant de permettre une migration vers le Plan directeur.

Alors, qu'en est-il de la certitude de l'information ? Une analyse approfondie de chacune des catégories techniques, de chacun des systèmes et composants de tous les bâtiments (analyse non présentée en détail au sein de la présente thèse), permet d'identifier des lacunes sur la fiabilité des données. À la Figure 7.5, on retrouve la répartition de 1,3 milliard \$ du MA5 et de la certitude associée.

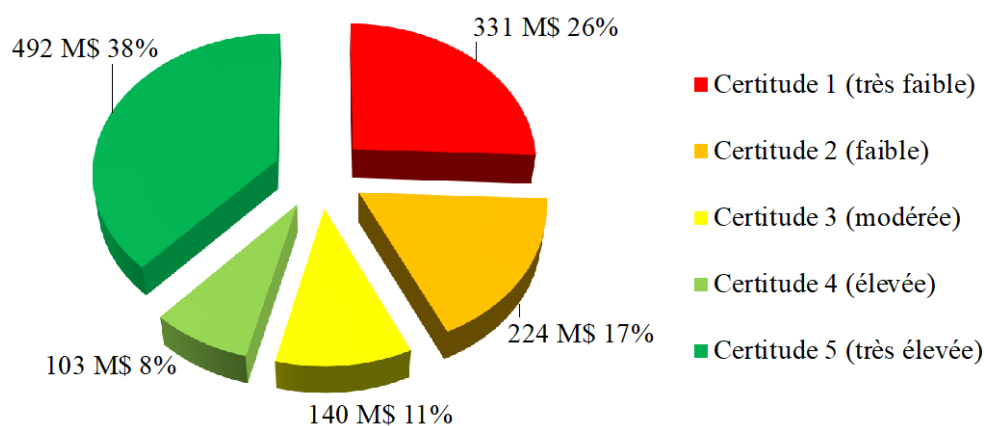


Figure 7.5 : Répartition du MA5 de 1,3 milliard \$ par classe de certitude d'estimation du coût des besoins en travaux des 226 immeubles « en exploitation » du parc immobilier de l'OSU (février 2012).

Clés d'interprétation et analyse :

- Pour s'assurer de la fiabilité du système de gestion d'actifs (cf. 5,4) de l'OSU, il est essentiel de poser un regard critique sur l'exhaustivité (complétude des audits et autres auscultations) et sur la certitude (exactitude et précision) des données immobilières. Rappelons que la fiabilité d'un dispositif s'évalue par l'observation et la mise en relation de l'exhaustivité et de la certitude des données.
- La Figure 7.5 présente la fiabilité des données collectées pour estimer le MA5 des 226 immeubles de l'OSU. En fonction des 28 programmes de travaux de l'OSU, le classement s'est effectué selon les 5 niveaux de certitude suivants :
 - Certitude 1 (très faible) : les données ne sont inscrites ni dans le plan directeur ni dans la base de données SIMACS. Elles sont issues d'extrapolations

effectuées à partir de coûts moyens de travaux précédents et d'outils d'estimation. Cette extrapolation est très largement influencée par divers biais cognitifs (Tableau 5 6).

- Certitude 2 (faible) : les données ne sont inscrites ni dans le plan directeur ni dans la base de données SIMACS. Elles sont issues d'extrapolations effectuées à partir de données de certitude 4 ou 5, en raisonnant par époque de construction et par coûts moyens connus pour ces types de travaux. Cette extrapolation est largement influencée par le biais cognitif de représentativité heuristique (Tableau 5 6).
 - Certitude 3 (modérée) : les données sont inscrites dans la base de données SIMACS et ont été saisies à la suite d'inspections visuelles uniquement (MA5 sous-estimé en règle générale).
 - Certitude 4 (élevée) : les données sont inscrites dans la base de données SIMACS et ont été saisies à la suite d'inspections techniques approfondies.
 - Certitude 5 (très élevée) : les données sont inscrites au Plan directeur et sont issues de rapports d'expertise de professionnels.
- Les extrapolations de certitude 1, ont été effectuées uniquement sur les plafonds de plâtre et finitions intérieures, et représentent 26 % du MA5 total, soit 331 M\$.
 - Les extrapolations de certitude 2, effectuées en grande partie sur les systèmes de plomberie et les systèmes électriques représentent quant à elles 17 % du MA5 total, soit 224 M\$.
 - Le reste du MA5 (57 %, soit 735 M\$) est constitué des données issues de rapports de professionnels ou d'inspections de professionnels.
 - Il est à noter que les programmes de travaux touchant les structures, les enveloppes extérieures et les toitures représentent une part importante du MA5 estimé à un niveau 3 de certitude. En effet, suite à de récents travaux réalisés sur le parc immobilier, il s'est avéré que le coût des travaux estimés dans les rapports d'inspection était très souvent sous-évalué par rapport au coût réel des travaux réalisés postérieurement.
 - Attention, il est important de ne pas mettre de côté les extrapolations qui représentent en tout et pour tout 43 % du MA5 total, soit 555 M\$ sous prétexte du faible niveau de certitude.

- Selon l'hypothèse qu'il faudrait valider les données de certitude 1 et 2 notamment, le MA5 total pourrait être globalement sous-évalué. Une amélioration de la fiabilité des données est nécessaire pour fonder une connaissance du parc immobilier et de son métabolisme.

7.2.4 Estimation préliminaire de l'indice de vétusté physique (IVP)

À partir de l'estimation de la VAR et du MA5 des 226 bâtiments en exploitation de l'OSU, et malgré toutes les précautions à prendre concernant la marge d'erreur – dont, l'augmentation de la VAR pour 36 % des bâtiments et des estimations de MA5 -, il est possible de calculer l'IVP (cf. 6.4.19) et de le présenter en fonction de l'âge des bâtiments (Figure 7.6).

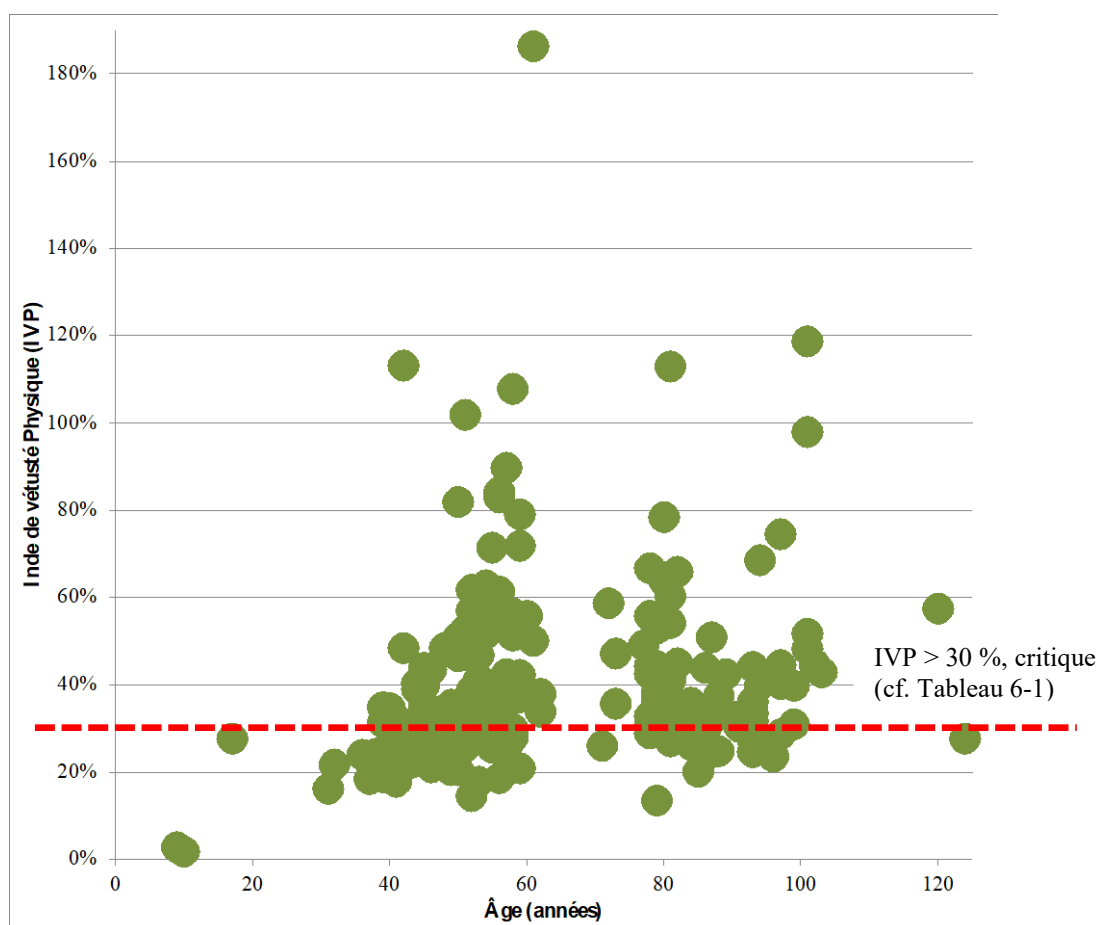


Figure 7.6 : Indice de vétusté physique (IVP) pour une MA5 de 1,3 milliard \$ en fonction de l'âge des 226 immeubles « en exploitation » du parc immobilier de l'OSU (février 2012).

Clés d'interprétation et analyse :

- Le graphique ci-dessus illustre la distribution de l'indice de vétusté physique (axe Y) en fonction de l'âge des bâtiments de l'OSU (axe X) en 2012. L'indice de vétusté physique est défini par le ratio entre le Maintien d'Actifs à 5 ans (MA5) et la Valeur Actuelle de Remplacement (VAR), exprimé en pourcentage (cf. 6.4.19).
- Cette représentation globale de l'ensemble du parc des bâtiments en exploitation de l'OSU permet de réfléchir sur les seuils de vétusté à ne pas dépasser et sur les tendances de vieillissement du parc immobilier. Chaque point représente un des 226 immeubles de l'étude.
- Bien qu'il soit aisé de retrouver les deux grandes époques de construction (1910 à 1940 et 1950 à 1980), la corrélation pour l'ensemble du parc entre l'âge des immeubles et leur vétusté n'est pas démontrée. Le coefficient de corrélation R^2 est quasi nul et se situe entre 0,033 (exponentielle) et 0,076 (polynomiale). En effet, les immeubles de la deuxième époque sont globalement dans un aussi mauvais état que ceux de la première époque.
- Il y a d'ailleurs plus d'immeubles de la deuxième époque de construction qui sont d'une très grande vétusté (IVP > 60 %). Même en isolant les deux époques la conclusion demeure identique, pour la première (avant 1950), le coefficient de corrélation le plus performant est celui de la courbe exponentielle avec un R^2 de 0,0122, et pour celui de la deuxième période (après 1950), la courbe exponentielle donne un R^2 de 0,2096.
- Le modèle de vétusté et des besoins en travaux de maintien d'actifs tend vers une fonction à croissance rapide du fait des effets de contagion entre les systèmes techniques lors de la dégradation. Toutefois, l'application d'un algorithme basée sur les résultats obtenus et simulant ce vieillissement n'est pas adéquate.
- La recherche démontre qu'il y a une mauvaise corrélation sur les échantillons pour chacune des deux périodes. Les données nécessaires au suivi du métabolisme des bâtiments doivent être l'objet d'un protocole et d'une méthodologie basés sur les informations ascendantes (*bottom up*) telles que ceux proposés par le modèle et procédé PACKiT (cf. 6.5.2). Une campagne d'audit à fréquence régulière du parc immobilier avec le test des ruptures potentielles des usages, des fonctionnalités ou des fonctions (nœud borroméen écologique de la gestion d'actifs) (cf. 5.3 et Figure 5.1) devient la voie à suivre pour améliorer la connaissance et prendre les meilleures décisions.

- Cette distribution est donc plutôt symptomatique du manque flagrant d'efforts consentis en maintien des actifs sur les bâtiments depuis plusieurs années en général et sur la seconde vague de construction en particulier. Cela met aussi en évidence l'hypothèse de construction plus simple et souvent plus robuste (plus d'inertie et moins de perte de valeur d'usage) dans le cas des bâtiments de la première époque.
- PRUDENCE : Dans le cadre de cette partie de la présente recherche, il est impératif que le lecteur limite son interprétation du seuil d'IVP à ne pas dépasser. La prudence est de mise et une plus grande fiabilité du dispositif d'audit du parc de bâtiments (exhaustivité et certitude) devra être appliquée avant de conclure à cet égard. Ainsi, le graphique présente des points avec une fiabilité des données qui peut être grandement améliorée, d'une part, en estimant de manière plus précise la VAR pour chacune des typologies d'usage et, d'autre part, en identifiant mieux les besoins en travaux à partir d'un bouquet de travaux (de la rustine au renouvellement technologique lourd).

Ainsi, la distribution de l'IVP pour les 226 bâtiments révèle la concentration des besoins en maintien d'actifs et interroge le devenir de certains bâtiments (Figure 7.7 et Figure 7.8).

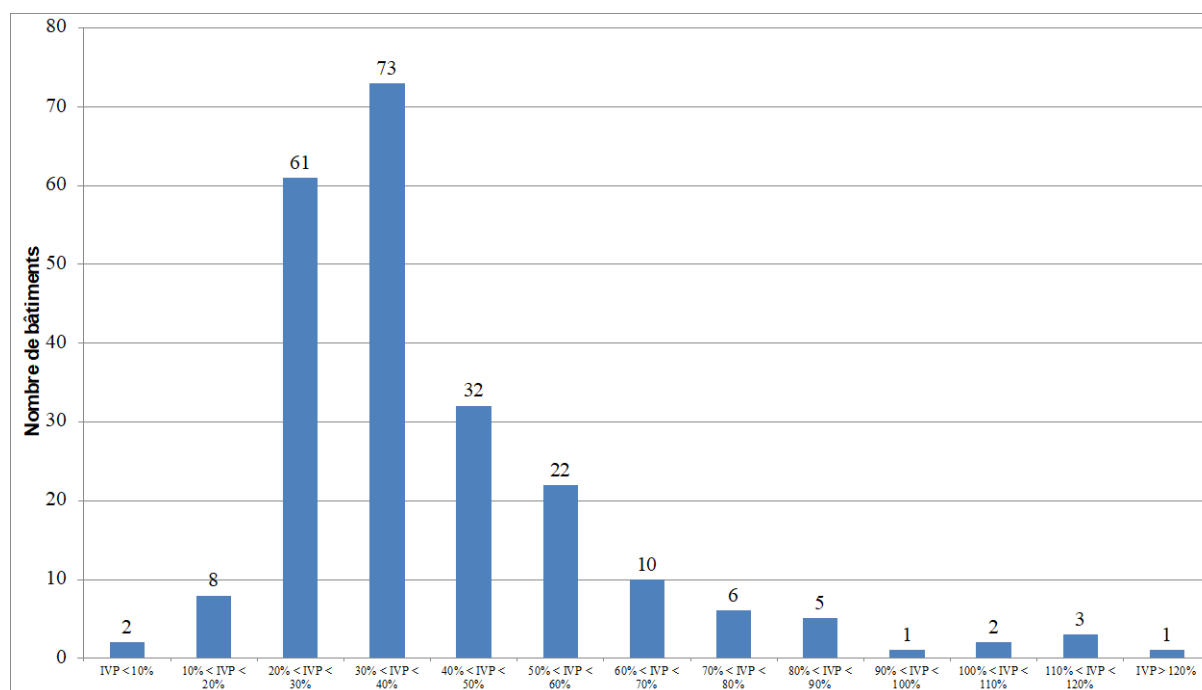


Figure 7.7 : Distribution du nombre de bâtiments par intervalle d'indice de vétusté physique (IVP) des 226 immeubles « en exploitation » du parc immobilier de l'OSU (février 2012).

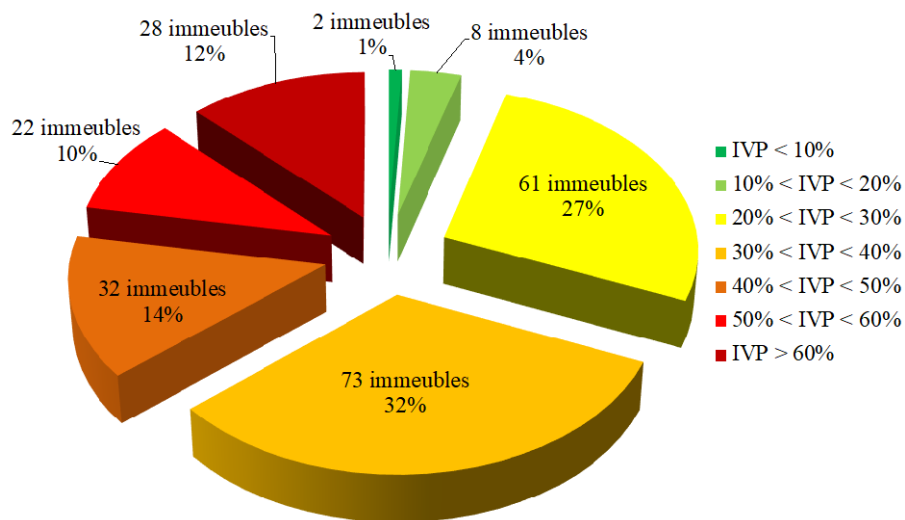


Figure 7.8 : Répartition en nombre de bâtiments et en pourcentage par intervalle d'indice de vétusté physique (IVP) des 226 immeubles « en exploitation » du parc immobilier de l'OSU (février 2012).

Clés d'interprétation et analyse :

- Les Figures 7.7 et 7.8 mettent en évidence, la répartition des 226 immeubles en exploitation du parc de bâtiments de l'OSU en fonction des différents intervalles de vétusté.
- Ils dressent une vision globale de l'état de vétusté du parc immobilier.
- **PRUDENCE** : Dans le cadre de cette partie de la présente recherche, il est impératif que le lecteur limite son interprétation du seuil d'IVP à ne pas dépasser. La prudence est de mise et une plus grande fiabilité du dispositif d'audit du parc immobilier (exhaustivité et certitude) devra être appliquée avant de conclure à cet égard.
- Seuls 2 bâtiments (soit 1 % du parc et un MA5 total de 0,53 M\$) possèdent un IVP inférieur à 10 %, ce qui est une proportion très faible du parc. Ce sont les bâtiments les plus récents construits au début des années 2000. Ils sont considérés comme en état « idéal » (très bon) ou adéquat (bon) (cf. 6.4.19, Tableau 6-1).
- Seuls 8 bâtiments (soit 4 % du parc et un MA5 total de 93 M\$) possèdent un IVP compris entre 10 % et 20 %. Ces bâtiments qui sont dans un état de vétusté jugé en grande partie comme « tolérable » (satisfaisant) à « préoccupant » (mauvais) sont très minoritaires dans le parc immobilier de l'OSU (cf. 6.4.19, Tableau 6-1).

- 83,2 % des bâtiments ont un IVP entre 20 % à 60 %. Au moins 61 bâtiments (27 %) sont considérés de *préoccupants* (mauvais) à *critiques* (très mauvais) et 155 bâtiments (68,6 %) sont *critiques* (très mauvais) et au-delà (cf. 6.4.19, Tableau 6-1).
- Plus spécifiquement, 59 % du parc (134 bâtiments pour un MA5 total de 663 M\$) possède un IVP compris entre 20 % et 40 %. Ces immeubles sont dans un état de vétusté qui fait apparaître un enjeu majeur de maintien de la valeur d'usage et de limitation de la dégradation à venir à l'horizon de 10 à 15 ans pour garantir des conditions d'usage idéales, adéquates ou au moins tolérables (cf. 6.4.19, Tableau 6-1).
- 24 % du parc (54 immeubles pour un MA5 total de 266 M\$) possède un IVP jugé *critique*, voire *très critique*, compris entre 40 % et 60 %. Ces immeubles sont dans un état de vétusté très avancé et nécessitent des travaux globaux de *reconstruction* par rénovation lourde ou reconversion. Des décisions sur le devenir de ces bâtiments doivent être prises et l'aliénation doit être dans certains cas envisagée (cf. 5,5, Figure 5.8). L'envergure de cette reconstruction sur la totalité de ces bâtiments constitue des interventions techniques et organisationnelles difficiles, voire impossibles, à effectuer en même temps que l'occupation des lieux et nécessitera au moins 20 ans de travaux (environ 3 sites par année, incluant les aliénations). La mise en place d'une équipe permanente chevronnée en gestion de projets complexes (opérations immobilières) est cruciale. Ces projets immobiliers engendreront des besoins d'investissements conséquents pour l'OSU.
- Et enfin, 12 % (27 bâtiments pour un MA5 total de 265 M\$) du parc possède un IVP supérieur à 60 %. Pour ces bâtiments, il est possible que la seule voie envisageable soit l'aliénation par cession ou soit par une déconstruction-recyclage-reconstruction, car ils sont dans un état de vétusté jugé *critique* et irrécupérable. La nécessité de constitution d'une équipe de gestion de projets est cruciale et l'horizon temporel de réalisation des travaux devrait être de 10 ans (environ 3 sites par année).
- En somme, environ 6 bâtiments par an pendant 10 ans (54 bâtiments) et ensuite 3 bâtiments par an pendant les 10 ans qui suivent (27 bâtiments) devront être la cible de travaux majeurs dépassant le simple *renouvellement des actifs*. Pour les 145 bâtiments (64 % du parc immobilier), le suivi du vieillissement et de la dégradation, les actions en maintenance et les actions en renouvellement des actifs seront nécessaires.

- Au-delà des vérifications ultérieures à réaliser pour préciser le montant du MA5 et de l'application d'un protocole et une méthodologie d'audit plus encadrés, le parc immobilier de l'OSU est sans équivoque dans un état global de vétusté oscillant entre *préoccupant* (mauvais) et *critique* (très mauvais), voire *très critique*.
- L'urgence est la mise en place dans les plus brefs délais d'un dispositif de suivi et de maîtrise des risques afin de maîtriser la distribution de la vétusté et de sa criticité.
- Enfin, des décisions stratégiques sur le financement à prévoir et sur la reddition de comptes à produire doivent être discutées en urgence avec le ministère afin de faire face à la situation.

Cette Phase 1 d'analyse des données 2012 existantes montre une difficulté à considérer les résultats comme une source de connaissances fiables pour identifier les priorités et le financement nécessaires, pour assurer la résorption des besoins en maintien d'actifs, et spécifiquement ceux relevant du déficit de maintien d'actifs. Elle démontre toutefois la grande hétérogénéité des travaux à réaliser et la complexité de traiter cette information.

Comment pouvons-nous améliorer une méthodologie discutable du point de vue de la précision et de l'exactitude des *données*, des *données dérivées* et de l'*information*? Quelle méthodologie appropriée afin de déduire une *connaissance* qui explique et précise mieux la stratégie et le plan d'action à mettre en place? Est-ce que le PACKiT (cf. 6,5) peut y répondre?

7.3 Phase 2 : Échantillonnage (2013), classification et estimation de la VAR

7.3.1 Objectifs et portées de l'application du PACKiT sur un échantillon

La conclusion phare de la Phase 1 (cf. 7.2.5) de l'application du protocole et de la méthodologie PACKiT (cf. 6,5) invite à affiner la fiabilité des données du parc immobilier et les résultats obtenus. Les nouveaux résultats pourraient mener à la mise en place d'une stratégie et d'un plan d'action conforme à la réalité. Ils révéleraient l'ampleur et la complexité de la situation sans toutefois permettre de répondre de manière définitive à la question des mesures requises pour maîtriser la situation en fonction des besoins réels pour la résorption du déficit de maintien d'actifs et de l'ensemble des besoins en maintien d'actifs (cf. 6.4.15 ; 6.4.17 ; 6.4.18).

La présente Phase 2 vise à identifier un échantillon représentatif du parc immobilier de l'OSU pour améliorer la complétude et l'exactitude des données liées à l'évaluation des besoins en maintien d'actifs, de sa répartition par catégorie technique et par composant, de sa *caractérisation* (cf. 6.4.22) en termes de risque, ainsi que sa distribution dans un horizon de cinq ans. Ainsi, cet échantillon permettrait une transposition des résultats à l'ensemble du parc, avec toute la prudence et les précautions nécessaires pour éviter l'incorporation de biais cognitifs (cf. Tableau 5-6) pouvant altérer les conclusions.

7.3.2 Choix et description de l'échantillon

Il est important de rappeler que pour avoir une vue d'ensemble et une prise de décision la plus juste possible, il est fortement recommandé d'appliquer le modèle PACKiT à l'ensemble du parc immobilier, incluant les bâtiments excédentaires, soit 288 bâtiments au total. Toutefois, dans le cadre de la présente recherche, il fut souhaité d'obtenir des résultats pour un échantillon restreint représentatif, sous différents critères, de l'ensemble du parc et de ses 226 immeubles en exploitation.

Le choix de l'échantillon des 40 bâtiments retenus est issu de l'analyse de deux sources principales d'information :

- Celle retrouvée à la Phase 1 (cf. 7,2), identifiant le manque de fiabilité de l'information et de la connaissance en matière de besoins en maintien d'actifs.
- Celle retrouvée dans un document intitulé « Liste évolutive de la priorisation des investigations » issu de l'élaboration du Programme de la qualité de l'air intérieur (PQAI) de l'OSU, du printemps 2012. Ce document présente des bâtiments répondant à neuf critères de criticité élaborés et pondérés en collaboration avec la Direction de santé publique de la région (DSP) afin de conduire des investigations dans une séquence conforme aux urgences identifiées. Cette démarche permettait d'établir le niveau de risque quant à une problématique possible de qualité de l'air liée aux moisissures (pointage allant de 1 à 100, le niveau de risque le plus élevé étant 100).

En ce sens, le choix de l'échantillon se veut cohérent avec la problématique liée aux moisissures et, ce qui en découle, la stratégie de l'OSU pour créer par des « opérations tiroirs » - qui vise à reloger temporairement des usagers dans des lieux-relais durant des travaux lourds

de rénovation et réhabilitation avant qu'ils ne réintègrent des bâtiments remis à neuf – des écoles dites transitoires.

Aussi, il fut entériné de mettre de côté certains bâtiments atypiques et peu représentatifs de l'ensemble du parc immobilier tels que certaines écoles secondaires ou les bureaux du Centre administratif de l'OSU. Ainsi, en concertation avec le ministère, l'OSU a identifié un échantillon de 40 bâtiments pour l'application du PACKiT (Tableau 7-3).

L'échantillon retenu se compose comme suit de :

- 24 bâtiments prioritaires au sens du PQAI ;
- 7 bâtiments ciblés pour devenir des écoles transitoires afin de gérer la situation du PQAI ;
- 9 bâtiments jugés sains du point de vue de la QAI.

Et cet échantillon répond aux caractéristiques suivantes :

- 18 % du parc en nombre de bâtiments en « exploitation » ;
- 22 % des besoins en maintien d'actifs (MA5) supposé et estimé par l'OSU ;
- 25 % de la superficie totale des 226 immeubles en « exploitation » ;
- 25 % de la valeur actuelle de remplacement (VAR) du parc complet ;
- 22 % des usagers des bâtiments.

Tableau 7-3 : Échantillon 2013 de 40 bâtiments de l'OSU.

Bâtiment (n° de l'actif)	Usage principal	Surface de placher brute (SDPB)	Année de construction	Valeur actuelle de remplacement (VAR)
013 bis	École primaire	3 160 m ²	1967	8 532 000 \$
014 bis	École secondaire	27 705 m ²	1969	74 803 500 \$
021 bis	École primaire	22 157 m ²	1970	59 823 900 \$
026S bis	École primaire	5 715 m ²	1953	15 430 500 \$
027 bis	École primaire	2 815 m ²	1952	7 600 500 \$
030 bis	École secondaire	23 688 m ²	1973	63 957 600 \$
035 bis	École secondaire	24 481 m ²	1970	66 098 700 \$
042 bis	École primaire	31 989 m ²	1972	86 370 300 \$
046 bis	École primaire	6 725 m ²	1938	18 157 500 \$
049 bis	École primaire	3 478 m ²	1908	9 390 600 \$
052 bis	École primaire	4 139 m ²	1955	11 175 300 \$
055 bis	École secondaire	13 961 m ²	1957	37 694 700 \$
070 bis	Centre de formation	5 729 m ²	1950	15 468 300 \$
073 bis	École primaire	5 906 m ²	1975	15 946 200 \$
088 bis	Centre de formation	15 571 m ²	1994	42 041 700 \$
097 bis	École primaire	4 991 m ²	1918	13 475 700 \$
099 bis	Centre de formation	2 979 m ²	1914	8 043 300 \$
110 bis	Bureaux	3 540 m ²	1955	9 558 000 \$
115 bis	École primaire	3 350 m ²	1917	9 045 000 \$
116 bis	École primaire	3 896 m ²	1939	10 519 200 \$
140 bis	École primaire	5 116 m ²	1918	13 813 200 \$
141 bis	École primaire	4 235 m ²	1921	11 434 500 \$
152 bis	École primaire	4 939 m ²	1924	13 335 300 \$
160 bis	École primaire	4 526 m ²	1922	12 220 200 \$
171 bis	École primaire	5 075 m ²	1925	13 702 500 \$
175 bis	École primaire	4 263 m ²	2002	11 510 100 \$
176 bis	École primaire	4 193 m ²	2001	11 321 100 \$
201 bis	École primaire	2 517 m ²	1931	6 795 900 \$
238 bis	École primaire	3 717 m ²	1953	10 035 900 \$
250 bis	École primaire	3 584 m ²	1953	9 676 800 \$
266 bis	Centre de formation	934 m ²	1955	2 521 800 \$
313 bis	École primaire	4 872 m ²	1958	13 154 400 \$
320 bis	École primaire	4 206 m ²	1959	11 356 200 \$
347 bis	École secondaire	17 855 m ²	1961	48 208 500 \$
365 bis	École primaire	5 569 m ²	1962	15 036 300 \$
409 bis	École primaire	5 351 m ²	1952	14 447 700 \$
410 bis	École primaire	3 403 m ²	1930	9 188 100 \$
417 bis	École primaire	5 096 m ²	1932	13 759 200 \$
419 bis	Bureaux	3 210 m ²	1931	8 667 000 \$
437 bis	École secondaire	30 719 m ²	1971	82 941 300 \$
moyenne		8 484 m ²		22 906 463 \$
moyenne pondérée			1961	
total		339 355 m²		916 258 500 \$

7.3.3 Tests de la représentativité de l'échantillon retenu

L'échantillon des 40 bâtiments de la présente recherche doit être représentatif de l'ensemble du parc d'actifs au-delà des critères déjà évoqués ; s'il est éventuellement souhaité de produire des extrapolations des résultats sur l'ensemble des 226 bâtiments du parc en exploitation.

D'abord, sous l'angle des *époques de construction*. Comme présenté aux Figures 7.9 et 7.10, la distribution est similaire entre l'ensemble du parc et l'échantillon.

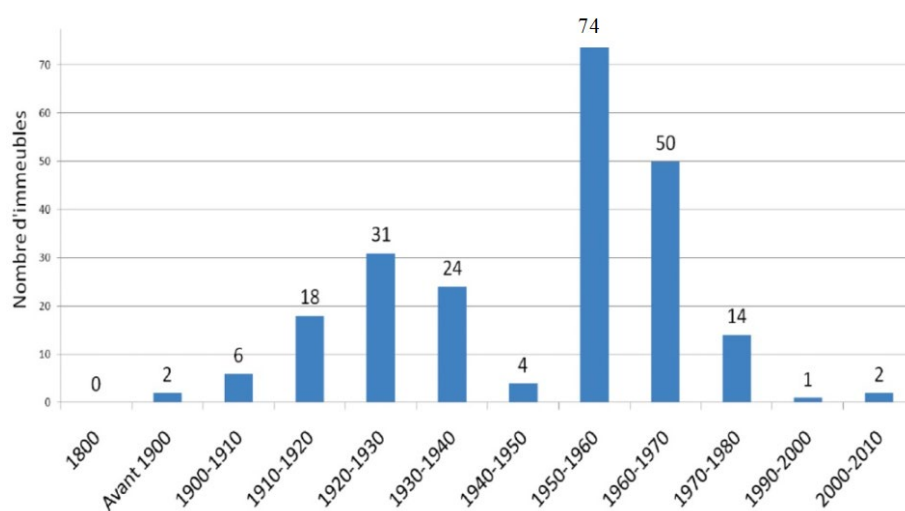


Figure 7.9 : Distribution par époques de construction des 226 immeubles « en exploitation » du parc immobilier de l'OSU (2013).

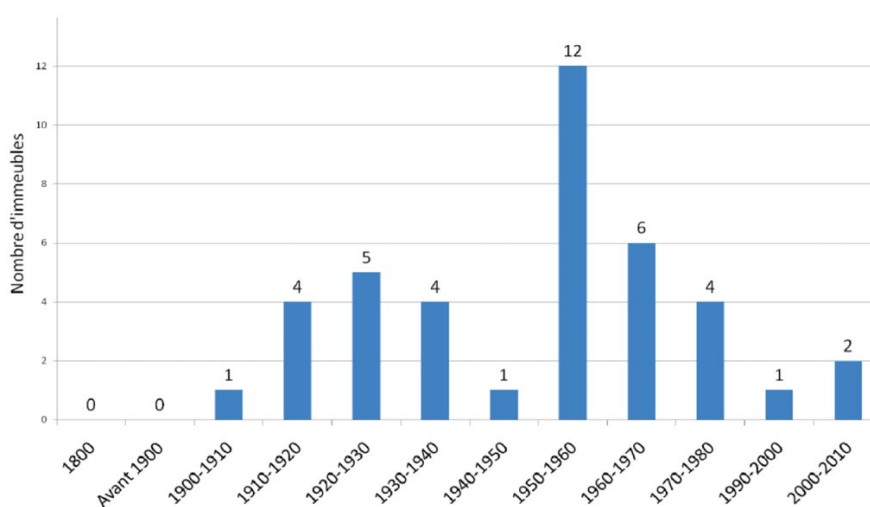


Figure 7.10 : Distribution par époques de construction des 40 immeubles de l'échantillon du parc immobilier de l'OSU (2013).

Ensuite, aux Figures 7.11 et 7.12, le nombre de bâtiments par *typologie d'usage principal* (destination ou vocation d'un immeuble) apparaît. Voici la signification des acronymes retrouvés aux Figures :

- AD : administratif
- EHDAA : élèves handicapés ou en difficulté d'adaptation ou d'apprentissage
- FGA : formation générale pour adultes
- FP : formation professionnelle
- P : Primaire
- S : Secondaire
- SGIE : service de gestion des immeubles excédentaires

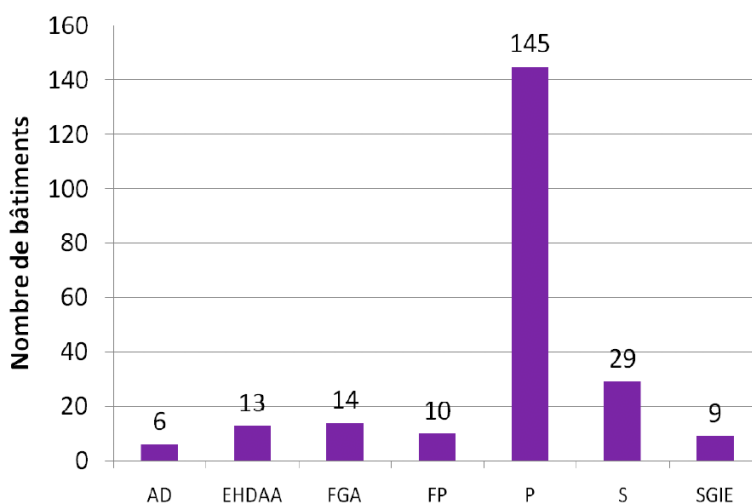


Figure 7.11 : Distribution par usage principal des 226 immeubles « en exploitation » du parc immobilier de l'OSU (2013).

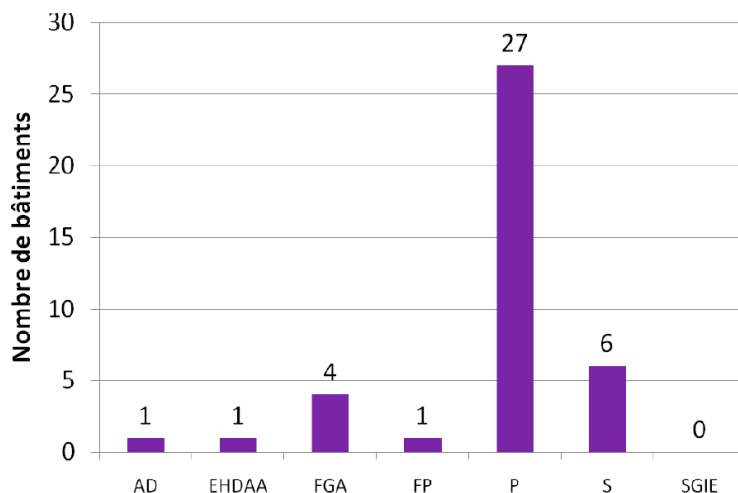


Figure 7.12 : Distribution par usage principal des 40 immeubles de l'échantillon du parc immobilier de l'OSU (2013).

Par ailleurs, la *densité d'occupation* des bâtiments est prise en compte partiellement en se référant au nombre d'élèves et au nombre d'équivalents temps plein (ETP) présents dans l'ensemble du parc et au sein de l'échantillon, tel que présenté aux Figures 7.13.



Figure 7.13 : Répartition de la densité occupationnelle en fonction du nombre d'élèves (gauche) et en fonction des équivalents à temps plein (ETP) (droite) (2013).

Enfin, une attention particulière fut portée à la représentativité de l'*état de vétusté des bâtiments* (Figures 7.14 et 7.15) en ciblant le choix en fonction des classes de l'*indice de vétusté physique*. Il est à noter que cet IVP est issu d'une estimation préliminaire (cf. 7.2.5) sujette à précision avec l'application du processus PACKiT.

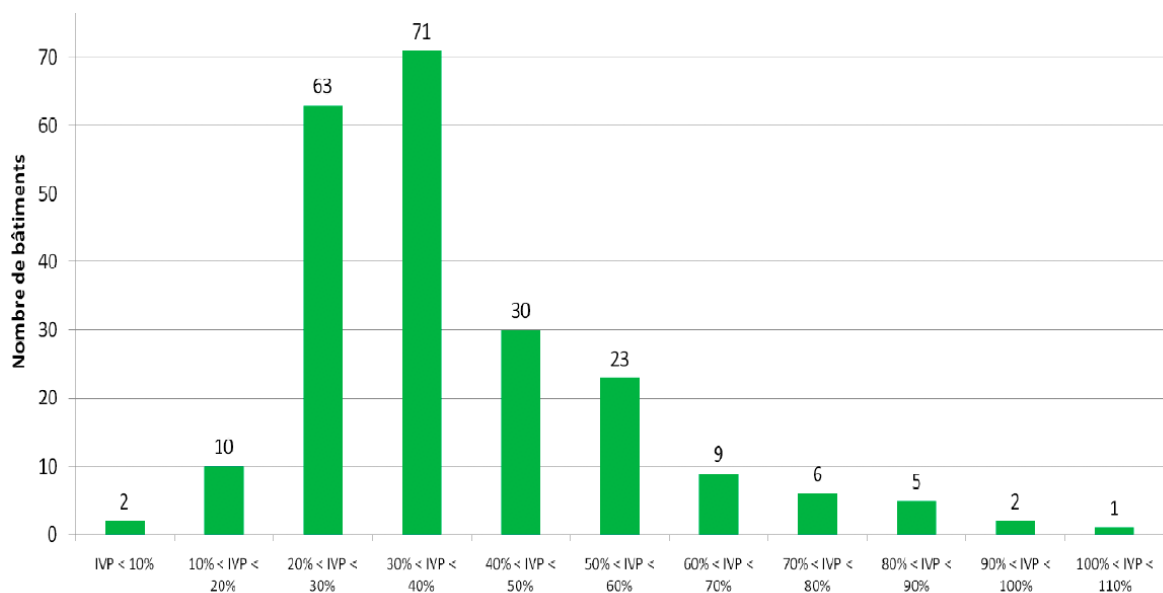


Figure 7.14 : Distribution par classes d'indice de vétusté physique (IVP) des 226 immeubles « en exploitation » du parc immobilier de l'OSU (2013).

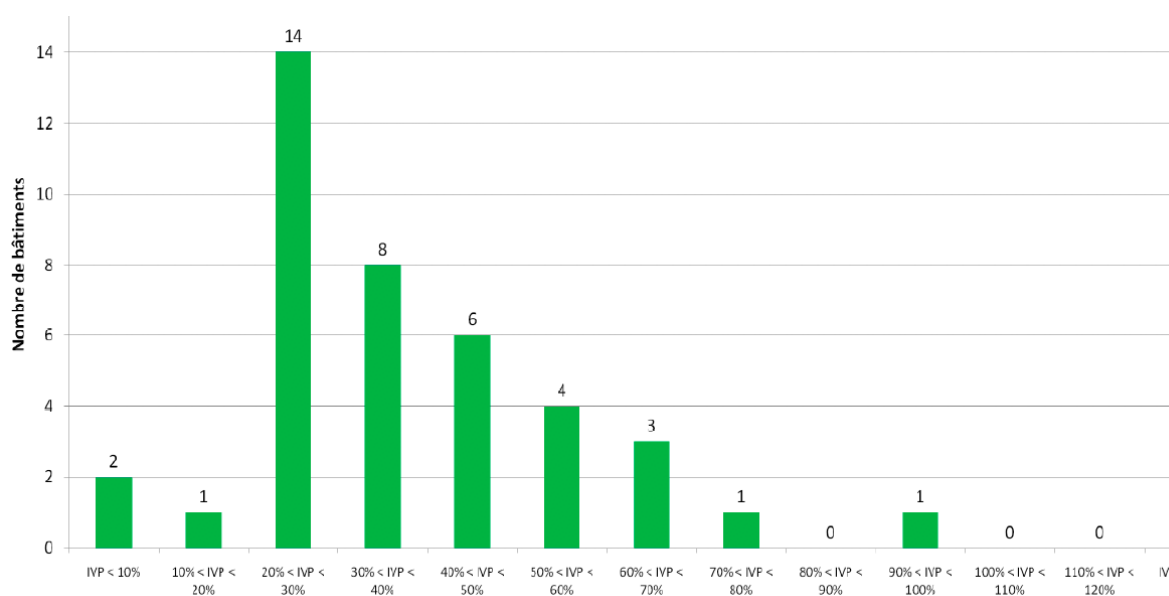


Figure 7.15 : Distribution par classes d'indice de vétusté physique (IVP) des 40 immeubles de l'échantillon du parc immobilier de l'OSU (2013).

Pour conclure, les bâtiments sains et ciblés pour devenir des écoles transitoires ont été choisis afin de représenter la majorité des bâtiments du parc immobilier. Cette répartition, dans

le choix des bâtiments audités, permet d'éviter de trop relativiser les conclusions observables et surtout les projections et tendances qui peuvent s'envisager à l'échelle du parc. Bien que cet échantillon de 40 bâtiments ait été sélectionné en tenant compte d'une liste de priorisation en lien avec la qualité de l'air intérieur, la présente recherche ne quantifie pas les besoins en maintien d'actifs reliés à la présence de contaminants dans l'air, en surface et à l'intérieur de matériaux de construction (p. ex. l'amiante).

7.4 Phase 3 : Collecte de données par inspection et élicitation

Le protocole et la méthodologie d'audit PACKiT sont une démarche normalisée (cf. 6.5.2) qui vise à garantir une lecture uniforme transversalement, à l'ensemble de l'échantillon étudié. Cette démarche garantit aussi une lecture multi échelles, à partir de chacun des composants UNIFORMAT II (cf. Annexe B), et jusqu'à l'ensemble des 40 bâtiments en passant par chacune des catégories techniques et de chaque bâtiment. L'ensemble des données sont saisies sur la plateforme numérique 3 t et ses applications myA et evA (cf. 6.5.2.4).

La présente section décrit le procédé suivi, de manière synthétique, qui porte sur un échantillon de 40 bâtiments jugés représentatif de l'ensemble du parc immobilier de l'OSU (cf. 7.3). Ce périmètre de recherche est constitué de bâtiments ayant une surface de plancher brute (cf. 6.4.13) totale de 339 355 m² et une Valeur Actuelle de Remplacement (VAR) (cf. 6.4.8.2) estimée à 916 M\$ dont le détail est présenté sur le Tableau 7-3.

Plus précisément, l'étude consiste à permettre :

- D'éliminer les extrapolations sommaires (sans audit « terrain ») réalisées sur les données de 2012 ;
- De documenter les informations et les estimations sur les catégories techniques qui n'avaient pu être extrapolées en 2012 ;
- D'améliorer la fiabilité (complétude et exactitude) de la connaissance des besoins en travaux par une caractérisation de ceux-ci et une meilleure estimation des coûts ;
- De mettre en place une stratégie basée sur l'analyse des risques encourus afin d'affiner les hypothèses et de relativiser l'ampleur des besoins en travaux à l'horizon de 5 ans (MA5) ;

- De dégager des tendances sur l'évolution de l'état de vétusté de l'échantillon de 40 bâtiments et de l'ensemble du parc de la OSDM.

Enfin, la collecte des données vise aussi à identifier les besoins en financement requis, afin de respecter l'objectif de résorption du déficit de maintien d'actifs et du renouvellement des actifs dans son ensemble, en éradiquant tous besoins en travaux des bâtiments dont l'indice de vétusté serait supérieur à 15 % soit un état de vétusté jugé *préoccupant* ou *critique* (cf. 6.4.19).

7.4.1 Travail sur site

L'inventaire exhaustif des besoins en travaux de maintien d'actifs recensés au cours de la recherche, tant sous l'angle des informations quantitatives que des informations qualitatives, provient notamment du croisement de trois sources d'informations :

- La collecte et l'étude des documents existants (rapports d'expertise, devis de professionnels, spécifications techniques et prix de travaux réalisés, etc.) ;
- Les rencontres et entretiens encadrés par la technique d'élicitation avec les différentes personnes clés concernées par la construction, la maintenance, le suivi comptable et environnemental tant pour le volet maintenance courante (OPEX) que pour les projets d'investissement (régisseurs, architectes, ingénieurs, contremaîtres, agents techniques d'ateliers, entrepreneurs, etc.) (CAPEX) ;
- Les visites d'inspection technique des immeubles étudiés et de leur site avec des architectes, des ingénieurs et des entrepreneurs selon la grille de collecte et d'analyse souhaitée.

La collecte et l'analyse des documents existants ont pour objectif d'intégrer à l'étude les données provenant notamment des rapports de vérifications périodiques (conformité du réseau d'électricité, sécurité incendie, moyens d'évacuation, inspection sanitaire, etc.), des contrats de maintenance, ou encore des estimations financières déjà établies.

Par ailleurs, l'objectif principal et global de cette approche est d'estimer avec la meilleure exactitude et la plus grande complétude les besoins en maintien d'actifs à 5 ans (MA5) (cf. 6.4.16) en tenant compte du contexte et des contraintes dans lesquels les travaux doivent être réalisés afin d'en déduire l'Indice de Vétusté Physique (IVP). Aussi, elle cherche à nuancer

l'ampleur et les éventuels dangers liés à la vétusté en caractérisant la durée de vie restante, la nature des travaux, la nature du risque associé, son intensité et sa probabilité (vraisemblance) d'occurrence. Les différents agents rencontrés ont une bonne connaissance de l'historique des travaux effectués, des pathologies et des dysfonctionnements techniques des immeubles.

7.4.2 Estimation des coûts

L'estimation du coût des travaux à réaliser pour répondre aux besoins en maintien d'actifs est produite en conformité avec les meilleures techniques d'estimation des économistes de la construction, dans une optique de complétude de l'information afin de dresser un plan d'action stratégique. La recherche de plus grande exactitude dans les hypothèses et estimations sera requise dès lors qu'une mise en priorité est établie, qu'une répartition et distribution budgétaire pour le fonctionnement et l'investissement (aspect tactique) sont accordées et que les actions opérationnelles se déclenchent (cf. Figures 5.10 et 5.15).

L'estimation provient de trois sources différentes qui sont recoupées entre elles afin d'évaluer la meilleure exactitude. La principale source est la base de données de coûts de l'organisation audité. Cette analyse de l'historique des coûts de projets similaires aux besoins en travaux identifiés lors de l'audit permet de valider le contexte et les conditions de réalisation des travaux qui sont spécifiques à l'organisation (difficulté à rentrer dans les écoles, travaux en espaces et sites occupés, travaux en contexte urbain, etc.).

Ensuite, cette information est croisée avec la base de données de coûts du PACKiT qui est alimentée par les retours d'expérience des audits réalisés depuis 2004.

Enfin, l'auditeur complète l'estimation en se référant aux coûts moyens du marché de la construction par le biais de différentes sources externes comme les bases de données de coûts reconnues (RSMMeans, Yardstick, WhiteStone, organisation de tutelle, réseaux d'organisations similaires, etc.).

Les coûts de réalisation des travaux peuvent être sujets à des réévaluations en fonction de différents facteurs comme le moment de réalisation des travaux, l'ampleur du projet souhaité, le choix d'une plus grande sobriété écologique et technologique lors de la conception (cf. Figure 5.1) et de diverses autres conditions de réalisation des travaux à déterminer lors de la programmation définitive du projet.

Les estimations issues du présent audit ne peuvent être utilisées autrement que pour décrire l'ampleur de la situation, établir des priorités, constituer et formaliser des projets

intégrant d'autres aspects que la vétusté (augmentation de la capacité d'accueil, changement d'usage, etc.) et déposer des demandes de financement auprès du bailleur de fonds.

En somme, il est important de noter que ces estimations sont toujours conjoncturelles et sujettes à un renouvellement sporadique de la stratégie de l'organisation à l'égard de la mission des niveaux de services souhaités et des intentions politiques. Enfin, une révision et une actualisation à une fréquence annuelle sont souhaitables pour un parc immobilier avec une vétusté très élevée, comme celle des bâtiments de l'OSU, et à une fréquence de 3 à 5 ans dans le cas d'un parc de bâtiments dont la vétusté et les risques associés sont mieux maîtrisés.

7.5 Phase 4 : Simulations, analyses et scénarios

Le protocole et la méthodologie d'audit PACKiT permettent de dresser une grande panoplie de simulations et de scénarios. La présente section ne vise pas l'exhaustivité des possibilités de l'utilisation du PACKiT. Elle vise plutôt à démontrer l'intérêt et la pertinence du procédé pour décrire et commenter la situation concernant l'état des bâtiments.

7.5.1 Analyse générale et globale de l'échantillon

L'échantillon de 40 bâtiments du patrimoine immobilier de l'OSU est très hétérogène tant au niveau de l'âge des bâtiments qu'au niveau de leur surface de plancher brute ou de l'usage principal. Les immeubles qui le composent sont d'époques différentes. Sur les 40, 15 ont été construits avant les années 1950, 12 datent des années 1950, 10 des années 1960-1970, 3 ont moins de 20 ans. La date de construction moyenne pondérée est de 1961 ce qui représente un âge moyen pondéré de 52 ans en 2013 (Tableau 7-3).

Les résultats du Tableau 7-4, démontrent que l'utilisation du PACKiT (2013) a permis de réduire l'IVP à 23 % au lieu de 30,8 % (2012), soit 25,3 % inférieur à l'IVP annoncé (Figure 7.16 et Figure 7.17). Il est important de noter que l'IVP de l'échantillon est une moyenne pondérée en fonction de la VAR. Les besoins en maintien d'actifs estimés lors de l'audit PACKiT sont de 280,7 M\$. Le montant se répartit en 70,2 M\$ pour des besoins jugés non nécessaires à un horizon de 5 ans (exclus du périmètre de l'IVP), et 210,5 M\$ pour le maintien d'actifs à l'horizon de 5 ans. Par ailleurs, cette somme de MA5 se décompose en un montant de 136,4 M\$ de besoins en travaux relevant du déficit de maintien d'actifs (DMA) et en 74,1 M\$ pour le maintien d'actifs régulier (MAR) (cf. 6.4.16).

Tableau 7-4 : Résultats (2013) « après PACKiT » et comparaison avec « avant PACKiT »
(2012) pour l'échantillon de 40 bâtiments de l'OSU.

Bâtiment (n° de l'actif)	Maintien d'actifs (2013) (MA5)	Valeur actuelle de remplacement (VAR)	Indice de vétusté physique (2013) (IVP)	Indice de vétusté physique (2012) (IVP)	ÉCART Indice de vétusté physique (IVP) (2012 vs 2013)
013 bis	3 652 186,0 \$	8 532 000 \$	42,8%	39,7%	3,12%
014 bis	9 730 609,1 \$	74 803 500 \$	13,0%	28,2%	-15,23%
021 bis	14 139 362,4 \$	59 823 900 \$	23,6%	28,8%	-5,18%
026S bis	10 487 279,8 \$	15 430 500 \$	68,0%	105,9%	-37,91%
027 bis	4 589 508,0 \$	7 600 500 \$	60,4%	70,5%	-10,08%
030 bis	7 760 072,2 \$	63 957 600 \$	12,1%	23,7%	-11,60%
035 bis	10 278 344,0 \$	66 098 700 \$	15,5%	23,1%	-7,55%
042 bis	10 414 529,5 \$	86 370 300 \$	12,1%	24,1%	-12,05%
046 bis	5 346 485,7 \$	18 157 500 \$	29,4%	35,1%	-5,70%
049 bis	5 331 431,2 \$	9 390 600 \$	56,8%	42,2%	14,61%
052 bis	4 666 193,3 \$	11 175 300 \$	41,8%	32,5%	9,24%
055 bis	7 685 715,4 \$	37 694 700 \$	20,4%	26,6%	-6,24%
070 bis	5 636 900,9 \$	15 468 300 \$	36,4%	49,2%	-12,76%
073 bis	3 020 730,0 \$	15 946 200 \$	18,9%	23,6%	-4,62%
088 bis	1 132 848,4 \$	42 041 700 \$	2,7%	27,2%	-24,51%
097 bis	3 993 920,9 \$	13 475 700 \$	29,6%	27,0%	2,59%
099 bis	2 095 377,1 \$	8 043 300 \$	26,1%	39,4%	-13,38%
110 bis	4 297 818,9 \$	9 558 000 \$	45,0%	29,7%	15,27%
115 bis	3 209 502,1 \$	9 045 000 \$	35,5%	67,4%	-31,92%
116 bis	5 369 500,0 \$	10 519 200 \$	51,0%	57,6%	-6,57%
140 bis	2 548 030,4 \$	13 813 200 \$	18,4%	43,3%	-24,86%
141 bis	3 554 352,6 \$	11 434 500 \$	31,1%	32,2%	-1,11%
152 bis	7 511 980,5 \$	13 335 300 \$	56,3%	31,5%	24,85%
160 bis	6 507 322,1 \$	12 220 200 \$	53,3%	41,6%	11,61%
171 bis	8 670 308,5 \$	13 702 500 \$	63,3%	33,4%	29,92%
175 bis	360 788,8 \$	11 510 100 \$	3,1%	2,8%	0,34%
176 bis	218 050,0 \$	11 321 100 \$	1,9%	1,8%	0,08%
201 bis	2 729 945,5 \$	6 795 900 \$	40,2%	38,9%	1,28%
238 bis	3 338 047,9 \$	10 035 900 \$	33,3%	28,6%	4,68%
250 bis	3 550 475,0 \$	9 676 800 \$	36,7%	50,4%	-13,69%
266 bis	2 055 390,1 \$	2 521 800 \$	81,5%	28,4%	53,07%
313 bis	5 249 337,5 \$	13 154 400 \$	39,9%	46,0%	-6,06%
320 bis	7 643 977,2 \$	11 356 200 \$	67,3%	56,0%	11,35%
347 bis	9 210 827,0 \$	48 208 500 \$	19,1%	29,5%	-10,42%
365 bis	4 542 821,3 \$	15 036 300 \$	30,2%	20,1%	10,08%
409 bis	5 245 408,1 \$	14 447 700 \$	36,3%	20,5%	15,76%
410 bis	2 354 429,3 \$	9 188 100 \$	25,6%	59,2%	-33,54%
417 bis	2 768 000,0 \$	13 759 200 \$	20,1%	14,1%	5,97%
419 bis	3 783 678,2 \$	8 667 000 \$	43,7%	63,5%	-19,82%
437 bis	5 785 809,5 \$	82 941 300 \$	7,0%	21,9%	-14,88%
moyenne	5 261 682 \$	22 906 463 \$			
moyenne pondérée			23,0%	30,8%	-25,3%
total	210 467 294 \$	916 258 500 \$			

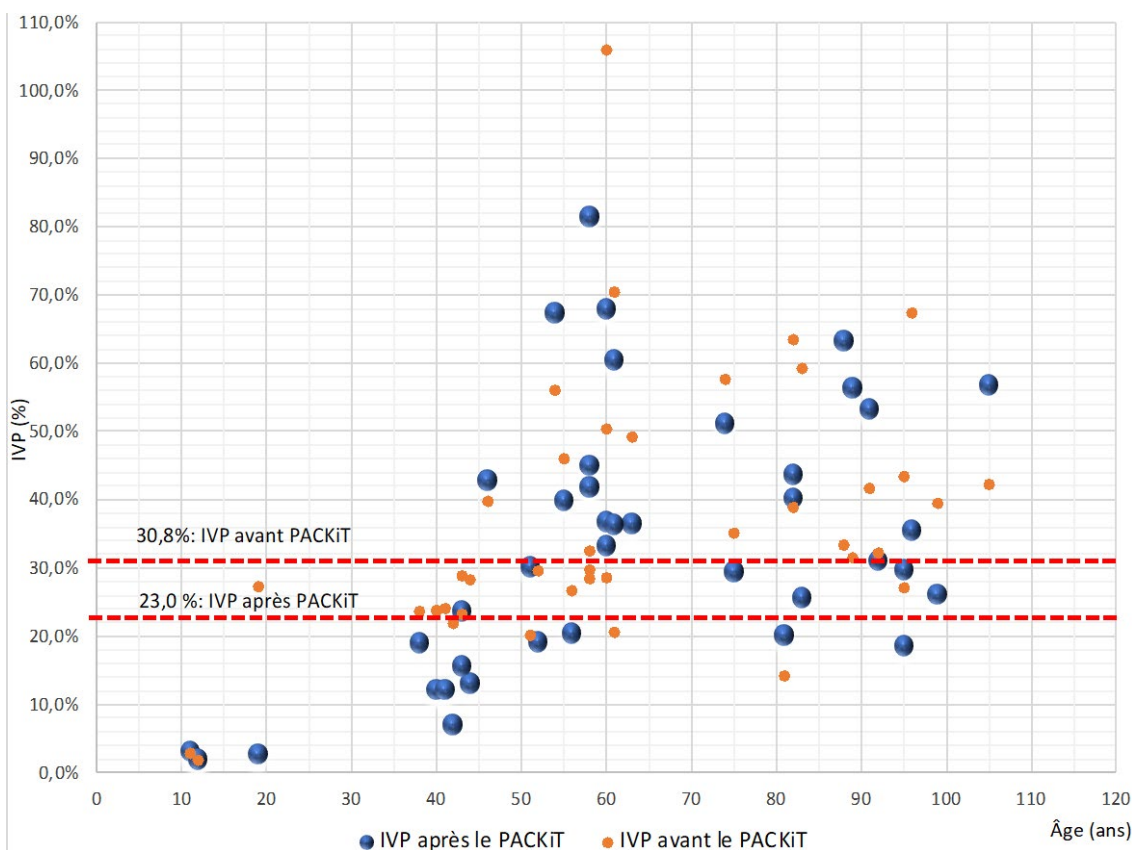


Figure 7.16 : Distribution des indices de vétusté physique (IVP) en fonction de l'âge pour les 40 immeubles de l'échantillon du parc immobilier de l'OSU (2013).

Clés d'interprétation et analyse (Tableau 7-4 et Figure 7.16) :

- Sur l'échantillon global, l'écart important, en moins, de 25,3 % de l'IVP entre l'utilisation d'une méthodologie dont la certitude de l'information est jugée « mauvaise » (30,8 %) et l'utilisation du PACKiT (23 %), indique un état moins défavorable qu'évalué en 2012.
- Le seuil cible de l'IVP étant de 15 % au maximum (cf. 6.4.19), l'IVP de 23 % reste élevé. Par une approche de dépréciation linéaire et considérant une dégradation constatée par un IVP moyen pondéré de 23 % et en émettant l'hypothèse que l'IVP serait une représentation de la valeur réelle de la dépréciation sur une période de 5 ans, on constate un taux équivalent à une dépréciation de 4,6 % par an.
- Pour illustrer, ce taux annuel de dépréciation de 4,6 %, s'il est constant depuis la construction, il correspondrait à un bâtiment dont le cycle de vie serait d'environ 22 ans. C'est une dépréciation de très courte durée pour un bâtiment scolaire dont le cycle de

vie devrait être entre 50 ans à 75 ans à minima, soit entre 2 % et 1,33 % de dépréciation par an.

- Ainsi, les bâtiments sont globalement dans une phase d'accélération de la dégradation. L'échantillon a un âge moyen pondéré de 52 ans. Le taux annuel de 4,6 % correspond alors à la démonstration de l'accélération de la dégradation et de la nécessité d'un rattrapage. La mesure de la dispersion par l'écart-type sur l'IVP est autour de 20 points d'IVP sur les 40 bâtiments et en considérant une répartition en courbe de Gauss, cela signifie que 67,5 % des IVP se situent entre 3 % et 43 %. 92,5 % de l'échantillon se situe entre 0 % et 63 % d'IVP. Pour garantir une homogénéité des usages dans les bâtiments scolaires, il est impératif de réduire l'écart-type encore plus que de réduire la moyenne.
- 37 % de l'échantillon concerne des bâtiments construits avant 1950 (1908 à 1939) et 63 % des bâtiments sont construits à partir de 1950 (1950 à 2002). On observe une évolution de forme exponentielle de l'IVP (points bleus) durant la période de 0 à 60 avec une très forte accélération des phénomènes de contagions entre les composants des bâtiments durant la période de 40 et 60 ans ;
- En excluant l'IVP les bâtiments de moins de 20 ans, l'IVP des bâtiments de la période d'avant 1950 ont un IVP moyen pondéré de 38,3 % alors que celui de la période après 1950 est de 21 % ;
- 8 bâtiments (20 % de l'échantillon) d'une valeur actuelle de remplacement totalisant 439 M\$ répartie sur 162 609 m² (48 % de l'échantillon) ont un IVP égal ou inférieur à 15 % ;
- 22 bâtiments (55 % de l'échantillon) d'une valeur actuelle de remplacement totalisant 239 M\$ répartis sur 88 557 m² (26,1 % de l'échantillon) ont un IVP égal ou supérieur à 30 % ;
- 10 bâtiments (25 % de l'échantillon) d'une valeur actuelle de remplacement totalisant 238 M\$ répartis sur 88 189 m² (26 % de l'échantillon) ont un IVP se situant entre 15 % et 30 % ;
- 26 % des surfaces de plancher brutes et dont l'IVP est supérieur à 30 % doivent être analysées sous l'angle technique avec plus de détails et sous l'angle des usages (allocation des espaces) et de la densité occupationnelle pour déterminer s'il faut

considérer la reconstruction des divers sites avec la possibilité de regroupement d'activités dans des bâtiments de plus grande taille, par exemple.

- Les écoles primaires (P) représentent, en nombre de sites, 67,5 % de l'échantillon pour un MA5 qui s'élève à 141,0 M\$, soit 67 % du MA5 total, alors que les écoles secondaires (S) représentent 15 % de l'échantillon pour un MA5 de 50,5 M\$, soit 24 % du MA5 total.
- Seulement trois bâtiments ont été construits au cours des 20 ans avant l'étude (période 1994 à 2002). La culture organisationnelle dans son ensemble et l'organisation des équipes de projets d'ingénierie et d'aménagement pour des réhabilitations lourdes, des reconstructions ou des constructions neuves méritent d'être réactivées avec les défis à venir.

7.5.2 Analyse détaillée des besoins en travaux de renouvellement pour l'échantillon de 2013

Le modèle et procédé PACKiT est un système adaptatif ouvert et évolutif. Les paramètres retenus pour les simulations sont ceux des *catégories techniques*, de la *nature d'action*, de l'*horizon temporel* ou *durée de vie restante* et du *risque*. Ils sont étudiés par une mise en relation avec les besoins en travaux de maintien d'actifs à un horizon de 5 ans (MA5). Pour la présente étude, le paramètre de l'*intention politique et réglementaire* n'a pas été considéré. Celui de la *source de financement* est traité par une analyse de la capacité à payer.

C'est cette caractérisation qui vise à alimenter la boucle intégrée des approches normatives - ex ante - et positive - ex post - de la captation, de l'extraction et de l'analyse de données (cf. 6.5.2.4 et Figure 5.16).

Aux pages suivantes, les principales clés d'interprétations et analyses accompagnent ces simulations.

7.5.2.1 Les catégories techniques (cf. Annexe B)

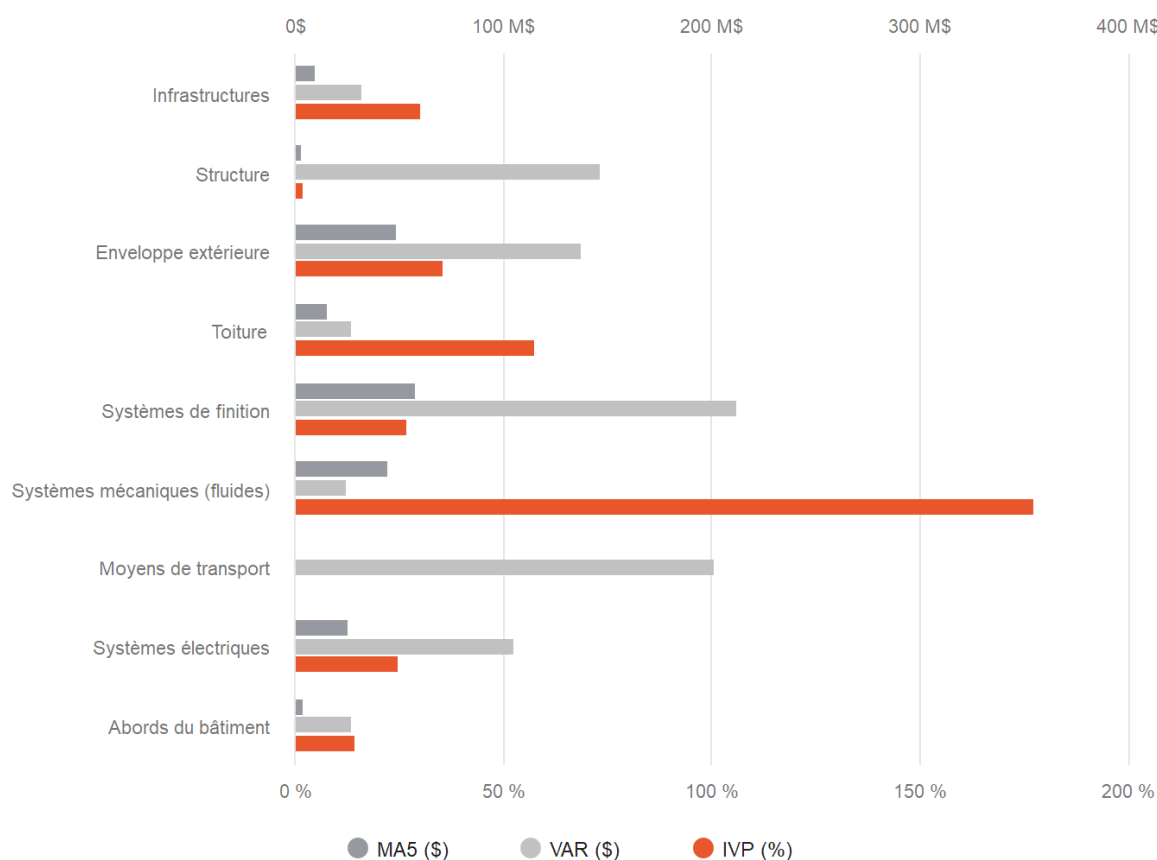


Figure 7.17 : Distribution des besoins en travaux à l'horizon de 5 ans (MA5) et de l'indice de vétusté physique (IVP) en fonction des *catégories techniques* pour les 40 immeubles de l'échantillon du parc immobilier de l'OSU (2013).

Clés d'interprétation et analyse (Figure 7.17) :

- La répartition du MA5 (valeur absolue en dollars) par *catégorie technique* permet de mettre en évidence des enjeux techniques et financiers transversaux sur l'ensemble de l'échantillon des 40 bâtiments.
- Trois *catégories techniques* se distinguent pour des travaux se situant à l'*intérieur des bâtiments* :
 - 57,7 M\$ pour les *systèmes de finitions intérieures* (IVP de 27,1 % et 27,4 % du MA5) ;
 - 44,5 M\$ pour les *systèmes mécaniques* (IVP de 177,5 % et 21,1 %) ;

- 26 M\$ pour les *systemes électriques* (IVP de 24,7 % et 12,4 %).
- Les travaux se situant à l'*extérieur des bâtiments* se répartissent essentiellement entre deux *catégories techniques* :
 - 15,8 M\$ pour les *toitures* (IVP de 57,5 % et 7,5 % du MA5) ;
 - 49,1 M\$ pour les *enveloppes extérieures (façades incluant les portes et fenêtres extérieures)* (IVP de 35,7 % et 23,3 % du MA5).
- Les travaux intérieurs pour les trois catégories techniques ci-dessus concentrent à elles seules 60,5 % du MA5 pour un montant de 128,2 M\$. Pour les deux catégories techniques distribuées sur des travaux extérieurs, elles concentrent 30,8 % du MA5 pour un montant de 64,9 M\$.
- La sélection parmi un bouquet de travaux et le choix des projets à réaliser amènent l'opportunité d'étendre les travaux à des *renouvellements « modernisants »* (améliorations et modernisations) (cf. 6.4.20.2), notamment orientés vers l'amélioration des systèmes électromécaniques (travaux intérieurs) et vers l'isolation (travaux extérieurs) pour la réduction de la consommation énergétique et la réduction des GES. En revanche, pour ces types de projets, la coordination et les conditions de chantiers en sites occupés généreront une augmentation des prix allant de 1,5 à 3 fois le prix d'une construction neuve afin de considérer les travaux sur des composants et systèmes liés. En ce sens, la faisabilité des travaux sans fermeture (temporaire de plusieurs mois) des bâtiments pour les *systemes de finition* avec le MA5 le plus élevé et un IVP de 27,1 % sont problématiques à plusieurs égards, dont celui de la relocalisation des usagers pour une à trois années scolaires.
- L'analyse des IVP par *catégorie technique* indique que six des neuf *catégories techniques* étudiées sont dans des états de vétusté avancés avec des IVP supérieurs à 20 %. Pour illustrer ce que signifie cet IVP par catégorie technique, par exemple, pour les *toitures*, nous pourrions déduire que l'équivalent d'une toiture sur trois est à refaire en entier d'ici 5 ans dont les 2/3 sont à court terme (immédiatement ou d'ici 1 an).

7.5.2.2 La nature d'action (cf. 6.4.22.1)

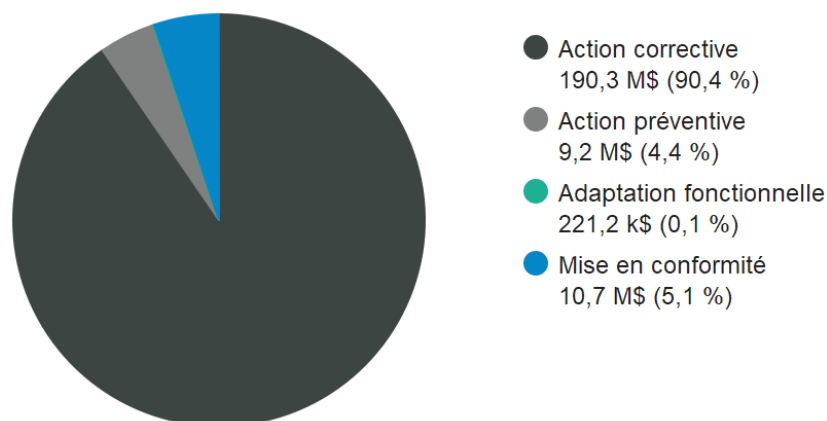


Figure 7.18 : Répartition du coût de renouvellement (MA5) par *nature d'action* de travaux pour les 40 immeubles de l'échantillon du parc immobilier de l'OSU (2013).

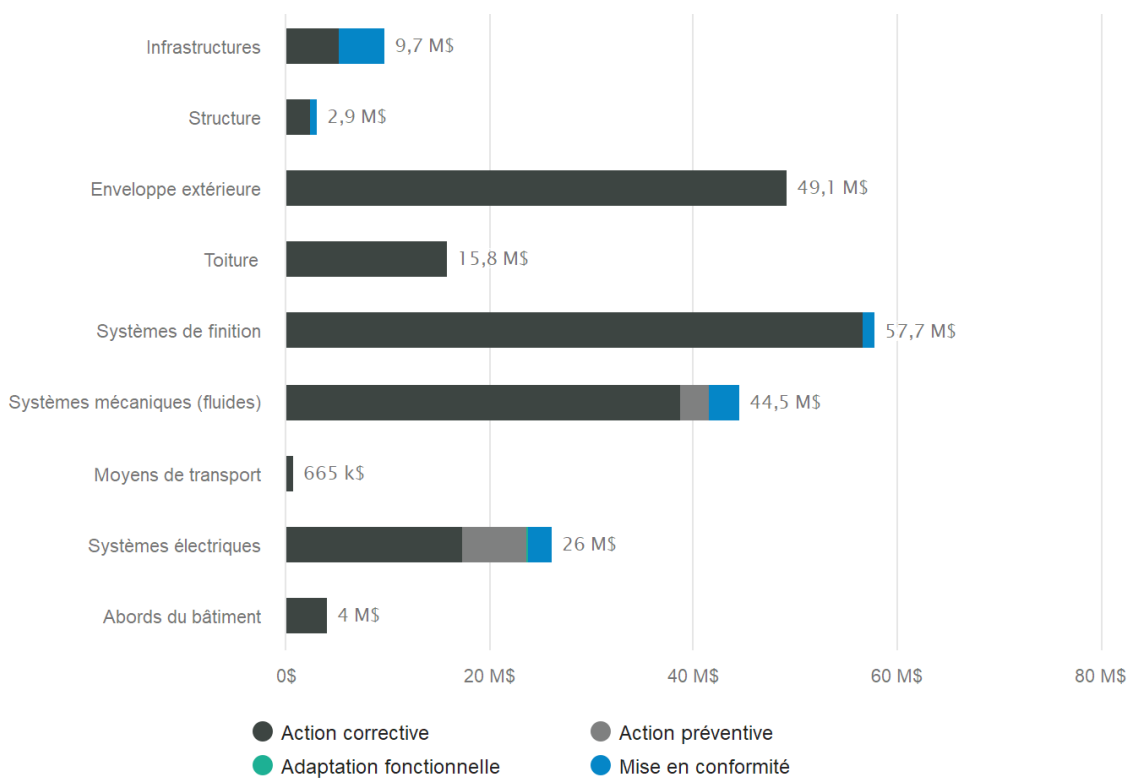


Figure 7.19 : Distribution du (MA5) par *nature d'action* en fonction des *catégories techniques* et pour les 40 immeubles de l'échantillon du parc immobilier de l'OSU (2013).

Clés d'interprétation et analyse (Figures 7.18 et 7.19) :

- L'échantillon démontre un retard considérable dans la réalisation de travaux de renouvellement des actifs scolaires puisque 90,4 % du MA5, soit 190,3 M\$ sont considérés comme relevant d'une *action corrective* (cf. 6.4.22.1.1).
- Les travaux sur les *catégories techniques des toitures* et des *enveloppes extérieures*, gisement important pour la réduction de la consommation énergétique et la réduction des GES, totalisent 64,9 M\$ de besoins en travaux de *nature corrective*.
- 45,8 % des besoins en *action de mise en conformité réglementaire* concernent les systèmes électromécaniques, ce qui amène à envisager des mesures pour la réduction de la consommation énergétique et la réduction des GES.
- Une faible quantité de MA5 est classée en *vétusté physique préventive* et s'avère problématique pour anticiper les ressources financières, matérielles et humaines. Avec seulement 4,4 % du total des MA5, il serait judicieux de déterminer si certains bâtiments ou catégories techniques spécifiques devraient faire l'objet de campagne de traitement anticipé.
- La lutte au *déficit de maintien d'actifs* (cf. 6.4.17) devient une priorité absolue, la maîtrise des risques, aussi (6.4.22.3).

7.5.2.3 La durée de vie restante (cf. 6.4.22.2)

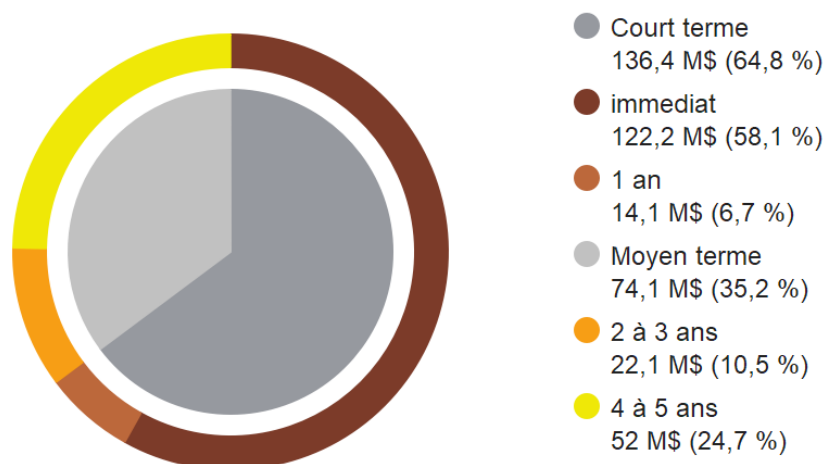


Figure 7.20 : Répartition du coût de renouvellement (MA5) par *durée de vie restante* ou *horizon temporel* pour les 40 immeubles de l'échantillon du parc immobilier de l'OSU (2013).

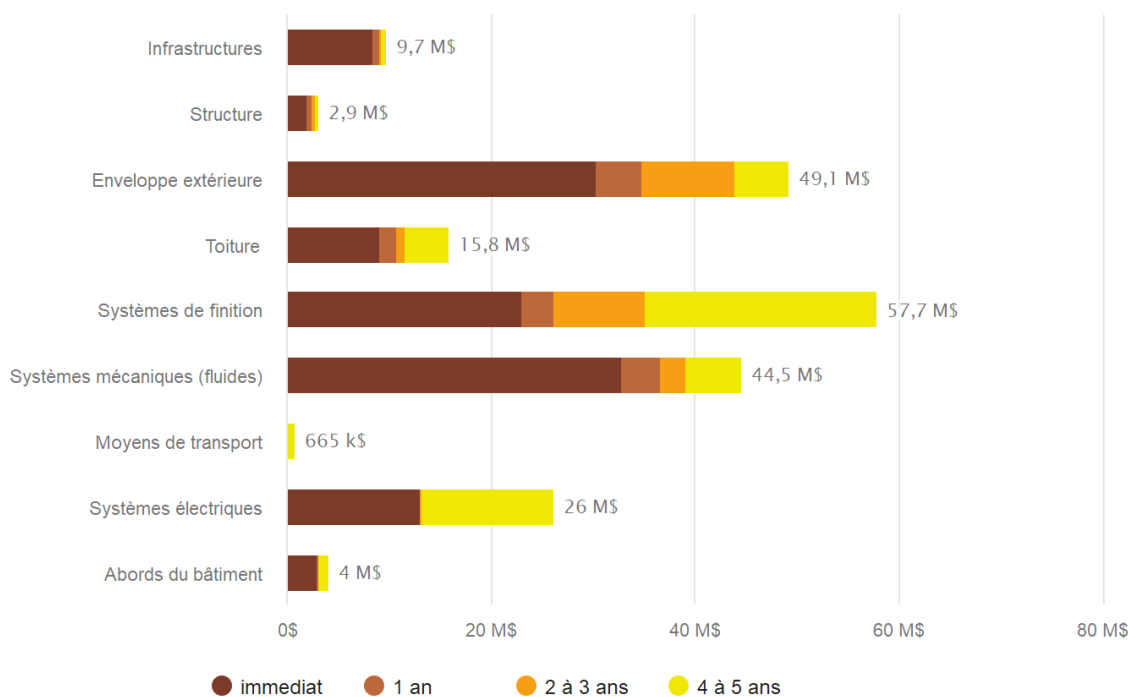


Figure 7.21 : Distribution du (MA5) par *durée de vie restante* en fonction des *catégories techniques* et pour les 40 immeubles de l'échantillon du parc immobilier de l'OSU (2013).

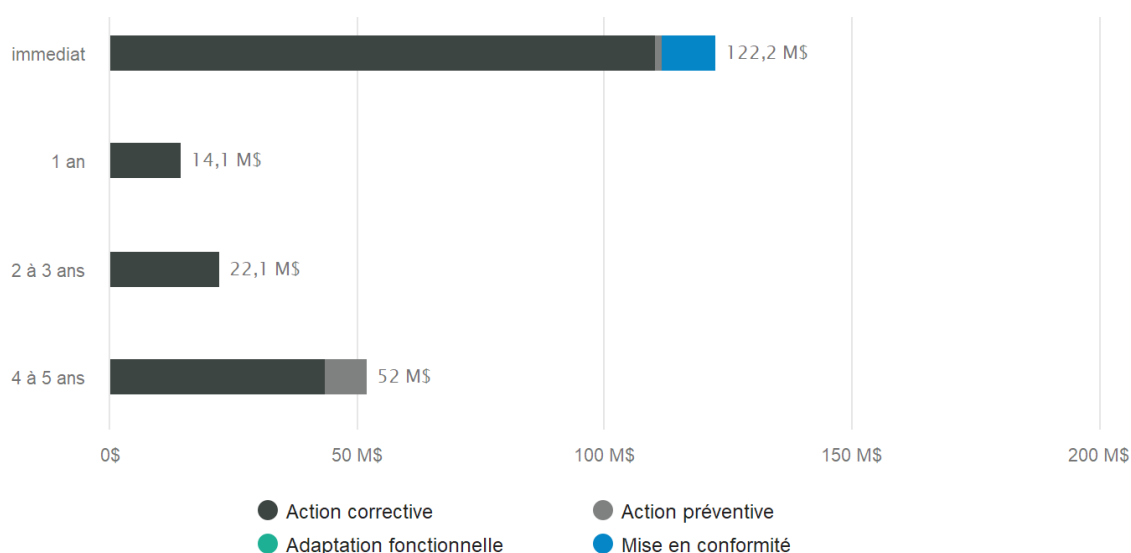


Figure 7.22 : Distribution du (MA5) par *nature d'action* en fonction de la *durée de vie restante* et pour les 40 immeubles de l'échantillon du parc immobilier de l'OSU (2013).

Clés d'interprétation et analyse (Figures 7.20, 7.21 et 7.22) :

- Le *déficit de maintien d'actifs* (DMA) (cf. 6.4.17 et 6.4.22.2) s'élève à 136,4 M\$, soit 64,8 % des besoins en MA5, alors que le financement annuel moyen au cours des 14 ans précédant l'étude était de 7,4 M\$, soit 5,4 % du DMA (cf. 7.2.1.2 et Tableau 7-1). Pour l'exercice 2012-2013, cette somme s'est élevée à 22,97 M\$, soit 16,8 % du DMA de 2013 ou 10,9 % de l'ensemble du MA5 de 210,5 M\$.
- Ce sous-financement confirmé laisse envisager une mauvaise maîtrise des risques immédiats et dans le futur.
- Les actions à *court terme immédiates* (6.4.22.2), les urgences⁶¹³, totalisent 122,2 M\$ soit 58,1 % des besoins. Cette accumulation de travaux à réaliser indique que l'effort consenti pour maintenir le patrimoine en état depuis sa construction a été nettement insuffisant. L'hypothèse d'une dépréciation comptable - et d'une dotation aux amortissements - non corrélée avec la dégradation physique est ainsi démontrée.

⁶¹³ Il est important de souligner que le concept d'*urgence* fait référence au caractère de ce que l'on doit s'occuper sans retard. Cela fait donc référence à la notion d'*horizon temporel* ou de *durée de vie restante* avant une action souhaitée. Ainsi, l'*urgence* ne révèle rien de la *criticité* qui elle fait référence à la détermination et la hiérarchisation du degré d'importance par une analyse multicritères dont les causes sont multifactorielles.

- Les proportions des actions à *moyen terme* se composent de l'horizon temporel de 2 à 3 ans pour 10,5 % du MA5 à réaliser d'ici 3 à 5 ans et 24,7 % à l'horizon 4 à 5 ans. Un peu plus du tiers des travaux n'est pas urgent, mais devrait être anticipé budgétairement.
- Une somme estimée de 10,5 M\$ est requise dans l'*immédiat* pour les *catégories techniques* des infrastructures et structures des bâtiments. Le croisement de l'information avec l'appréciation des risques permettra de déterminer la criticité de ces actions.
- Pour les travaux extérieurs à *court terme* et ayant potentiellement un impact écologique, les *catégories techniques* concernées sont les *enveloppes extérieures* et les *toitures* qui totalisent 39,6 M\$, soit 32,4 % du MA5 *immédiat* et 18,8 % du total du MA5 de 210,5 M€.
- Les travaux intérieurs à *court terme* se concentrent essentiellement sur les *catégories techniques* des *systèmes de finition* pour 9,2 M\$, des *systèmes mécaniques* pour 32,9 M\$ et des *systèmes électriques* pour 13,1 M\$, 45,2 % du MA5 *immédiat* de 122,2 M\$.
- En croisant l'information des *durées de vie restante* (cf. 6.4.22.2) avec les *natures d'action* de maintien d'actifs (cf. 6.4.22.1), on observe que 110,6 M\$, soit 90,5 % des *actions immédiates*, sont de nature *corrective*, alors que 10,3 M\$, soit 8,4 % des *actions immédiates*, sont de nature liée à la *mise en conformité* réglementaire.
- L'ampleur de l'*urgence* des besoins en travaux, combinée à la nature largement *corrective* ou de *mise en conformité* réglementaire sur des *catégories techniques* pouvant être un gisement important de travaux de nature écologique, apporte un éclairage préliminaire sur la *criticité*, soit sur la détermination et la hiérarchisation du degré d'importance des projets à réaliser.
- Il apparaît prioritaire de réaliser un effort sur toutes les catégories techniques en même temps (approche pluridisciplinaire, globale et systémique) plutôt que d'avoir des interventions exclusivement pour une catégorie technique (approche uni disciplinaire, locale et spécifique) afin de retrouver un niveau d'usage mieux maîtrisé.
- À la vue du sous-financement, il est important avant la mise en priorité et les décisions menant au Plan d'action (de projets) d'ajouter à l'analyse de criticité, une analyse des risques.

7.5.2.4 Le risque (cf. 6.4.22.3)

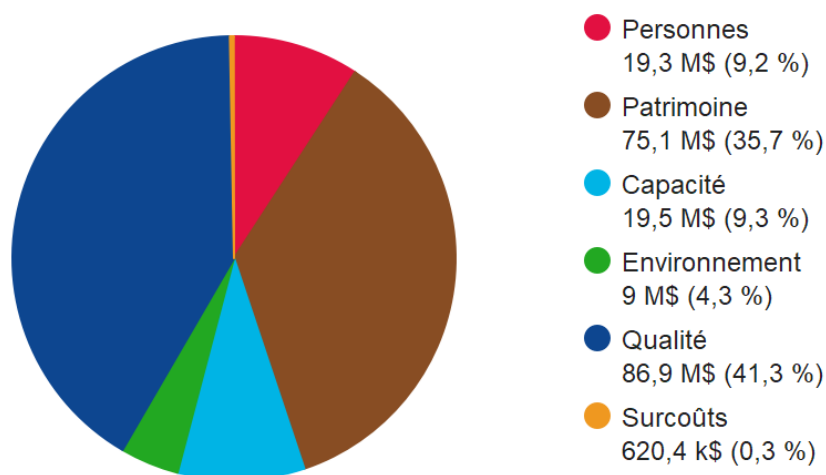


Figure 7.23 : Répartition du coût de renouvellement (MA5) par *nature de l'impact des risques* pour les 40 immeubles de l'échantillon du parc immobilier de l'OSU (2013).

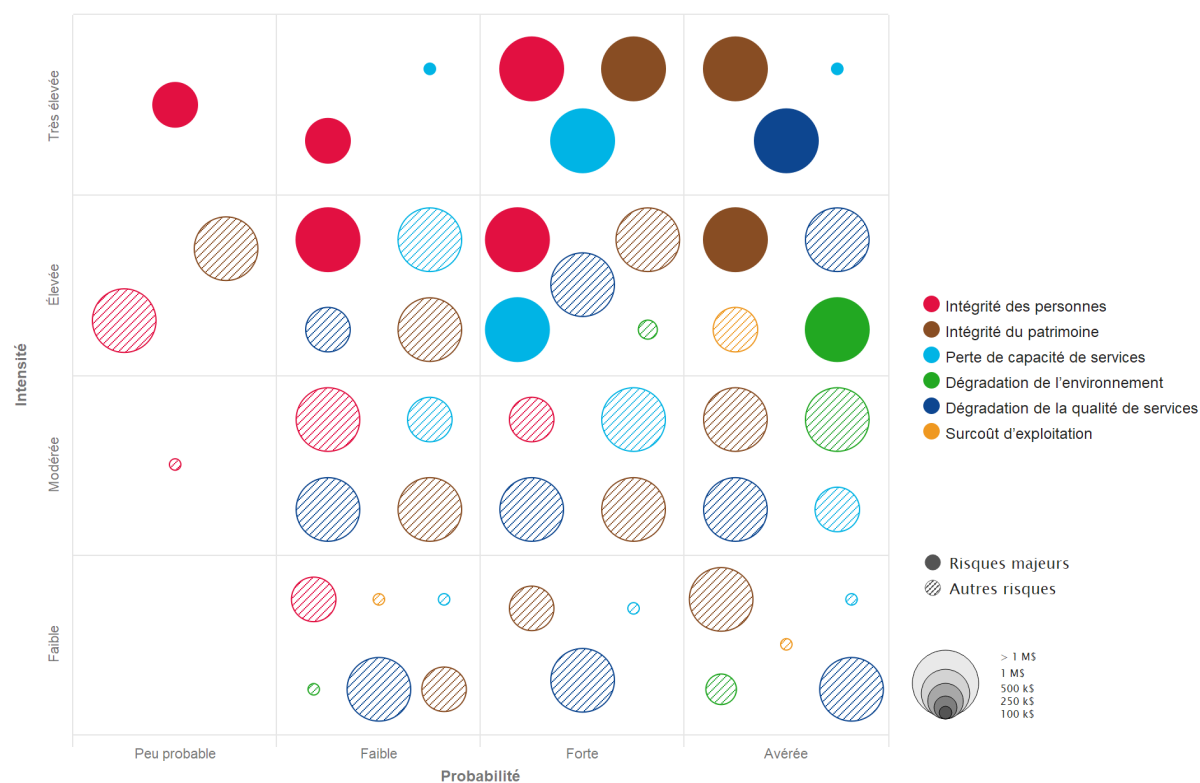


Figure 7.24 : Distribution du (MA5) par *intensité et vraisemblance d'occurrence (ou probabilité)* en fonction des *risques majeurs et des autres risques* pour les 40 immeubles de l'échantillon du parc immobilier de l'OSU (2013).

Clés d'interprétation et analyse (Figures 7.23 et 7.24) :

- On constate que les risques portent essentiellement sur la *nature d'impact* (cf. 6.4.22.3.2) de *dégradation de la qualité de services* avec 86,9 M\$, soit 41,3 % du MA5 et de l'intégrité du patrimoine pour 75,1 M\$, soit 35,7 %.
- En revanche, ce qui en apparence semble plus crucial, ce sont les *natures d'impact* sur l'*intégrité des personnes* (19,3 M\$, soit 9,2 % du MA5) et sur la perte de capacité de services (19,5 M\$, soit 9,2 % du MA5). D'autant plus que le financement disponible en 2012-2013 pour l'ensemble des besoins de l'échantillon des 40 bâtiments s'élevait à moins de 23 M\$ (Tableau 7-1) pour gérer 210,5 M\$ de MA5.
- Une analyse plus approfondie des risques en y intégrant l'*intensité de l'impact* (cf. 6.4.22.3.3) et la *vraisemblance ou probabilité d'occurrence* de la défaillance précise la criticité sous l'angle des risques. Cette analyse est issue d'un jeu sérieux (Figure 6.9) avec les équipes de décideurs de l'OSU qui vise à déterminer et hiérarchiser le degré d'importance par des classes de risques (Figure 6.10). Dans le cas présent, sur les 7 classes, les *risques majeurs* sont identifiés comme ceux de niveaux n° 1 et n° 2.
- Ainsi, les *risques majeurs* pour les besoins en travaux concernant la simple *nature d'impact* sur l'*intégrité des personnes* d'*intensité élevée (peu probable, faible, forte et avérée)* ou *très élevée (faible, forte et avérée)* correspondent à la somme de 16,63 M\$, soit 7,9 % du MA5 ou 72,3 % du budget 2012-2013, et devraient être une priorité absolue.
- Par ailleurs, s'ajoutent les *risques majeurs* concernant les autres *natures d'impact* qui totalisent la somme de 62,47 M\$ ou 29,7 % du MA5. Ces *risques majeurs* se distribuent majoritairement sur l'*intégrité du patrimoine*, mais aussi sur la *perte de capacité de services* et sur la *dégradation de la qualité de services*. Sujets ayant des conséquences importantes sur la stratégie de l'organisation scolaire.
- Enfin, seulement 3,5 M\$ de *risques majeurs* touchent la *dégradation de l'environnement* et concernent essentiellement le remplacement de systèmes d'éclairage. Cela signifie qu'il est difficile de considérer cet aspect comme un levier fort pour encourager les travaux. C'est la vétusté (extrême) notamment lié à l'*intégrité du patrimoine* qui suscite les meilleures opportunités pour repenser, par exemple, l'isolation par la réfection de murs (maçonnerie), le remplacement de couverture et de fenêtres.

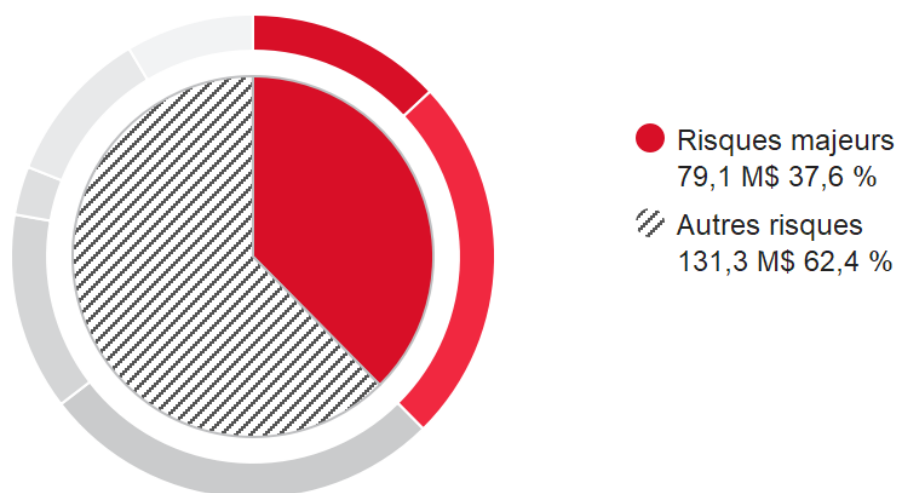


Figure 7.25 : Répartition du coût de renouvellement (MA5) par *risques majeurs* et *autres risques* pour les 40 immeubles de l'échantillon du parc immobilier de l'OSU (2013).

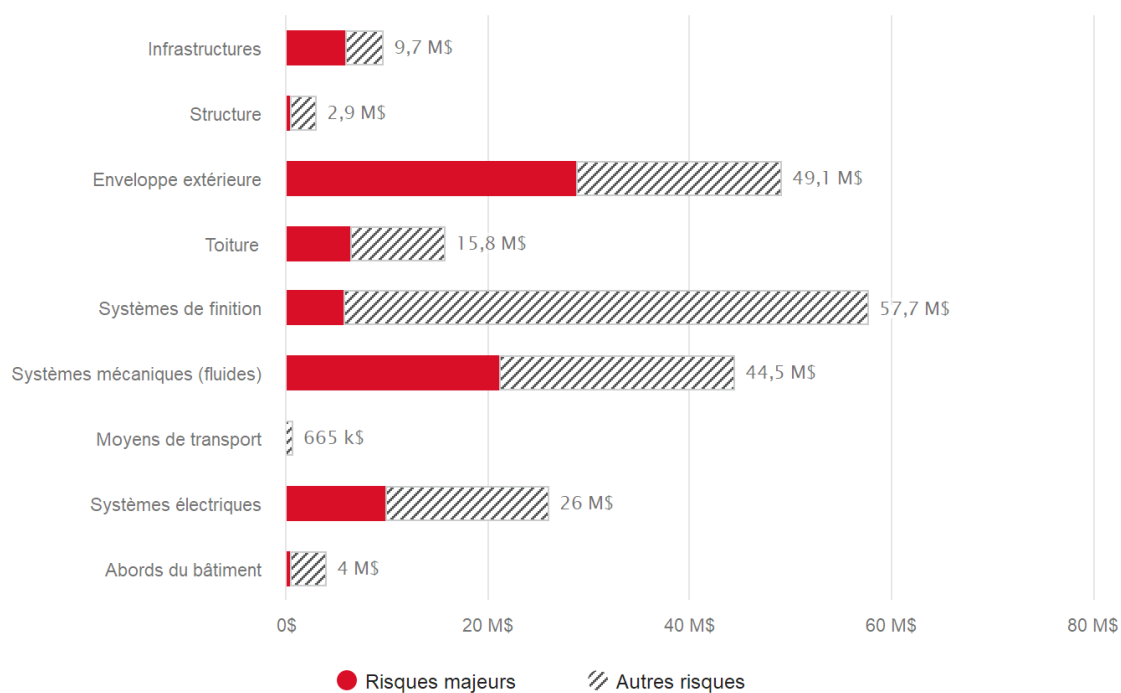


Figure 7.26 : Distribution du (MA5) par *risques majeurs* et *autres risques* en fonction des *catégories techniques* pour les 40 immeubles de l'échantillon du parc immobilier de l'OSU (2013).

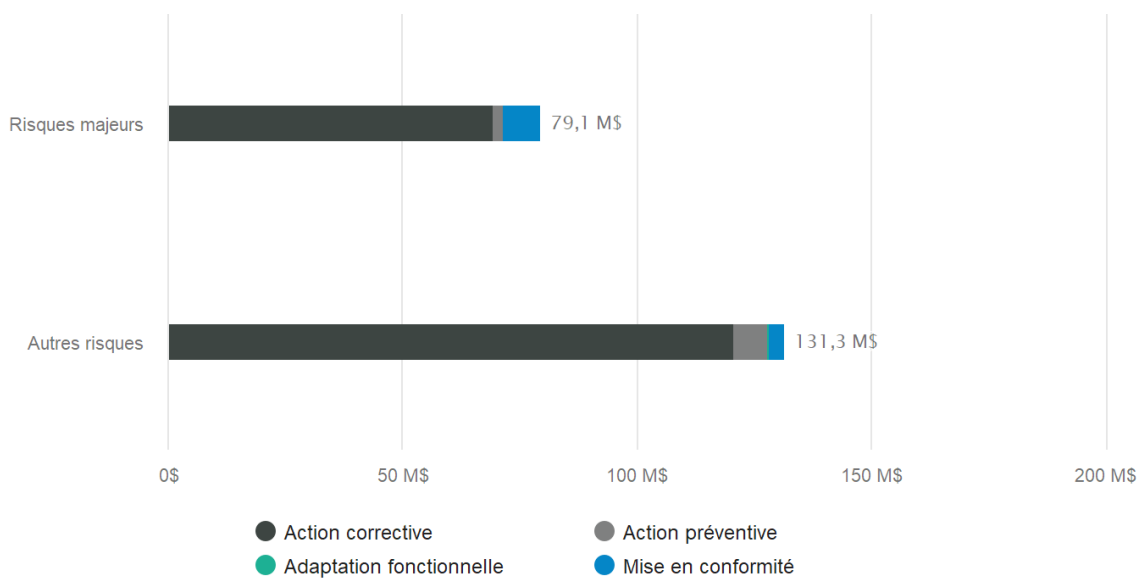


Figure 7.27 : Distribution du (MA5) par *nature d'action* en fonction des *risques majeurs et autres risques* pour les 40 immeubles de l'échantillon du parc immobilier de l'OSU (2013).

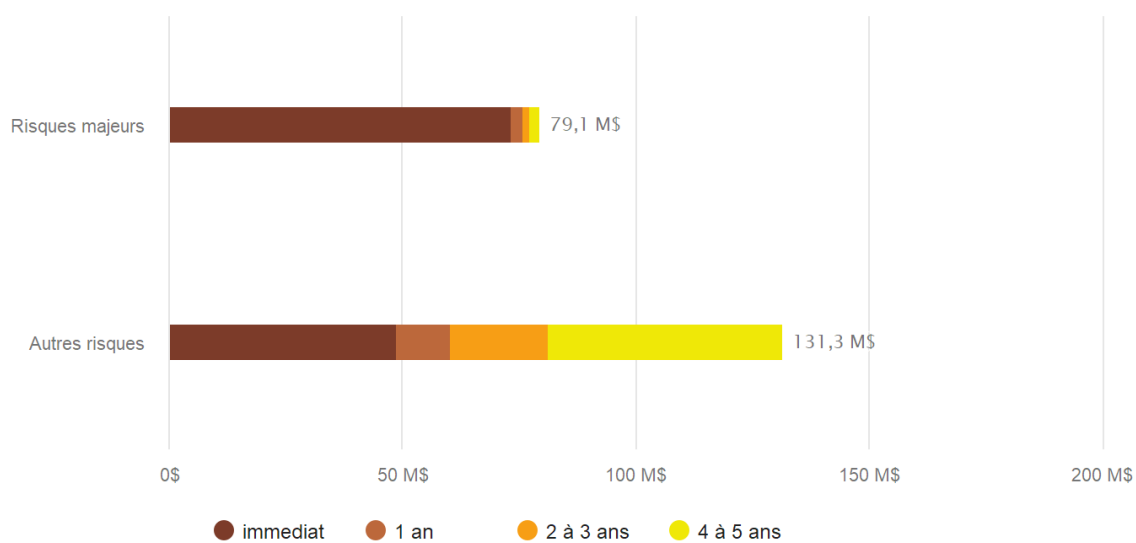


Figure 7.28 : Distribution du (MA5) par *durée de vie restante* en fonction des *risques majeurs et autres risques* pour les 40 immeubles de l'échantillon du parc immobilier de l'OSU (2013).

Clés d'interprétation et analyse (Figures 7.25, 7.26, 7.27 et 7.28) :

- Les besoins en travaux de 79,1 M\$ de *risques majeurs* correspondent à ce que les décideurs de l'organisation estiment hautement prioritaires pour éviter des conséquences qu'ils ne souhaitent pas voir advenir.
- Les *risques majeurs* pour les *enveloppes extérieures* et les *toitures* représentent respectivement 28,8 M\$ et 6,5 M\$ correspondant à 16,8 % du MA5 de 210 M\$.
- 87,8 % (69,5 M\$) des *risques majeurs* relèvent d'*actions correctives* et 9,6 % (7,6 M\$) concernent des *mises en conformité réglementaires*.
- 92,8 % (73,4 M\$) des risques majeurs nécessitent une action *immédiate*.
- L'ensemble des *risques majeurs* représentent 3,4 fois le budget disponible (23 M\$). Sous l'angle strict des risques, le sous-financement est avéré et interpelle sur les mesures à prendre. La maîtrise des risques devient de plus en plus impossible à assumer.

7.5.2.5 Les intentions politiques et réglementaires, sources de financement et autres indicateurs clés de performance

Dans le cadre de la présente étude, l'objectif visait d'abord à fiabiliser les données (complétude et exactitude) sous l'angle de la *vétusté* et des exigences de *mises en conformité réglementaires légales obligatoires*. Le Plan stratégique qui en découle est suffisamment ambitieux pour ne pas introduire à cette étape d'autres indicateurs clés de performance.

En revanche, dès que le rattrapage sera sous contrôle par une maîtrise des risques et le suivi d'une politique immobilière locale consensuelle, l'OSU serait bien avisée d'intégrer d'autres indicateurs à croiser avec ceux produits, comme par exemple, ceux relevant des *intentions politiques et réglementaires* (cf. 6.4.22.4), des *sources de financement* (cf. 6.4.22.5) ou d'*indicateurs comptables* (6.4.24) de toutes sortes pour mieux piloter le Schéma directeur immobilier dans une logique d'économie circulaire (anticipation, action, rétroaction) et écologique (respectueuse du vivant sur le long terme : nature, biodiversité, humanité).

Par ailleurs, l'analyse de l'adéquation des *usages* (cf. 6.4.3) par l'analyse de l'*allocation des actifs* (cf. 6.4.10) et de l'*occupation des espaces* (cf. 6.4.11) ainsi que des *densités d'occupation* (cf. 6.4.12) seront nécessaires en amont de la sélection et du choix de projets majeurs de rénovation ou réhabilitation, de construction, reconstruction ou d'agrandissement

par extension sur des sites existants. Cette analyse permettra de générer une prise de décision concernant des bâtiments optimisables, sous-occupés ou excédentaires par une valorisation, dont celle de l'aliénation ou de la valorisation.

7.5.2.6 Observations spécifiques supplémentaires

La problématique des vides sanitaires

- 20 bâtiments (50 % de l'échantillon) (026S bis, 027 bis, 046 bis, 052 bis, 070 bis, 097 bis, 099 bis, 110 bis, 116 bis, 140 bis, 141 bis, 152 bis, 201 bis, 238 bis, 250 bis, 266 bis, 320 bis, 409 bis, 410 bis et 419 bis) ont des vides sanitaires sous le bâtiment. Dans chacun de ces 20 sites, les vides sanitaires sont à assainir et à réhabiliter pour réduire le niveau d'humidité qui est trop élevé.
- L'humidité excessive génère des problèmes divers, dont la corrosion de l'armature du béton du plancher du rez-de-chaussée. Elle occasionne également de mauvaises odeurs dans les locaux du dessus et, plus préoccupant encore, peut être à l'origine de moisissures et de problèmes de qualité d'air intérieur dans les locaux.
- Le montant du MA5 est estimé à 5 M\$ pour assainir ces vides sanitaires. Certains sont en plus mauvais état que d'autres et donc plus *critiques* en matière des conséquences causées par une humidité excessive.
- 6 bâtiments (15 % de l'échantillon) sont jugés *critique* : 026S bis, 070 bis, 046 bis, 099 bis, 320 bis et 141 bis.

Les murs extérieurs

- La moyenne pondérée de l'âge des bâtiments est de 52 ans et 67,5 % de l'échantillon se situe entre 1908 et 1959 (27 bâtiments). Malgré un effort consenti important au fil du temps pour des réparations (OPEX) lors d'actions de maintenance corrective courante de la maçonnerie, l'étanchéité à l'air et à l'eau est affectée notamment par des cycles importants de gel et de dégel.
- L'effet de contagion des dégradations sur les façades amène à dépasser les simples réparations (OPEX) et à plutôt cibler un projet transversal d'envergure de remplacement

(CAPEX) des *enveloppes extérieures (toitures, murs et fenêtres)* susceptible d'être un levier important pour réduire les consommations énergétiques et réduire les GES.

- Il est important de noter que pour certaines écoles (046 bis, 110 bis, 115 bis, 140 bis, 160 bis, 238 bis) des expertises approfondies supplémentaires seront nécessaires pour parfaire la présente étude. Ces expertises auront sûrement pour effet d'augmenter le MA5 de ces bâtiments puisque l'estimation actuelle est basée sur des faits techniques limités.
- Une attention particulière devra être portée sur la maçonnerie du bâtiment 115 qui doit être inspectée à « cœur ouvert ».
- 21 bâtiments (52,5 %) de l'échantillon de 40 présentent des actions à *court terme* avec des *risques majeurs* sur les *murs extérieurs* pour une somme d'au moins 21,4 M\$.
- 5 bâtiments (12,5 % de l'échantillon) sont jugés *critique* : 115 bis, 026S bis, 320 bis, 313 bis, et 116 bis.

Les fenestrations

- L'école 175 bis est récente, mais, lors de notre visite, nous avons remarqué que toutes les tablettes de fenêtres étaient bombées et gonflées, à cause des infiltrations d'eau. Une investigation plus poussée est nécessaire à très court terme pour éviter de dégrader prématurément l'ensemble du système des fenêtres.
- 100 % de la *fenestration* des 40 bâtiments de l'échantillon se dégradent de manière significative et présentent des actions à *court terme* avec des *risques majeurs* sur les *fenestrations* et *portes extérieures* pour une somme d'au moins 6,9 M\$.
- 7 bâtiments (17,5 % de l'échantillon) sont jugés *critique* : 026S bis, 115 bis, 320 bis, 313 bis, 266 bis, 409 bis et 175 bis.

Les toitures (attention au problème sous garantie)

- Comme pour les *murs extérieurs*, beaucoup de travaux de réfection de *toitures* ont été réalisés ces dernières années sur l'ensemble du parc, mais il reste encore plusieurs sites problématiques.

- À surveiller, les *toitures* des bâtiments suivants sont toujours sous garantie : 014 bis, 049 bis, 110 bis, et 140 bis.
- Les *toitures* de 37 bâtiments (92,5 %) de l'échantillon de 40 présentent des actions à *court terme* avec des *risques majeurs* pour une somme d'au moins 6,5 M\$.
- 6 bâtiments (15 % de l'échantillon) sont jugés *critique* : 026S bis, 027 bis, 116 bis, 419 bis, 320 bis et 052 bis (agrandissement).

Les finitions intérieures (attention aux revêtements de sol TVA (tva/bois))

- Des travaux de finitions intérieures sont requis dans 100 % des bâtiments de l'échantillon de 40. Le MA5 totalise 57,7 M\$, soit 24,4 % du MA5 total.
- Les 40 bâtiments visités ont des besoins en travaux essentiellement ayant un *impact sur la qualité de services* (53 M\$, soit 91,9 % du MA5 pour les *finitions intérieures*).
- Dans beaucoup de cas, les revêtements de sols étaient d'origine, ce qui soulève la préoccupation des tuiles TVA (sol souple) sur des plaques de contreplaqué en bois. Ce type de plancher vinyle-amiante est interdit dans les constructions depuis environ 1995.
- À terme, pour éviter tout risque de moisissures, il faudrait intervenir dans tous les bâtiments possédant des vides sanitaires pour remplacer, s'il y a lieu, tous les revêtements de sol avec du bois.
- Enfin, les actions à *court terme* avec des *risques majeurs* totalisent 5,5 M\$.
- 7 bâtiments (17,5 % de l'échantillon) sont jugés *critiques* : 026S bis, 049 bis, 140 bis, 160 bis, 171 bis, 320 bis et 347 bis.

Les appareils de plomberie (sanitaires)

- Sur la somme de 25,6 M\$ requis pour les appareils de plomberie, représentant 12,2 % des 210,5 M\$ du MA5, 21,9 M\$ (85,5 % du MA5 appareils de plomberie) ont un impact sur la dégradation de la *qualité de services* et sont requis à *court terme*.
- Certains sanitaires étaient à la limite de l'insalubrité - ce qui est problématique pour des écoles accueillant de jeunes enfants –, cet enjeu majeur de rénovation vise l'hygiène et la salubrité des locaux.

- Enfin, les actions à *court terme* avec des *risques majeurs* touchent 16 bâtiments (40 %) de l'échantillon de 40 et totalisent 10 M\$.

Les systèmes de chauffage, ventilation, climatisation de l'air (CVCA)

- Tous les systèmes de CVCA sont fonctionnels même si l'âge des chaudières, par exemple, a souvent largement dépassé le cycle de vie théorique (recommandé par les constructeurs et fabricants). L'intérêt majeur pour justifier des remplacements de systèmes est d'ordre écologique (économie d'énergie et réduction des GES).
- Le MA5 pour ces composants totalise 14,2 M\$ (soit 6,7 % du MA5 de 210,5 M\$).
- 7 bâtiments (17,5 % de l'échantillon) sont jugés *critiques* : 013 bis, 014 bis, 042 bis, 347 bis, 021 bis, 160 bis et 171 bis.
- L'école 013 n'a aucune chaudière de relève (principe de redondance ou duplication de fonctions critiques). Elle fait donc partie des écoles *critiques*, car l'impact sur la *perte de capacité de services* est plus important que pour toutes les autres écoles qui ont une autre chaudière de relève.
- Pour l'école 347 (école secondaire de 17 855 m²), ce sont surtout les 60 unités de boîtes de mélanges d'air, nécessaire à la distribution de l'air de ventilation, qui nécessitent une intervention *critique*.
- En ce qui concerne l'école 021 (école primaire de 22 157 m²), les serpentins de climatisation et de chauffage sont obstrués par des salissures ce qui contraint à exploiter le système à volets fermés, avec une capacité du système réduite à 30 %. Ce cas fait aussi partie des interventions *critiques*.
- Pour les quatre autres écoles *critiques* les chaudières sont à remplacer, car de simples travaux de réfection partiels ne conviendraient pas.
- Enfin, les actions à *court terme* avec des *risques majeurs* touchent 17 bâtiments (42,5 %) de l'échantillon de 40 et totalisent 6,7 M\$.

Les interventions supplémentaires à un horizon de 10 ans (hors MA5)

- Lors de l'audit PACKiT, il était convenu d'identifier des besoins en travaux qui s'avèrent anticipables à un horizon temporel de 10 ans. Ces besoins en travaux totalisent 70,2 M\$ qui, tôt ou tard s'ajouteront à l'inventaire des besoins en travaux à l'horizon de 5 ans (MA5).
- Ces travaux ne sont pas comptabilisés dans le MA5 et encore moins dans le DMA. Ils sont regroupés dans l'inventaire uniquement pour permettre d'avoir une traçabilité de l'information.
- Les travaux identifiés relèvent, entre autres, de *décontamination des sols*, de *plomberie* et quelques travaux de *finitions*. Pour la décontamination des sols, même si ce n'est pas spécifiquement de la vétusté, les budgets en jeu sont tellement élevés, qu'il était impératif de noter cette information.
- Pour la *plomberie* et les *finitions intérieures*, les interventions sont recensées dans des études techniques existantes qui devront être actualisées pour valider ou non le besoin.
- Ainsi, les composants concernés sont, pour le moment, seulement « à surveiller » et l'estimation du coût se base sur une hypothèse de coût maximal et de remplacement complet du composant.

Programme de Qualité d'Air Intérieur (PQAI)

- Il est à noter que le montant du MA5 exclut les besoins en travaux issus d'une intention politique interne forte de l'OSU pour la réalisation d'un PQAI. À la suite des différentes inspections techniques en cours, des coûts importants de décontamination pourraient être ajoutés aux montants présents dans ce rapport.
- Par contre, avant l'ajout de tout montant au MA5 actuellement identifié, il est primordial de tenir compte de l'incertitude actuelle sur l'ampleur des contaminations et également sur les solutions et les coûts de travaux qui y sont reliés. La prudence est de rigueur pour éviter une présentation alarmiste de la situation.

7.6 Phase 5 : Stratégie, plan d'action et synthèse

L'échantillon étudié est constitué de 40 bâtiments répartis sur une *surface de plancher brute* (SDPB) de 339 355 m² dont la *valeur actuelle de remplacement* (VAR) (cf. 6.4.8.2) est estimée à 916,3 M\$. Le protocole et la méthodologie d'audit PACKiT ont permis d'établir, à partir de l'inventaire des *besoins de maintien d'actifs* (BMA) (cf. 6.4.15), que le *maintien d'actifs à l'horizon de 5 ans* (MA5) (cf. 6.4.16) totalise 210,5 M\$ et qu'il est réparti sur 2 171 fiches de BMA. Le *déficit de maintien d'actifs* (DMA) (cf. 6.4.17) est estimé à 134,4 M\$ (63,8 % du MA5). Le *maintien d'actifs à court terme* et à *risque majeur* totalise 76,1 M\$.

Le parc immobilier est dans l'ensemble dans un état de santé *préoccupant* (Tableau 6-1) avec un *Indice de vétusté physique* (IVP) (cf. 6.4.19) moyen pondéré de 23 % (Figure 7.29). Mais plus encore, le PACKiT démontre que les IVP par bâtiment constituent un échantillon très hétérogène avec des écarts-types élevés autant pour l'âge des bâtiments que pour l'IVP. Il n'y a plus d'homogénéité de la qualité des *usages* (cf. 6.4.3) et des *ambiances* (cf. 6.4.7). Ainsi, l'insatisfaction des usagers est démontrée par l'ampleur de l'impact sur la *dégradation de la qualité de services* (cf. 6.4.22.3.2) qui totalise 1 242 fiches BMA (57,2 % des fiches) pour un MA5 de 86,9 M\$ (soit 41,3 % du MA5 total).

Par ailleurs, le PACKiT démontre que la dégradation physique n'a pas de lien de causalité, et même de corrélation, avec la dépréciation comptable. En effet, le *cycle de vie d'utilisation réel* est largement supérieur au *cycle de vie d'utilisation théorique* (50 ans à 75 ans pour une école) (Figure 5-4).

De plus, avec un *niveau élevé* de dégradation physique sur certains bâtiments et un *niveau très élevé* pour plusieurs autres, des *risques majeurs* sont identifiés. Les actions prioritaires *critiques* à mettre en œuvre à *court terme* (moins de 2 ans) sont identifiables. Les travaux qui nécessitent des interventions à *moyen terme* (2 à 5 ans) et à *long terme* (10 ans), le sont aussi.

En somme, pour réussir la stratégie de transformation de la gestion des actifs physiques du parc immobilier scolaire urbain de l'OSU, la trajectoire doit se faire par des actions soutenues à long terme. Cette transformation vise à passer d'un régime d'oscillations des actions à poser avec un écart-type (actuellement 20 points d'IVP) et une moyenne de l'IVP (actuellement 23 %) très élevés à un régime d'oscillation avec des bornes entre 0 % et 30 % d'IVP et en maintenant une moyenne pondérée de l'IVP à moins de 15 %.

L'actuel régime à oscillation extrême est imposé par une *économie linéaire d'extraction de la matière et de la valeur, à croissance exponentielle et encourageant le consumérisme*. Le virage vers une *économie circulaire et écologique, de génération d'un renouvellement de la matière et d'une optimisation de la valeur d'usage* nécessite une constance dans la politique, la stratégie immobilière de l'OSU et son financement sur le long terme.

La *maîtrise des risques* devient centrale pour constituer un Plan pluriannuel de travaux de construction, de maintenance et de renouvellement (cf. 6.4.20) des bâtiments avec une mise à jour annuelle de la VAR, l'IVP et le MA5 et une révision globale par un audit tous les 5 ans.

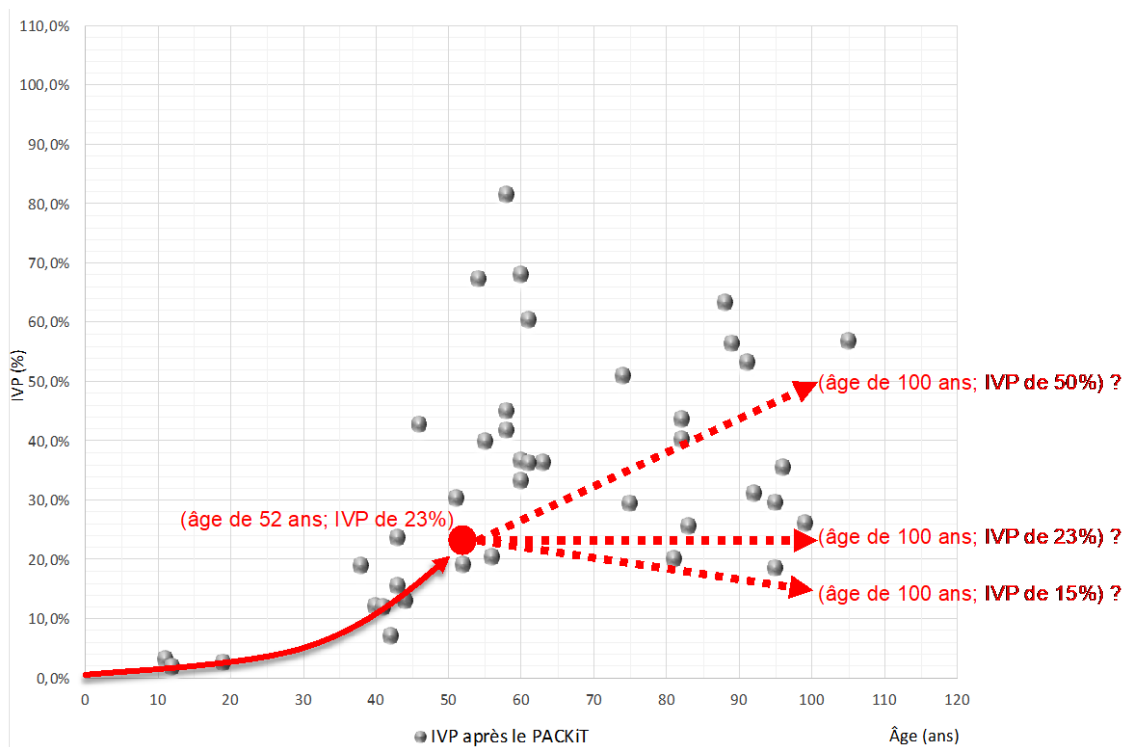


Figure 7.29 : Indice de vétusté physique (IVP) moyen pondéré en fonction de l'âge moyen pondéré et hypothèses de trajectoire jusqu'à un âge de 100 ans, PACKiT, OSU (2013).

7.6.1 Budget requis et capacité à payer de l'OSU

L'OSU a-t-elle les moyens financiers pour redresser la situation ? Quelle est sa capacité à payer ? L'élaboration d'un Schéma Directeur Immobilier (SDI) contient, à la fois :

- La stratégie immobilière de l'OSU : la vision sur les besoins immobiliers à l'échelle urbaine, la mission éducative et les besoins en usage, les intentions politiques, l'organigramme requis avec les compétences et l'expérience pour mener à bien le SDI ;
- Un plan pluriannuel budgétaire pour les projets d'investissement en renouvellement des actifs, reconstruction ou construction ;
- Et en option, mais pleinement utile, un plan de maintenance courante (corrective et préventive pour garantir au mieux les ambiances).

Sur le plan budgétaire des investissements, l'effort consenti pour les travaux de maintien d'actifs par l'OSU au cours des 14 années antérieures à 2013 est représenté par l'Indice de maintien d'actifs immobiliers (IMA) (cf. 6.4.23) (Figure 7.30). On y montre que l'OSU n'a jamais dépensé plus que 1,5 % de la valeur actuelle de remplacement (VAR) pour l'ensemble de son parc immobilier. Toutefois, pour l'échantillon de 40 bâtiments, il y a eu un pic à 2,51 % en 2013 (cf. 7.2.1.2).

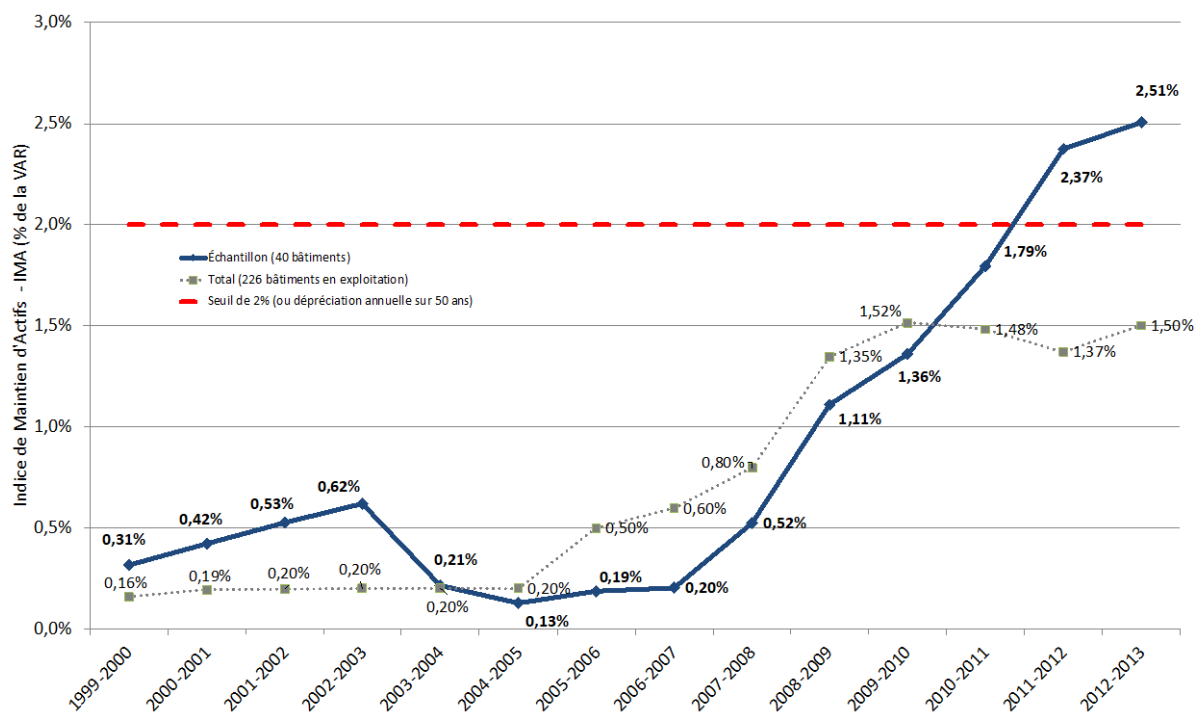


Figure 7.30 : Indice de maintien d'actifs (IMA) pour la période de 1999 à 2013 (OSU).

Ainsi, la dépense maximale en maintien d'actifs, issue de mesures budgétaires consenties par le ministère pour le renouvellement des actifs, fut de 56 M\$ pour l'ensemble des 226 bâtiments (2012-2013) avec une moyenne annuelle sur 14 exercices financiers de 25 M\$.

Pour l'échantillon de 40 bâtiments, la dépense maximale fut de 23 M\$ en 2012-2013 et une moyenne annuelle sur 14 exercices financiers de 7,4 M\$. Si l'on compare le tout avec le MA5 qui s'élève à 210,5 M\$ pour l'échantillon représentatif de 40 bâtiments, cela signifie qu'il faudrait, par distribution théorique égale, environ 42,1 M\$ par an. Il y a donc un sous-financement, en valeur réelle, d'au moins 19,1 M\$ annuellement pour les 5 prochaines années.

Il est important de noter qu'au-delà d'une réévaluation annuelle de l'estimation du MA5 en valeur nominale, la révision des budgets annuels futurs devra inclure l'évolution de la dégradation physique par l'apparition de nouveaux phénomènes. Enfin, il sera nécessaire d'ajuster les coûts en fonction du type d'action de renouvellement qui est choisi entre la simple intervention palliative (rustine) jusqu'à la modernisation et l'amélioration (cf. 6.4.20). Ainsi, par le PACKiT, le Schéma Directeur Immobilier est mis à jour.

7.6.2 Plan pluriannuel d'investissement (PPI) et Schéma directeur immobilier (SDI) pour l'échantillon de 40 bâtiments

Le protocole et la méthodologie d'audit PACKiT permettent d'élaborer un SDI à partir d'une grande panoplie de réflexions stratégiques et de plans d'action possibles. Ainsi, le SDI est l'outil intégrateur de la feuille de route (roadmap) pour réussir la transformation de la gestion du parc immobilier scolaire.

Dans le contexte de l'étude, le SDI est fondé sur une hypothèse d'absence de croissance de la population des usagers et d'une capacité d'accueil à isopérimètre de 339 355 m².

Ainsi, la présente section vise à démontrer l'intérêt et la pertinence du modèle PACKiT pour permettre une mise en priorité des actions en fonction de la stratégie immobilière locale de l'OSU, pour contrer la dégradation de leurs bâtiments et le respect des exigences réglementaires.

Enfin, sans que ce soit réalisé dans la présente étude, pour compléter la stratégie immobilière, l'OSU devra tenir compte d'une analyse croisée des connaissances acquises entre, d'une part, la vétusté et les exigences réglementaires et, d'autre part, l'allocation des actifs et leurs occupations (cf. 5,5 ; 6.4.12 ; 6.5.2.3). Cela permettra d'établir s'il y a effectivement un

usage constant des bâtiments scolaires ou bien un sous-usage, un sur usage, un mésusage ou la nécessité de l'évolution des usages.

Enfin, cela inscrira la conception et la réalisation des travaux à réaliser dans des considérations systémiques, pour chaque bâtiment, et transversales, à l'échelle de type d'usage ou du parc immobilier dans son ensemble. C'est ainsi qu'au moment de la prise de décision, les travaux pourront être conçus à l'échelle d'un îlot urbain, d'un quartier ou même de la ville dans son intégralité, pour considérer les aspects du transport collectif et de la mobilité urbaine.

Le plan pluriannuel d'investissement (PPI) permet à l'OSU de prioriser ses actions et de planifier ses investissements sur plusieurs années. Ci-dessous, la présentation du PPI sera limitée à sa programmation budgétaire et à quelques grandes orientations sur les travaux à réaliser. Le détail des travaux se retrouve au sein de la base de données de l'application d'aide à la décision du PACKiT (plateforme 3t, evA, myA) (Figure 6.2 à 6,11).

Pour établir les priorités, la stratégie du PPI comporte quatre objectifs pour quatre groupes de bâtiments (Figure 7.31) (Tableau 7-5 à 7-8).

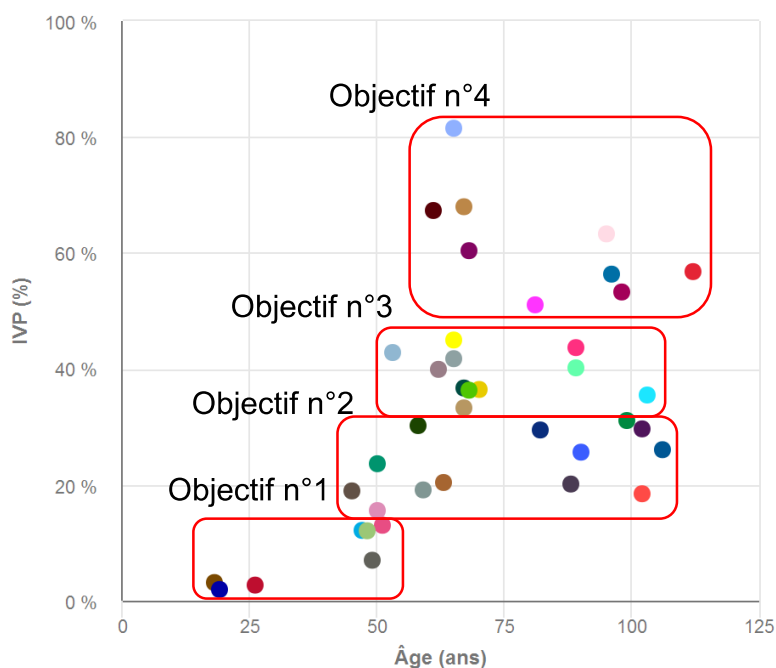


Figure 7.31 : Quatre objectifs de la stratégie d'action sur les 40 bâtiments de l'échantillon (OSU 2013).

Tableau 7-5 : 8 Bâtiments de l'objectif n° 1, OSU, 2013

Bâtiment (n° de l'actif)	Usage principal	Surface de placher brute (SDPB)	Année de construction	MA5 (2013)	IVP après PACKiT
176 bis	École primaire	4 193 m ²	2001	218 050,0 \$	1,9%
088 bis	Centre de formation	15 571 m ²	1994	1 132 848,4 \$	2,7%
175 bis	École primaire	4 263 m ²	2002	360 788,8 \$	3,1%
437 bis	École secondaire	30 719 m ²	1971	5 785 809,5 \$	7,0%
042 bis	École primaire	31 989 m ²	1972	10 414 529,5 \$	12,1%
030 bis	École secondaire	23 688 m ²	1973	7 760 072,2 \$	12,1%
014 bis	École secondaire	27 705 m ²	1969	9 730 609,1 \$	13,0%
035 bis	École secondaire	24 481 m ²	1970	10 278 344,0 \$	15,5%
8 bâtiments	total	162 609 m ²		45 681 051,3 \$	

Tableau 7-6 : 10 Bâtiments de l'objectif n° 2, OSU, 2013

Bâtiment (n° de l'actif)	Usage principal	Surface de placher brute (SDPB)	Année de construction	MA5 (2013)	IVP après PACKiT
140 bis	École primaire	5 116 m ²	1918	2 548 030,4 \$	18,4%
073 bis	École primaire	5 906 m ²	1975	3 020 730,0 \$	18,9%
347 bis	École secondaire	17 855 m ²	1961	9 210 827,0 \$	19,1%
417 bis	École primaire	5 096 m ²	1932	2 768 000,0 \$	20,1%
055 bis	École secondaire	13 961 m ²	1957	7 685 715,4 \$	20,4%
021 bis	École primaire	22 157 m ²	1970	14 139 362,4 \$	23,6%
410 bis	École primaire	3 403 m ²	1930	2 354 429,3 \$	25,6%
099 bis	Centre de formation	2 979 m ²	1914	2 095 377,1 \$	26,1%
046 bis	École primaire	6 725 m ²	1938	5 346 485,7 \$	29,4%
097 bis	École primaire	4 991 m ²	1918	3 993 920,9 \$	29,6%
10 bâtiments	total	88 189 m ²		53 162 878,2 \$	

Tableau 7-7 : 13 Bâtiments de l'objectif n° 3, OSU, 2013-2023 (10 ans).

Bâtiment (n° de l'actif)	Usage principal	Surface de placher brute (SDPB)	Année de construction	MA5 (2013)	IVP après PACKIT
365 bis	École primaire	5 569 m ²	1962	4 542 821,3 \$	30,2%
141 bis	École primaire	4 235 m ²	1921	3 554 352,6 \$	31,1%
238 bis	École primaire	3 717 m ²	1953	3 338 047,9 \$	33,3%
115 bis	École primaire	3 350 m ²	1917	3 209 502,1 \$	35,5%
409 bis	École primaire	5 351 m ²	1952	5 245 408,1 \$	36,3%
070 bis	Centre de formation	5 729 m ²	1950	5 636 900,9 \$	36,4%
250 bis	École primaire	3 584 m ²	1953	3 550 475,0 \$	36,7%
313 bis	École primaire	4 872 m ²	1958	5 249 337,5 \$	39,9%
201 bis	École primaire	2 517 m ²	1931	2 729 945,5 \$	40,2%
052 bis	École primaire	4 139 m ²	1955	4 666 193,3 \$	41,8%
013 bis	École primaire	3 160 m ²	1967	3 652 186,0 \$	42,8%
419 bis	Bureaux	3 210 m ²	1931	3 783 678,2 \$	43,7%
110 bis	Bureaux	3 540 m ²	1955	4 297 818,9 \$	45,0%
13 bâtiments	total	52 973 m ²		53 456 667,2 \$	

Tableau 7-8 : 9 Bâtiments de l'objectif n° 4, OSU, 2013-2023 (10 ans).

Bâtiment (n° de l'actif)	Usage principal	Surface de placher brute (SDPB)	Année de construction	MA5 (2013)	IVP après PACKIT
116 bis	École primaire	3 896 m ²	1939	5 369 500,0 \$	51,0%
160 bis	École primaire	4 526 m ²	1922	6 507 322,1 \$	53,3%
152 bis	École primaire	4 939 m ²	1924	7 511 980,5 \$	56,3%
049 bis	École primaire	3 478 m ²	1908	5 331 431,2 \$	56,8%
027 bis	École primaire	2 815 m ²	1952	4 589 508,0 \$	60,4%
171 bis	École primaire	5 075 m ²	1925	8 670 308,5 \$	63,3%
320 bis	École primaire	4 206 m ²	1959	7 643 977,2 \$	67,3%
026S bis	École primaire	5 715 m ²	1953	10 487 279,8 \$	68,0%
266 bis	Centre de formation	934 m ²	1955	2 055 390,1 \$	81,5%
9 bâtiments	total	35 584 m ²		58 166 697,2 \$	

Objectif n° 1 :

Continuer à maintenir les bâtiments en bon état de santé par des actions ciblées en maintien d'actifs de remplacement et en observant les dégradations à venir. Horizon temporel de 5 ans et plus.

- Scénario - seuil bas :
 - Réaliser les 49 actions (2,26 % des BMA) à *court terme* avec des *risques majeurs* qui concernent 8 bâtiments (soit 20 % de l'échantillon de 40) et qui totalisent 14,4 M\$ (soit 6,8 % du MA5).

- Scénario - seuil haut :
 - Réaliser les 432 (19,9 % des BMA) actions du MA5 qui concernent 8 bâtiments (soit 20 % de l'échantillon de 40) et qui totalisent 45,7 M\$ (soit 21,7 % du MA5).

Objectif n° 2 :

Mettre en place un programme transversal de travaux en maintien d'actifs de remplacement par composants ou systèmes techniques. Horizon temporel de 5 ans et plus.

- Scénario - seuil bas :
 - Réaliser les 81 actions (3,73 % des BMA) à *court terme* avec des *risques majeurs* qui concernent 10 bâtiments (soit 25 % de l'échantillon de 40) et qui totalisent 14,7 M\$ (soit 6,9 % du MA5).
- Scénario - seuil haut :
 - Réaliser les 499 (23 % des BMA) actions du MA5 qui concernent 10 bâtiments (soit 25 % de l'échantillon de 40) et qui totalisent 53,2 M\$ (soit 25,3 % du MA5).

Objectif n° 3 :

Mettre en place un important programme de travaux majeurs de réhabilitation pour le maintien d'actifs par la modernisation et l'amélioration des composants, des systèmes techniques et des espaces par bâtiment. Horizon temporel de 6 ans et plus.

- Scénario - seuil bas :
 - Réaliser les 106 actions (4,9 % des BMA) à *court terme* avec des *risques majeurs* qui concernent 13 bâtiments (soit 32,5 % de l'échantillon de 40) et qui totalisent 18,3 M\$ (soit 8,7 % du MA5).
 - Inscrire l'éradication des 106 actions dans des projets de réhabilitation dont les coûts seront 1,5 fois l'estimation le MA5 par bâtiment, pour un montant s'élevant à 80,2 M\$.
- Scénario - seuil haut :

- Réaliser les 701 (32,3 % des BMA) actions du MA5 qui concernent 13 bâtiments (soit 32,5 % de l'échantillon de 40) et qui totalisent 53,5 M\$ (soit 25,4 % du MA5).
- Inscrire l'éradication des 701 actions dans des projets de réhabilitation dont les coûts de réhabilitation seront 2 fois l'estimation du MA5 par bâtiment, pour un montant s'élevant à 106,9 M\$.

Objectif n° 4 :

Mettre en place un important programme de construction et reconstruction des 9 bâtiments les plus vétustes. Horizon temporel de 8 ans et plus.

- Scénario – construction ou reconstruction :
 - Réaliser les 539 (24,8 % des BMA) actions du MA5 qui concernent 9 bâtiments (soit 22,5 % de l'échantillon de 40) et qui totalisent 58,2 M\$ (soit 27,6 % du MA5).
 - Inscrire l'éradication des 539 actions dans des projets de construction ou reconstruction dont les estimations de coûts seront 1,3 fois l'estimation de la VAR unitaire (2013) de 2700 \$/m² pour assumer des travaux de déconstruction et recyclage ainsi que les coûts de relocalisation temporaire des usagers, pour un montant s'élevant à 124,9 M\$.

En résumé, comme l'indique le Tableau 7-9, pour chacun des objectifs de la stratégie immobilière, les cibles budgétaires varient. On y retrouve le détail de budget requis pour chaque objectif et à chaque année sur un horizon de 10 ans.

Dans les faits, l'horizon temporel pourrait être du double dans le cas où les équipes techniques de l'OSU n'arrivaient pas à fournir à la tâche ou dans le cas de contraintes budgétaires importantes.

L'ensemble de la stratégie serait ainsi à revoir. Le PACKiT devient alors un outil d'*apprentissage stratégique (strategic learning)* en plus d'être un outil de *planification stratégique (strategic planning)*. Le but ultime étant de réduire les écarts-types et les moyennes pour l'âge et pour l'IVP.

Tableau 7-9 : Plan pluriannuel d'investissement (valeur nominale) pour une période de 10 ans de l'échantillon de 40 bâtiments de l'OSU, scénarios n° 1 et n° 2 (2013).

Scénario n°1 : Réaliser les actions critiques pour maîtriser les risques majeurs											
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
Objectif n°1	Continuer à maintenir les 8 bâtiments en bon état de santé par des actions ciblées en maintien d'actifs de remplacement et en observant les dégradations à venir.										total (10 ans)
VAR M\$ (taux inflation 2%)	439	448	457	466	475	485	494	504	514	525	
IMA (% de la VAR)	1,64%	1,64%	1,64%	1,64%	1,64%	1,64%	1,64%	1,64%	1,64%	1,64%	
Budget n°1 (M\$)	7,20	7,34	7,49	7,64	7,79	7,95	8,11	8,27	8,44	8,60	78,83
Objectif n°2	Mettre en place un programme transversal de travaux en maintien d'actifs de remplacement par composants ou systèmes techniques. 10 bâtiments										total (10 ans)
VAR M\$ (taux inflation 2%)	238	243	248	253	258	263	268	274	279	285	
IMA (% de la VAR)	3,09%	3,09%	3,09%	3,09%	3,09%	1,64%	1,64%	1,64%	1,64%	1,64%	
Budget n°2 (M\$)	7,36	7,50	7,65	7,81	7,96	4,31	4,40	4,49	4,58	4,67	60,72
Objectif n°3	Mettre en place un important programme de travaux majeurs de réhabilitation pour le maintien d'actifs par la modernisation et l'amélioration des composants, des systèmes techniques et des espaces pour 13 bâtiments										total (10 ans)
VAR M\$ (taux inflation 2%)	143	146	149	152	155	158	161	164	168	171	
IMA (% de la VAR)	9,34%	9,34%	9,34%	9,34%	9,34%	9,34%	1,64%	1,64%	1,64%	1,64%	
Budget n°3 (M\$)	13,37	13,63	13,91	14,18	14,47	14,76	2,64	2,70	2,75	2,80	95,20
Objectif n°4	Mettre en place un important programme de construction et reconstruction des 9 bâtiments les plus vétustes.										total (10 ans)
VAR M\$ (taux inflation 2%)	96	98	100	102	104	106	108	110	113	115	
IMA (% de la VAR)	16,25%	16,25%	16,25%	16,25%	16,25%	16,25%	16,25%	16,25%	1,64%	1,64%	
Budget n°4 (M\$)	15,62	15,93	16,25	16,57	16,90	17,24	17,59	17,94	1,85	1,88	137,76
Budget total scénario N°1 (M\$)	43,54	44,41	45,30	46,20	47,13	44,26	32,73	33,39	17,61	17,96	372,53
Scénario n°2 : Réaliser les actions MA5 pour maîtriser l'ensemble des risques											
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
Objectif n°1	Continuer à maintenir les 8 bâtiments en bon état de santé par des actions ciblées en maintien d'actifs de remplacement et en observant les dégradations à venir.										total (10 ans)
VAR M\$ (taux inflation 2%)	439	448	457	466	475	485	494	504	514	525	
IMA (% de la VAR)	2,08%	2,08%	2,08%	2,08%	2,08%	2,08%	2,08%	2,08%	2,08%	2,08%	
Budget n°1 (M\$)	9,13	9,31	9,50	9,69	9,88	10,08	10,28	10,49	10,70	10,91	99,98
Objectif n°2	Mettre en place un programme transversal de travaux en maintien d'actifs de remplacement par composants ou systèmes techniques. 10 bâtiments										total (10 ans)
VAR M\$ (taux inflation 2%)	238	243	248	253	258	263	268	274	279	285	
IMA (% de la VAR)	4,47%	4,47%	4,47%	4,47%	4,47%	1,64%	1,64%	1,64%	1,64%	1,64%	
Budget n°2 (M\$)	10,64	10,86	11,07	11,29	11,52	4,31	4,40	4,49	4,58	4,67	77,82
Objectif n°3	Mettre en place un important programme de travaux majeurs de réhabilitation pour le maintien d'actifs par la modernisation et l'amélioration des composants, des systèmes techniques et des espaces pour 13 bâtiments										total (10 ans)
VAR M\$ (taux inflation 2%)	143	146	149	152	155	158	161	164	168	171	
IMA (% de la VAR)	9,34%	9,34%	9,34%	9,34%	9,34%	9,34%	1,64%	1,64%	1,64%	1,64%	
Budget n°3 (M\$)	13,37	13,63	13,91	14,18	14,47	14,76	2,64	2,70	2,75	2,80	95,20
Objectif n°4	Mettre en place un important programme de construction et reconstruction des 9 bâtiments les plus vétustes.										total (10 ans)
VAR M\$ (taux inflation 2%)	96	98	100	102	104	106	108	110	113	115	
IMA (% de la VAR)	16,25%	16,25%	16,25%	16,25%	16,25%	16,25%	16,25%	16,25%	1,64%	1,64%	
Budget n°4 (M\$)	15,62	15,93	16,25	16,57	16,90	17,24	17,59	17,94	1,85	1,88	137,76
Budget total scénario N°2 (M\$)	48,76	49,73	50,73	51,74	52,78	46,39	34,91	35,61	19,87	20,27	410,78

En somme, le plan pluriannuel des investissements sera marqué par une période intense de rattrapage de 5 ans avec une fluctuation annuelle entre 43,54 M\$ (IMA de 4,75 %) et 52,78 M\$ (IMA de 5,76 %). Enfin, il y aura une réduction des dépenses en investissement durant les 5 ans qui suivent avec un besoin annuel en maintien d'actifs autour de 20 M\$ (IMA d'environ 2 %).

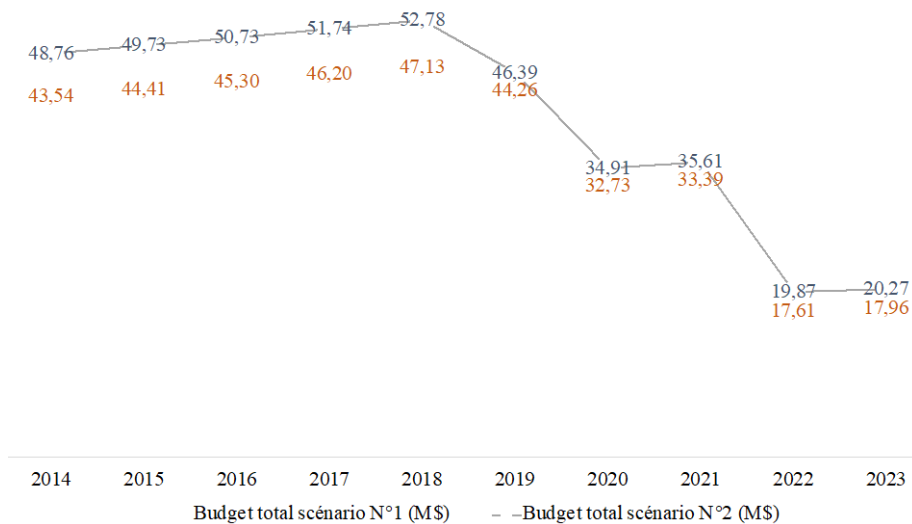


Figure 7.32 : Plan pluriannuel d'investissement (en valeur nominale) pour une période de 10 ans de l'échantillon de 40 bâtiments de l'OSU (2013).

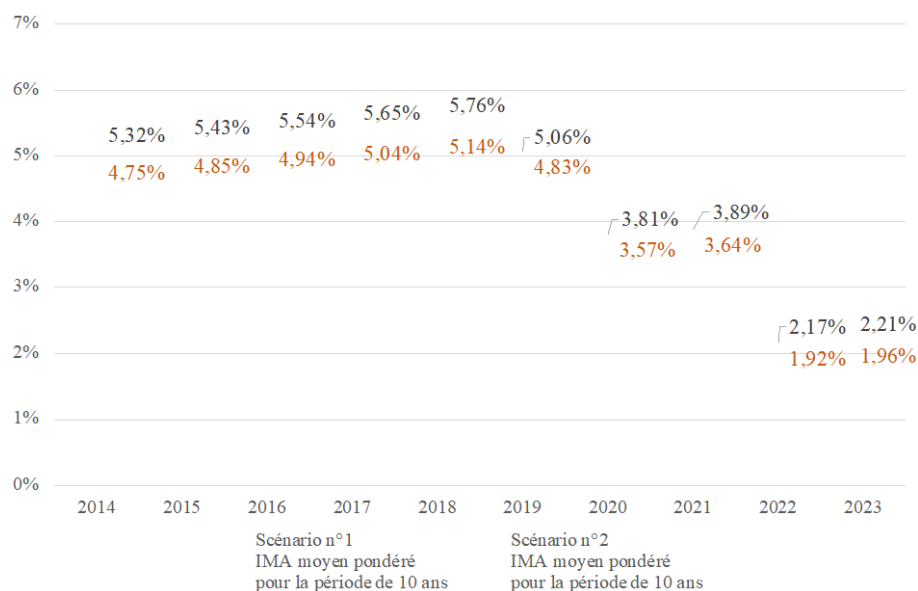


Figure 7.33 : Plan pluriannuel d'investissement (en IMA moyen pondéré) pour une période de 10 ans de l'échantillon de 40 bâtiments de l'OSU (2013).

7.7 Conclusion

Un éclairage nouveau

À la lumière des résultats obtenus, des analyses tirées de la présente étude et du retour d'expérience qu'elle offre, il n'y a pas de doute sur l'apport du PACKiT pour un éclairage complémentaire et nouveau aux données existantes de l'OSU. Mais qu'en est-il d'une transposition du résultat de l'étude à l'ensemble des 226 bâtiments du parc immobilier de l'OSU ?

En amont de la présente étude, il était évoqué une estimation du maintien d'actifs à 5 ans (MA5) de 1,29 milliard \$ pour les 226 immeubles « en exploitation » de l'OSU et des besoins supplémentaires, notamment pour des constructions, estimant l'ensemble des besoins à environ 1,587 milliard \$, sous réserve d'une meilleure fiabilité de l'information. Il est important de noter que le biais de *représentativité heuristique* (cf. Tableau 5-6) est certainement bien maîtrisé, toutefois d'autres biais cognitifs, comme celui d'*excès de confiance*, de *mentalité de troupeau* ou d'*erreur narrative*, pourraient remettre en question certains éléments de l'analyse et des conclusions. La meilleure approche reste d'appliquer le modèle PACKiT aux 226 bâtiments du parc immobilier.

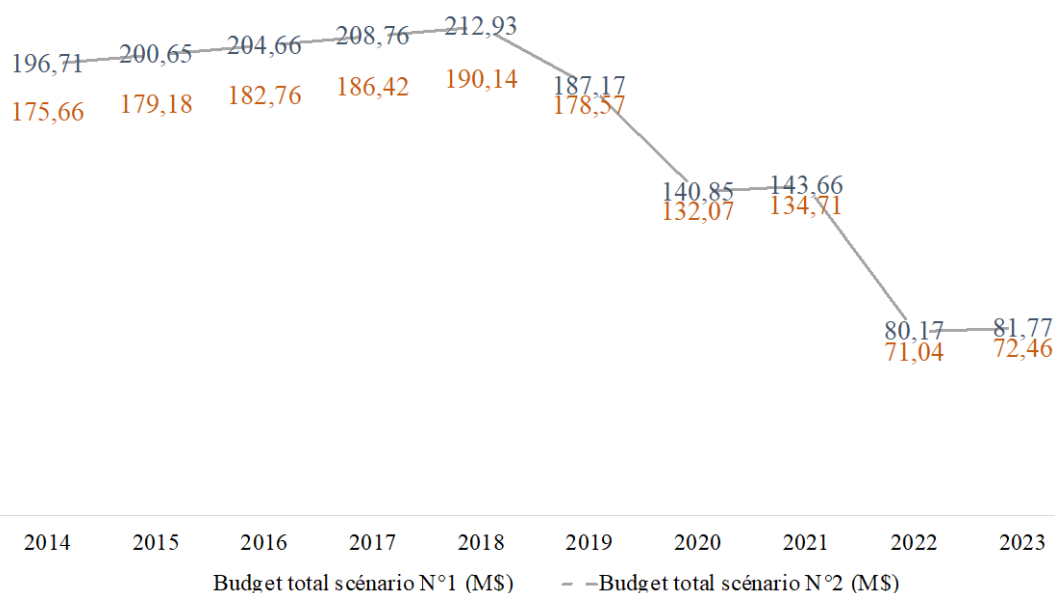


Figure 7.34 : Transposition du Plan pluriannuel d'investissement (valeur nominale) pour une période de 10 ans sur l'ensemble des 226 bâtiments de l'OSU (2013).

Cela étant, en transposant et appliquant les taux d'IMA issus de l'échantillon de 40 bâtiments représentatifs de l'ensemble du parc immobilier de l'OSU (Figure 7.33), les besoins en investissement (en valeur nominale) à 5 ans pour les actions à forte criticité sont plutôt d'environ 914 M\$ pour le scénario n° 1 (29 % de moins que l'estimation de 1,29 milliard \$) et le MA5 total est de 1,024 milliard \$ pour le scénario n° 2 (21 % de moins que l'estimation de 1,29 milliard \$). Et les besoins d'investissement à l'horizon de 10 ans seraient respectivement de 1,503 milliard \$ et 1,657 milliard \$ ce qui est plus proche de l'estimation de 1,587 milliard \$ (intégrant des constructions) (Tableau 7-10 et Figure 7.34).

En résumé, dès le lancement d'un programme de travaux, la programmation, la conception, la réalisation et l'exploitation-maintenance devront tenir compte d'un meilleur *cycle de vie* des usages et des composants techniques (*fonctionnalités*) afin de maximiser la *valeur d'usage* à *coûts globaux de possession* et *risques* maîtrisés. L'outil pour suivre les performances et garantir ou rétablir les *ambiances* est celui du nœud borroméen écologique (Figure 5.1).

C'est ce par quoi les responsables de la gestion des actifs physiques devront passer pour réussir les nombreux investissements à réaliser dans les 10 ans à venir sur l'ensemble du parc de 226 bâtiments dès lors que le financement des budgets sera au rendez-vous. Ainsi, en synthèse, le plan pluriannuel des investissements devrait être le suivant (Tableau 7-10) :

- (45 bâtiments) Garantir la maîtrise des risques par des actions ciblées de remplacement de composants et de systèmes techniques ;
- (57 bâtiments) Garantir la maîtrise des risques par un renouvellement par remplacement (cf. 6.4.20) massif et intensif de plusieurs composants et systèmes techniques ;
- (73 bâtiments) Réaliser des réhabilitations d'envergure visant un renouvellement des actifs en procédant à des modernisations et des améliorations (cf. 6.4.20) ;
- (51 bâtiments) Reconstruire ou construire les espaces supprimés par des aliénations (cessions, déconstructions-recyclages, bail emphytéotique) correspondant à environ 10 % des superficies de plancher brutes du parc immobilier.

Mais qu'en est-il de l'IVP à l'horizon de 10 ans ? Restera-t-il au niveau de 23 % ? Augmentera-t-il ? Quels seront les impacts des scénarios n° 1 et n° 2 sur l'appréciation de l'IVP ?

Tableau 7-10 : Transposition du Plan pluriannuel d'investissement (valeur nominale) pour une période de 10 ans sur l'ensemble des 226 bâtiments (OSU), scénarios n° 1 et n° 2 (2013).

Scénario n°1 : Réaliser les actions critiques pour maîtriser les risques majeurs											
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
Objectif n°1	Continuer à maintenir les 45 bâtiments en bon état de santé par des actions ciblées en maintien d'actifs de remplacement et en observant les dégradations à venir.										total (10 ans)
VAR M\$ (taux inflation 2%)	1771	1807	1843	1880	1917	1956	1995	2035	2075	2117	
IMA (% de la VAR)	1,64%	1,64%	1,64%	1,64%	1,64%	1,64%	1,64%	1,64%	1,64%	1,64%	
Budget n°1 (M\$)	29,05	29,63	30,22	30,83	31,44	32,07	32,71	33,37	34,03	34,71	318,06
Objectif n°2	Mettre en place un programme transversal de travaux en maintien d'actifs de remplacement par composants ou systèmes techniques. 57 bâtiments										total (10 ans)
VAR M\$ (taux inflation 2%)	961	980	1000	1020	1040	1061	1082	1104	1126	1148	
IMA (% de la VAR)	3,09%	3,09%	3,09%	3,09%	3,09%	1,64%	1,64%	1,64%	1,64%	1,64%	
Budget n°2 (M\$)	29,69	30,28	30,88	31,50	32,13	17,40	17,74	18,10	18,46	18,83	245,01
Objectif n°3	Mettre en place un important programme de travaux majeurs de réhabilitation pour le maintien d'actifs par la modernisation et l'amélioration des composants, des systèmes techniques et des espaces pour 73 bâtiments										total (10 ans)
VAR M\$ (taux inflation 2%)	577	589	601	613	625	637	650	663	677	690	
IMA (% de la VAR)	9,34%	9,34%	9,34%	9,34%	9,34%	9,34%	1,64%	1,64%	1,64%	1,64%	
Budget n°3 (M\$)	53,93	55,01	56,11	57,23	58,37	59,54	10,66	10,88	11,09	11,32	384,14
Objectif n°4	Mettre en place un important programme de construction et reconstruction des 51 bâtiments les plus vétustes.										total (10 ans)
VAR M\$ (taux inflation 2%)	388	395	403	411	420	428	437	445	454	463	
IMA (% de la VAR)	16,25%	16,25%	16,25%	16,25%	16,25%	16,25%	16,25%	16,25%	1,64%	1,64%	
Budget n°4 (M\$)	63,00	64,26	65,55	66,86	68,19	69,56	70,95	72,37	7,45	7,60	555,79
Budget total scénario N°1 (M\$)	175,66	179,18	182,76	186,42	190,14	178,57	132,07	134,71	71,04	72,46	1503,01
Scénario n°2 : Réaliser les actions MA5 pour maîtriser l'ensemble des risques											
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
Objectif n°1	Continuer à maintenir les 45 bâtiments en bon état de santé par des actions ciblées en maintien d'actifs de remplacement et en observant les dégradations à venir.										total (10 ans)
VAR M\$ (taux inflation 2%)	1771	1807	1843	1880	1917	1956	1995	2035	2075	2117	
IMA (% de la VAR)	2,08%	2,08%	2,08%	2,08%	2,08%	2,08%	2,08%	2,08%	2,08%	2,08%	
Budget n°1 (M\$)	36,84	37,58	38,33	39,10	39,88	40,68	41,49	42,32	43,17	44,03	403,40
Objectif n°2	Mettre en place un programme transversal de travaux en maintien d'actifs de remplacement par composants ou systèmes techniques. 57 bâtiments										total (10 ans)
VAR M\$ (taux inflation 2%)	961	980	1000	1020	1040	1061	1082	1104	1126	1148	
IMA (% de la VAR)	4,47%	4,47%	4,47%	4,47%	4,47%	1,64%	1,64%	1,64%	1,64%	1,64%	
Budget n°2 (M\$)	42,94	43,80	44,68	45,57	46,48	17,40	17,74	18,10	18,46	18,83	314,00
Objectif n°3	Mettre en place un important programme de travaux majeurs de réhabilitation pour le maintien d'actifs par la modernisation et l'amélioration des composants, des systèmes techniques et des espaces pour 73 bâtiments										total (10 ans)
VAR M\$ (taux inflation 2%)	577	589	601	613	625	637	650	663	677	690	
IMA (% de la VAR)	9,34%	9,34%	9,34%	9,34%	9,34%	9,34%	1,64%	1,64%	1,64%	1,64%	
Budget n°3 (M\$)	53,93	55,01	56,11	57,23	58,37	59,54	10,66	10,88	11,09	11,32	384,14
Objectif n°4	Mettre en place un important programme de construction et reconstruction des 51 bâtiments les plus vétustes.										total (10 ans)
VAR M\$ (taux inflation 2%)	388	395	403	411	420	428	437	445	454	463	
IMA (% de la VAR)	16,25%	16,25%	16,25%	16,25%	16,25%	16,25%	16,25%	16,25%	1,64%	1,64%	
Budget n°4 (M\$)	63,00	64,26	65,55	66,86	68,19	69,56	70,95	72,37	7,45	7,60	555,79
Budget total scénario N°2 (M\$)	196,71	200,65	204,66	208,76	212,93	187,17	140,85	143,66	80,17	81,77	1657,33

Vers un modèle prédictif de l'IVP, des risques et de la criticité

Comme l'écrivit Paul Valéry, plus que jamais dans l'histoire, « le problème de notre temps, c'est que le futur n'est plus ce qu'il a été ». L'adaptation aux changements climatiques, la rareté de matières (pétrole, terres rares, etc.), les menaces d'une guerre nucléaire, le bras de fer plus ou moins discret des grandes puissances comme les États-Unis (Occident, G7 et OTAN) et la Chine (BRICS) sont autant de facteurs qui confirment la *complexité* et l'*incertitude* dans l'élaboration et l'application de *modèles techniques et économiques prédictifs*.

En revanche, pour la présente étude, voici une projection de l'IVP à l'horizon de 10 ans pour exprimer la tendance des décisions prises. Évidemment, le modèle prédictif proposé ne doit pas mener à faire l'économie d'audits successifs pour prendre le pouls de l'état de santé des bâtiments scolaires. Le modèle prend en compte les paramètres suivants :

- Le MA5 et la VAR et leur évolution de l'année « n » à l'année « n+10 » ;
- Un taux annuel d'inflation de 2 % (malgré une grande fluctuation actuelle des prix dans le domaine de la construction) ;
- Un taux annuel d'accélération de la dégradation des composants hors MA5 de 1,67 % (correspondant à une dépréciation et un amortissement sur un horizon de 60 ans) ;
- Un taux annuel d'accélération de la dégradation des composants MA5 qui n'auront pas été traités de 12 % (correspondant à une dépréciation et un amortissement sur un horizon d'environ 14 ans) ;
- Le budget prévu pour financer les travaux et son évolution de l'année « n » à l'année « n+10 » ;
- La durée de vie théorique pondérée des bâtiments d'une durée de 60 ans.

À la Figure 7.35, le modèle technique et économique prédictif présente les quatre simulations suivantes de l'IVP à l'horizon 2023 :

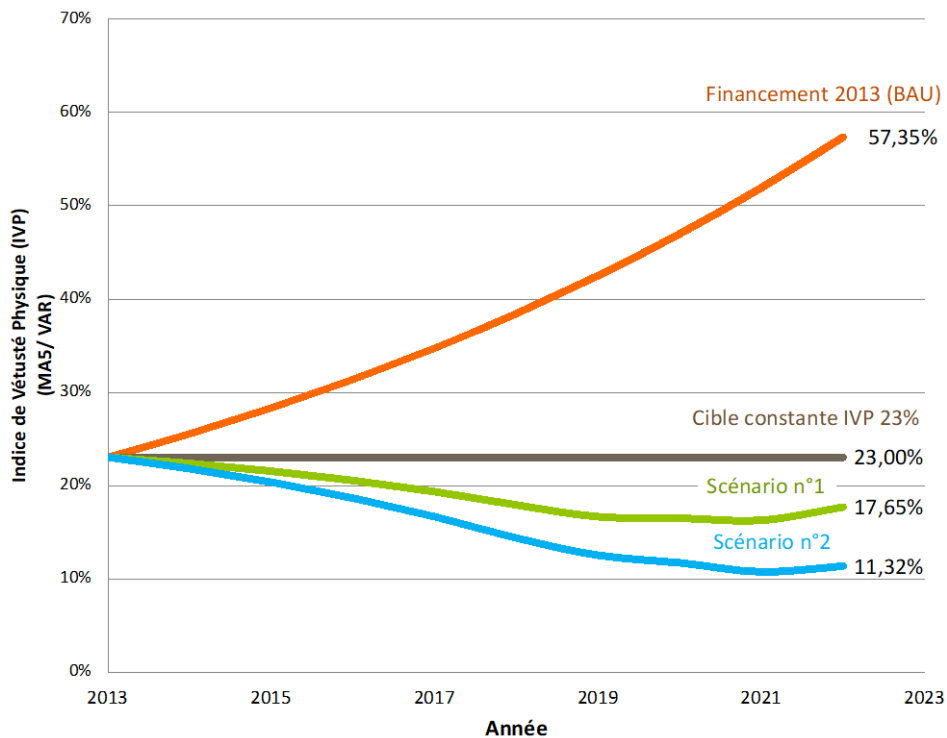


Figure 7.35 : Transposition du Plan pluriannuel d'investissement (valeur nominale) pour une période de 10 ans sur l'ensemble des 226 bâtiments de l'OSU (2013).

1. Un financement de 1,5 % de la VAR tel que consenti en 2013 (*Business As Usual*) :
 - Dans le cas où l'OSU serait contrainte pendant dix exercices financiers de conserver un financement à un taux d'IMA de 1,5 % de la VAR (en valeur nominale), la valeur nominale cumulée du financement sur la période serait de 607 M\$.
 - L'IVP pourrait atteindre plus de 57 % (Simulation BAU).
 - Cette situation compromettra de manière irréversible la possibilité d'accomplir adéquatement la mission éducative et nécessitera des reconstructions tous azimuts en urgence et à coûts prohibitifs de plusieurs bâtiments du parc immobilier.
 - Cette solution est à proscrire.

2. Un financement pour garantir un IVP de 23 % :

- L'objectif de réalisation des travaux pourrait être de maintenir la moyenne pondérée de l'IVP pour l'ensemble des bâtiments à 23 % (Simulation d'une cible constante de l'IVP à 23 %), tout en réduisant l'écart-type des IVP.
- La valeur nominale cumulée du financement pour l'investissement sur la période de 10 ans serait de 1 834 M \$. Pour arriver à ce résultat, on émet l'hypothèse de la constance dans la répartition annuelle de ce montant pour rendre prévisibles les budgets. Cela aura pour effet d'obtenir un montant total supérieur aux autres simulations avec un moins bon IVP, puisqu'un dollar investi aujourd'hui (valeur réelle) coûte moins cher qu'un dollar investi dans le futur (valeur nominale).
- Cette situation pourrait être acceptable pour homogénéiser l'état de santé des bâtiments, mais cela n'améliorera pas la *qualité des services* et des *ambiances* puisque l'état global demeurera préoccupant, c'est donc dire : mauvais.
- Cette solution est un compromis pour augmenter l'effort consenti en investissement, mais demeure une solution à proscrire.

3. Le financement pour le Scénario n° 1 :

- La simulation vise la maîtrise des risques, d'une part, à minima par la réalisation des besoins en travaux à *court terme* et qui relèvent de *risques majeurs* pour un groupe de bâtiments et, d'autre part, par l'ensemble des MA5 pour un autre groupe de bâtiments.
- Ensuite, la simulation vise des travaux de réhabilitation et des constructions ou reconstructions pour les bâtiments les plus défavorablement notés.
- Ainsi, le financement pour la période de 10 ans totalisera en valeur nominale cumulée la somme de 1 622 M\$.
- L'IVP pourrait atteindre un peu plus que 17 % (Simulation Scénario n° 1).
- Cette solution est à prescrire pour une période de trois à cinq ans avec révision de l'état des bâtiments et du financement à y associer.

4. Le financement pour le Scénario n° 2 :

- La dernière simulation vise la maîtrise de l'ensemble des risques en MA5 par la réalisation des besoins en travaux pour 45 % du nombre de bâtiments.
- Pour les 124 bâtiments restants, 73 subiront une réhabilitation lourde offrant des bâtiments quasi neufs et pour les 51 autres bâtiments, des constructions ou reconstructions sont prévues.
- Ainsi, le financement pour la période de 10 ans totalisera en valeur nominale cumulée la somme de 1 789 M\$.
- L'IVP pourra atteindre un peu plus de 11 % (Simulation Scénario n° 2).
- Pour un budget de 10,3 % supérieur à celui du Scénario n° 1, sur la période de 10 ans, le résultat de l'IVP du Scénario n° 2 est 35,9 % inférieur à celui du Scénario n° 1.
- Cette solution est à prescrire. Un suivi de l'état de santé aux 5 ans est à encourager pour maintenir la trajectoire et bien anticiper les difficultés et imprévus.

La nécessité d'une stratégie pluriannuelle concertée

La présente étude a atteint son objectif de préciser l'ampleur de la problématique spécifique du *maintien d'actifs à 5 ans* (MA5) et de son *déficit de maintien d'actifs* (DMA) en offrant une meilleure fiabilité de l'information et en permettant à l'OSU de cibler les axes prioritaires tant techniques qu'économiques. De plus, l'étude permet de comprendre que la *dégradation physique* n'est pas corrélée avec la *dépréciation comptable*, ce qui rend difficile une approche budgétaire qui ferait fi du cycle de vie des usages, de la dégradation des matériaux et de leurs effets de contagions. Enfin, l'étude fournit des informations précieuses, pour les différentes catégories techniques d'un bâtiment, sur la nature des actions, la durée de vie restante, le risque et autres indicateurs qui peuvent être actualisés par le logiciel myA afin d'ajuster en dynamique la stratégie immobilière et la maîtrise de risques selon les évolutions.

En terminant, bien que critique et sérieuse, la situation de l'OSU n'est pas hors de contrôle. En ce sens, il est utile de rappeler que l'interprétation alarmiste du présent rapport est formellement à proscrire. Il est plus intéressant de retenir la nécessité d'implanter et de suivre

un dispositif de maîtrise des risques comme celui du PACKiT afin d'éviter des impacts compromettant les missions de l'OSU.

Il ne fait pas de doute que les décideurs de l'OSU comprennent l'urgence de bien décider et souhaitent trouver les solutions appropriées en collaboration et concertation avec les décideurs publics de tous les niveaux d'instance et les usagers du quotidien, afin d'agir dans le meilleur intérêt de la mission qu'ils poursuivent.

Aussi, il est possible de conclure que la concertation avec le ministère et l'ensemble des acteurs de l'OSU sera cruciale pour rétablir la situation. Les décisions à prendre immédiatement et dans les années à venir nécessiteront de maintenir une vigilance de tout instant et un mode de fonctionnement organisationnel renouvelé pour éviter la perte de contrôle de la situation.

L'étude révèle que les enjeux et les défis à venir sont colossaux. Le sous-financement est avéré. Il est impératif de sortir de la *politique de l'autruche*, d'éviter la *politique de l'épouvantail* et plutôt d'encourager la *politique de maîtrise de risques*. Même si la maîtrise des risques ne sera pas une mince affaire. Surtout, si rien n'est fait. L'aspect de la connaissance, des compétences et de l'expérience des personnes responsables susceptibles de prendre en charge la situation sera crucial. Et l'*ingénieur stratège* sera au cœur de ce défi.

Par ailleurs, c'est une formidable opportunité de combiner l'amélioration et d'homogénéiser de la *qualité de services aux usagers* par une meilleure exploitation des *ambiances* (bien-être des usagers) ; la maîtrise de la *maintenance* courante, du *renouvellement des actifs* et des *risques* (bien-être des bâtiments) ; tout en posant les meilleurs gestes possibles afin de réduire les *consommations d'espaces, d'énergie et de matières* (bien-être de la planète).

CHAPITRE 8 CONCLUSION GÉNÉRALE ET PROSPECTIVE SCIENTIFIQUE

La présente thèse est une « contribution à une théorie de la valeur des actifs physiques ». La proposition maîtresse s'est articulée autour de l'identification et l'estimation de la *valeur* représentative de la dynamique des villes au XX^{ème} siècle. Et ensuite de tester l'impact de l'utilisation de cette *valeur* sur les décisions et actions à produire pour maintenir et renouveler un parc d'actifs physiques existants, afin d'en déduire une politique immobilière et un plan d'action.

La première partie, intitulée « Vers une valorisation renouvelée des actifs physiques en milieux urbains », comporte quatre chapitres. Après un chapitre introductif sur une évolution brève des milieux urbains depuis les débuts du capitalisme, les trois autres chapitres sont articulés autour de la présentation des différents types de *capital*. Le chapitre 2 traite du *capital humain*, le chapitre 3 du *capital naturel*, et le chapitre 4 du *capital productif*.

Concernant la deuxième partie de la thèse, intitulée « Le modèle PACKiT pour la gestion d'actifs physiques et son application », elle est également constituée de quatre chapitres. Le chapitre 5 a présenté des éléments de la théorie en matière de gestion d'actifs en mettant l'accent sur les contributions de la thèse à une théorie sur la valeur d'usage. Dans le chapitre 6, il a été présenté des apports originaux qui contribuent à la théorie en développant les définitions, concepts, procédés et processus nécessaires à la compréhension et à l'utilisation du PACKiT. Et le chapitre 7 est consacré à une application du PACKiT sur un parc immobilier urbain de 226 bâtiments scolaires.

Enfin, dans les pages suivantes du présent chapitre 8, les principaux faits saillants ainsi que la démonstration des six hypothèses posées au fil de la thèse et les principaux apports originaux sont mis en évidence. Enfin, la dernière section de l'ouvrage présente la prospective de recherches qui invite les chercheurs à ouvrir de nouveaux horizons dans plusieurs champs disciplinaires.

8.1 Le lignage historique du Capital : la nécessité d'un changement de paradigme

Hg : L'analyse historique des différents types de *Capital* aboutit à la nécessité d'un changement de paradigme concernant le concept de la *valeur*, base de la politique de la ville en matière de gestion de l'urbanisation et de l'architecture.

L'introduction de la présente thèse a mis en lumière l'importance des villes dans le développement du capitalisme et comment la gestion des actifs physiques des villes a évolué avec le temps. Afin de démontrer l'hypothèse générale de la thèse, nous avons d'abord examiné les changements dans l'évolution historique du capitalisme et des villes, ainsi que les conséquences économiques sur l'organisation urbaine de phénomènes divers. Ces phénomènes ont pris leurs origines dans des événements liés aux changements climatiques, aux rapports de forces géopolitiques et économiques ou même au sein de maladies contagieuses, comme pour la pandémie de la COVID-19.

En effet, il a été constaté que la pandémie de COVID-19 a entraîné de graves conséquences économiques, telles que la baisse du PIB, la perte d'emplois et l'augmentation de la dette publique. De plus, la politique monétaire non conventionnelle des Banques centrales a fortement appuyé la financiarisation de l'économie mondiale, qui était bien amorcée depuis les années '80. Ainsi, depuis la crise économique mondiale de 2008-2009, le PIB s'est stabilisé sans croissance, tandis que les valeurs financières ont augmenté, représentant 77 % de la hausse du bilan global de l'ensemble de tous les agents économiques de tous pays, incluant les gouvernements.

Cette situation a été favorisée (par) les jeux boursiers et la spéculation immobilière, mais n'a pas soutenu la valeur réelle de l'économie. Elle a également suscité, en occident, un faible attrait pour la construction, la reconstruction et le développement d'une base de production industrielle, qui est pourtant une source économique fondamentale pour toutes les villes. Comme le souligne Jacques de Larosière (2022)⁶¹⁴, il est temps de mettre fin au règne de l'illusion et de remettre en valeur les ressorts économiques fondamentaux sans lesquels il ne peut y avoir de vraie croissance.

⁶¹⁴ De Larosière, J., (2022). *En finir avec le règne de l'illusion financière, Pour une croissance réelle*. Odile Jacob.

Ainsi, cela a mis en évidence la nécessité de repenser les indicateurs de richesse d'un pays et de considérer autre chose que le PIB, comme notamment la valeur des actifs physiques d'un pays et leurs *valeurs d'usage*. La *valeur d'usage*, définie comme la valeur de construction d'un bien tangible pour répondre à un usage et ainsi, être en mesure de produire des biens et des services, est un apport de la présente thèse, au-delà des considérations comptables classiques. De plus, la crise de la COVID-19 a soulevé des défis pour la gestion des actifs physiques industriels et des villes, remettant en question la priorité donnée à la survie économique systémique. Le suivi de la *perte de valeur d'usage*, indicateur de l'entropie du système économique et autre apport de la thèse, devient crucial.

Par ailleurs, l'évolution de l'organisation des espaces urbains en Europe depuis la première révolution industrielle a montré comment la planification urbaine a été essentielle au développement du capitalisme et de l'industrialisation. En Amérique, les villes verticales et fordistes du XIX^{ème} siècle à New York et Chicago ont également été marquées par une croissance économique rapide et des innovations en matière d'urbanisme.

De fait, la ville est devenue un outil de production au service de l'économie. Son importance croissante a soulevé un quadruple défi dans un environnement *complexe* et *incertain* : renouveler et développer les bâtiments et infrastructures en adéquation avec les besoins des citoyens ; garantir leur capacité et leur soutenabilité ; maîtriser les risques « de ne rien faire » ; et enfin, réussir l'arbitrage décisionnel pour mener à bien un plan d'action. Les ingénieurs stratégiques doivent jouer un rôle important dans l'élaboration, la mise en place et le suivi de politiques pour les actifs physiques et de plans d'action(s) efficaces dans ces domaines.

En se basant sur ces éléments, le chapitre 1 a permis de démontrer que **l'analyse historique des différents types de *Capital* aboutit à la nécessité d'un changement de paradigme concernant le concept de la *valeur*, base de la politique de la ville en matière de gestion de l'urbanisation et de l'architecture**. Autrement dit, les cinq faits et preuves centraux présentés au chapitre 1 ont confirmé l'hypothèse générale de la présente thèse :

- Les conséquences économiques de la pandémie de COVID-19 ont mis en lumière l'importance de repenser le modèle économique actuel, qui repose principalement sur la croissance du PIB. La pandémie a montré que ce modèle était fragile et qu'il était nécessaire de considérer la valeur des stocks ou des actifs physiques fixes, tel le patrimoine des milieux urbains.
- L'histoire du capitalisme depuis la législation sur les brevets à Venise en 1474 jusqu'à aujourd'hui, en passant par la première révolution industrielle, a montré que

les espaces urbains ont toujours été au cœur du pouvoir économique. Les villes telles qu'Amsterdam, Londres, New York, Chicago et Paris ont joué un rôle phare dans le développement du capitalisme. Cela souligne l'importance de la gestion des actifs physiques des villes.

- L'évolution de l'organisation des espaces urbains en Europe lors de la première révolution industrielle, avec des exemples tels qu'Amsterdam et Londres, a montré l'importance de la planification urbaine dans le développement du capitalisme et de l'industrialisation.
- L'importance croissante des villes dans le monde contemporain pose des défis en termes de gestion des actifs physiques, notamment en lien avec les enjeux du développement durable. Le capitalisme est un système aux conséquences difficiles à gérer, et il est nécessaire de repenser le concept de la *valeur* en matière de gestion de l'urbanisation et de l'architecture.
- La *complexité* et l'*incertitude* sont des éléments clés à prendre en compte dans l'analyse de l'histoire du capitalisme et de la gestion contemporaine des actifs physiques des villes. Une approche intégratrice et *méta-disciplinaire* est nécessaire pour aborder ces enjeux de manière adéquate.

En définitive, le premier chapitre a montré que l'analyse des divers types de *Capital* conduit à la conclusion qu'un changement de paradigme concernant le concept de *valeur* est essentiel pour la politique de la ville en matière de gestion de l'urbanisation et de l'architecture. En d'autres termes, il est crucial de revoir notre approche de la *valeur* pour guider de manière plus soutenable et efficace la gestion et le développement urbain et architectural.

Il a été également important de reconnaître que des solutions concrètes pour répondre aux défis soulevés devaient être développées, et qu'il était nécessaire d'aborder les enjeux de justice sociale et de participation citoyenne pour une gestion urbaine volontaire, concertée et responsable.

8.2 Au cœur du *capital humain* : le difficile équilibre entre les pouvoirs et les savoirs

H₁ : La croissance de la population mondiale et sa concentration dans les milieux urbains génèrent des difficultés liées aux *pouvoirs* et des opportunités liées aux *savoirs*.

Au chapitre 2, on a décrit comment que la croissance démographique depuis l'an 10 000 avant notre ère, a entraîné une population mondiale estimée alors à environ 4 millions d'individus. En 2021, avec plus de 7,88 milliards de d'individus et soulevant des questions sur l'impact des activités humaines sur l'écosystème terrestre, ce qui définit l'*anthropocène*.

Trois grandes tendances ont été observées : une croissance linéaire constante depuis la première révolution industrielle jusqu'en 1950 ; une croissance exponentielle depuis 1950 due au développement massif d'infrastructures industrielles, de transports et urbaines ; et une prévision d'une population mondiale atteignant 11 milliards d'humains vers 2100.

La perspective de l'anthropocène évoque une humanité demeurant une force géologique majeure pendant de nombreux millénaires et alerte sur la nécessité de développer une stratégie mondiale pour contrer l'entropie générée par l'humanité. En effet, le GIEC fournit des preuves scientifiques du changement climatique causé par les activités humaines, même si des controverses subsistent quant à sa mesure et à ses conséquences sur des cycles de vie millénaires, ce qui, toutefois, freine les décisions et les actions immédiates. Mais, l'augmentation de la température terrestre, l'élévation du niveau de la mer et d'autres phénomènes montrent sans ambiguïté l'influence du changement climatique sur les populations mondiales. L'adaptation aux conséquences du changement climatique devient plus vraisemblable qu'une anticipation organisée et méthodique pour lutter contre l'entropie causée par les humains.

Pour faire face à ce problème, le concept de *noosphère*, proposé par Pierre Teilhard de Chardin (1923), représentant la progression de l'unification croissante de la conscience, de la pensée et de la connaissance humaine, offre une ressource pour développer des solutions de conservation, préservation et maintien des écosystèmes. Le *capital humain* est décrit ainsi comme la cause de l'augmentation de la désorganisation par un processus de dégradation de l'énergie et la réponse par des actions de négentropie, visant à contrer le désordre.

Dans ce chapitre, il est aussi traité de la reconnaissance et de la valorisation du *capital humain* dans le contexte de la gestion d'actifs physiques au sein d'organisations telles que les

Administrations publiques locales (APUL). Il est souligné que les activités humaines impliquent des compromis et des arbitrages, nécessitant un équilibre entre le *pouvoir* et le *savoir*. La pensée économique autour du *pouvoir* et du *savoir* a évolué au fil du temps, influençant les politiques urbaines et les inégalités économiques.

La notion de *capital humain* repose sur les connaissances, les savoir-faire, les valeurs, les talents et la créativité des individus, contribuant à la production de valeurs économiques et de valeurs incommensurables. Une des contributions prépondérantes du *capital humain* à l'économie, c'est la propriété intellectuelle comme moyen de protéger les inventions et leur valeur économique, mais elle a des conséquences sur les inégalités. Au reste, malgré la numérisation, la robotisation et l'intelligence artificielle, certaines activités spécifiques du *capital humain* restent de plus en plus non transférables et nécessitent une contribution humaine directe (les métiers du « *care* »). Ce sont les activités qui résisteront à la robotisation et qui deviendront à forte valeur ajoutée avec le temps.

Le chapitre 2 a évoqué l'évolution de la pensée économique et la prédominance actuelle de l'enseignement économique orthodoxe, limitant l'appréciation d'autres approches économiques. Les outils économiques actuels pour faire face aux défis à venir sont souvent révolus, toutes propositions de réinvention des approches sont bienvenues. Ce qui a été mis avant, c'est l'importance du *capital humain* dans la *gestion des actifs physiques* et notamment certaines activités spécifiques restent intrinsèquement liées aux compétences et à la contribution volontaire et responsable d'individus.

Les organisations urbaines ont utilisé des biens tangibles, tels que les infrastructures et les bâtiments, pour coordonner les activités de transformation et les échanges entre les individus, la nature et le reste du vivant. Cette urbanisation rapide a entraîné une augmentation des besoins énergétiques et de la pollution, ainsi que des conflits liés à l'obtention de l'énergie et des ressources nécessaires.

Cette section de la thèse a souligné l'évolution des principes et des valeurs qui ont amélioré la vie et l'instruction depuis l'Antiquité jusqu'à nos jours.

Si nous nous sommes intéressés à la pandémie de COVID-19 c'est qu'elle a mis en évidence les vulnérabilités et l'impréparation des systèmes de santé et des sociétés face à des risques nouveaux et partant celles de l'équipement urbain ainsi que sa relation avec le restant vivant de la planète. Du point de vue de la santé psychique, le rapport sur le bonheur mondial propose une approche subjective ascendante basée sur les auto-évaluations des habitants des villes pour mesurer le bien-être et le bonheur, dépassant ainsi les indicateurs économiques classiques tels que le PIB. La question du bien-être et du bonheur invite à réfléchir sur la

nécessité de dépasser la croissance économique infinie et de considérer des modèles de croissance plus durables, basés sur des opinions et des perceptions subjectives, mais bien existantes.

Les axes de *savoirs* créent un rapport de *pouvoir* entre différentes entités, le puissant et le peuple par exemple. Ce rapport de *pouvoir* a des conséquences à la fois positives et paradoxales. D'une part, il peut favoriser la réalisation de la santé et du bonheur des individus par la réduction des inégalités. Et, d'autre part, ce rapport peut également entraîner des conflits et des rapports de forces, qui font de l'homme un acteur incontestable de la mutation incontrôlée de l'écosystème planétaire.

La conclusion de ce deuxième chapitre a souligné que la *transition* à venir sera probablement plutôt une *transformation* marquée par l'adaptation à une planète affectée par les changements climatiques et géologiques de l'anthropocène. Les *savoirs* joueront un rôle essentiel dans la prise de décisions pour piloter cette transformation. La transformation à venir doit continuer à développer des infrastructures améliorées et de nouvelles technologies pour répondre aux besoins futurs de la population, en sachant toutefois reconnaître que la technologie est loin d'avoir réponse à tout. L'amélioration passe souvent par le choix de la sobriété des usages, des fonctionnalités et des fonctions, qui sont constitutifs des actifs physiques.

En résumé, le chapitre 2 de la thèse a fourni des éléments qui soutiennent l'hypothèse selon laquelle « **La croissance de la population mondiale et sa concentration dans les milieux urbains génèrent des difficultés liées aux *pouvoirs* et des opportunités liées aux *savoirs*** ». Voici les six points clés qui ressortent :

- Croissance démographique et concentration urbaine : Cette croissance exponentielle a entraîné une concentration croissante de la population dans les milieux urbains. Cette concentration pose des défis liés aux *pouvoirs*, notamment en matière de gestion des ressources, d'infrastructures et de gouvernance urbaine.
- Anthropocène : La réalité de l'anthropocène soulève des questions sur la responsabilité de l'homme vis-à-vis de son impact sur la planète et la nécessité de développer des stratégies mondiales pour contrer l'entropie générée par ses activités.

- Rôle des *savoirs* dans la prise de décisions : il est mentionné que les *savoirs* jouent un rôle essentiel dans la prise de décisions pour piloter la transformation à venir face aux changements climatiques et géologiques. Les connaissances scientifiques, les innovations technologiques et les compétences spécifiques sont essentielles pour relever les défis posés par la croissance démographique et urbaine, mais ne sont pas suffisantes. La prise en compte d'actions en lien avec la sobriété est nécessaire.
- Impact des *pouvoirs* sur l'équilibre entre les activités humaines et l'écosystème : Il a été évoqué que le *Capital humain* est la cause de l'augmentation de la désorganisation par un processus de dégradation de l'énergie, mais il peut également répondre par des actions de négentropie pour contrer le désordre. Cela montre comment les pouvoirs exercés par les individus et les organisations peuvent avoir un impact sur la gestion des ressources et la préservation de l'écosystème.
- Inégalités économiques et sociales : Le chapitre 2 a souligné que les activités humaines impliquent des compromis et des arbitrages nécessitant un équilibre entre le *pouvoir* et le *savoir*. Il évoque également les critiques du capitalisme libéral et la nécessité de prendre en compte l'éthique des droits de l'homme pour éviter les inégalités économiques.
- Importance du *Capital humain* dans la préservation des écosystèmes : Il a été mis en évidence l'importance du *Capital humain* dans la conservation, la préservation et le maintien des écosystèmes. Les *savoirs*, les talents et la créativité des individus sont essentiels pour développer des solutions durables face aux défis environnementaux.

En conclusion, le chapitre 2 a fourni des preuves et des exemples montrant qu'il est essentiel de trouver un équilibre entre les *pouvoirs* exercés dans la société et la valorisation des *savoirs* pour créer un avenir durable et équitable pour les populations mondiales. L'économie doit se concentrer sur la protection de la vie en santé et la régénérescence de la nature pour

alimenter l'espoir et pour favoriser une économie écologique et circulaire à l'ère de l'*anthropocène*.

8.3 Repenser l'utilisation du *capital naturel* pour éviter la destruction de la biosphère

H₂ : La destruction du *capital naturel* contraint les milieux urbains à repenser la production, la consommation et l'utilisation des moyens issus de la biosphère.

Le chapitre 3 s'est amorcé sur l'analyse de l'évolution économique post-libérale, basée sur la mondialisation capitaliste, l'internet, et la financiarisation, conduisant à une déconnexion de plus en plus grande entre production utile et finance. Ce système « suroptimisé » mène à une exploitation, pure extraction du *capital naturel*, dissociant l'humanité du reste du vivant et entraînant des limites croissantes des ressources naturelles.

Ainsi, le lien entre le concept de *capital naturel* depuis le XVIIIème siècle et sa relation avec l'économie libérale et l'innovation, ainsi que l'importance du *Capital naturel* dans le développement économique du XXème siècle et son rôle au sein de plusieurs filières industrielles, ont été établis. Ce chapitre de la thèse a présenté plusieurs exemples de matières issues du *Capital naturel* et utilisées dans l'économie de croissance, extractive linéaire et consumériste. Leurs données évolutives ont illustré la pression croissante qui est exercée sur le *Capital naturel*.

En ce sens, les données sur l'utilisation des terres à l'échelle mondiale, ont mis en évidence l'accroissement de la population urbaine et la nécessité de repenser l'approvisionnement alimentaire. La densité des milieux urbains et les implications de l'agriculture biologique ont également été évoquées. Comme autre exemple pour illustrer l'utilisation des terres, le chapitre a aussi abordé les impacts de l'industrie du papier sur les forêts et la déforestation.

Trois autres thématiques ont été présentées : l'utilisation de l'eau douce et les barrages ; l'impact de la numérisation sur l'exploitation des oxydes de terres rares ; la pollution causée par les véhicules à moteur et les matériaux plastiques, dont voici les principaux constats observés.

La consommation d'énergie a augmenté rapidement, avec une hausse de 105 % entre 1980 et 2016, dépassant le taux de croissance de la population mondiale sur la même période (65,9 %). Les émissions de gaz à effet de serre (GES) issues des énergies carbonées représentent environ 73 % des émissions mondiales de GES. La France, pour sa part, présente une proportion beaucoup moins élevée de consommation d'énergie carbonée par rapport à la moyenne mondiale (50 % contre 85 %), principalement grâce à son utilisation du nucléaire (78,4 %) et des énergies renouvelables (20,8 %).

L'augmentation continue des émissions de CO₂ dans le monde, en grande partie due à l'utilisation des énergies carbonées, soulève des questions sur la durabilité et la soutenabilité du modèle économique actuel, basé sur une consommation toujours croissante de ressources. Les tentatives de transition vers une économie circulaire et écologique sont confrontées à des défis, notamment le risque d'effet rebond où les gains d'efficacité technologique conduisent à une augmentation globale de la consommation.

Pour relever ces défis, il est essentiel d'adopter des politiques de *gestion des actifs physiques*, des infrastructures urbaines et des bâtiments qui visent à réduire la mobilité et à lutter contre la vétusté physique des installations. Une approche éthique, basée sur la préservation du *Capital naturel* et une collaboration locale et globale, est nécessaire pour assurer une cohabitation harmonieuse avec la nature et préserver l'écosystème planétaire.

En somme, il est constaté que la croissance économique ne peut pas être durable à long terme si elle est basée sur des ressources limitées et des énergies non renouvelables. Une transformation vers la sobriété et l'utilisation rationnelle des ressources sont nécessaires pour préserver l'écosystème de la Terre et assurer un avenir durable pour l'humanité.

Enfin, le chapitre 3 fournit des éléments qui soutiennent l'hypothèse selon laquelle « **La destruction du *Capital naturel* contraint les milieux urbains à repenser la production, la consommation et l'utilisation des moyens issus de la biosphère.** » Voici comment le chapitre 3 soutient cette hypothèse en six points :

- Contexte de la COVID-19 : Il a été évoqué le contexte de la pandémie de COVID-19. Cela souligne les conséquences potentielles de l'exploitation non durable de la biodiversité et du *Capital naturel*, qui peuvent entraîner des conséquences imprévisibles, comme la zoonose, sur la santé humaine et la biosphère.

- Évolution économique post-libérale et sur optimisation du système : Ce modèle économique conduit à une surexploitation du *capital naturel* a des conséquences négatives sur la durabilité de la façon de construire, exploiter, maintenir et renouveler les milieux urbains, leurs bâtiments et leurs infrastructures.
- Importance du *capital naturel* dans le développement économique : L'importance du *Capital naturel* dans le développement économique du XXème siècle, notamment son rôle dans l'approvisionnement alimentaire mondial, a été soulignée. Cela met en évidence la dépendance des milieux urbains vis-à-vis des ressources naturelles, et donc la nécessité de les gérer de manière durable pour assurer la continuité de la production et de la consommation.

En conclusion, le chapitre 3 a fourni des preuves et des exemples montrant qu'il y a une nécessité de gérer de manière durable les ressources naturelles et de développer des technologies écoresponsables pour préserver l'environnement et assurer un avenir soutenable pour les milieux urbains.

8.4 Transformation économique : discours et langage adaptés pour le *capital productif*

H₃ : La transformation d'une économie d'extraction de la matière et de la valeur à croissance exponentielle et consumériste vers une économie de génération d'un renouvellement de la matière et d'une optimisation de la valeur d'usage à évolution circulaire et écologique nécessite que la construction, la maintenance et le renouvellement d'infrastructures et de bâtiments en milieux urbains soient portés par un discours nouveau, articulé par un langage adapté.

Le chapitre 4 a soulevé le fait que le modèle épidémiologique de l'*Imperial College* de Londres prédisait de nombreux décès dus à la COVID-19. Ce modèle a été critiqué en raison de ses hypothèses et de ses limites en science des données. L'importance d'un langage adapté pour communiquer des modèles économiques fiables, notamment par le concept de *valeur*, est soulignée. En effet, l'économie moderne a largement recours aux mathématiques, mais les économistes se heurtent également aux limites du *langage mathématique* pour représenter la réalité. Dans le contexte actuel de mondialisation des marchés, la politique urbaine doit viser le progrès social tout en faisant face aux défis liés aux inégalités.

Ainsi, la transformation vers une économie circulaire et écologique nécessite un discours nouveau, soit une nouvelle représentation du monde, et un langage approprié, soit un système adapté pour pourvoir les différents agents économiques en capacité de nommer les choses, de raisonner et de communiquer.

Pour illustrer cette nécessité, il a été présenté que les normes comptables mènent à la mesure du capital et de la productivité par des informations ascendantes dont les concepts nécessitent des caractérisations détaillées et mieux adaptées pour éviter des simplifications inappropriées et des représentations erronées de la réalité.

Ainsi, il a été mis en évidence et retracé différentes évolutions de l'économie libérale, des inventions, et de l'utilisation de l'énergie au service du *Capital productif*. Les différentes sections du chapitre ont présenté les principales inventions qui ont eu un impact sur la production et la consommation énergétique mondiale, ainsi que sur le développement des milieux urbains.

La troisième révolution industrielle a débuté au milieu des années '70, marquée par des avancées dans les théories de la prise de décision, l'automatisation, la qualité et la maintenance

appuyées par le développement des technologies de l'information et de la communication. Des questions économiques concernant le choix social et la répartition des ressources ont émergé, avec des tentatives pour résoudre les problèmes d'asymétrie d'information dans les contrats. Les préoccupations concernant les limites des ressources naturelles et la pollution ont alimenté le débat sur le modèle productif et consumériste du capitalisme. L'évolution technique a également rapproché les communautés virtuelles à travers le concept de « *village global* », bien que cela ait été critiqué pour son déterminisme technologique.

La période économique de 1975 à 1990 a été marquée par une économie de crise énergétique et micro-informatisée. Le premier choc pétrolier de 1973 a entraîné une hausse significative du prix du pétrole et perturbé l'économie mondiale. Cela a conduit la France et d'autres pays industrialisés à repenser leur géostratégie pour gérer l'accès et la distribution des ressources naturelles. En réponse à cette crise, de nouveaux pays émergents, comme la Chine, ont adopté des politiques économiques décentralisées et orientées vers le marché mondial. La chute du bloc de l'Est en 1990 a ouvert la voie à une accélération de la mondialisation et à la diffusion du capitalisme post-libéral dans le monde. C'est à cette époque que le concept de *développement durable (sustainable development)* a émergé pour équilibrer les ressources naturelles, l'économie et les aspects sociaux.

La période de 1990 à 2007 a été marquée par une économie globalisée et financiarisée, mais également par des récessions économiques. La récession de 1990-1991, avec son taux de chômage élevé et une perte de revenu prolongée, fut plus longue et difficile à récupérer que les récessions précédentes. Par contre, les échanges internationaux ont connu une intensification sans précédent, avec une augmentation des flux de marchandises, de capitaux et d'informations, en grande partie grâce au développement du numérique et de l'internet. Les délocalisations industrielles ont été accentuées, favorisant la financiarisation de l'économie et l'augmentation de l'endettement des entreprises. Les pays à l'économie avancée ont dû faire face à des contraintes budgétaires et mettre en œuvre des mesures d'austérité, tandis que les pays émergents, comme la Chine et l'Inde, ont connu une croissance rapide. Cependant, cette période a été marquée par des crises financières mondiales, dont la crise des *subprimes* en 2007, qui ont souligné les interdépendances entre l'*économie réelle* et l'*économie financiarisée*.

La période de 2008 à aujourd'hui, est caractérisée par la quatrième révolution industrielle, qui vise à harmoniser la matière, le numérique et le vivant. Les avancées technologiques, en particulier dans les domaines de la communication, de l'information et du numérique, ont eu un impact significatif sur l'économie et la vie quotidienne. La *gestion des actifs physiques* a évolué pour faire face à ces changements, avec l'introduction en 2014 de la

norme internationale ISO 55000 pour coordonner les activités tout au long du *cycle de vie* des *actifs physiques* et générer de la *valeur* tout en équilibrant les coûts financiers, environnementaux et sociaux.

Mais, dans ce contexte de révolutions industrielles successives, qu'en est-il du concept de *valeur*? Le chapitre 4 a aussi synthétisé et traité des différentes théories de la valeur économique du *capital productif* depuis Aristote jusqu'au XXème siècle. Il aborde également l'évolution de la comptabilité moderne, les démarches qualité, et l'importance croissante du travail collectif pour générer de la *valeur*.

Ainsi, le concept de valeur économique existe depuis Aristote, qui distinguait les acquisitions *naturelles* (agriculture, chasse, pêche) des acquisitions *artificielles* (commerce, échange). Il notait déjà que la *valeur* des biens et services pouvait varier en fonction de facteurs tels que la guerre, le pillage, la cupidité et l'usure. Au XVIIIème siècle, Adam Smith a développé la *théorie de la valeur* en distinguant la *valeur d'usage* de la *valeur d'échange*. Il a souligné que le travail humain combiné aux ressources naturelles conduisait à la production de biens et de services, régis par l'offre et la demande du marché. Marx, au XIXème siècle, a ajouté la notion de *plus-value* causée par le travail des salariés dans la *valeur des biens*. Il a également souligné l'importance des rémunérations variables et fixes du capital.

Le XXème a vu l'émergence du PIB comme mesure clé de la *valeur économique*, mais cette mesure est critiquée pour son incapacité à prendre en compte les défis écologiques et les aspirations humaines, malgré les tentatives d'une meilleure intégration des conséquences de l'utilisation du *capital naturel* et du *capital humain*.

Durant cette période, les organisations industrielles ont développé des démarches qualité visant à améliorer la production et la *valeur marchande*. La chaîne de valeur et les pôles de compétences ont été proposés pour optimiser la valeur produite. La tendance est à la volonté que la valeur économique soit désormais le fruit d'un travail collectif impliquant administrateurs, gestionnaires, salariés, actionnaires et usagers. Les organisations visent l'amélioration continue pour accroître leur compétitivité, s'adapter aux besoins et à l'environnement, et améliorer leur organisation.

L'évolution des *théories de la valeur* a également été influencée par l'accélération des flux de la mondialisation et les lois et réglementations élaborées pour gouverner l'économie et la société, dont celles liées à l'environnement.

Le chapitre 4 a montré que depuis les années 1950-1960, la *controverse des Cambridge* en macroéconomie suscite un débat persistant concernant la nature et la valorisation du *Capital productif*. Des économistes néo-classiques et néo-ricardiens ou keynésiens ont débattu sur

l'agrégation du *capital physique et financier* à l'échelle économique mondiale. Cependant, la difficulté réside dans l'agrégation du *Capital productif*, car cela néglige les effets liés à son hétérogénéité, comme notamment, d'âge, de vétusté, de non-conformité réglementaire.

D'un autre côté, en économie orthodoxe, le modèle de Solow-Swan, un modèle néo-classique de croissance économique, exprime la fonction de production reliant le niveau de production au *Capital productif* et au *travail (Capital humain, hors innovation)*. Des critiques sur sa simplicité et son manque de cohérence transnationale ont conduit à proposer le « modèle de Solow-Swan augmenté », qui intègre la *capacité d'innovation* et des *constantes technologiques*. En revanche, le calcul du PIB, effectué par l'agrégation de données comptables, ne prend pas suffisamment en compte l'*utilisation* et la *maintenance* du *Capital productif*, ce qui nuit à l'évaluation de l'*impact écologique* des entreprises.

La prise en compte des limites biophysiques de la planète remet en question le principe de croissance économique continue. L'intégration du changement climatique dans les modèles macroéconomiques a été abordée par des économistes tels que William Nordhaus avec le modèle DICE, qui ne tient toujours pas compte des considérations importantes du *Capital productif*, comme l'utilisation, donc l'usage adéquat des actifs productifs, et la maintenance, soit le maintien de l'état de production pour limiter la perte de valeur d'usage. En somme, le cycle de vie est quasi considéré comme stable et linéaire à l'infini.

Le chapitre a montré que l'analyse des données révèle une corrélation entre le PIB et les émissions de CO₂, soulignant l'importance de reconsidérer les modèles de croissance actuels face aux défis écologiques. L'hypothèse de découplage de la croissance économique avec les polluants n'est pas clairement démontrée à l'échelle mondiale, et les courbes de Kuznets « environnementales » montrent différentes corrélations entre la pression environnementale et le revenu par habitant. Ainsi, la complexité du système économique actuel requiert des modèles, méthodes et politiques différentes pour aborder les défis environnementaux et optimiser la fonction de production en prenant en compte les contraintes évolutives du temps.

Nous avons abordé le sujet de la valeur à l'échelle microéconomique en mettant l'accent sur les fondements néo-classiques des fonctions de production et l'utilisation des normes comptables internationales pour garantir des états financiers complets, cohérents et comparables. Cela concerne également des approches conventionnelles de la comptabilité, notamment en ce qui concerne la *valeur d'usage* des *actifs physiques* et les méthodes d'*amortissement*. D'où des questions sur la *durée de vie utile comptable* des *actifs physiques* et son impact sur les décisions économiques, la politique technique, économique, écologique et éthique pour les *actifs physiques urbains*, ainsi que la possibilité de concilier la finance « verte »

avec une croissance infinie. Enfin, le texte suggère que l'évaluation de la *valeur des actifs physiques* doit prendre en compte des facteurs *qualitatifs* et *quantitatifs complexes*.

En somme, il reste beaucoup à faire pour réconcilier et mieux adosser le concept de *dépréciation d'un actif physique*, issu du *discours* et du *langage* des comptables et des financiers, avec celui de *dégradation d'un actif physique*, issu de la physique des matériaux, de l'ingénierie, de la maintenance et de l'architecture.

Autrement dit, un des apports de la thèse est d'avoir tenté de répondre à la question : comment réintroduire la physique, imprégnée de son principe de réalité dicté par les limites de l'énergie, de la matière et de la nature, dans l'univers de la comptabilité et de la finance, parsemé de conventions émises par des experts au service d'une économie d'extraction de la valeur pour des actionnaires ravis ?

Par ailleurs, il a été souligné également que les *théories classiques* sur la *valeur* ne tiennent pas compte des impacts du *développement technologique* du XXème siècle et des *enjeux écologiques* actuels.

Face à ces défis, nous avons proposé de valoriser le *capitalisme cognitif* et les biens et services communs pour promouvoir une *économie circulaire et écologique*. Cela nécessite une intégration des dimensions humaines et naturelles dans l'évaluation de la valeur de la production. De plus, les politiques publiques doivent encourager la sobriété dans l'utilisation du *capital naturel*, combiner le *capital humain* avec la force de travail pour développer un *capital cognitif*, et stabiliser la croissance démographique pour parvenir à un régime économique mondial stable, dont l'oscillation sera mieux anticipable.

Un élément phare de ce chapitre fut d'insister sur la nécessité de prendre en compte les *cycles de vie* des *actifs physiques*, ainsi que les effets positifs indirects qui peuvent être difficiles à mesurer, mais qui ont un impact réel.

Cela mène à optimiser la *valeur* des actifs. Un des apports importants de la thèse est de proposer, pour arbitrer entre des paramètres conflictuels, une nouvelle approche disciplinaire : la « *mathém-éthique* », qui équilibre les considérations scientifiques avec les valeurs éthiques et sociales. Sans cette approche, il devient difficile d'agir. Cela appelle à une transformation économique vers une économie circulaire et écologique, en mettant l'accent sur une meilleure *valorisation* des biens et services communs, la préservation du *capital naturel*, la valorisation du *capital humain* et le développement du *capital cognitif*, tout en tenant compte des *valeurs éthiques* dans la prise de décision.

Enfin, le chapitre 4 a permis de démontrer l'hypothèse selon laquelle « *la transformation d'une économie d'extraction de la matière et de la valeur à croissance*

exponentielle et consumériste vers une économie de génération d'un renouvellement de la matière et d'une optimisation de la valeur d'usage à évolution circulaire et écologique nécessite un discours nouveau, articulé par un langage adapté ». Voici les quatre points qui appuient cette démonstration :

- L'illustration des limites du *calculocentrisme* (néologisme proposé par l'auteur de la thèse qui vise à caractériser la conviction illusoire du tout *mathématisable*), proposé par le modèle épidémiologique de l'*Imperial College* de Londres concernant la COVID-19. L'économie moderne, largement basée sur les mathématiques, se heurte aussi aux limites du langage mathématique pour représenter la réalité.
- Relevons l'importance d'un *discours* nouveau et d'un *langage* adapté pour exposer des modèles économiques fiables, notamment en ce qui concerne le concept de valeur. Alors que la politique urbaine, dans le contexte de la mondialisation des marchés, doit viser le progrès social, tout en faisant face aux défis liés à l'environnement et aux inégalités.
- Les révolutions industrielles ont façonné l'économie libérale et favorisé la croissance du capitalisme, entraînant des changements significatifs dans les milieux urbains et la société moderne. Toutefois, ces modèles de développement ont également montré leurs limites, notamment en termes d'impact écologique et de durabilité.
- Les différentes théories de la valeur économiques ne prennent pas toujours en compte les limites biophysiques de la planète et les défis environnementaux actuels, ce qui souligne la nécessité de reconsidérer le concept de valeur dans une économie circulaire et écologique.
- L'intégration du changement climatique dans les modèles macroéconomiques met en évidence la complexité du système économique actuel et la nécessité d'adopter de nouveaux modèles, méthodes et politiques pour relever les défis environnementaux.
- Nous avons également relevé l'importance de revoir les méthodes d'évaluation de la valeur des actifs physiques pour prendre en compte des facteurs qualitatifs et quantitatifs complexes, comme les cycles de vie des actifs.

- Sans doute avons-nous besoin d'une nouvelle approche disciplinaire, la « *mathém-éthique* », qui équilibre les considérations scientifiques avec les valeurs éthiques et sociales, mettant en lumière la nécessité d'intégrer les dimensions humaines et naturelles dans l'évaluation de la valeur de la production.

En conclusion, pour opérer cette transformation économique, il est crucial de développer un nouveau *discours* basé sur un *langage* adapté, de prendre en compte les *cycles de vie* des *actifs physiques* et d'équilibrer les considérations scientifiques avec les valeurs éthiques et sociales. Seule une approche *mathém-éthique* permettra d'atteindre une économie circulaire et écologique durable dans cette nouvelle ère.

8.5 Essence théorique des actifs physiques et principaux apports de la thèse

C1 : Un cadre épistémologique et conceptuel et des apports à une théorie

Dans la deuxième partie de la thèse, au chapitre 5 a été présenté le cadre épistémologique et conceptuel spécifique aux actifs physiques permettant de proposer des apports à une théorie de la valeur d'usage des actifs physiques, notamment par la présentation au chapitre 6 du modèle PACKiT discuté dans la section suivante.

Les concepts et principes abordés peuvent être appliqués aux bâtiments, mais également à diverses infrastructures industrielles et infrastructures urbaines comme les réseaux urbains d'eau potable, d'assainissement, électrique, de gaz, de télécommunications, de climatisation et chauffage urbains, de transports souterrains, de fibre optique pour les communications, de routes, d'éclairages, de ponts et autres.

Dans la première partie de la thèse, trois grandes hypothèses ont été établies : la nécessité d'utiliser le concept de valeur d'usage pour une meilleure gestion des actifs physiques urbains, la croissance démographique mondiale et son impact sur les milieux urbains, et la transformation vers une économie circulaire pour gérer durablement les actifs physiques.

Historiquement, les modèles de gouvernance urbaine ont été influencés par des approches mécanistes et linéaires, mais il a été proposé, et c'est un apport central de la présente thèse, de s'orienter vers une approche plus *organologique* pour convertir les villes intelligentes (*smart city*), tel que défini de manière classique, en villes à l'intelligence améliorée, lors de la prise de décision, par l'ajout de *capteurs positifs*, économiques et sociaux, aux *capteurs normatifs*, techniques et environnementaux. Ce modèle prenant en compte la *complexité* des interactions entre les *usages* variés, les échelles multiples et les *cycles de vie* différents.

Ainsi, le chapitre 5 a exploré le passage d'un modèle de *Smart City-mécaniste*, qui repose sur une optimisation autour de l'objet, à un modèle de *Smart City-organologique*, qui prend en compte *les phénomènes endogènes et exogènes*. Ce dernier modèle repose sur une *gouvernance adaptative par anticipation*, tenant compte des *incertitudes* et des *risques imprévisibles*. Il s'agit de créer une harmonie et un *métabolisme renouvelés* en intégrant des *capteurs économiques et sociaux* pour une meilleure cohérence des *décisions et actions*.

La *gestion d'actifs physiques* urbains devient alors essentielle pour maintenir et utiliser efficacement le parc immobilier. Elle implique de coordonner les *décisions* et les *actions* pour maintenir la *valeur d'usage* adéquate tout au long du *cycle de vie* des bâtiments et des

infrastructures. En effet, les *actifs physiques* sont des biens tangibles retrouvés sous des formats divers tels que les bâtiments, les structures, les systèmes, les dépendances à des ouvrages routiers ou ferroviaires, ainsi qu'à des procédés industriels. Leur conception, leur maintenance et leur évolution doivent répondre aux *usages*, aux *fonctionnalités* et aux *fonctions* pour assurer des *ambiances* satisfaisantes. Comme l'illustre la représentation des liens d'existence et des relations entre ces concepts, au travers du *nœud borroméen écologique*.

Nous en concluons que la *gestion d'actifs physiques* nécessite une connaissance approfondie des bâtiments et des infrastructures ainsi qu'une prise de décision stratégique pour maintenir la raison d'être et les missions des organisations urbaines dans différents domaines d'activités. Cela implique également de faire face aux contraintes techniques et environnementales ainsi qu'économiques et sociales tout en maintenant une vision à long terme. Pour réussir cette gestion, il est nécessaire de disposer d'un *système de gestion des actifs physiques* approprié qui permet de transformer la *valeur d'usage* des actifs et de mesurer les résultats évolutifs de cette transformation afin de prendre des décisions éclairées pour assurer la soutenabilité et l'efficacité de la ville et de ses infrastructures.

Un *système de gestion des actifs physiques* en milieu urbain doit dès lors se concentrer sur la traçabilité de la *perte de valeur d'usage* des *actifs*. Ce qui soulève la problématique de la disparition des effets économiques et sociaux liés au capital fixe des organisations, en particulier les *actifs physiques* urbains, et propose une approche reposant sur la *valeur d'usage*.

Ainsi, la *valeur d'usage d'un actif physique* correspond à sa destination dans le but de satisfaire un besoin identifié par une organisation. Cette *valeur* évolue tout au long du *cycle de vie de l'actif* en fonction de la *valeur actuelle de remplacement*, qui prend en compte les évolutions de la société, des technologies, et de l'environnement.

La *valeur d'usage* diffère de la *valeur d'échange* classique (*valeur vénale*) du marché immobilier traditionnel, car elle ne prend pas en compte les aspects spéculatifs de marché. Elle est tributaire des transformations souhaitées ou subies, notamment en raison des changements sociaux, économiques et technologiques. Pour évaluer la *valeur d'usage* et assurer la *gestion des actifs physiques* urbains, nous suggérons de mettre en place un *système de gestion des actifs (SGA)* basé sur des objectifs SMART (Spécifiques, Mesurables, Atteignables, Réalistes, Temporellement limités). Ce SGA doit être *méta-disciplinaire*, global, et holistique, intégrant les différentes dimensions techniques, économiques, fonctionnelles et écologiques.

Le processus de décision et d'action pour la gestion des *actifs physiques* doit se baser sur une *heuristique de jugement* qui prenne en compte les facteurs économiques, techniques, écologiques, sociaux et éthiques. Le SGA doit être muni de capteurs et d'étiquettes pour

structurer un modèle de données représentatif des observations et des analyses issues de sondages, d'enquêtes, et de diagnostics. Enfin, la *valeur d'usage* et sa *perte de valeur d'usage* observées tout au long du *cycle de vie* sont le résultat de prises de décision successives et équilibrées proportionnellement entre les *impacts* et leurs *intensités*, la *complexité* de la solution, et la *criticité* (*urgence* d'agir et *risque* de ne pas agir, en particulier).

La *valeur d'usage* reflète ainsi les désirs des *parties prenantes* selon des critères, des facteurs de décision et des options propres à chaque organisation, tels que les intentions politiques, les obligations légales ainsi que le rapport aux coûts, à la performance, aux risques, à la soutenabilité et à la perception sociale ou sociétale.

Le SGA doit donc être conçu pour être *évolutif*, avec des *boucles de rétroaction* et d'*amélioration continue*, afin de s'*adapter* aux changements et aux nouveaux besoins tout au long du *cycle de vie* des *actifs physiques*. La gestion des actifs doit tenir compte des *horizons temporels* et de la synthèse pour des *cycles de vie*.

Nous avons traité des *cycles de vie d'actifs physiques*, en soulignant les divergences entre les approches des *ingénieurs et architectes* par rapport aux *comptables et financiers*. Les premiers se concentrent sur l'*espérance de vie technique des actifs* et leurs *phénomènes physiques de dégradations*, tandis que les seconds se basent sur des *conventions comptables ou financières* qui se concentrent sur la *dépréciation des actifs*.

L'un des apports importants de cette réflexion a été d'identifier la frontière entre ces deux univers qui amènent une dislocation dans l'appréciation de la *durée de vie utile réelle* par rapport à la *durée de vie théorique* des actifs. Ces deux approches devraient se superposer et s'adosser parfaitement puisque la *dépréciation* et l'*amortissement* associé font référence aux *cycles de vie observés* par les *industriels*, mais c'est souvent loin d'être le cas. Et de plus, c'est encore moins adossé aux *cycles de vie réels observés par le maître d'ouvrage* qui eux portent la *perte de valeur d'usage*, représentée par l'*indice vétusté physique* (IVP). Cet indice permet à ce que le lien ne soit plus un *approximatif de corrélation*, mais qu'il devienne un lien de causalité réellement observé.

Ainsi, l'objectif principal de la *gestion d'actifs physiques* est de réconcilier ces deux visions en maintenant ou en maximisant la *valeur d'usage* tout au long du *cycle de vie*.

En ce sens, certaines questions se posent, notamment, celles qui concernent : la prise en compte de tous les facteurs influençant la *dégradation* des bâtiments ; l'approche économique (linéaire ou circulaire) ; la corrélation entre la *perte de valeur d'usage* et la *perte d'utilisation* ; ainsi que la suffisance des fonds de réserve pour garantir le *renouvellement des actifs* sur de longues périodes.

Concernant la *maintenance*, nous avons mis en évidence que les défaillances liées à l'âge ne représentent qu'une partie des cas, tandis que les *phénomènes aléatoires* dominent largement. Ainsi, l'observation des *cycles de vie des actifs physiques* peut être divisée en trois catégories : le *cycle de vie organisationnel*, tributaire de la durée des mandats exécutifs ; le *cycle de vie des utilisations*, issu d'une prise en compte de la démographie et des cycles générationnels ; et le *cycle de vie des fonctionnalités*, qui fait référence à l'observation des industriels sur l'usure des composants et des systèmes techniques.

Il faut tenir compte des difficultés d'évaluer précisément les cycles de vie des bâtiments en raison de la fiabilité limitée des données, des évolutions législatives, de la vétusté des bâtiments et des changements d'usages. La gestion des cycles de vie des actifs physiques est un enjeu complexe qui nécessite une approche intégrée prenant en compte les facteurs économiques, environnementaux et techniques tout au long de la durée d'utilisation des actifs.

La *valeur d'usage* est considérée comme la mesure intégratrice de tous les besoins en travaux nécessaires pour maintenir les actifs physiques en état adéquat.

Cette attention portée aux multiples *cycles de vie* coexistants, qui influencent les *décisions* et les *actions* à travers leurs *discours* et *langages* propres, a démontré la nécessité de développer un *discours* et un *langage* intégrateurs spécifiques pour évaluer la *valeur d'usage des actifs physiques*. La représentation de la « *Dialectique décisionnelle pour les actifs physiques et les cycles de vie fondamentaux* » entre les *parties prenantes* responsables de chacun de ces cycles, ainsi que la proposition d'un « *Modèle dynamique d'évolution des actifs physiques* », permet d'appréhender la *complexité* et l'*incertitude* grâce à une *méta-discipline* : la *gestion d'actifs physiques*. Cette proposition originale représente un apport crucial selon nous de notre recherche.

Ainsi, la *gestion d'actifs physiques* urbains est un processus *complexe* qui vise à garantir la meilleure utilisation des ressources pour répondre aux besoins de la ville tout en optimisant la *valeur d'usage des actifs*. Pour cela, la prise de décision doit être basée sur des données, des connaissances et une communication efficace avec les *parties prenantes*. En effet, les *parties prenantes* jouent un rôle essentiel dans le *processus de décision* en contribuant à la consultation, à la prise en compte ainsi qu'à l'établissement d'un consensus. Les *parties prenantes* sont définies comme des organisations et des individus internes et externes à la ville, impliqués dans le processus de décisions. Dresser une carte des rôles et responsabilités des *parties prenantes* est essentiel pour éviter les malentendus.

Les *actifs physiques* urbains sont soutenus par des actifs financiers et des actifs informationnels. Les organisations doivent adopter une approche d'*organisation apprenante*

pour s'adapter à la *complexité* et à l'*incertitude* environnantes. Et c'est pour cela que la *prise de décision* dans la *gestion d'actifs physiques* doit prendre en compte l'information sur la tolérance à la *vétusté* et à la *faible évolution* des usages, par exemple, qui sont influencées par des facteurs socioculturels et économiques. La *conformité réglementaire* et les *normes* peuvent également influencer les décisions. En ce sens, il a été mentionné que pour garantir une *décision* éclairée alignée sur les enjeux de la ville et maximisant la *valeur d'usage*, un *méta-auditeur* externe formé peut jouer un rôle de *tiers de confiance*. Ce *méta-auditeur* doit être capable d'interroger les experts de différentes disciplines et de synthétiser les données pour une connaissance fiable, sur le plan de la complétude et de l'exactitude.

Le *processus de prise de décision* pour la *gestion d'actifs physiques* est donc multifactoriel, multi-causal et repose sur des compétences décisionnelles basées sur la rationalité limitée, l'anticipation rationnelle et l'expérience. Il implique une collecte d'informations, une élaboration de méthodologie de collecte d'informations, dont un processus itératif d'élicitation, une simulation de mise en priorité et une analyse de la criticité, suivis de la réalisation des actions appropriées et de la révision continue de la qualité et de la pertinence des décisions prises.

Notons qu'à titre de solution récente de captation de l'information, l'utilisation de l'outil BIM (*Building Information Modeling*) peut être utile dans la *gestion d'actifs physiques*, mais il convient de faire attention aux difficultés et *biais cognitifs* qui peuvent survenir lors de son utilisation. Le BIM ne se limite pas à la représentation géométrique des actifs physiques (*Level of Detail* ou LOD), mais aussi à sa représentation des descriptions, spécificités et caractéristiques des composants et systèmes techniques et architecturaux (*Level of information* ou LOI). En somme, le BIM doit être considéré dans des formats divers menant à un processus de collecte et d'organisation de l'information. Il n'est pas l'unique représentation classique d'un logiciel, c'est un processus. Le logiciel 3t (evA et myA) développé en parallèle de la recherche est considéré comme un outil du processus BIM.

En ce qui concerne le concept de *valeur des actifs physiques* urbains, il a été décrit comme complexe, car il doit tenir compte de nombreux paramètres conflictuels. Plutôt que de rechercher la solution optimale pour chaque paramètre, il est préférable de privilégier une approche *satisficing*, comme proposée par Herbert Simon (1956) visant à trouver une solution adéquate et efficace. Il fallait également traiter des approches de la *valeur* dans le cadre de la transformation d'une organisation urbaine.

Les quatre approches classiques d'étude de la valeur sont prises en compte par le *système de gestion d'actifs physiques* dans la ville, tant ce qui est commensurable que ce qui

est incommensurable. Elles ont été résumées comme suit : Une *Approche philosophique*, étude du sens et des implications éthiques de la valeur. Elle peut être moraliste, déontologique ou conséquentialiste ; Une *Approche psychologique* : étude de la compréhension subjective de la valeur attribuée à des lieux spécifiques ou à des considérations abstraites ; Une *Approche géographique*, sociologique et anthropologique : étude de l'identification et de la relation de valeur entre des groupes sociaux et des lieux spécifiques ; Enfin, une *Approche économique*, de la conservation et de la science : étude des valeurs attribuées de manière commensurable en utilisant une échelle de valeur commune.

Cependant, nous avons établi que les approches traditionnelles d'évaluation et d'utilisation de la *valeur* sont lacunaires pour les organisations publiques comme les villes. La *comptabilité conventionnelle* ne prend pas en compte la *valeur d'usage* comme garantie de sécurité et de fiabilité pour les biens publics. Les bâtiments et infrastructures de la ville sont des *biens communs* et requièrent une approche plus intégrée pour évaluer leur *valeur*.

Ainsi, lors de la réalisation d'un projet de bâtiment ou d'infrastructure, l'architecte et les ingénieurs doivent intégrer ces approches dans leur réponse physique. La ville, représentée par son *ingénieur stratège en gestion d'actifs physiques*, doit *maintenir* ou *augmenter* cette *valeur* tout au long du *cycle de vie*.

En somme, le chapitre 5 a permis de comprendre qu'une des propositions majeures de cette thèse est de *rendre obligatoire l'inscription* de la *valeur d'usage* et de la *perte de valeur d'usage* des *actifs physiques* dans le *bilan financier des villes et des organisations publiques*. Cela reconnaîtrait que ces biens ne sont pas simplement régis par les règles du marché, mais qu'ils ont une *valeur d'usage* et de service commun à *long terme*.

Le cadre épistémologique et conceptuel qui a été présenté au chapitre 5 est principalement axé sur la *gestion des actifs physiques* en milieu urbain et la prise en compte de la *valeur d'usage* dans cette gestion.

Nous avons ainsi souligné l'importance de l'évaluation de la *valeur d'usage* dans la gestion des *actifs physiques* d'une ville et proposé un modèle de gouvernance *adaptatif et évolutif* pour prendre en compte la *complexité* urbaine et les *incertitudes* liées à l'évolution des usages et des besoins des agents. Voici en résumé sept apports théoriques clés provenant du chapitre 5 :

- Cadre épistémologique et conceptuel spécifique aux actifs physiques : Le chapitre 5 a présenté un cadre épistémologique et conceptuel adapté à la gestion des *actifs physiques urbains*. Il aborde la nécessité d'utiliser le concept de *valeur d'usage* pour une meilleure

gestion des actifs et met en évidence l'importance d'une approche holistique qui considère les facteurs économiques, environnementaux, sociaux et techniques pour assurer une gestion *soutenable* tout au long du *cycle de vie des actifs*.

- Approches de la valeur : La valeur a été considérée sous différents angles, notamment philosophique, psychologique, géographique, sociologique, anthropologique et économique. Cette prise en compte multiple permet de mieux comprendre les différentes facettes de la *valeur des actifs physiques urbains* et d'intégrer ces aspects dans la prise de décision.
- Valeur d'usage : On a donc privilégié la *valeur d'usage* plutôt que la *valeur vénale traditionnelle* dans l'évaluation des *actifs physiques urbains*. La valeur d'usage est liée à la satisfaction des besoins identifiés par une organisation et évolue tout au long du cycle de vie de l'actif. Cette approche reconnaît que les biens publics ont une valeur de service à long terme, au-delà des aspects purement économiques.
- Transformation vers une approche organologique des villes intelligentes : Nous avons établi la nécessité d'utiliser un modèle de gouvernance adaptative et évolutive en passant d'une *approche mécaniste des villes intelligentes* à une *approche organologique*. Cette approche *méta-disciplinaire* intègre des *capteurs économiques et sociaux* en plus des *capteurs normatifs, techniques et environnementaux* pour une meilleure *prise de décision*. Cette transformation permet de mieux comprendre et gérer la *complexité* des interactions entre les *usages* variés, les *échelles* multiples et les *cycles de vie* différents des infrastructures urbaines.
- Méta-auditeur externe pour une décision éclairée : Nous préconisons le recours systématique à un *méta-auditeur* externe formé pour agir comme un *tiers de confiance* dans le processus de prise de décision. Ce *méta-auditeur* serait capable d'interroger les experts de différentes disciplines et de synthétiser les données pour une connaissance fiable, sous l'angle de la complétude et de l'exactitude souhaitées, permettant ainsi des décisions plus éclairées et alignées sur les enjeux de la ville.
- Approche *satisficing* pour évaluer la *valeur* des actifs : Plutôt que de chercher une solution optimale pour chaque paramètre, il a été proposé une approche *satisficing* pour évaluer la *valeur des actifs physiques urbains*. Cette approche vise à trouver parmi une panoplie d'actions possibles (de la rustine à la reconstruction, en passant par le

remplacement ou la modernisation) une solution adéquate et efficace, compte tenu des nombreux *paramètres conflictuels* à considérer.

- Gestion des *cycles de vie* : Le texte souligne l'importance de gérer les *cycles de vie des actifs physiques* de manière intégrée. Il met en évidence les divergences entre les approches des ingénieurs et des comptables et propose de réconcilier ces visions pour maintenir ou maximiser la valeur d'usage tout au long du *cycle de vie*.

En conclusion, le chapitre 5 a fourni un cadre épistémologique et conceptuel spécifique au champ disciplinaire de la gestion d'actifs physique qui a permis de compléter ce cadre en apportant des contributions importantes par un modèle novateur pour évaluer la *valeur d'usage des actifs*.

8.6 Le modèle et procédé PACKiT : Alignement des décisions et des actions

C2 : Un apport novateur à la théorie sur la valeur d'usage des actifs physiques : le modèle et procédé PACKiT

Le chapitre 6 a présenté le modèle et procédé PACKiT, qui offre une approche innovante pour évaluer la *valeur d'usage* des *actifs physiques*. Cet outil propose de considérer les multiples *cycles de vie* coexistants des actifs, ainsi que les interactions entre les *parties prenantes* responsables de ces cycles. Il permet ainsi une gestion plus *adaptative* et *anticipatrice*, tenant compte des *incertitudes* et des *risques imprévisibles*. Cette approche, ce modèle et procédé, visent à améliorer la compréhension du *métabolisme* d'une organisation et de la *gestion de ses actifs physiques*. Nous avons vu comment cette approche cherche ainsi à améliorer les *décisions* et les *actions* à mettre en place. Le modèle et le procédé PACKiT sont conçus pour garantir une homéostasie des activités de l'organisation en prenant en compte la *valeur d'usage* et la *caractérisation* des effets des *décisions* et des *actions*.

L'*état de santé* d'un parc d'actifs physiques est un facteur déterminant de la *valeur d'usage* et de la *perte de valeur des actifs*. La *caractérisation* de l'état de santé est multifactorielle, et elle dépend de l'observation des cycles de vie des matériaux, des utilisations, des usages et des orientations de gouvernance. L'évaluation du risque et la compréhension de l'*aversion aux risques des décideurs* deviennent donc essentielles. Ainsi, il a été précisé que la *gestion d'actifs physiques* consiste à coordonner les actions et les outils pour planifier et suivre les *investissements* nécessaires au *renouvellement* des composants du bâtiment. La détermination du niveau d'effort financier à consentir est complexe, surtout en considérant la diversité des vieillissements de bâtiments et des usages.

Nous avons établi que le champ d'application du modèle et procédé PACKiT s'étend à tous les biens construits, y compris les infrastructures urbaines et industrielles. Il peut être appliqué à l'échelle d'un composant, d'un système technique, d'un bâtiment ou d'un parc de bâtiments. L'audit PACKiT utilise un processus itératif d'élicitation - par entretiens individuels, groupes de discussion, questionnaires de sondage et d'enquête, observations et inspections, études de cas, *brainstorming* - pour évaluer et enregistrer les besoins en maintien des actifs physiques d'une organisation, qu'ils proviennent des affectations, des occupations, des pannes, des défaillances ou des bris.

Aussi, la méthodologie du modèle PACKiT vise-t-elle à assurer l'*uniformité*, l'*objectivité* et la *reproductibilité* de l'audit. Elle fournit une *structure de classification des composants et des usages*, ainsi qu'une vue d'ensemble de l'*état de santé des actifs physiques*. L'audit doit s'appuyer sur des preuves et des faits pour limiter les *biais cognitifs* et proposer des scénarios alternatifs à court, moyen et long terme en fonction de la conjoncture organisationnelle.

Ainsi, le modèle PACKiT est compatible avec les normes actuelles du domaine des *actifs physiques*, du *facility management*, de la *maintenance* et des *classifications liées aux BIM*. Il peut être utilisé par les maîtres d'ouvrage, qui sont responsables des portefeuilles d'actifs physiques. En surplus, le modèle PACKiT inclut des termes et définitions spécifiques pour faciliter son utilisation. Il permet notamment de calculer la *valeur d'usage initiale* et la *valeur actuelle de remplacement des actifs*, ainsi que la *valeur d'usage restante* ou résiduelle en tenant compte de la *vétusté physique*.

Au chapitre 6, nous avons présenté deux grandes classes de modèles pour évaluer l'état de santé des actifs : l'analyse de données issues de capteurs (*Condition-based & Threshold-based*) et l'analyse de données liées au suivi des durées de vie théoriques des composants (*Age-based & Cost-based*). Cependant, ces modèles prêtent le flanc à des critiques, car ils se concentrent principalement sur une appréciation *quantitative* et *normative* des capteurs techniques et environnementaux. Des aspects liés aux mesures qualitatives ou à l'appréciation *positive* comme les paramètres économiques et sociaux, tels que la sécurité, la conformité à la législation, la qualité d'usage et les risques, sont souvent exclus de ces modèles.

C'est pour cela qu'il est mentionné que le modèle PACKiT, basé sur la *valeur d'usage*, la connaissance, l'*éthique conséquentialiste* et la confiance, s'inscrit dans une troisième classe de modèles. Il vise à améliorer la prise de décision pour garantir la *valeur d'usage* adéquate des *actifs physiques* d'une organisation et réduire leur *vétusté* et *obsolescence* (technique et réglementaire). En somme, le PACKiT est un *méta-procédé* qui donne une vue globale de l'organisation et de ses *actifs physiques* pour prendre des décisions éclairées et assurer une *amélioration continue*. Son objectif ultime est de garantir la *valeur d'usage* des actifs physiques tout en s'adaptant aux changements de l'organisation et aux contraintes du contexte.

Pour mieux comprendre cette démarche, il est possible de faire une analogie avec l'évaluation de l'*état de santé d'une personne* par un médecin généraliste. Le modèle PACKiT procède de manière similaire, en effectuant un processus itératif d'élicitation pour recueillir des informations afin d'évaluer l'*état de santé d'un parc d'actifs physiques*. De fait, l'évaluation de

l'*état de santé* par le PACKiT est un élément clé pour la gestion d'actifs physiques, mais elle n'est pas exclusive et ne régit pas la politique. Elle inspire et aide à la *prise de décision*.

Dans ce même chapitre, nous avons fourni des définitions et des termes liés à la *gestion des actifs physiques* et aux aspects tels que le *maître d'ouvrage*, l'*usage*, la *fonctionnalité*, la *fonction*, la *sobriété*, la *valeur d'usage*, la *nomenclature technique*, l'*allocation* des actifs, l'*occupation*, la *densité d'occupation*, la *surface de plancher brute*, la *reconstruction*, le *besoin de maintien d'actifs* (BMA), le *maintien d'actifs à 5 ans* (MA5), le *déficit de maintien d'actifs* (DMA), le *maintien d'actifs régulier* (MAR), la *valeur actuelle de remplacement* (VAR) et l'*Indice de Vétusté Physique* (IVP).

Ont aussi été fournies des informations sur le processus de renouvellement et de maintien des actifs physiques, ainsi que sur les paramètres impliqués dans ce processus. Voici les points clés :

- Le renouvellement consiste en des actions de maintien d'actifs qui impliquent le remplacement, la modernisation, l'amélioration ou la modification significative d'actifs physiques pour maintenir ou augmenter leur valeur. Ces actions sont généralement considérées comme des dépenses d'investissement (CAPEX).
- Il y a deux types de renouvellement : non modernisant et modernisant. Le renouvellement non modernisant consiste à remplacer un actif par une version similaire sans modifier sa fonction ou améliorer sa sûreté de fonctionnement. Le renouvellement modernisant implique des améliorations technologiques pour satisfaire de nouvelles exigences ou progrès techniques.
- L'estimation des coûts des travaux de renouvellement repose sur différents ratios provenant de bases de données externes, ainsi que sur les ratios propres à l'expérience du méta-auditeur. Une comparaison avec les coûts généralement pratiqués par le maître d'ouvrage est également recommandée.
- La caractérisation du MA5 (Maintien d'Actifs à 5 ans) consiste à définir et décrire les *propriétés* et *caractéristiques* des besoins de maintien d'actifs sur un horizon temporel de 5 ans. Cela se fait en utilisant cinq paramètres, selon leur disponibilité et la volonté de l'organisation de les formaliser : *nature d'action*, *horizon temporel*, *risque*, *intention politique et réglementaire*, et *source de financement*.
- La *nature d'action* concerne la cause principale du besoin en travaux de renouvellement, tels que le remplacement d'un composant en défaillance, la mise en conformité légale

ou l'adaptation fonctionnelle ; l'*horizon temporel* représente la durée de vie restante de l'actif avant la fin de sa fiabilité et de sa sûreté de fonctionnement. Les actions de renouvellement sont classées en court terme, moyen terme et long terme en fonction de cet horizon ; le *risque* évalue l'effet de l'incertitude sur l'organisation en cas de défaillance de l'actif. Il se compose de plusieurs niveaux : la source d'origine, l'événement, l'impact et la vraisemblance d'occurrence ; l'*intention politique et réglementaire* concerne les actions de maintien d'actifs qui répondent à des contraintes réglementaires ou soutiennent des enjeux politiques de l'organisation ; la *source de financement* précise les modalités de financement des besoins de maintien d'actifs.

- Enfin, l'indice de maintien des actifs physiques (IMA) mesure l'effort consenti annuellement pour le renouvellement des actifs par rapport à leur valeur actuelle de remplacement. Cet indice permet de comparer le taux de renouvellement avec le taux d'amortissement comptable.

En somme, il a été présenté comment le modèle PACKiT est un processus d'audit et de suivi des actifs physiques (bâtiments ou infrastructures) visant à fournir une évaluation cohérente, comparable et reproductible du métabolisme issu des activités de gestion de ces actifs. L'audit PACKiT permet un alignement, une régulation et un arbitrage écologique des projets d'investissement (CAPEX) tout en identifiant des actions de maintenance régulière (OPEX) pour préserver la *valeur d'usage des actifs*.

Le processus d'audit PACKiT est structuré en cinq phases principales :

- 1) Préparation de l'audit : Cette phase consiste à identifier les méta-auditeurs qualifiés, dresser la liste des actifs à auditer, former le maître d'ouvrage sur la méthodologie, et mettre en place des comités de pilotage et techniques pour faciliter le suivi de l'audit.
- 2) Collecte de données : Durant cette phase, les méta-auditeurs recueillent des informations sur les aspects techniques, économiques et environnementaux des actifs, ainsi que sur la stratégie et les connaissances actuelles de l'organisation en matière de gestion d'actifs.
- 3) Analyse des données : Les méta-auditeurs analysent les informations collectées pour identifier les écarts par rapport aux cibles et seuils souhaités, évaluer l'effet des décisions de l'organisation sur les actifs physiques, et proposer des préconisations d'actions.

- 4) Préparation du rapport : Cette phase implique la préparation du rapport d'audit contenant les résultats de l'analyse, les recommandations d'actions, et l'échéancier des activités futures.
- 5) Restitution et suivi : Enfin, les méta-auditeurs présentent le rapport d'audit au comité de pilotage et suivent la mise en œuvre des actions recommandées.

Pour réaliser cet audit, les méta-auditeurs doivent posséder des compétences en gestion d'actifs physiques, en gestion comptable et financière, et en analyse statistique. Ils doivent également comprendre les interactions entre les décisions techniques, environnementales, économiques et sociales.

Le processus d'audit PACKiT peut être réalisé sur une base annuelle pour les parcs immobiliers en mauvais état ou lors d'investissements massifs. Dans d'autres cas, il peut être effectué tous les trois ou cinq ans.

Enfin, le chapitre 6 a présenté plusieurs apports théoriques liés au modèle et procédé PACKiT, qui vise à évaluer la *valeur d'usage des actifs physiques* et à améliorer la gestion de ces actifs au sein d'une organisation. Voici les principaux apports théoriques qui ont été mentionnés :

- Approche innovante pour évaluer la *valeur d'usage des actifs physiques* : Le modèle PACKiT propose une approche novatrice en considérant les *multiples cycles de vie coexistants* des actifs et en prenant en compte les *interactions entre les parties prenantes* responsables de ces cycles. Cette approche permet une gestion plus adaptative et anticipatrice, tenant compte des incertitudes et des risques imprévisibles.
- Prise en compte de l'*état de santé des actifs* : Le modèle PACKiT met l'accent sur l'état de santé des *actifs physiques*, qui est un facteur déterminant de leur *valeur d'usage* et de leur *perte de valeur*. Il s'appuie sur une caractérisation multifactorielle de l'état de santé, incluant les cycles de vie des matériaux, les utilisations, les usages et les orientations de gouvernance.
- Méthodologie d'audit reproductible : Le modèle PACKiT propose une méthodologie d'*audit structurée*, visant à assurer l'*uniformité*, l'*objectivité* et la *reproductibilité* des évaluations. Cette méthodologie repose sur l'utilisation

d'évidences et de faits pour *limiter les biais cognitifs* et offre une *vue d'ensemble de l'état de santé des actifs physiques*.

- **Compatibilité avec les normes du domaine** : Le modèle PACKiT est *compatible avec les normes actuelles* du domaine des *actifs physiques*, du *facility management*, de la *maintenance* et des *classifications liées aux BIM*. Cela facilite son utilisation par les maîtres d'ouvrage et permet une meilleure harmonisation avec les pratiques existantes.
- **Troisième classe de modèles pour évaluer l'état de santé** : Contrairement aux deux grandes classes de modèles existantes : l'analyse de données issues de capteurs (*Condition-based & Threshold-based*) et l'analyse de données liées au suivi des durées de vie théoriques des composants (*Age-based & Cost-based*). Ceux-ci se concentrent sur l'analyse *quantitative et normative* des capteurs *techniques et environnementaux*, le modèle PACKiT représente une troisième classe de modèles. Il intègre des *paramètres qualitatifs et d'appréciation positive*, tels que la sécurité, la conformité à la législation, la qualité d'usage et les risques.
- **Méta-procédé pour une vue globale de l'organisation** : Le PACKiT est considéré comme un *méta-procédé* offrant une vue globale de l'organisation et de ses actifs physiques. Il permet de prendre des décisions éclairées et d'assurer une *amélioration continue* tout en s'adaptant aux changements de l'organisation et aux contraintes du contexte.

En résumé, le modèle PACKiT apporte des contributions théoriques importantes en proposant une approche novatrice pour évaluer la *valeur d'usage des actifs physiques*, en mettant l'accent sur l'état de santé des actifs et en visant à améliorer la prise de décision pour garantir la *valeur d'usage adéquate des actifs physiques* tout en s'adaptant aux changements organisationnels.

8.7 Une application empirique : 226 bâtiments scolaires urbains

Le chapitre 7 a présenté une application empirique. Cette dernière s'est appuyée sur le cadre épistémologique et conceptuel du méta-procédé PACKiT, ainsi que sur les apports fournis par la présentation portant sur l'élaboration d'un plan stratégique de renouvellement des bâtiments de l'Organisation Scolaire Urbaine (OSU).

La recherche scientifique a visé à définir les enjeux, les défis, les limites et le financement requis pour le renouvellement d'un parc immobilier en date de 2013. Ces données peuvent paraître anciennes, mais c'est une période pour laquelle toutes les données étaient disponibles et elles ont été considérées comme pertinentes pour l'exercice de la recherche. La méthode de recherche se base sur la mesure, l'observation et l'analyse de la *valeur d'usage*, de la *perte de valeur*, du financement et des besoins en travaux conformément au modèle PACKiT.

Le parc immobilier de l'OSU, datant de plus de 175 ans en 2022, est de grande taille et présente une hétérogénéité des usages et des besoins en travaux, ce qui apporte une complexité intéressante à l'étude. Trois hypothèses ont été formulées :

- La méthode de dépréciation comptable linéaire est insuffisante pour déterminer précisément la dotation aux amortissements et identifier la perte de *valeur d'usage* pour garantir le renouvellement et le remplacement des *actifs physiques*.
- L'*indice de vétusté physique* (IVP) et les caractérisations du maintien d'actifs à 5 ans (MA5) permettent de créer un référentiel pour suivre chaque bâtiment, le comparer aux autres et mieux anticiper le financement et la répartition des ressources budgétaires.
- L'analyse des besoins en travaux à réaliser, en prenant en compte les caractéristiques pour faire revenir la *valeur d'usage* à 100 %, permet de hiérarchiser les travaux dans un contexte de contraintes budgétaires.

La synthèse de la recherche a eu pour objectif d'établir le portrait global des besoins en travaux nécessaires pour maintenir les bâtiments audités de l'OSU à un niveau maîtrisé de la *valeur d'usage*. Cela s'est fait par une stratégie d'intervention articulée autour du *maintien d'actifs à 5 ans* (MA5), des *risques* associés et d'autres caractéristiques permettant de proposer un *Schéma Directeur immobilier* basé sur la *criticité* des besoins en travaux.

Les cinq phases du PACKiT ont été nécessaires pour, d'abord, identifier un échantillon de 40 bâtiments de l'OSU jugés représentatifs de l'ensemble des 226 bâtiments en activité du parc immobilier, ensuite, procéder à un audit, et enfin, présenter les résultats et les préconisations.

Il a été présenté que l'OSU était confrontée à une vétusté importante de son parc immobilier. L'augmentation des besoins d'investissement était déjà perceptible. Ces besoins émanaient de diverses sources, telles que la vétusté, les mises en conformité réglementaire, l'adaptation fonctionnelle pour accueillir la croissance de la population d'élèves, la réappropriation d'immeubles excédentaires et les contraintes liées aux travaux sur des immeubles à valeur patrimoniale culturelle avérée.

Dans ce contexte *complexe et incertain*, la phase 1 a été nécessaire pour établir le portrait de la situation en matière, notamment, de résorption du maintien d'actifs de ses immeubles à l'horizon de 5 ans (MA5). Pour cela, il était obligatoire d'évaluer la maturité du système de gestion d'actifs utilisé et la fiabilité des données antérieures de l'OSU.

La distribution des immeubles du parc de bâtiments de l'OSU selon les époques de construction a également été analysée. Environ 40 % du parc immobilier date d'avant 1950, et la quasi-totalité des 60 % restants a été construite entre 1950 et 1980. Avec un cycle de vie d'utilisation estimé à environ 50 ans, la majorité des bâtiments en sont à leur 2^e voire leur 3^e cycle de vie d'usage, ce qui indique que le parc immobilier de l'OSU est très vieillissant.

Il a été présenté que pour répondre à cette pression liée aux besoins en travaux de renouvellement, les investissements consentis, pendant la période de 1999 à 2013, pour l'échantillon de 40 immeubles de l'étude correspondent à 29,4 % du total des investissements, légèrement supérieur à la proportion de 24,5 % de la *valeur actuellement de remplacement* (VAR) de l'échantillon par rapport à l'ensemble des 226 bâtiments scolaires.

Une étape clé de l'étude a permis de vérifier l'estimation de la VAR qui était cruciale pour évaluer les besoins financiers globaux en valeur relative, le financement nécessaire pour la résorption des besoins en MA5 (*maintien d'actifs*) et l'estimation de l'*indice de vétusté physique* (IVP). L'estimation de la VAR pour une école primaire a été choisie pour illustrer les enjeux de la gestion du parc immobilier de l'OSU, mais des études plus approfondies pour chaque typologie de bâtiment sont recommandées. La VAR est essentiellement estimée en comparant les coûts de projets de construction similaires récents. L'IVP a été calculé en fonction de la VAR et du MA5.

Avec des données issues de protocoles, de modèles et d'outils d'audits antérieurs au PACKiT et pour lesquelles la fiabilité (niveau certitude de l'information par l'analyse de la complétude et de l'exactitude) était jugée discutable, le parc immobilier de l'OSU était en mauvais état de santé, nécessitant des travaux importants pour maintenir la valeur d'usage des bâtiments. Ainsi, une meilleure fiabilité du dispositif d'audit du parc immobilier était fortement

souhaitée pour tirer des conclusions plus fines sur la distribution de la vétusté et de sa criticité, sur les décisions stratégiques, la maîtrise des risques et le financement qui en découlent.

La phase 2 du projet PACKiT, a visé à améliorer la fiabilité des données du parc immobilier de l'OSU à partir de l'échantillon représentatif de 40 bâtiments parmi les 226 en exploitation. Ces 40 bâtiments ont été choisis en se basant sur des critères pertinents, notamment ceux issus de la priorisation des investigations liées à la qualité de l'air intérieur, avec l'objectif d'assurer une transposition prudente des résultats à l'ensemble du parc.

Pour garantir la représentativité de l'échantillon, plusieurs tests ont été effectués. D'abord, la répartition par époques de construction des 40 bâtiments de l'échantillon est similaire à celle de l'ensemble du parc. De même, la distribution par typologie d'usage principal des bâtiments est cohérente entre l'échantillon et l'ensemble du parc. En ce qui concerne la densité d'occupation des bâtiments, elle a été partiellement prise en compte en se référant au nombre d'élèves et d'équivalents temps plein (ETP) présent dans l'échantillon et l'ensemble du parc. Enfin, une attention particulière a été accordée à la représentativité de l'état de vétusté des bâtiments en choisissant les bâtiments en fonction des classes d'indice de vétusté physique (IVP). Ces classes ont été déterminées par une estimation préliminaire sujette à précision avec l'application du PACKiT.

En conclusion de cette deuxième phase, les bâtiments choisis dans l'échantillon, notamment ceux sains et destinés à devenir des écoles transitoires, ont été sélectionnés pour représenter la majorité du parc immobilier de l'OSU. Cette approche de sélection a visé à éviter de relativiser excessivement les conclusions observables et les projections concernant l'ensemble du parc immobilier. Cependant, il est important de noter que la présente recherche ne quantifie pas les besoins en maintien d'actifs liés à la présence de contaminants dans l'air ou les matériaux de construction. Vastes sujets pour lesquels des diagnostics techniques spécialisés étaient nécessaires.

La phase 3 du projet PACKiT, réalisée sur un échantillon de 40 bâtiments représentatif de l'ensemble du parc immobilier de l'OSU, a visé à collecter des données par un processus itératif d'élicitation pour : éliminer les extrapolations sommaires réalisées antérieurement à l'étude ; documenter les informations sur les catégories techniques ; améliorer la fiabilité des connaissances sur les besoins en travaux de maintien d'actifs ; affiner les hypothèses et évaluer les risques encourus. L'objectif global a été d'estimer avec une fiabilité améliorée les besoins en maintien d'actifs à 5 ans en tenant compte du contexte des travaux.

La phase 4 de l'étude a présenté les résultats de l'audit PACKiT concernant les simulations, analyses et scénarios pour l'échantillon de 40 bâtiments du patrimoine immobilier de l'OSU. Voici les principaux points à retenir pour l'analyse générale et globale de l'échantillon :

- L'échantillon de 40 bâtiments est très hétérogène en termes d'âge, de surface de plancher brute et d'usage principal.
- La date de construction moyenne pondérée est de 1961, ce qui équivaut à un âge moyen pondéré de 52 ans en 2013.
- L'utilisation du PACKiT a permis d'estimer un Indice de Vétusté Physique (IVP) pour l'échantillon à 23 % soit inférieure à l'IVP annoncé de 30,8 %, en 2012.

Voici les principaux points à retenir pour l'analyse détaillée des besoins en travaux de renouvellement pour l'échantillon :

- Le *déficit de maintien d'actifs* (DMA) s'élève à 136,4 M\$, soit 64,8 % des besoins en *maintien d'actifs à l'horizon de 5 ans* (MA5).
- La plupart des besoins en travaux sont de *nature corrective*, indiquant un retard considérable dans la réalisation des travaux de renouvellement.
- Les *catégories techniques* concernées par les travaux intérieurs les plus coûteux sont les systèmes de finitions intérieures, les systèmes mécaniques et les systèmes électriques. Les travaux extérieurs les plus coûteux sont liés aux toitures et aux enveloppes extérieures (façades, portes et fenêtres).
- L'analyse des *risques* révèle que les principales *natures d'impact* sont la *dégradation de la qualité de services* et l'*intégrité du patrimoine*.

Comme perspectives d'actions, il a été mentionné qu'il est important de mettre en œuvre une approche pluridisciplinaire, globale et systémique pour résoudre les problèmes de vétusté des bâtiments scolaires. La priorité doit être donnée aux risques majeurs, en particulier ceux liés à l'intégrité des personnes et à la perte de capacité de services. Aussi, les travaux liés à la réduction de la consommation énergétique et des émissions de gaz à effet de serre devraient être envisagés pour les catégories techniques des toitures, des enveloppes extérieures et des systèmes électromécaniques.

Enfin, le PACKiT a mis en évidence l'urgence de réaliser des travaux de renouvellement pour le patrimoine immobilier de l'OSU afin de *maîtriser les risques* et d'*améliorer la qualité*

des services offerts. Des mesures prioritaires doivent être prises pour répondre aux défis futurs liés à la dégradation des bâtiments et aux besoins en travaux de maintien d'actifs.

En synthèse, l'étude avait pour objectif de fiabiliser les données en termes de vétusté et de conformité réglementaire légale des bâtiments. Le Plan stratégique qui en découle est ambitieux, et il a été conseillé d'intégrer d'autres indicateurs clés de performance, tels que les intentions politiques et réglementaires, les sources de financement et les indicateurs comptables, lorsque le rattrapage initial des bâtiments sera sous contrôle.

Voici quelques observations spécifiques supplémentaires qui ont permis de compléter la stratégie immobilière et le plan d'action :

- Problématique des vides sanitaires :
 - 20 bâtiments (50 % de l'échantillon) ont des vides sanitaires à réhabiliter pour réduire l'humidité excessive. Ces vides sanitaires nécessitent une attention *critique* et représentent un coût estimé à 5 M\$.
- Murs extérieurs :
 - La majorité des bâtiments présentent des problèmes d'étanchéité liés à l'âge et aux cycles de gel et dégel.
 - Un projet de remplacement des enveloppes extérieures pourrait réduire la consommation énergétique et les émissions de GES. Des expertises supplémentaires seront nécessaires pour certaines écoles.
 - 21 bâtiments nécessitent des actions à court terme pour les murs extérieurs, dont 5 sont *critiques*.
- Fenestrations :
 - Toutes les fenêtres des bâtiments se dégradent de manière significative, nécessitant une intervention à court terme.
 - Un diagnostic approfondi est nécessaire pour éviter des dégradations prématurées, en particulier pour l'école 175 bis.
 - Des bâtiments nécessitent des actions à court terme pour les fenestrations, dont 7 sont *critiques*.
- Toitures :

- Bien que des travaux de réfection aient été réalisés, plusieurs sites présentent encore des problèmes de toiture.
- 4 toits sont toujours sous garantie.
- 37 bâtiments nécessitent des actions à court terme pour les toitures, dont 6 sont *critiques*.
- Finitions intérieures :
 - Des travaux de finitions intérieures sont requis dans tous les bâtiments, en particulier pour les revêtements de sols en bois.
 - Les actions à *court terme* avec des *risques majeurs* nécessitent une attention particulière et totalisent 5,5 M\$.
 - Des bâtiments nécessitent des actions à *court terme* pour les finitions intérieures, dont 7 sont critiques.
- Appareils de plomberie (sanitaires) :
 - La plupart des bâtiments nécessitent des interventions à *court terme* pour les appareils de plomberie, impactant la *qualité de services*.
 - 16 bâtiments nécessitent des actions à *court terme* pour les appareils de plomberie du fait des *risques majeurs* (insalubrité).
- Systèmes de chauffage, ventilation, climatisation de l'air (CVCA) :
 - Les systèmes de CVCA sont fonctionnels, mais l'âge de certaines chaudières justifie des remplacements pour des raisons écologiques, visant à économiser l'énergie et réduire les émissions de GES.
 - Des bâtiments nécessitent des actions à *court terme* pour les systèmes de CVCA, dont 7 sont *critiques*.
- Interventions supplémentaires à un horizon de 10 ans :
 - Des travaux anticipables sur 10 ans totalisent 70,2 M\$ et s'ajouteront à terme aux besoins en travaux à 5 ans. Les travaux concernent principalement la décontamination des sols, la plomberie et les finitions intérieures.
- Programme de Qualité d'Air Intérieur (PQAI) :

- Les besoins en travaux pour le PQAI ne sont pas inclus dans le MA5 actuel, mais pourraient être ajoutés après des inspections techniques.

Aussi, une prudence est nécessaire concernant l'estimation des coûts pour éviter une présentation alarmiste.

Enfin, cette application empirique du PACKiT a permis d'identifier des problèmes majeurs à résoudre, qui nécessitent des investissements significatifs pour assurer la pérennité des bâtiments et garantir des conditions d'accueil satisfaisantes pour les occupants. En plus, le cas a porté sur la stratégie et le plan d'action pour améliorer la *gestion des actifs physiques* d'un parc immobilier scolaire urbain. L'échantillon étudié était constitué de 40 bâtiments répartis sur une surface de plancher brute de 339 355 m². Le *maintien d'actifs à l'horizon de 5 ans* totalise 210,5 M\$, tandis que le *déficit de maintien d'actifs* est estimé à 134,4 M\$.

Aussi, les cas ont démontré un état de santé préoccupant, avec un *indice de vétusté physique* moyen pondéré de 23 %. Les bâtiments présentent une grande hétérogénéité en termes d'âge et d'indice de vétusté, entraînant une insatisfaction des usagers et une dégradation de la qualité de service. Le *maintien d'actifs à court terme* et à *risque majeur* a été estimé à 76,1 M\$, ce qui souligne l'urgence d'intervenir sur certains bâtiments. Les *actions prioritaires critiques à court terme* ont été identifiées, ainsi que celles nécessitant des interventions à *moyen terme* et à *long terme*.

Enfin, l'étude a préconisé que la stratégie de transformation de la *gestion des actifs physiques* vise à passer d'un régime d'oscillation des actions avec des écarts-types élevés d'IVP et d'âge, à un régime d'oscillation avec des bornes plus restreintes tant pour l'indice de vétusté physique que pour l'âge. Cela nécessite une approche d'économie circulaire et écologique, avec un financement à long terme. Il a aussi été préconisé que l'OSU complète l'élaboration d'un Schéma Directeur Immobilier (SDI) contenant la stratégie immobilière, un plan pluriannuel budgétaire pour les projets d'investissement et, éventuellement, un plan de maintenance courante.

En ce sens, le plan pluriannuel d'investissement (PPI) a été établi en fonction de quatre objectifs stratégiques pour les différents groupes d'IVP des bâtiments, avec des actions à court terme et à long terme. Les simulations ont montré que le financement idéal doit atteindre un seuil minimum pour maîtriser l'ensemble des risques en MA5 tout en conservant un budget raisonnable.

En conclusion de cette application empirique, il a été proposé un modèle prédictif, de l'indice de vétusté physique, des risques et de la criticité pour les 10 prochaines années, afin

d'anticiper les besoins futurs. Le cas a aussi démontré que des audits à intervalles réguliers sont nécessaires pour ajuster la stratégie en fonction du financement disponible, de l'évolution des besoins et des contraintes budgétaires.

Et qu'en est-il de la démonstration des hypothèses posées ?

H₄ : La méthode de dépréciation comptable linéaire est insuffisante pour identifier la juste dotation nécessaire aux amortissements et ainsi identifier la perte de valeur d'usage pour garantir le renouvellement et de remplacement des actifs physiques.

L'hypothèse « *La méthode de dépréciation comptable linéaire est insuffisante pour identifier la juste dotation nécessaire aux amortissements et ainsi identifier la perte de valeur d'usage pour garantir le renouvellement et le remplacement des actifs physiques* » peut être démontrée à partir des treize éléments suivants présentés dans la thèse, tant basés sur la théorie que sur le cas applicatif :

- Valeur d'usage : La notion de *valeur d'usage* des actifs physiques urbains, qui correspond à leur destination dans le but de satisfaire un besoin identifié par une organisation. Cette *valeur d'usage* évolue tout au long du *cycle de vie de l'actif* en fonction de la *valeur actuelle de remplacement*, prenant en compte les évolutions de la société, des technologies et de l'environnement. Cela souligne que la *valeur d'usage* ne peut pas être simplement calculée linéairement, car elle dépend de la *perte de valeur d'usage* au long du *cycle de vie*.
- Complexité des interactions : La complexité des interactions entre les usages variés, les échelles multiples et les cycles de vie différents des infrastructures urbaines. Cela montre que la *gestion des actifs physiques* doit prendre en compte de multiples paramètres qui ne peuvent pas ne peuvent pas reposer uniquement sur une dépréciation linéaire.
- Approche organologique : La thèse a opposé à une *approche mécaniste* à une *approche organologique* pour les villes intelligentes, en intégrant des *capteurs économiques et sociaux* en plus des *capteurs normatifs classiques, techniques et environnementaux*. Cela implique que la *gestion des actifs* doit prendre en compte des *facteurs économiques et sociaux* qui ne peuvent être évalués de manière linéaire.

- Approche *satisficing* : La thèse a proposé une approche *satisficing* pour évaluer la *valeur des actifs physiques* urbains, c'est-à-dire privilégier une solution adéquate et efficace compte tenu des nombreux paramètres conflictuels à considérer. Cette approche n'est pas linéaire, car elle ne cherche pas une solution optimale, dans le sens classique, pour chaque paramètre, mais une solution globalement satisfaisante.
- Gestion des cycles de vie : La thèse a souligné l'importance de gérer les *cycles de vie des actifs physiques* de manière intégrée. Il met en évidence les divergences entre les approches des ingénieurs et des comptables, car ces derniers se concentrent souvent sur la dépréciation des actifs sans considérer les évolutions des cycles de vie observées par les maîtres d'ouvrage.
- Méta-auditeur externe : La thèse a suggéré l'utilisation d'un *méta-auditeur externe* formé comme *tiers de confiance* dans le processus de prise de décision pour des choix éclairés. Cela montre que l'évaluation de la *valeur d'usage des actifs physiques* ne peut pas être simplement laissée à une méthode comptable linéaire, mais nécessite l'intervention d'experts pour prendre en compte tous les aspects pertinents.
- Le méta-procédé PACKiT prend en compte les multiples *cycles de vie coexistants des actifs*, ainsi que les interactions entre les *parties prenantes responsables* de ces cycles. Cela permet une gestion plus adaptative et anticipatrice, tenant compte des incertitudes et des risques imprévisibles.
- Le PACKiT repose sur la valeur d'usage, la connaissance, l'éthique conséquentialiste et la confiance, ce qui en fait une troisième classe de modèles pour évaluer l'état de santé des actifs physiques. Il vise à garantir la valeur d'usage adéquate des actifs physiques d'une organisation tout en réduisant leur vétusté et leur obsolescence (technique et réglementaire).
- Le processus d'audit PACKiT est structuré en cinq phases principales, dont la collecte de données et l'analyse des données. L'audit PACKiT recueille des informations sur les aspects techniques, économiques et environnementaux des actifs, ainsi que sur la stratégie et les connaissances actuelles de l'organisation en matière de gestion d'actifs.
- L'indice de maintien des actifs physiques (IMA) a été mentionné dans la thèse comme un moyen de mesurer l'effort consenti annuellement pour le renouvellement des actifs par rapport à leur valeur actuelle de remplacement. Cet indice permet de comparer le taux de renouvellement avec le taux d'amortissement comptable.

- Insuffisance pour identifier la perte de valeur d'usage : La dépréciation comptable linéaire est conçue pour répartir le coût d'un actif sur sa durée de vie utile de manière régulière. Cependant, cette méthode peut ne pas tenir compte de la détérioration réelle des actifs au fil du temps. Aussi, ne permet-elle pas de quantifier de manière adéquate la perte de valeur d'usage des actifs et les besoins réels en travaux de maintenance et de rénovation pour les maintenir en bon état.
- Nécessité d'identifier la juste dotation aux amortissements : Pour garantir le renouvellement et le remplacement appropriés des actifs physiques, il est essentiel d'identifier la juste dotation aux amortissements. Cela signifie que la méthode de calcul doit refléter de manière réaliste l'état de dégradation des actifs et les coûts nécessaires pour les maintenir en bon état de fonctionnement. Si la méthode de dépréciation comptable linéaire est insuffisante pour réaliser cette évaluation, elle pourrait entraîner une sous-estimation ou une surestimation des fonds nécessaires, ce qui aurait un impact sur la capacité de l'OSU à assurer le renouvellement approprié de son parc immobilier.
- Importance de l'étude et des données de recherche : La thèse a mentionné que l'étude du cas de l'OSU a pour objectif de fiabiliser les données en termes de vétusté et de conformité réglementaire légale des bâtiments. Cela suggère qu'une évaluation fiable de la vétusté et de la dégradation des actifs est cruciale pour prendre des décisions éclairées concernant le renouvellement des bâtiments. L'approche basée sur la mesure, l'observation et l'analyse de la valeur d'usage, de la perte de valeur et des besoins en travaux montrent l'importance d'une évaluation rigoureuse pour garantir la durabilité et l'efficacité de l'investissement dans le parc immobilier de l'OSU.

En somme, la thèse a souligné l'insuffisance de la méthode de dépréciation comptable linéaire pour évaluer correctement la *valeur d'usage des actifs physiques* urbains et propose une *approche plus holistique et intégrée* qui prend en compte les facteurs *économiques, environnementaux, sociaux et techniques* tout au long du *cycle de vie des actifs*. Cette approche est nécessaire pour garantir le renouvellement et le remplacement efficace des actifs physiques.

Ainsi, le méta-procédé PACKiT offre une approche plus complète et adaptative pour évaluer la valeur d'usage des actifs physiques, ce qui le rend plus efficace que la méthode de dépréciation comptable linéaire traditionnelle pour garantir le renouvellement et le remplacement des actifs physiques.

En conclusion, l'application empirique de la thèse met en évidence le besoin d'une approche plus précise que la méthode de dépréciation comptable linéaire pour évaluer la vétusté et les

besoins en travaux de maintenance des actifs physiques de l'Organisation Scolaire Urbaine. La sous-estimation de la dépréciation et des coûts de renouvellement pourrait entraîner des risques pour l'intégrité des bâtiments et la qualité des services offerts. Par conséquent, il est essentiel d'utiliser des méthodes d'évaluation comme celle du PACKiT, plus adaptées et fiables pour garantir le maintien d'actifs adéquat et assurer la durabilité du parc immobilier.

H₅ : L'indice de vétusté physique (IVP) et les caractérisations du maintien d'actifs à 5 ans (MA5) permettent de créer un référentiel pour suivre chaque bâtiment et le comparer aux autres, afin de mieux anticiper le financement et la répartition des ressources budgétaires.

L'hypothèse « *L'indice de vétusté physique (IVP) et les caractérisations du maintien d'actifs à 5 ans (MA5) permettent de créer un référentiel pour suivre chaque bâtiment, le comparer aux autres et mieux anticiper le financement et la répartition des ressources budgétaires* » est démontrée à partir des acquis suivants fournis dans la thèse, tant au plan théorique qu'à partir de l'exemple empirique :

- Le cadre épistémologique et conceptuel présenté au chapitre 5 a visé à mieux comprendre la *gestion des actifs physiques* urbains, en mettant l'accent sur la *valeur d'usage des actifs*. Ce cadre aborde les aspects économiques, environnementaux, sociaux et techniques pour une gestion durable tout au long du cycle de vie des actifs.
- L'approche de la *valeur d'usage* dans la *gestion d'actifs physiques* urbains a été privilégiée par rapport à la valeur vénale traditionnelle du marché immobilier. La valeur d'usage est liée à la satisfaction des besoins identifiés par une organisation et évolue au fil du temps en fonction des évolutions de la société, des technologies et de l'environnement.
- Il est apparu également que la *gestion d'actifs physiques* urbains est essentielle pour maintenir et utiliser efficacement le parc immobilier. Cela implique de coordonner les décisions et les actions pour maintenir la *valeur d'usage adéquate* tout au long du *cycle de vie* des bâtiments et des infrastructures.
- L'*indice de vétusté physique (IVP)* est un outil pour évaluer la *perte de valeur d'usage des actifs physiques* au fil du temps. Il permet de suivre l'évolution de la *valeur d'usage*

des bâtiments et des infrastructures et de prendre des décisions éclairées sur la maintenance, la rénovation ou le remplacement des actifs.

- Les caractérisations du maintien d'actifs à 5 ans (MA5) sont également mentionnées comme un moyen de mieux anticiper les besoins de financement et de répartition des ressources budgétaires pour assurer le bon renouvellement des actifs physiques urbains.
- L'IVP et le MA5 permettent de comparer chaque bâtiment aux autres en termes d'état de santé, de besoins de maintien, et d'effort financier nécessaire pour maintenir la valeur d'usage des actifs. Cela permet d'établir un référentiel pour suivre et évaluer la performance de chaque bâtiment au fil du temps.
- En utilisant l'IVP et le MA5 comme outils de suivi, les organisations peuvent mieux anticiper les besoins en financement pour le *maintien des actifs physiques*. Elles peuvent également mieux répartir les ressources budgétaires en fonction de l'état de santé de chaque bâtiment et de la priorité des travaux de renouvellement.
- En intégrant ces théories dans leur réponse physique, les architectes et ingénieurs peuvent contribuer à maintenir ou augmenter la valeur d'usage tout au long du cycle de vie des bâtiments et des infrastructures.
- En utilisant un méta-auditeur externe formé, *tiers de confiance*, les *parties prenantes* peuvent agir dans le processus de prise de décision, ce qui garantit des décisions plus éclairées et alignées sur les enjeux de la ville.
- L'objectif de l'étude a été de fiabiliser les données en termes de vétusté et de conformité réglementaire des bâtiments de l'Organisation Scolaire Urbaine (OSU). Pour cela, l'étude se base sur l'estimation de la *valeur actuelle de remplacement* (VAR) des bâtiments et l'*indice de vétusté physique* (IVP) pour chaque bâtiment. L'IVP est calculé en fonction de la VAR et du *maintien d'actifs à 5 ans* (MA5). Il permet d'évaluer le *niveau de vétusté* de chaque bâtiment, avec une concentration de besoins en maintien d'actifs sur certains d'entre eux.
- L'étude a identifié des problèmes majeurs à résoudre, nécessitant des investissements significatifs pour assurer la pérennité des bâtiments et garantir des conditions d'accueil satisfaisantes pour les occupants.
- Le maintien d'actifs à *court terme* et à *risque majeur* est estimé à 76,1 M\$, soulignant l'urgence d'intervenir sur certains bâtiments.

- Les résultats montrent que le financement pour un Plan pluriannuel d'investissement (PPI) qui permet de maîtriser l'ensemble des *risques* en MA5 tout en conservant un budget raisonnable est à prescrire.

En combinant ces points, on peut conclure que l'IVP et les caractérisations du maintien d'actifs à 5 ans (MA5) fournissent un référentiel pour suivre la *valeur d'usage des actifs physiques* urbains et permettent une gestion efficace de ces actifs. En prenant en compte l'évolution de la *valeur d'usage* tout au long du cycle de vie, les décisions peuvent être prises de manière éclairée pour assurer la soutenabilité et l'efficacité de la ville et de ses infrastructures. Cette approche holistique permet également d'anticiper les besoins de financement et de répartition des ressources budgétaires pour maintenir les actifs en bon état et répondre aux besoins de la ville de manière optimale.

Ainsi, il est possible de déduire que l'IVP et les caractérisations du maintien d'actifs à 5 ans (MA5) jouent un rôle essentiel dans la création d'un référentiel pour suivre chaque bâtiment et le comparer aux autres. Ces outils permettent de garantir la *valeur d'usage des actifs* physiques d'une organisation. Ils offrent une approche plus précise et adaptative pour la gestion des actifs physiques, ce qui rend le modèle PACKiT plus efficace que les méthodes traditionnelles.

En conclusion, l'application empirique a démontré que l'utilisation de l'*indice de vétusté physique* (IVP) et des caractérisations du maintien d'actifs à 5 ans (MA5) permet de créer un référentiel pour suivre chaque bâtiment, le comparer aux autres, et mieux anticiper le financement et la répartition des ressources budgétaires. Cela aide à prendre des décisions stratégiques pour le financement, la gestion des risques, et le maintien de la qualité des services offerts par l'OSU.

H6 : L'analyse des besoins en travaux à réaliser, en prenant en compte les caractéristiques (ce que nous devrions faire) pour ramener la valeur d'usage à 100 %, permet de hiérarchiser les travaux dans un contexte de contraintes budgétaires (ce que nous sommes en mesure de faire).

L'hypothèse « *L'analyse des besoins en travaux à réaliser, en prenant en compte les caractéristiques (ce que nous devrions faire) pour ramener la valeur d'usage à 100 %, permet de hiérarchiser les travaux dans un contexte de contraintes budgétaires (ce que nous sommes*

en mesure de faire). » peut être démontrée à partir de la théorie présentée et le cas applicatif, en considérant les treize éléments suivants :

- Cadre épistémologique et conceptuel spécifique aux *actifs physiques* : La thèse a présenté un cadre épistémologique et conceptuel spécifique à la gestion des actifs physiques urbains. Elle souligne l'importance de la *valeur d'usage* comme mesure intégratrice des besoins en travaux nécessaires pour maintenir les actifs en état adéquat.
- Gestion des cycles de vie : Le texte souligne l'importance de gérer les cycles de vie des actifs physiques de manière intégrée. Il met en évidence les divergences entre les approches des ingénieurs et des comptables et propose de réconcilier ces visions pour maintenir ou maximiser la *valeur d'usage* tout au long du *cycle de vie*.
- Le *métamodèle* PACKiT propose d'évaluer la *valeur d'usage des actifs physiques*, ce qui implique de prendre en compte les *usages*, les *fonctionnalités* et les *fonctions (ambiances)* des actifs. La caractérisation de l'*aversion aux risques des décideurs* est également essentielle pour comprendre les enjeux liés à la gestion des actifs physiques.
- L'analyse des *caractéristiques des besoins en travaux* pour remettre la *valeur d'usage* à 100 % est un élément clé du PACKiT. En évaluant l'état de santé des actifs et en identifiant les travaux nécessaires pour atteindre une *valeur d'usage adéquate et satisfaisante*, le modèle permet de *prioriser les interventions et de planifier les dépenses en fonction des contraintes budgétaires*. De plus, le PACKiT prend en compte l'*horizon temporel par la durée de vie restante des actifs*, ce qui permet de mieux anticiper les besoins futurs en travaux de renouvellement et de maintenance.
- La *nature des travaux* (correctif, préventif, adaptation fonctionnelle, mise en conformité) est également prise en considération dans le modèle PACKiT, ce qui permet de cibler les actions appropriées pour améliorer la valeur d'usage des actifs. Et aussi, le PACKiT évalue les *différents risques* liés aux actifs, tels que la sécurité, la conformité à la législation, la qualité d'usage, et les hiérarchise en fonction de leur priorité. Cela permet de mettre en œuvre les actions les plus *critiques* en premier, même en cas de contraintes budgétaires.
- Méthode de recherche : L'étude s'est basée sur la méthode de recherche proposée autour de l'utilisation du PACKiT, qui permet de mesurer, observer et analyser la valeur d'usage, la perte de valeur, le financement et les besoins en travaux.

- Collecte et traitement de données : La collecte des données s'est faite sur site à partir de différentes sources, telles que les documents existants, les rencontres et entretiens avec les parties concernées, ainsi que les visites d'inspection technique des immeubles avec des professionnels.
- Indice de Vétusté Physique (IVP) et besoins en travaux de renouvellement : L'IVP est calculé en fonction de la VAR et des besoins en maintien d'actifs. Environ 68,6 % des bâtiments ont un IVP jugé *critique* (très mauvais) et nécessitant des travaux globaux de reconstruction ou de rénovation lourde. L'audit PACKiT a permis d'identifier ces besoins en travaux de renouvellement pour l'échantillon de 40 bâtiments représentatif de l'ensemble du parc immobilier. Le déficit de maintien d'actifs (DMA) pour ces bâtiments s'élève à 136,4 M\$, soit 64,8 % des besoins en maintien d'actifs à l'horizon de 5 ans (MA5).
- Priorisation des travaux : La recherche et son cas applicatif ont permis de déterminer les *actions prioritaires à court terme et à long terme* en fonction de *l'état de vétusté des bâtiments et de leur criticité*. Cela permet de *hiérarchiser les travaux* dans un contexte de *contraintes budgétaires*.

En résumé, la prise en compte de la *valeur d'usage* dans la gestion des *actifs physiques* urbains permet une meilleure compréhension de la complexité urbaine et des interactions entre les usages, les échelles et les cycles de vie. Cette approche permet de mettre en priorité les travaux nécessaires pour remettre la valeur d'usage à 100 % tout en tenant compte des contraintes budgétaires et des risques associés. Aussi, la caractérisation de l'aversion aux risques des décideurs et l'analyse des caractéristiques des besoins en travaux sont essentielles pour assurer une gestion durable et efficace des actifs physiques urbains.

D'autant plus, qu'on peut démontrer que le *métamodèle* PACKiT permet une *mise en priorité des travaux* en fonction des *usages*, des *fonctionnalités*, des *fonctions*, des *caractéristiques des besoins en travaux*, et des *risques* associés aux actifs.

En conclusion, l'application empirique et l'analyse des besoins en travaux, en prenant en compte les caractéristiques pour ramener la valeur d'usage à 100 %, *permettent effectivement de hiérarchiser les travaux* dans un *contexte de contraintes budgétaires*. Cette approche permet de cibler les *actions prioritaires* à réaliser pour maintenir la valeur d'usage des bâtiments, tout en optimisant l'utilisation des ressources financières disponibles.

8.8 Prospective scientifique de la thèse

L'expansion du commerce mondial et l'accumulation de capital en Europe, conjuguées aux découvertes scientifiques des XVIème et XVIIème siècles, ont jeté les premières fondations du capitalisme en tant que système économique et social. La notion de propriété privée des moyens de production et la poursuite du profit par leur exploitation émergent.

Il est peut-être significatif que pendant le Siècle d'or des Provinces-Unies (Pays-Bas), une période marquée par une prospérité et des avancées inégalées, le travail emblématique de René Descartes, « Discours de la méthode pour bien conduire sa raison, et chercher la vérité dans les sciences », voie le jour. Descartes suggère que la « *somme des parties constitue l'ensemble* ». Il aspire à ce que les sciences soient le vecteur de vérité. Nous assistons alors aux prémices d'un cheminement vers le « *calculocentrisme* », c'est-à-dire une foi excessive dans la capacité de tout mathématiser, de tout réduire à la science. Cela conduit à une objectivation extrême et à la perte de la singularité intrinsèque à chaque individu.

Certains avancent que le capitalisme moderne, propulsé par la révolution industrielle du XIXème siècle et les progrès scientifiques du XXème, a transformé le « *Je pense, donc je suis* » de Descartes en un « *Je dépense, donc je suis* » symbolisé par des cartes... de crédit. Une glorification du capitalisme par une approche scientifique omniprésente, et une cupidité manifeste dans la recherche incessante du profit, une division du travail rigide, une compétition exacerbée sur les marchés libres, et une philosophie économique de « laissez-faire » extrême.

Complexité et incertitude dominant notre époque à un niveau sans précédent. Seule une appréciation des liens et interactions dans tous les systèmes - économiques, écologiques, sociologiques, scientifiques - peut guider la transformation future. Inspiré par Blaise Pascal, contemporain de Descartes, qui affirmait qu'il faut « *connaître le tout pour connaître les parties* » et inversement, « *connaître les parties pour connaître le tout* », Edgar Morin introduit son concept novateur de la « pensée complexe » afin de nous aider à relever ces défis.

Cette thèse a souligné l'importance d'une démarche *éthique*. La transformation nécessaire exige une nouvelle perspective sur les individus, les événements et le monde. Cette éthique repose sur l'abandon par chacun de sa capacité à nuire et sur une résistance à la « cruauté du monde et à la barbarie de l'humanité » omniprésentes, comme le souligne Morin dans le sixième tome de « La Méthode ».

C'est cette évolution, cet écart entre les perspectives, que la thèse a cherché à illustrer : une tentative, bien qu'imparfaite et lacunaire, de réconcilier 369 ans d'histoire entre les

« méthodes » de Descartes et de Morin, dévoilant ce que nous avons appelé la « *mathém-éthique* ».

Cette thèse a des implications pratiques et théoriques pour l'avenir. Elle vise à faire apparaître certains enjeux, certaines orientations, stratégies et méthodes ainsi que les moyens à privilégier pour répondre à de nouvelles questions.

Les perspectives de recherche qui peuvent être issues de notre thèse, dans les domaines scientifique, technique, politique, économique, social, environnemental et éthique constituent à nos yeux le meilleur critère de la pertinence de notre travail pour la communauté scientifique et pour la société dans son ensemble.

Les conclusions que le lecteur tirera de cette thèse peuvent être approfondies ou étendues dans de nouvelles directions. Ainsi, en situant la présente recherche dans une perspective plus large et en la reliant à des questions plus générales et à des enjeux actuels, nous faisons le pari qu'une vision à long terme de la recherche en gestion d'actifs physiques est possible et nécessaire.

Pour conclure, énumérons quelques-unes des perspectives scientifiques sur lesquelles débouche notre recherche :

1. **« La revalorisation de la valeur urbaine au-delà du PIB : vers de nouveaux indicateurs de prospérité urbaine par l'intégration du cycle de vie et de la valeur d'usage »** : Cette recherche viserait à développer de nouveaux indicateurs de prospérité urbaine qui dépassent la simple mesure du PIB. L'objectif est de revaloriser la valeur des actifs physiques des villes en intégrant des dimensions sociales, environnementales et culturelles dans l'évaluation de la performance urbaine avec comme base les cycles de vie et la valeur d'usage de la ville. Il s'agit de comprendre comment ces nouveaux indicateurs pourraient guider les décisions et actions visant à maintenir, renouveler et développer les actifs urbains existants tout en favorisant une approche durable de l'urbanisation.

2. **« La planification urbaine durable et la gestion des actifs physiques pour favoriser une économie circulaire dans les villes »** : Cette recherche viserait à étudier comment la planification urbaine durable peut contribuer à la gestion efficace des actifs physiques dans des villes de taille diverses. L'objectif est d'explorer comment une approche d'économie circulaire peut être intégrée dans la gestion des ressources et des actifs urbains pour minimiser les déchets, promouvoir

le réemploi et la régénération des espaces urbains, et améliorer la résilience face aux enjeux du développement durable.

3. « **La mathém-éthique comme base de la gouvernance participative et la justice sociale dans la gestion des actifs physiques urbains** » : Cette recherche viserait à étudier comment la gouvernance participative peut être utilisée pour améliorer la gestion des actifs physiques urbains et promouvoir la justice sociale dans les villes en croissance. L'objectif est d'explorer comment la participation citoyenne peut être intégrée dans la prise de décisions urbaines pour garantir une gestion responsable et équitable des actifs physiques et répondre aux besoins des populations locales.
4. « **L'influence des politiques urbaines sur le développement, la gestion des actifs physiques et la gouvernance dans les villes en croissance démographique** » : Cette recherche viserait à étudier comment les politiques urbaines influencent la gestion des ressources et la gouvernance dans les villes confrontées à une croissance démographique rapide et à une concentration urbaine croissante. L'objectif est d'analyser comment les décisions politiques et les stratégies de développement urbain peuvent contribuer à relever les défis environnementaux, sociaux et économiques liés à la croissance de la population.
5. « **L'intégration des connaissances locales dans la gestion soutenable des actifs physiques durant tous leurs cycles de vie dans les milieux urbains en croissance** » : Cette recherche viserait à étudier comment les savoirs locaux et traditionnels peuvent être intégrés dans la gestion urbaine pour répondre aux défis de la croissance démographique et de la concentration urbaine. L'objectif est de comprendre comment les connaissances locales sur les écosystèmes, les pratiques agricoles durables, la gestion de l'eau, etc., peuvent être valorisées pour améliorer la résilience et la soutenabilité des villes.
6. « **L'innovation technologique comme catalyseur de solutions soutenables pour les villes en croissance démographique** » : Cette recherche viserait à examiner comment les innovations technologiques peuvent être utilisées comme catalyseurs pour relever les défis liés à la croissance démographique et à la concentration

urbaine. L'objectif est de comprendre comment les technologies émergentes telles que l'intelligence artificielle, les villes intelligentes, les énergies renouvelables, etc., peuvent être mises à profit pour améliorer la qualité de vie, la gestion des ressources et l'efficacité énergétique dans les villes en croissance.

7. **« Stratégies d'adaptation des villes face aux pressions environnementales » :** Cette recherche viserait à se concentrer sur l'identification et l'évaluation des différentes stratégies mises en œuvre par les villes pour faire face aux pressions environnementales résultant de l'exploitation non durable du *Capital naturel*. Les études de cas pourraient inclure des exemples de villes qui ont réussi à intégrer des politiques de gestion durable des ressources naturelles, des initiatives d'économie circulaire, de sobriété et des solutions technologiques innovantes pour réduire leur impact sur l'environnement. L'objectif serait de fournir des recommandations pratiques aux villes du monde entier pour repenser leur production, leur consommation et leur utilisation des ressources de la biosphère.

8. **« Innovation technologique pour une économie durable et circulaire » :** Cette recherche viserait à se concentrer sur l'exploration et l'analyse des opportunités offertes par l'innovation technologique pour soutenir une économie durable et circulaire. Des domaines tels que la numérisation, les énergies renouvelables, la bio-ingénierie et les technologies de recyclage pourraient être étudiés en détail pour comprendre comment ils peuvent contribuer à la préservation du *Capital naturel* et à la réduction de l'impact environnemental des activités urbaines. L'objectif serait de proposer des pistes novatrices pour repenser les modèles économiques et industriels afin de créer une économie plus respectueuse de l'environnement et des ressources naturelles.

9. **« La sensibilisation et l'éducation comme moteurs du changement vers une gestion durable des ressources » :** Cette recherche viserait à se concentrer sur le rôle crucial de la sensibilisation et de l'éducation dans la promotion du changement vers une gestion durable des ressources en milieu urbain. Des enquêtes pourraient être menées pour comprendre le niveau de sensibilisation du grand public et des décideurs politiques sur les enjeux environnementaux liés au *Capital naturel*. Des

programmes éducatifs et des campagnes de sensibilisation pourraient être évalués pour déterminer leur efficacité dans la promotion de pratiques plus durables en matière de production et de consommation. L'objectif serait de formuler des recommandations pour renforcer la sensibilisation et l'éducation afin de créer un engagement collectif en faveur d'une gestion plus responsable du *Capital naturel*.

10. « **Le développement d'un discours et d'un langage adapté pour représenter l'économie circulaire et écologique** » : Cette recherche consisterait à étudier et développer un langage économique adapté aux enjeux de l'économie circulaire et écologique. Il s'agirait d'explorer comment ce langage pourrait mieux refléter la réalité des cycles de vie des actifs physiques, les contraintes environnementales et les valeurs éthiques. Une telle étude permettrait de faciliter la communication entre les différents acteurs économiques et d'encourager l'adoption de pratiques plus durables.

11. « **La modélisation intégrée des dimensions du capital humain, naturel et cognitif dans l'évaluation de la valeur d'usage** » : Cette recherche viserait à développer des modèles économiques intégrant à la fois les dimensions humaines, naturelles et cognitives dans l'évaluation de la valeur d'usage. L'objectif serait de mieux comprendre comment les interactions entre les activités humaines, l'utilisation des ressources naturelles, l'impact environnemental et les connaissances qui essaient peuvent être pris en compte dans les modèles économiques. Ces modèles intégrés pourraient contribuer à guider les décideurs économiques vers des choix plus durables et plus respectueux de l'environnement.

12. « **L'analyse des impacts du *calculocentrisme* sur les politiques publiques et l'économie urbaine** » : Cette recherche se pencherait sur les effets du *calculocentrisme*, c'est-à-dire la survalorisation excessive des approches mathématiques dans les politiques publiques et l'économie urbaine. L'objectif serait d'analyser comment cette focalisation sur les mathématiques a pu influencer les politiques économiques, urbaines et sociales, et comment elle a pu contribuer aux défis environnementaux actuels. En comprenant mieux ces impacts, on pourrait

identifier des pistes pour réorienter les politiques publiques et économiques vers des solutions plus durables et résilientes.

13. **« Le développement d'une nouvelle méthode de dépréciation comptable adaptative et l'intégration de facteurs qualitatifs dans la détermination des amortissements »** : Cette recherche pourrait se concentrer sur la création d'une méthode de dépréciation comptable qui prend en compte la complexité des cycles de vie des actifs physiques et évolue en fonction de l'état réel de dégradation des actifs au fil du temps. Elle pourrait aussi se pencher sur l'intégration de facteurs qualitatifs tels que la satisfaction des besoins identifiés par l'organisation, les évolutions de la société et les risques imprévisibles dans le calcul des amortissements des actifs physiques.

14. **« L'évaluation de l'efficacité du méta-procédé PACKiT pour la gestion des actifs dans ses interactions entre les différents cycles de vie des actifs, sur le long terme »** : Cette recherche pourrait être menée pour évaluer l'efficacité du modèle PACKiT dans l'évaluation de la valeur d'usage des actifs physiques et sa capacité à optimiser les décisions de renouvellement et de remplacement des actifs. Et ce, en tenant compte des cycles de vie coexistants et des interactions entre eux pour définir comment ces interactions peuvent influencer la gestion et la maintenance des actifs physiques.

15. **« L'évaluation de l'impact des caractéristiques du maintien d'actifs sur la perte de valeur d'usage »** : Cette recherche pourrait être menée pour évaluer comment les caractéristiques spécifiques – dont la nature des travaux, la durée de vie restante, les risques, la criticité - des besoins en travaux de maintenance et de renouvellement peuvent influencer la valeur d'usage des actifs physiques.

16. **« L'étude de l'effet d'un méta-auditeur externe et du processus itératif d'élicitation dans la prise de décision »** : Cette recherche pourrait être réalisée pour évaluer l'impact de l'introduction d'un méta-auditeur externe et de l'implantation d'un processus itératif d'élicitation dans la fiabilité des données et du processus de prise de décision concernant la gestion des actifs physiques urbains.

17. « **Le développement de modèles prédictifs pour anticiper les besoins futurs en travaux et en financement pour les actifs physiques urbains** » : Cette recherche pourrait se concentrer sur le développement de modèles prédictifs qui permettent d'estimer les besoins futurs en financement pour la maintenance et le renouvellement des actifs physiques, en fonction de leur état de santé actuel.
18. « **L'application de l'intelligence artificielle pour optimiser les cycles de vie des actifs physiques** » : Ce projet de recherche se pencherait sur l'utilisation de l'IA pour améliorer la prévision de la durée de vie, le renouvellement et la maintenance des actifs physiques. En intégrant des algorithmes d'apprentissage automatique, on pourrait anticiper les défaillances et optimiser le calendrier de maintenance.
19. « **Contrebalancer le *calculocentrisme* grâce à l'IA** » : Utiliser l'IA pour modéliser des scénarios économiques et sociaux alternatifs qui ne dépendent pas exclusivement des mathématiques, offrant ainsi une perspective plus holistique et durable.
20. « **Analyse prédictive des interactions des cycles de vie avec PACKiT** » : Implanter des systèmes d'IA pour analyser et prévoir comment les différents cycles de vie des actifs interagissent, améliorant ainsi l'efficacité du modèle PACKiT.
21. « **IA et évaluation dynamique de la perte de valeur d'usage** » : Intégrer l'IA pour évaluer en continu comment les facteurs tels que la nature de travaux, la durée de vie restante, le risque et la criticité influencent la valeur d'usage.
22. « **Méta-audit assisté par IA et assistant virtuel pour les décideurs** » : Intégrer l'IA pour évaluer l'efficacité et la fiabilité des méta-auditeurs externes et des processus itératifs d'élicitation, offrant des recommandations en temps réel et des cibles d'amélioration. Et évaluer la pertinence et la « compétence » d'un assistant virtuel construisant les réponses adaptées aux questions posées par des décideurs, sur la base d'une connaissance concentrée et fiabilisée.

23. « **Systèmes d’alerte précoce basés sur l’IA pour les besoins en futurs travaux et en financement** » : Développer des systèmes qui, grâce à l’IA, anticipent les besoins en travaux et en financement pour l’aide à la prise de décision stratégique.
24. « **L’IA pour l’évaluation des risques imprévisibles et la dégradation physique dans la dépréciation comptable** » : Utiliser l’IA pour modéliser et prévoir les risques émergents et leur impact ainsi que les dégradations physiques sur la dépréciation des actifs.
25. « **Simulation basée sur l’IA, visant des scénarios pour une meilleure gouvernance des actifs physiques urbains par une économie soutenable** » : Développer et implanter l’IA pour optimiser la prise de décision en matière de gestion des actifs urbains, garantissant ainsi une utilisation plus efficace et durable des ressources et pour créer des scénarios économiques intégrant des pratiques écologiques et circulaires.
26. « **Modélisation des interactions entre l’humain, la nature et la cognition via l’IA et développement d’une économie résiliente** » : Utiliser l’IA pour développer des modèles complexes qui capturent les interdépendances entre ces trois dimensions, contribuant ainsi à une meilleure compréhension et à proposer, par exemple, un modèle d’économie circulaire adaptatif et résilient face aux défis futurs.
27. « **L’IA pour la modélisation de l’économie de partage** » : Explorer comment l’IA peut aider à optimiser et étendre les modèles économiques basés sur le partage, en tenant compte des défis environnementaux et sociaux.
28. « **Une meilleure intégration des valeurs éthiques dans les modèles économiques** » : Utiliser l’IA pour modéliser et intégrer les valeurs éthiques dans les décisions économiques, conduisant ainsi à des choix plus justes et durables.

29. « **L'évaluation des impacts sociaux par l'IA** » : Exploitation de l'IA pour analyser des données démographiques, socio-économiques et de bien-être pour évaluer l'impact de la mesure de la valeur d'usage sur les communautés locales.
30. « **Optimisation de la valeur d'usage à l'échelle urbaine par le maillage de parcs d'actifs physiques appartenant à différentes organisations** » : Cette recherche viserait à modéliser des parcs d'actifs physiques comme un réseau interdépendant et en interrelation afin d'optimiser les usages, les consommations et les déchets.

RÉFÉRENCES ET BIBLIOGRAPHIE

- Adam, D. (2020). Special report: The simulations driving the world's response to COVID-19, How epidemiologists rushed to model the coronavirus pandemic. *Nature*, 580, 316-318.
- Adams, J. S. (2005). Hoyt, H. 1939: The Structure and Growth of Residential Neighborhoods in American Cities. Washington, DC: Federal Housing Administration. *Progress in Human Geography*, 29 (3). 321–325. <https://doi.org/10.1191/0309132505ph552xx>
- Adler, P. S., Kwon, S. W., & Heckscher, C. (2008). Perspective—professional work: The emergence of collaborative community. *Organization science*, 19(2), 359-376.
- Agriculture, Industries, Municipalités : FAO-AQUASTAT. (2010). *I.A. Shiklomanov: 1900- 2000 ; Évaporation des lacs artificiels/réservoirs*.<https://www.fao.org/aquastat/fr/overview/methodology/water-use>
- Akerlof, G. A. (1970). The Market for “Lemons” : Quality Uncertainty and the Market Mechanism. *The Quarterly Journal of Economics*, 84 (3), 488-500, <https://doi.org/10.2307/1879431>
- Aktouf et coll. (2012). *Le management entre tradition et renouvellement, 5e édition*. Gaëtan Morin éditeur.
- Alain. (1928). *Propos sur le bonheur*. Collection Idées (362), Gallimard, Philosophie, sciences cognitives.
- Alencar, AR. "Reliability and Maintainability Strategies for Repairable Systems in a Mass Transit Rolling Stock Subway." *Proceedings of the 2021 Joint Rail Conference. 2021 Joint Rail Conference*. Virtual, Online. April 20–21, 2021. V001T04A001. ASME. <https://doi.org/10.1115/JRC2021-57999>
- Algopack. (2020, 23 mars). *Les algues, enjeux de transition écologique*. Youtube. <https://www.youtube.com/embed/ucQgBIMlqyM>
- Allain, P. (2013). La prise de décision : aspects théoriques, neuro-anatomie et évaluation. *Revue de neuropsychologie*, 5, 69-81. <https://doi.org/10.3917/rne.052.0069>
- Allais, M. (1943). *Traité d'économie pure*. Imprimerie nationale.
- Allen, T. M. (2001). Us navy analysis of submarine maintenance data and the development of age and reliability profiles. *Department of the Navy SUBMEPP*.

- Ambrosi, F. et Alain Bru, A. (2018,10 septembre). *Armes - Armes légères*. Encyclopædia Universalis. <http://www.universalis.fr/encyclopedie/armes-armes-legeres/>
- American Forest & Paper Association. (2020, 23 mars). <https://www.afandpa.org/>
- American Forest & Paper Association. (2020, 23 mars). <https://www.afandpa.org/>
- Amyot, J. (1937). *Plutarque : Les Vies des hommes illustres, tome I*. Gérard Walter (Éditeur scientifique). Gallimard.
- Andersson, M. and Lövin, I. (2015). *Sweden: Decoupling GDP growth from CO2 emissions is possible*. Swedish Environmental Protection Agency, Statistic Sweden & World Bank Blogs. <https://blogs.worldbank.org/climatechange/sweden-decoupling-gdp-growth-co2-emissions-possible>.
- Antonin, C. (2013). Après le choc pétrolier d'octobre 1973, l'économie mondiale à l'épreuve du pétrole cher. *Revue internationale et stratégique*, 3(91), 139-149. <https://doi.org/10.3917/ris.091.0139>.
- APUR. (2007). *Consommations d'énergie et émission de gaz à effet de serre (GES) liées au chauffage des résidences principales parisiennes*. https://50ans.apur.org/data/b4s3_home/fiche/114/03_consommation_energie_emission_gaz_effet_serre_120ec.pdf
- APUR. (2018, 22 novembre). *Consommations d'énergie et émission de gaz à effet de serre (GES) liées au chauffage des résidences principales parisiennes*. https://50ans.apur.org/data/b4s3_home/fiche/114/03_consommation_energie_emission_gaz_effet_serre_120ec.pdf
- Archives de l'AP-HP. (2017, 17 décembre). <http://archives.aphp.fr/challenge-2019-a/>
- Aristote. (4ième siècle). *La politique* (1995). Vrin.
- Aristote. (4ième siècle). *La métaphysique* (1986). Vrin - Bibliothèque des Textes Philosophiques.
- Arnold, C. (2018). Le parc de logements en France au 1er janvier 2018. *Division Logement, Insee, INSEE FOCUS*, 126. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/3620894>
- Arnold, D. (2006). Un conte de deux villes : lectures biographiques du West End londonien. Dans N. Bourguinat, et J. Mehl, *Les mises en scène(s) de l'espace : Faux-semblants, ajustements et expériences dans la ville* (117-139). Presses universitaires de Strasbourg.
- Arrow, K. J. and Maskin, E.S. (1951). *Social Choice and Individual Values* (2012). Yale University Press. <http://www.jstor.org/stable/j.ctt1nqb90>

- Asiedu, Y., & Gu, P. (1998). Product life cycle cost analysis: state of the art review. *International journal of production research*, 36(4), 883-908. <https://doi.org/10.1080/002075498193444>
- ASTM E1557 - 09 (2020)e1 - *Standard Classification for Building Elements and Related Sitework - UNIFORMAT II*. <https://www.astm.org/Standards/E1557.htm>
- ASTM E3035 -15. (2020). *Standard Classification for Facility Asset Component Tracking System (FACTS)*. <https://www.astm.org/Standards/E3035.htm>
- Attallah, P. (1989). *Théories de la communication : histoire, contexte, pouvoir*. Presses de l'Université du Québec.
- Aviation Safety Network. (2021, 29 janvier). *Safety Database: over 20,300 incidents, hijackings and accidents*. Flight Safety Foundation. <https://aviation-safety.net/>
- Bacchus, J. (2011, 20 mai). A Rear Earth Showdown Looms. *Wall Street Journal*.
- Bader, B. H., Badar, M. A., Rodchua, S., & McLeod, A. (2020). A study of the balancing of lean thinking and stakeholder salience in decision-making. *The TQM Journal*.
- Barillé, C. (2007). Lariboisière : un hôpital pour les travailleurs parisiens. Étude sur les publics et les fonctions d'un hôpital moderne en 1887. *Le Mouvement Social*, 4 (221), 71-94. <https://doi.org/10.3917/lms.221.0071>
- Baudrillard, J. (1972). *Pour une critique de l'économie politique du signe*. Collection Les Essais (n° 168), Gallimard.
- Bekker, P. C. F. (1982). A life-cycle approach in building. *Building and Environment*, 17(1), 55-61. [https://doi.org/10.1016/0360-1323\(82\)90009-9](https://doi.org/10.1016/0360-1323(82)90009-9)
- Bell, A.G. (1881). *TELEPHONE CIRCUIT, UNITED STATES PATENT OFFICE No. 244,426*. <https://patents.google.com/>
- Bennett, J. W. (1976). *The ecological transition: cultural anthropology and human adaptation*. (2017). Routledge.
- Bentham, J. (1789). *An Introduction to the Principles of Morals and Legislation* (2007). Dover Publications Inc., Dover Philosophical Classics.
- Bernard, W. et Hoff, M. (1962). *Logic circuit and electrolytic memory element therefore*. US3222654A, United States, Patented December 07, (1962).
- Berners-Lee, T (1988, mars). *Information Management: A Proposal*. Conseil européen pour la recherche nucléaire (CERN). <https://www.w3.org/History/1989/proposal.html>

- Biondi, Y. (2011). The pure logic of accounting: A critique of the fair value revolution. *Accounting, Economics, and Law*, 1(1).
- Blanchard, O. (1993). Consumption and the Recession of 1990-1991. *The American Economic Review* 83(2), 270-74. <http://www.jstor.org/stable/2117676>
- Bolt, J. and van Zanden, J.L. (2020). *Maddison style estimates of the evolution of the world economy. A new 2020 update*. Maddison-Project Working Paper WP-15.
- Bonnet, F. (2015). Architecture des milieux. *Le Portique [En ligne]*, 25 | 2010, document 12, URL : <http://journals.openedition.org/leportique/2493> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/leportique.2493>
- Borel, E. (1921). La théorie du jeu et les équations intégrales à noyau symétrique gauche. *C.R. Hebd. Seances Acad. Sci.*, 173, 1304-1308.
- Borel, E. (1941). *Le jeu, la chance et les théories scientifiques modernes*. Collection L'Avenir de la Science, 15.
- Boucher, P.-B. (1806). *Histoire de l'Usure* (2018). Wentworth Press.
- Bougard, F et Dumézil, B. (2008). *Peut-on parler de villes au haut Moyen Âge ?* (Séminaire de recherche, Laboratoire VilMA (Histoire comparée des villes au Moyen Âge ENS de Lyon, Université de Lyon). <http://labo-junior.ens-lyon.fr/vilma/>
- Bourdieu, P. (1979). *La Distinction : Critique sociale du jugement*. Les éditions de minuit, Collection Le sens commun.
- Bourguinat, N. et Mehl, J. (2006). *Les mises en scène(s) de l'espace : Faux-semblants, ajustements et expériences dans la ville*. Presses universitaires de Strasbourg. <https://doi.org/10.4000/books.pus.12615>
- Bourillon, F. (2016). La loi du 13 avril 1850 ou lorsque la Seconde République invente le logement insalubre. *Revue d'histoire du XIXe siècle*. 20-21. <http://doi.org/10.4000/rh19.212>
- Bourrier, M. (1998). *Le nucléaire à l'épreuve de l'organisation*. FeniXX.
- Bousseyroux, M. (2014). Le nœud borroméen et la question de la folie. Ce qui s'apprend de Joyce. *L'en-je lacanien*, 23, 75-84. <https://doi.org/10.3917/enje.023.0075>
- Bowen, A. et coll. (2009). *The implications of the economic slowdown for greenhouse gas emissions and targets*. <https://www.cccep.ac.uk/publication/the-implications-of-the-economic-slowdown-for-greenhouse-gas-emissions-and-targets/>

- Bracco, G., Canale, M. et Cerone, V. (2020) Optimizing energy production of an Inertial Sea Wave Energy Converter via Model Predictive Control. *Control Engineering Practice*, 96. <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2020.104299>
- Braudel, F. (2014). *La Dynamique du capitalisme*. Flammarion.
- Breiman, L. (2001). Statistical modeling: The two cultures (with comments and a rejoinder by the author). *Statistical science*, 16(3), 199-231.
- Broberg, H. (1973). *Failure Rate Functions from Test Data*.
- Bru K., Christmann P., Labbé J.F. et Lefebvre G. (2015). *Panorama mondial 2014 du marché des Terres Rares*. Rapport public.
- Brundtland, G. (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*. United Nations General Assembly document A/42/427. <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>
- Burrows, E.G. et Wallace, M. (1998). *Gotham: a history of New York City to 1898*. Oxford University Press.
- Burton, A. (2002). *Richard Trevithick : Giant of Steam*. Aurum Press.
- Callon, M. (1990). Techno-economic networks and irreversibility. *The sociological review*, 38(1_suppl), 132-161.
- Callon, M., & Latour, B. (1997). 'Tu ne calculeras pas !' ou comment symétriser le don et le capital. *Revue du MAUSS*, 9(1), 45-70.
- Carbonari, G., Stravoravdis, S. and Gausden, C. (2018). Improving FM task efficiency through BIM: a proposal for BIM implementation. *Journal of Corporate Real Estate*.
- Carnot, S. (1872). Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance. *Annales scientifiques de l'É.N.S.*, 2^e série (1), 393-457. http://www.numdam.org/item?id=ASENS_1872_2_1_393_0
- Carrega, M., Verney, V., Vuillemin, B., Dupire, M., Agassant J.F. et al. (2017). *Matières plastiques*. Collection : Technique et ingénierie, Dunod.
- Chancel, J., et Foucault, M. (2014). *Radioscopie (philosophes) : Jacques Chancel reçoit Michel Foucault (1975)*. Ina, Radio France.
- Chawla, D. S. (2020). Critiqued coronavirus simulation gets thumbs up from code-checking efforts, Influential model judged reproducible although software engineers called its code 'horrible' and 'a buggy mess. *Nature*, 582, 323-324. <https://doi.org/10.1038/d41586-020-01685-y>

- Chiesura, A. and de Groot, R. (2003). Critical natural capital: a socio-cultural perspective. *Ecological Economics*, 44 (2–3), 219-231.
[https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00275-6](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00275-6).
- Chourabi, H., Nam, T., Walker, S., Gil-Garcia, J. R., Mellouli, S., Nahon, K., ... & Scholl, H. J. (2012, January). Understanding smart cities: An integrative framework. In *2012 45th Hawaii international conference on system sciences* (pp. 2289-2297). IEEE. DOI: 10.1109/HICSS.2012.615
- Clark, M., Tilman, D. (2017). Comparative analysis of environmental impacts of agricultural production systems, agricultural input efficiency, and food choice. *Environmental Research Letters*, 12(6).
- Clausius, R. (1879). *The Mechanical Theory of Heat*. Macmillan and co.,
<https://survivingprogress.files.wordpress.com/2013/03/clausius1879.pdf>
- Cleaves, D. A. (1987). Cognitive biases and corrective techniques: proposals for improving elicitation procedures for knowledge-based systems. *International Journal of Man-Machine Studies*, 27(2), 155-166.
- Coignet, F. (1878). *Exposition universelle de 1878. A MM. les membres du jury pour les classes 47 et 51. Coignet père et fils et Cie. (État de leurs services industriels.)*. Éditeur scientifique.
- Condorcet, J.-A.-N. (1785). *Essai sur l'application de l'analyse à la probabilité des décisions rendues à la pluralité des voix*. Éditeur de l'Impr. Royale. Collection les archives de la Révolution française. Bibliothèque nationale de France.
<http://catalogue.bnf.fr/ark:/12148/cb37237493x>
- Confédération Française pour les Essais Non Destructifs (2021, 21 janvier).
<https://www.cofrend.com/>
- Cook, H. J. (2008). Amsterdam, entrepôt des savoirs au XVIIIe siècle. *Revue d'histoire moderne & contemporaine*, 55(2), 19-42. <https://doi.org/10.3917/rhmc.552.0019>
- Coulomb, R. (2013,13 mai). *Eugène Belgrand (1810-1878)*. Bulletin de la Sabix, 48.
<http://journals.openedition.org/sabix/992>.
- Couppey-Soubeyran, Jézabel. (2013). Le paradoxe de Saint-Pétersbourg . *Alternatives Économiques*, 322 (3).
- Cournot, A. (1838). *Recherches sur les principes mathématiques de la théorie des richesses*. L. Hachette, Librairie de l'Université Royale de France.
<https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k6117257c.texteImage>
- Crosby, P. B. (1980). *Quality is free: The art of making quality certain*. Signet Book.

- Crosby, P. B. (1985). *Quality without tears*. New American Library.
- Cullen, W. D. (1990). *The public inquiry into the Piper Alpha disaster. Volume 1-2 the Hon Lord Cullen ; presented to Parliament by the Secretary of State for Energy*. London : H.M.S.O, Great Britain. Department of Energy, Cm (Series) (Great Britain. Parliament), 1310. <https://www.hse.gov.uk/offshore/piper-alpha-disaster-public-inquiry.htm>
- Curless, B., & Levoy, M. (1996, August). A volumetric method for building complex models from range images. In *Proceedings of the 23rd annual conference on Computer graphics and interactive techniques* (pp. 303-312).
- Daas, P., & Puts, M. (2014). Big data as a source of statistical information. *The Survey Statistician*, 69(1), 22-31.
- Daily, G. (1997) . *Nature's Services*. Island Press, Washington.
- Daly, H. (2020). A note in defense of the concept of natural capital. *Ecosystem Services*, 41. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.101051>
- Daly, H.E.. (1996). *Beyond Growth: The Economics of Sustainable Development*. Beacon Press, Boston.
- Daniel, J.-M. (2007, 14 mai). La querelle des deux Cambridge. *Journal Le Monde*. https://www.lemonde.fr/economie/article/2007/05/14/la-querelle-des-deux-cambridge_909576_3234.html
- Dauphin, S (2011). Théories du management. *Informations sociales*, 167(5), 6-9.
- Davies, R. (2018, 29 octobre). Hammond abolishes PFI contracts for new infrastructure projects. *The Guardian*. <https://www.theguardian.com/uk-news/2018/oct/29/hammond-abolishes-pfi-contracts-for-new-infrastructure-projects>
- De Bruyn, S.M, Van den Bergh, J.C.J.M, et Opschoor, J.B. (1998). Economic growth and emissions: reconsidering the empirical basis of environmental Kuznets curves, *Ecological Economics*. Volume 25. Issue 2. Pages 161-175. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(97\)00178-X](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(97)00178-X)
- De Larosière, J., (2022). *En finir avec le règne de l'illusion financière, Pour une croissance réelle*. Odile Jacob.
- de Rosnay, J. (1975). *Le microscope*. Éditions du Seuil.
- De Saussure, F. (1916). *Cours de linguistique générale, tome 1* (1989). Otto Harrassowitz Verlag.

- De Vroey, M. (1985). La Théorie Du Salaire De Marx : Une Critique Hétérodoxe. *Revue Économique*, 36.(3),. 451–480. JSTOR. www.jstor.org/stable/3501642.
- Debreu, G. (1959). *Theory of value: An axiomatic analysis of economic equilibrium, (vol 17)*. Yale University Press.
- Defoe, J.A. et Juran, J.M. (1951). *Juran's Quality Handbook: The Complete Guide to Performance Excellence* (2016). McGraw-Hill Education.
- Deleuze, G. et Guattari, F. (1972). *Capitalisme et schizophrénie 1 : L'Anti-Œdipe*. Les éditions de minuit, Collection Critique.
- Deleuze, G. et Guattari, F. (1972). *Capitalisme et schizophrénie 2 : Mille plateaux*. Les éditions de minuit, Collection Critique.
- Deming, W.E. (1950). *Some Theory on Sampling*. John Wiley & Sons, New York.
- Deming, W.E. (1982). *Quality Productivity and Competitive Position*. Massachusetts Inst Technology (MIT), Center for Advanced Engineering Study.
- Descartes, R. (1637). *Discours de la méthode* (2000). Flammarion.
- Dixit, U.& al. (2017). *A Brief History of Mechanical Engineering, Materials Forming, Machining and Tribology*. Springer International Publishing.
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-42916-8>
- Doran, G. T. (1981). There's a SMART way to write management's goals and objectives. *Management review*, 70(11), 35-36.
- Duhau, I., Laget, P.L., et Laroche, C. (2012). *L'hôpital en France, histoire et architecture*. Lieux Dits.
- Dupuit, J. (1844). Annales des ponts et chaussées. De la mesure de l'utilité des travaux publics. *Revue française d'économie* (1995), 10(2), 55-94.
https://www.persee.fr/doc/rfec0_0769-0479_1995_num_10_2_978.
- Ehrlich, P. R. *The population bomb*. New York.
- England, R. (2000). Natural capital and the theory of economic growth. *Ecological Economics*, 34, 425-431. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(00\)00187-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(00)00187-7).
- Escande, P., et Bouissou, J. (2020, 25 mars). Après l'épidémie et le confinement, la crainte d'une dépression comparable à la crise de 929 - Gouvernements et banques centrales cherchent à éloigner le risque d'un effondrement en chaîne, alors que l'économie est mise à l'arrêt. *Journal Le Monde*.

- European PPP Expertise Centre (2021). *Le guide EPEC des PPP : Manuel de bonnes pratiques*. Banque européenne d'investissement. DOI: [10.2867/8101](https://doi.org/10.2867/8101)
- Evans, G.W. et Ramey, G. (2006). Adaptive expectations, underparameterization and the Lucas critique. *Journal of monetary economics*, 53(2), 249-264.
- Everett, D. (2021). *The future of urban schools: integrating community into vertical school architecture* [thèse de maîtrise en architecture, Laurentian University]. URI. <https://zone.biblio.laurentian.ca/handle/10219/3705>
- *Expérimenter la construction du bâtiment performant de demain*. (2020, 28 septembre). <https://www.ecologie.gouv.fr/expérimenter-la-construction-du-batiment-performant-de-demain#e1>.
- Eychenne, F. (2009). *La ville 2.0, complexe et familière*. FYP éditions.
- Fairchild, A.M. (2002). Knowledge management metrics via a balanced scorecard methodology, *Proceedings of the 35th Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, pp. 3173-3180, doi: 10.1109/HICSS.2002.994356
- Fairfield O. H.jr. (1948). *Planète Au Pillage* (2008). Actes Sud.pages.
- FAO. (2015). Système d'information mondial de la FAO sur l'eau et l'agriculture. Aquastat. <http://www.fao.org/aquastat/fr/overview/methodology/water-use>
- Fayol, H. (1916). *Administration industrielle et générale* (1999). Dunod.
- Feigenbaum, A.V. (1991). *Total Quality Control, Revised* (Fortieth Anniversary Edition), Volume 1. McGraw-Hill.
- Ferguson, N. M., Laydon, D., Nedjati-Gilani, G. and al. (2020, 16 mars). *Impact of non-pharmaceutical interventions (NPIs) to reduce COVID-19 mortality and healthcare demand*. <https://doi.org/10.25561/77482>
- Ferreboeuf, H. & al. (2018.) *Lean ict, pour une sobriété numérique*. The Shift Project. <https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2018/11/Rapport-final-v8-WEB.pdf>
- Ferreboeuf, H. & al. (2018). *Déployer la sobriété numérique*. The Shift Project. <https://theshiftproject.org/article/deployer-la-sobriete-numerique-rapport-shift/>
- Festinger, L. (1957). *A Theory Of Cognitive Dissonance*. Stanford University Press.
- *Financial Accounting Standard Board*. <https://asc.fasb.org/>
- Florkin, M. (1951). Histoire de la Technique de Mesure du Métabolisme en Circuit Fermé (Appareils de Schwann, Qxy Génographe de Léon Frederico, Manuscrits).

Archives Internationales de Physiologie, 59 (2), 254-256.

<https://doi.org/10.3109/13813455109145008>

- FocusIFRS, Conseil supérieur de l'Ordre des Experts-comptables et la Compagnie Nationale des Commissaires aux Comptes (2021). *Normes et Interprétations, IAS/IFRS 16 Immobilisations corporelles*.
http://www.focusifrs.com/menu_gauche/normes_et_interpretations/textes_des_normes_et_interpretations/ias_16_immobilisations_corporelles
- Food and Agriculture Organization, electronic files and web site, License : CC BY-4.0. (2020, 28 janvier). *Forest area (sq. km)*.
<https://www.fao.org/3/ca9825en/ca9825en.pdf>
- Forrester, J. W. (1969). *Urban Dynamics*. MIT Press.
- Foucault, J-P. (2003). Public/Private Partnerships in Quebec. Dans, *PEB Exchange, Programme on Educational Building*, 23-24. OECD Publishing.
<http://dx.doi.org/10.1787/703517248050>
- Foucault, J-P. (2018). Métabolisme, flexibilité et maintien des actifs immobiliers hospitaliers : méthode d'audit et modèle PACKiT. Dans F. Langevin (dir.), *Architecture et ingénierie à l'hôpital : Le défi de l'avenir* (199-211). Presses de l'EHESP.
- Foucault, J.-P. (1999). Vers l'atteinte du déficit zéro. *Le Diffuseur*, 1(3).
https://www.agpi.org/documents/file/Diffuseur/vol1_3.pdf
- Foucault, J.-P. (2000). La gestion des immeubles publics : banal problème ou enjeu de société ? *Le Diffuseur*, 2(4).
https://www.agpi.org/documents/file/Diffuseur/vol2_4.pdf
- Foucault, J.-P. (2003). Les dix questions fondamentales de la gestion immobilière. *Le Diffuseur*, 5(3),18. https://www.agpi.org/documents/file/Diffuseur/vol3_1.pdf
- Foucault, J.-P. (2004). La passation des pouvoirs en gestion des patrimoines immobiliers publics du Québec : la croisée des chemins. *Le Diffuseur, Volume 6* (4).
https://www.agpi.org/documents/file/Diffuseur/Vol6_4.pdf,
- Foucault, J.-P. (novembre 1997). Évaluation du parc immobilier de la commission scolaire. *Rapport soumis à la Commission scolaire Baldwin-Cartier*. Pointe-Claire, Québec, Canada 21 pp.
- Foucault, J.-P. et Leclerc, G. (2003). *Le tableau de bord MAESTRO pour la gestion des installations*. Presses internationales polytechniques. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00954290>

- Foucault, J.-P., Moulier Boutang, Y. (2015). Towards economic and social "sensors": condition and model of governance and decision-making for an organological smart city. *IET Conference Proceedings, 2015*, p. 7.-7., DOI: 10.1049/cp.2015.0262
- Foucault, J.-P., Moulier-Boutang, Y. (2017). Management of urban complexity: the problem of sustainability in urban planning, *XI International scientific and practical conference "Modern Management: Problems and Prospects" - April 27-28th 2017*, Saint Petersburg State University of Economics, Saint Petersburg (Russia).
- Foucault, J.P. (2021, 18 juin). *La « mathém-éthique », proposition pour un nouveau champ disciplinaire*. Architecture hospitalière et développement durable, Séminaire WEB de la Chaire de management des technologies de la santé de l'EHESP. Paris, France.
- Foucault, M. (1966). *Les mots et les choses. Une archéologie des sciences humaines*. Gallimard.
- Foucault, M. (1967). Des espaces autres : conférence au Cercle d'études architecturales, 14 mars 1967). *Architecture, Mouvement, Continuité*, 5, 46-49.
- Foucault, M. (1975). *Surveiller et punir: Naissance de la prison*. Gallimard.
- Foucault, M. (1994). *Dits et écrits, 1954-1988, Tome III : 1976-1979*. Gallimard. DOI: 10.14375/NP.9782070739882
- Fourcade, N. et Von Lennep, F. (DREES), et Isabelle Grémy, I. et Bourdillon, F. (Santé publique France). (2019, mars). *Principales causes de décès et de morbidité. L'état de santé de la population en France, Rapport 2017*. <https://drees.solidarites-sante.gouv.fr/>
- Freud, S. (1920). *Au-delà du principe de plaisir* (2010). Éditeur Payot.
- Freud, S. (2016). (version originale 1930). *Le malaise dans la civilisation*. Média Diffusion.
- Fukasaku, K. et Solignac Lecomte, H.-B. (1996). Transition économique et réforme de la politique commerciale en Chine. *Revue d'économie du développement, numéro thématique : L'économie chinoise, 4-1-2*, 185-205.
- Furet, F. (1985). *Penser la Révolution française*. Gallimard.
- Galbraith, J.K. (2004). *The Economics of Innocent Fraud: Truth For Our Time*. Houghton Mifflin Harcourt.
- Gallegati, M, et al. (2008). The asymmetric effect of diffusion processes: Risk sharing and contagion. *Global Economy Journal* 8(3). <https://doi.org/10.2202/1524-5861.1365>

- Gastaldy, P. (2000). Les besoins n'attendent pas le nombre des années. *Le Diffuseur*, 2(4). https://www.agpi.org/documents/file/Diffuseur/vol2_4.pdf
- Gastaldy, P. (2004). PPP : Faire indirectement ce qu'on peut faire directement. *Le Diffuseur*, 6(2), 6-7. https://www.agpi.org/documents/file/Diffuseur/vol6_2.pdf
- Geanakoplos J. (1989). Arrow-Debreu Model of General Equilibrium. In: Eatwell J., Milgate, M., Newman P. *General Equilibrium. The New Palgrave*. Palgrave Macmillan, London. https://doi.org/10.1007/978-1-349-19802-3_3
- Geyer, R., Jambeck, J. et Law, K. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advance* 3.
- GIEC. (2014). *Infographie*. <https://www.ecologie.gouv.fr/inventaire-demissions-gaz-effet-serre>
- Giraud, G. (2014). *Quelle intelligence du capital pour demain ? Une lecture du Capital au XXIème siècle de Thomas Piketty*. Documents de Travail du Centre d'Économie de la Sorbonne <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00969230/document>
- Giraud, G. (2018) Vers une économie politique des communs. *Cités*, 76 (4), 81-94.
- Giraud, G. et Piketty, T. (2021). Le capitalisme est-il réformable ? *Études*, 3, 49-61. <https://www.cairn.info/revue-etudes-2021-3-page-49.htm>
- Giraud, G. (2018). Vers une économie politique des communs. *Cités*, 76(4), 81-94.
- Giraud, Gaël. (2014). *Quelle intelligence du capital pour demain ? Une lecture du Capital au XXIème siècle de Thomas Piketty*. *Documents de Travail du Centre d'Économie de la Sorbonne*. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00969230/document>
- Godefroy, T., Lascoumes, P. (2004). *Le capitalisme clandestin : L'illusoire régulation des places*. La Découverte.
- Goldin, C. (2016). *Human Capital*. In: *Handbook of Cliometrics*. Heidelberg, Germany: Springer Verlag.
- Golubiewski, N. (2012). Is There a Metabolism of an Urban Ecosystem? An Ecological Critique. *Ambio* 41, 751–764. <https://doi.org/10.1007/s13280-011-0232-7>
- Gorman, M. E. and Carlson, W.B. (1990). Interpreting Invention as a Cognitive Process: The Case of Alexander Graham Bell, Thomas Edison, and the Telephone. *Science, Technology, & Human Values*, 15(2), 131–64. <https://doi.org/10.1177/016224399001500201>.

- Gouvernement du Québec. (2021). Cahier d'instructions, Plan annuel de gestion des investissements publics en infrastructures. ISBN 978-2-550-89260-1 (en ligne). <https://www.tresor.gouv.qc.ca/infrastructures-publiques/publications/>
- Gouvernement France, DGFP. (10 janvier 2022). *Bulletin Officiel des Finances Publiques. Amortissements, Règles de déduction, Durée et taux d'amortissement, Durée normale d'utilisation des biens amortissables*. <https://bofip.impots.gouv.fr/bofip/2060-PGP.html/identifiant=BOI-BIC-AMT-10-40-10-20131216>
- Grandjean, A. et Lefournier, J. (2021). *L'illusion de la finance verte*. Ed. Atelier.
- Granshaw, L. and Porter, R. (1989). *The Hospital in History*. Routledge.
- Green, D. *Sustainable Framework*. (2016, 29 avril). Douglas C. Allen Institute for the Study of Cities. <https://dougalleninstitute.org/archives/10054/>
- Greenfield, A. (2013). *Against the Smart City: A Pamphlet. This is Part I of "The City is Here to Use"*. Do projects. Kindle Edition.
- Grimaud-Hervé, D., Serre, F., Bahain, J.J. et Roland Nespoulet, R. (2005) *Histoire d'ancêtres : La grande aventure de la Préhistoire* (4ième édition) Éditions Errance.
- Grosdidier de Matons, J. (2020, 10 août). *JUSTINIEN Ier (482-565)*. Encyclopædia Universalis. <http://www.universalis.fr/encyclopedie/justinien-ier/>
- Grossman, R. L. (2018). A framework for evaluating the analytic maturity of an organization. *International Journal of Information Management*, 38(1), 45-51. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2017.08.005>
- Guinee, J. B., Heijungs, R., Huppes, G., Zamagni, A., Masoni, P., Buonamici, R., ... & Rydberg, T. (2011). Life cycle assessment: past, present, and future. *Environ. Sci. Technol.* 2011, 45, 1, 90–96, <https://doi.org/10.1021/es101316v>
- Guyatt G.H. (1991). Evidence-Based Medicine. *American College of Physicians Journal Club March/April: A-16*.
- Haberman, M. and Sanger, D.E. (2020, 23 Mars). Trump Says Coronavirus Cure Cannot 'Be Worse Than the Problem Itself' - The president, who has watched the economy plunge amid social distancing measures, says restrictions will be reassessed. *The New York Times*.
- Halpern, C., Cusset, F. et Journet, N. (2013). *Pensées rebelles. Foucault, Derrida, Deleuze*. Éditions Sciences Humaines, Petite bibliothèque. <https://doi.org/10.3917/sh.colle.2013.02>.

- Hardin, G. (1968). The Tragedy of the Commons. *Science* 162, 1243-1248.
<https://doi.org/10.1126/science.162.3859.1243>
- Harris, C.D., and Ullman, E. L. (1945). The Nature of Cities. *The ANNALS of the American Academy of Political and Social Science*, 242 (1), 7–17.
<https://doi.org/10.1177/000271624524200103>
- Harrison, J. S., Bosse, D.A. and Phillips, R.A (2010). Managing for stakeholders, stakeholder utility functions, and competitive advantage. *Strategic management journal*, 31(1) 58-74.
- Hastings, N. A. (2010). *Physical asset management* (Vol. 2). London : Springer.
- Hastings, N. A. J. (2015). *Physical asset management: With an introduction to ISO55000*. Springer.
- Hauashdh, A., Jailani, J., & Rahman, I. A. (2022). Strategic approaches towards achieving sustainable and effective building maintenance practices in maintenance-managed buildings: A combination of expert interviews and a literature review. *Journal of Building Engineering*, 45, 103490.
- Hausfather, Z. (2021). *Absolute Decoupling of Economic Growth and Emissions in 32 Countries*. <https://thebreakthrough.org/issues/energy/absolute-decoupling-of-economic-growth-and-emissions-in-32-countries>
- Helliwell, John F., Richard Layard, Jeffrey Sachs, and Jan-Emmanuel De Neve. (2020). *World Happiness Report*. New York : Sustainable Development Solutions Network.
- Higgins, J. (2002). La croissance de Londres : une description par le vocabulaire des formes urbaines (xvie-xixe siècle). Dans *Les divisions de la ville*. Éditions de la Maison des sciences de l’homme. <https://doi.org/10.4000/books.editionsmsh.1240>
- Hirschman, A. O. (1970). *Exit, voice, and loyalty: Responses to decline in firms, organizations, and states* (Vol. 25). Harvard university press.
- Historic England. (2011). *Maritime and Naval Buildings* (2017). Historic England. Product Code: HEAG114, HistoricEngland.org.uk/listing/
- History.com Editors. (2010, 4 mars). *Chicago*. History.
<https://www.history.com/topics/us-states/chicago>.
- Hjorth P. and Bengtsson L. (2012). Large Dams, Statistics and Critical Review. In: Bengtsson L., Herschy R.W., Fairbridge R.W. (eds) *Encyclopedia of Lakes and Reservoirs*. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer, Dordrecht.
https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4410-6_28

- Hobart M. King. (2020, 30 janvier). *REE - Rare Earth Elements and their Uses - The demand for rare earth elements has grown rapidly, but their occurrence in minable deposits is limited*. U.S. Bureau of Mines (1961–96) et U.S. Geological Survey (1997–2016). <http://geology.com/articles/rare-earth-elements/>
- Horner, R. M. W., El-Haram, M. A., & Munns, A. K. (1997). Building maintenance strategy: a new management approach. *Journal of quality in maintenance engineering*.
- Hoyt, H. (2000). *One hundred years of land values in Chicago: The relationship of the growth of Chicago to the rise of its land values, 1830-1933*. Beard Books.
- IFRS Foundation. (2020, 25 août). *List of IFRS Standards*. International Financial, Reporting Standards. <https://www.ifrs.org/issued-standards/list-of-standards/>
- Insee Références. (2018). Les entreprises en France. *Fiches – Structure du système productif*, 66-67. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/3639475?sommaire=3639594>
- Institut national de la statistique et des études économiques (Insee). (2016, 13 octobre). *Définitions, méthodes et qualité. Capital fixe productif*. <https://www.insee.fr/fr/accueil>
- Institut national de la statistique et des études économiques (Insee). (2016, 13 octobre). *Statistiques et études. Produit intérieur brut et ses composants*. <https://www.insee.fr/fr/accueil>
- Institut national de la statistique et des études économiques (Insee). (2020, 13 mai). *Définitions, méthodes et qualité. « FBCF / Investissement »*. <https://www.insee.fr/fr/accueil>
- Institut national de la statistique et des études économiques. (2021, 29 mars). *Estimations de population et statistiques de l'état civil*. Insee. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/2383440#tableau-figure1>
- *International Accounting Standards Board*. <https://www.ifrs.org/groups/international-accounting-standards-board/>
- International Environmental Agreements IEA. (2018, 12 janvier). *Database Project Ronald B. Mitchell and the IEA Database Project, 2002-2020*.
- *International Federation of Accountants*. <https://www.ifac.org/>
- International Monetary Fund. (2020, 30 novembre). *Projected GDP per capita Ranking*. <https://www.imf.org/en/Data>
- IPSASB. (2020, 30 juillet). *Handbooks, Standards, and Pronouncements*. International Public Sector Accounting Standards Board. <https://www.ipsasb.org/>

- Ishikawa, K. (1984). 1 - Quality Control in Japan. Dans Sasaki N. et Hutchins, *The Japanese Approach to Product Quality*, Pergamon (1-5).
<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-028160-5.50006-0>
- Islam, S., Sloan, J., Dogan, B. et Gabe, S. (2019). *Frontier Technology Quarterly, September 2019: Frontier technologies for addressing plastic pollution. 1*. United Nations, Department of Economic and Social Affairs Economic Analysis
- ISO 15686-1. (2011) (fr). *Bâtiments et biens immobiliers construits - Conception prenant en compte la durée de vie - Partie 1 : principes généraux et cadre*.
<https://www.iso.org/obp/ui/fr/#iso:std:iso:15686:-5:ed-1:v1:fr>
- ISO 15686-5. (2008) (fr). *Bâtiments et biens immobiliers construits - Prévion de la durée de vie - Partie 5 : Approche en coût global*.
<https://www.iso.org/obp/ui/fr/#iso:std:iso:15686:-5:ed-1:v1:fr>
- ISO 16739. (2013). *Classes de fondation d'industrie (IFC) pour le partage des données dans le secteur de la construction et de la gestion des installations*.
<https://www.iso.org/fr/standard/51622.html>
- ISO 19650-1.(2018). *Organisation et numérisation des informations relatives aux bâtiments et ouvrages de génie civil, y compris la modélisation des informations de la construction (BIM)*. Gestion de l'information par la modélisation des informations de la construction — Partie 1: Concepts et principes.
<https://www.iso.org/fr/standard/68078.html>
- ISO 29481-1. (2016). *Modèles des informations de la construction*. Protocole d'échange d'informations. Partie 1 : Méthodologie et format.
<https://www.iso.org/fr/standard/60553.html>
- ISO 55000. (2014). *Gestion d'actifs - Aperçu général, principes et terminologie*.
<https://www.iso.org/fr/standard/55088.html>
- ISO 55001. (2014) *Gestion d'actifs - Systèmes de management - Exigence*.
<https://www.iso.org/fr/standard/55089.html>
- ISO 55002. (2018). *Gestion d'actifs - Systèmes de management - Lignes directrices relatives à l'application de l'ISO 55001*. <https://www.iso.org/fr/standard/70402.html>
- Ives, C and Kendal, D (2014), The role of social values in the management of ecological systems, *Journal of Environmental Management*, vol. 144, no. 1, pp. 67-72.
- Jalinière, H. (2021). Le Covid échappé d'un laboratoire : pourquoi l'hypothèse fait florès. *Sciences et Avenir, Santé*. https://www.sciencesetavenir.fr/sante/le-covid-echappe-d-un-labo-pourquoi-l-hypothese-fait-flores_154635

- Jancovici, J.M. (2021). *Energy Use vs GDP*. (PIB) World Bank ; (Energie) BP stat energie. https://www.linkedin.com/posts/jean-marc-jancovici_en-2020-machine-arri%C3%A8re-toute-depuis-activity-6828969314780024832-xmht
- Jandora, J. and Riha, J. (2008). *The failure of embankment dams due to overtopping*. Brno, Czech Republic: Vutium.
- Janicot, Serge, et al. (2015). *Chapitre 7. Les émissions de gaz à effet de serre Marseille*. IRD Éditions. http://books.openedition.org/ird_éditions/29426
- Jevons, W. S. (1865). *The Coal Question; An Inquiry Concerning the Progress of the Nation, and the Probable Exhaustion of Our Coal Mines*. London & Cambridge : Macmillan & Co. . <https://books.google.fr/>
- Jullien, J. (2004). L'urbanisme opérationnel en banlieue : des années 1970 à 1980. *Villes en parallèle*, 38-39, 212-243. <https://doi.org/10.3406/vilpa.2004.1421>
- Jun, H.J., Yun, S.H. and Paek, J.H. (2008). A Study on Limit Analysis of Constructions Equipment Support through BIM System Information. In, *Proceedings of the Computational Structural Engineering Institute Conference* (450-453). Computational Structural Engineering Institute of Korea.
- Kahneman, D. (2011). *Thinking, fast and slow*. Macmillan.
- Kahneman, Daniel, and Amos Tversky. (1979). Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk. *Econometrica*, 47(2), 263-91. doi:10.2307/1914185.
- Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (2005). The balanced scorecard: measures that drive performance. *Harvard business review*, 83(7), 172.
- Kaya, Y. and Yokobori, K. (Eds.). (1997). *Environment, energy, and economy: strategies for sustainability*. Tokyo: United Nations University Press.
- Kenny, J. (2006). Strategy and the learning organization: a maturity model for the formation of strategy. *The Learning Organization*.
- Knight, Franck H. (1921). *Risk, Uncertainty, and Profit*. Boston, MA : Hart, Schaffner & Marx ; Houghton Mifflin Co.
- Kolmogorov, A. (1941). *Kolmogorov. Interpolation und extrapolation von stationären zufälligen folgen*. *Bulletin of the Academy Sciences, USSR, Math* 3, 3-14.
- Korhonen, J., Honkasalo, A. et Seppälä, J. (2018). Circular economy: the concept and its limitations. *Ecological economics*, 143, 37-46. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041>.

- Kosky, P., Balmer, R., Keat, W., & Wise, G. (2021). *Chapter 14-mechanical engineering. Exploring Engineering (Fifth Edition)*, edited by P. Kosky, R. Balmer, W. Keat, and G. Wise (Academic Press, 2021) fifth edition ed, 317-340.
- Kratzke, N. (2018). A brief history of cloud application architectures. *Applied Sciences* 8(8), 1368. <https://doi.org/10.3390/app8081368>
- Kshirsagar, A. S., El-Gafy, M. A., & Abdelhamid, T. S. (2010). Suitability of life cycle cost analysis (LCCA) as asset management tools for institutional buildings. *Journal of Facilities Management*.
- Kuznets, S. (1955). Economic growth and income inequality. *The American economic review*,45(1),1-28.
- Lacan, J., *Le Séminaire. Livre XX, Encore (1972-1973)*, Paris, Le Seuil, 1975.
- Larousserie, D. (2019). Propos recueillis Yann LeCun, lauréat du prix Turing : « *L'IA continue de faire des progrès fulgurants* ». *Journal Le Monde*.
https://www.lemonde.fr/pixels/article/2019/03/27/yann-lecun-laureat-du-prix-turing-l-intelligence-artificielle-continue-de-faire-des-progres-fulgurants_5441990_4408996.html.
- Latour, B., Akrich, M., Callon, M. (2006). *Sociologie de la traduction*. DOI : 10.4000/books.pressesmines.1181
- Laux, C, et Leuz, C. (2009). The crisis of fair-value accounting: Making sense of the recent debate. *Accounting, Organizations and Society*, 34(6–7), 826-834.
<https://doi.org/10.1016/j.aos.2009.04.003>.
- Lavergne, D. (2020 10 août). *Hippocrate de Cos, en bref*. Encyclopædia Universalis. <http://www.universalis.fr/encyclopedie/hippocrate-de-cos-en-bref/>
- Lavoisier, A.-L. (1789). *Traité élémentaire de Chimie* (2019). Maxtor France.
- Le Fur, Y., Quiry, P. et Vernimmen, P. (2021). *Finance d'entreprise 2022* (20^e éd.). Dalloz.
- Leal, F., Mifsud, W., Molthan-Hill, P., Nagy, J. G., Veiga, Á. et Salvia, A.L. (2019). Climate Change Scepticism at Universities: A Global Study. *Sustainability*, 11(10), 2981.
- Légifrance (2019, 23 juillet) ; Décret n° 2019-771 relatif aux obligations d'actions de réduction de la consommation d'énergie finale dans des bâtiments à usage tertiaire. LOGL1909871D.
- Légifrance (2021, 22 août) ; LOI n° 2021-1104 portant lutte contre le dérèglement climatique et renforcement de la résilience face à ses effets. TREX2100379L.

- Légifrance, service public de la diffusion du droit en France. (2021, 15 septembre). <https://www.legifrance.gouv.fr/>
- LégisQuébec. (2022, 10 mai). I-9 - Loi sur les ingénieurs. *Publications Québec*. <https://www.legisquebec.gouv.qc.ca/fr/document/lc/I-9>
- Les Archives de Paris. (2019, 20 octobre). *Faire l'école à Paris - Architecture scolaire à Paris*. Mairie de Paris. <http://archives.paris.fr/r/161/architecture-scolaire-a-paris/>
- Levine, P., & Pomerol, J. C. (1989). *Systèmes Interactifs D'Aide à la décision et Systèmes*. Experts-coll. Traité des nouvelles technologies, série décision assistée par ordinateur, Hermès, Paris.
- Lhotellier, G. (2021, 14 août). *Les routes de l'impossible - Centrafrique, à leurs risques et périls*. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=NRiUC8m-O7Y>.
- Li, H., & Wang, S. (2022, May). New challenges for optimal design of nearly/net zero energy buildings under post-occupancy performance-based design standards and a risk-benefit based solution. In *Building Simulation* (Vol. 15, No. 5, pp. 685-698). Tsinghua University Press.
- Li, M., & Sethi, I. K. (2006). Confidence-based active learning. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 28(8), 1251-1261.
- Li, T., Li, H., & Zheng, J. D. (2021). Promoting Cooperation in Collective Actions: Evidence from the Reserve Fund for Maintenance in China. *Available at SSRN* 3916078. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3916078>
- Library of Congress. (2020, 19 juillet). *World's first skyscraper to go*. Part of, Prints and Photographs Division (904,167), Library of Congress Online Catalog (1,124,589). <https://www.loc.gov/item/2014648256/>
- Liu, R. and R.A. Issa, R. (2014). Design for maintenance accessibility using BIM tools. *Facilities*, 32 (3/4), . 153-159. <https://doi.org/10.1108/F-09-2011-0078>
- Liu, X., Matineh E., and Akinci, B. (2012). Developing as-built building information model using construction process history captured by a laser scanner and a camera. In, *Construction Research Congress 2012: Construction Challenges in a Flat World* (1232-124).
- Lord, J. (2013). *Memoir of John Kay, of Bury; Inventor of the Fly-Shuttle*. TheClassics.us.
- Lujanen, M. (2010). Legal challenges in ensuring regular maintenance and repairs of owner-occupied apartment blocks. *International Journal of Law in the Built Environment*.

- Malraux, A. (1928). *Les Conquérants*. Grasset.
- Mandelbrot, B.B. (1975). *Les objets fractals : forme, hasard et dimension vol.17*. Paris:Flammarion.
- Mankiw, N.W., Romer, D. and Weil, D.N. (1992). A Contribution to the Empirics of Economic Growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 107(2), 407-437.
- Martinez-Alier, J., Munda, G. and O'Neill, J. (1998). Weak comparability of values as a foundation for ecological economics. *Ecological Economics*, 26(3), 277-286. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(97\)00120-1](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(97)00120-1).
- Marx, K. (1867). *Le capital. Critique de l'économie politique* (1976). Éditions Sociales.
- Masaqui. (2014, 23 décembre). *Motor vehicle production from 1950 to 2013*. data source: U.S. DOT Table 1-23: World Motor Vehicle Production, Selected Countries, values of 1950 are from: List of countries by motor vehicle production. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Motor_Vehicle_Production_1950_2013.png
- Maskin, E. (2004). Jean-Jacques Lafont : A Look Back. *Journal of the European Economic Association*, 2 (5), 913-923. <http://www.jstor.org/stable/40005076>.
- Maslow, A. H. (1954). *Motivation and personality* (1981). Prabhat Prakashan.
- Mattioli, J., Terrier, F., Cantat, L., Chiaroni, J., Barreteau, M., Bonhomme, Y., ... & Alix, C. (2021, July). IA de confiance : condition nécessaire pour le déploiement de l'IA dans les systèmes de défense. In *APIA (Conférence Nationale sur les Applications Pratiques de l'Intelligence Artificielle)*.
- Max-Neef, M., Hevia, A. and Hopenhayn, M. (1989). Human scale development: An option for the future. *Development Dialogue* 1, 7-80.
- Mayo, E. (1934). The Human Problems of an Industrial Civilization. *Nature* 134, 201. <https://doi.org/10.1038/134201b0>
- Mayo, E. (1947). *The political problem of industrial civilization*. Harvard University 2 lectures, entitled: The Modernization of a Primitive Community and Change and Its Social Consequences.
- McAfee, A. (2019). *More From Less: The surprising story of how we learned to prosper using fewer resources – and what happens next*. Simon & Schuster.
- McDonald L. (2015) Florence Nightingale : A Research-Based Approach to Health, Healthcare and Hospital Safety. In: *The Palgrave Handbook of Social Theory in Health, Illness and Medicine*. Palgrave Macmillan, London. https://doi.org/10.1057/9781137355621_4

- McDonough, W., & Braungart, M. (2010). *Cradle to cradle: Remaking the way we make things*. North point press.
- McLuhan, M. (1962). *The Gutenberg Galaxy: The Making of Typographic Man*. University of Toronto Press, Scholarly Publishing Division.
- Meadows, D. H., et al. (1972). *The limits to growth*. New York.
- Merlin, M. (2009). Foucault, le pouvoir et le problème du corps social. *Idées économiques et sociales*, 155, 51-59. <https://doi.org/10.3917/idee.155.0051> :
- Messmer, P. (1995). *Un Premier ministre dans le premier choc pétrolier*. Mémoires de l'Académie nationale de Metz.
- Meyer, J., Acerra, M. (1994). *Histoire de la marine française des origines à nos jours*. Ouest-France.
- Michael S. (1973). Job Market Signaling. *The Quarterly Journal of Economics*, 87 (3), 355–374. <https://doi.org/10.2307/1882010>
- Miller, D.L. (1997). *City of the Century: The Epic of Chicago and the Making of America*. Simon & Schuster.
- Mincer, J. (1958). Investment in Human Capital and Personal Income Distribution. *Journal of Political Economy*, 66(4), 281-302. The University of Chicago Press. <https://www.jstor.org/stable/1827422>
- Mintzberg, H. (1987). *Crafting strategy* (pp. 66-75). Boston, MA : Harvard Business School Press.
- Mintzberg, H. (1990). The design school: reconsidering the basic premises of strategic management. *Strategic management journal*, 11(3), 171-195.
- Mirza, S., & Ali, M. S. (2017). Infrastructure crisis—a proposed national infrastructure policy for Canada. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 44(7), 539-548. <https://doi.org/10.1139/cjce-2016-0468>
- Missemer, A. (2018). Natural Capital as an Economic Concept, History and Contemporary Issues. *Ecological Economics*, 43. 90-96. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.07.011>.
- Mistral, J., de Boissieu, C., Lorenzi, J.H. (2003). Les normes comptables et le monde post-Enron. *La Documentation Française : Paris, Rapports du Conseil d'Analyse Économique*, 42, 157. <https://basepub.dauphine.fr/handle/123456789/130>
- Modarres, M., Kaminskiy, M. P., & Krivtsov, V. (2009). *Reliability engineering and risk analysis: a practical guide*. CRC press.

- Moore, G.E. (1965). Cramming More Components onto Integrated Circuits. *Electronics*, 3(8), 114-117.
- Moore, P. (2015). *Le Petit Livre des Grandes Épidémies*. Belin littérature et revues.
- Morin, E. (1990). *Introduction à la pensée complexe*. Éditions du Seuil.
- Morin, E. (1990). *Sur l'interdisciplinaire*. Carrefour des sciences, Actes du Colloque du Comité National de la Recherche Scientifique Interdisciplinarité, Éditions du CNRS, et Centre International de Recherches et Études Transdisciplinaires. <http://ciret-transdisciplinarity.org/bulletin/b2c2.php>,
- Morin, E. (1977) (2013). *La méthode: la nature de la nature*. Média Diffusion.
- Morin, E. (1980). *La méthode. Tome 2: La vie de la vie*. du Seuil (coll. Point), Paris.
- Morin, E. (2013). *La Méthode-tome 3 La Connaissance de la connaissance anthropologie de la connaissance*. Média Diffusion.
- Morin, E. (1991). *La méthode tome 4: les idées*. Éditions du Seuil.
- Morin, E. (1994). Sur l'interdisciplinarité. *Bulletin interactif du Centre international de recherches et études transdisciplinaires*, 2(2).
- Morin, E. (2013). *La Méthode-tome 5 L'humanité de l'humanité*. Média Diffusion.
- Morin, E. (2004). *La méthode 6, éthique*. Éditions Seuil.
- Moulner Boutang, Y. (2001). Le combat du maître et de l'esclave revisité. *Multitudes* (6).
- Moulner Boutang, Y. (2008). *Le Capitalisme Cognitif : La Nouvelle Grande Transformation*. Éd. Amsterdam.
- Moulner Boutang, Y. (2010). *L'abeille et l'économiste*. Éd. Carnets Nord.
- Moulner Boutang, Y. (2018). *L'abeille et l'économiste*. Éd. Carnets Nord.
- Mounier-Kuhn, P. (2020, 22 mars). MICRAL N. Encyclopædia Universalis. <https://www.universalis.fr/encyclopedie/micral-n/>
- Mounier-Kuhn, P. (2021, 24 janvier). *Micro-informatique - (repères chronologiques)*. Encyclopædia Universalis. <https://www.universalis.fr/encyclopedie/micro-informatique-reperes-chronologiques/>
- Moustacchi, A. (2020, 10 septembre). *Automobile - Histoire*. Encyclopædia Universalis. <http://www.universalis.fr/encyclopedie/automobile-histoire/>

- Muth, John F. (1961). Rational expectations and the theory of price movements. *Econometrica: Journal of the Econometric Society* (1961). 315-335.
- Nakajima, S. (1989). *TPM Development Program: Implementing Total Productive Maintenance*. Productivity Press.
- Nathalie Fourcade et Franck von Lennep (DREES), Isabelle Grémy et François Bourdillon (Santé publique France). (2019, mars). *L'état de santé de la population en France, Rapport 2017 - Principales causes de décès et de morbidité*. https://drees.solidarites-sante.gouv.fr/IMG/pdf/esp2017_5_principales_causes_de_deces_et_de_morbidite.pdf
- Nation Unies. (2004). Comptabilité nationale : introduction pratique, études méthodologiques Série F, n° 85, Manuel de comptabilité nationale. *Publication des Nations Unies*. https://unstats.un.org/unsd/publication/SeriesF/seriesF_85f.pdf
- Nelson, W. B. (2003). *Applied life data analysis* (Vol. 521). John Wiley & Sons.
- Nietzsche, F. (1870-1873). *La Philosophie à l'époque tragique des Grecs* (1990). Gallimard.
- Nordhaus, W. (2018). Evolution of modeling of the economics of global warming: changes in the DICE model, 1992–2017. *Climatic Change*, 148, 623–640. <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2218-y>
- Nowlan, F.S. et al. (1978). *Reliability-Centered Maintenance*. United Airlines, San Francisco, California, USA, https://reliabilityweb.com/ee-assets/my-uploads/docs/2010/Reliability_Centered_Maintenance_by_Nowlan_and_Heap.pdf
- NYC Planning. (2020, 20 août). *Zoning Resolution : bulk & density*. Department of City Planning, New-York City. <https://www1.nyc.gov/>
- Oandasan, I., & Reeves, S. (2005). Key elements of interprofessional education. Part 2 : factors, processes and outcomes. *Journal of Interprofessional care*, 19(sup1), 39-48.
- OCDE. (2010). *La Mesure du Capital* (2ème édition). Manuel de l'OCDE 2009.
- ONU info. (2017). *Une éducation « inclusive, équitable et de qualité » - facteur clé pour atteindre les objectifs de développement durable*. <https://www.un.org/fr/desa/high-level-event-education>
- Op den Kamp, C. et Hunter, D. (2019). *A History of Intellectual Property in 50 Objects*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108325806>.

- Organisation Mondiale de la Propriété. (2019) *Propriété intellectuelle : Faits et chiffres de l'OMPI, 2019*.
https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/fr/wipo_pub_943_2019.pdf
- Orléan, A (2009). *De l'euphorie à la panique : penser la crise financière. Vol. 16*. Éditions, rue d'Ulm.
- Orléan, A. (2011). *L'Empire de la valeur. Refonder l'économie : Refonder l'économie*. Média Diffusion
- Ostrom, E. (1991). *Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action*. Cambridge University Press.
- Pacioli, L. (1494). *Summa de arithmetica, geometria, proportioni et proportionalita*. Paganini of Brescia.
- Park, R.E., Burgess, E.W., and McKenzie, R.D. (1925). *The City*. The University of Chicago Press.
- Pascal, B., (1666). *Pensées* (1852). Dezobry et E. Magdeleine.
- Paul J. C. and Stoermer, E. F. (2000). The Anthropocene. *Global Change, Newsletter*, 41, 17-18.
- Pearce, D.W., Atkinson, G.D. (1993). Capital theory and the measurement of sustainable development: an indicator of 'weak' sustainability. *Ecological Economics*, 8 (2), 103–108.
- Penissat, É. (2005). Les occupations de locaux dans les années 1960-1970 : Processus sociohistoriques de réinvention d'un mode d'action. *Genèses*, 2(59), 71-93.
<https://doi.org/10.3917/gen.059.0071>.
- Perrier, B. (2021). *Sars-CoV-2, aux origines du mal*. Belin.
- Philippon, A. (2020, 15 juin). *Cours de virologie générale*. Université Paris V, 12 Rue de L'École de Médecine, 75006 Paris, Responsable : <http://www.microbes-edu.org/etudiant/multivirale.html#41>
- Picon, A. (2013). *Smart Cities : Théorie et critique d'un idéal auto-réalisateur*. Éditions B2.
- Pierre Teilhard de Chardin, (1957). *La vision du passé*. Collection Points Sagesses, Éditions du Seuil.
- Pignol, C. (2017). La justice dans la théorie de l'équilibre général. Dans Pignol, Villeneuve d'Ascq, *La théorie de l'équilibre général* (101-120). Presses universitaires du Septentrion <http://books.openedition.org/septentrion/34933>>.

- Piketty, T. (2013). *Le Capital au XXIe siècle*. Le Seuil, Essais, Les Livres du Nouveau monde.
- Piketty, T. (2019). *Capital et idéologie*. Le Seuil, Paris, *Sociologie du travail*, 62(4). <http://piketty.pse.ens.fr/files/Piketty2019GraphiquesTableauxLiens.pdf>
- Pinon, P. (2002). *Atlas du Paris haussmannien*. Parigramme.
- Pitron, G. (2018). *La guerre des métaux rares : La face cachée de la transition énergétique et numérique*. Les liens qui libèrent.
- Pitron, G. et Turquier, S. (2012). *La Sale Guerre des terres rares*. Mano a Mano, France Télévisions, Organisme détenteur - Mano a Mano.
- Pleyers, G. (2021). Pandémie et changement social. Interpréter la crise pour en sortir. *Futuribles*, 440(1), 35-50.
- Poincaré, H. (1890). Sur le problème des trois corps et les équations de la dynamique. *Acta mathematica*, 13(1), 3-270.
- Poore, J. et Nemecek, T. (2018). Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science*, 360 (6392), 987-992. <https://doi.org/10.1126/science.aag0216>
- Porosity, H. (2001). European Conference on desalination and the environment water shortage, Lemesos (Limassol), Cyprus, (May 28-31). *Desalination*, 138 (1–3), 1-396.
- Portail des Communs. (2021, 20 septembre). *Une introduction à la notion de communs : Qu'est-ce qu'un commun?* <https://lescommuns.org/>
- Porter, M. E. (1980). *Competitive Strategy: Techniques for Analyzing Industries and Competitors*. The Free Press.
- Porter, R. (2000). *London : A Social History*. Penguin.
- Radio-Canada. (2020). *Il y a 20 ans (en 2000), le viaduc du Souvenir s'écroulait sur l'autoroute 15*. <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1712677/viaduc-souvenir-accident-infrastructure-laval-archives>.
- Ralph Nading Hill. (1954). *Robert Fulton and the Steamboat*. Random House.
- Ram, L. (2015). *Économie, le gouvernement verrouille l'hégémonie des orthodoxes à l'université*. Regards.fr. <http://www.regards.fr/archives/web/article/economie-le-gouvernement>.

- Raworth, K. (2017). *Doughnut economics: seven ways to think like a 21st-century economist*. Chelsea Green Publishing.
- *République française*. (2019, 15 avril). Legifrance.
<https://www.legifrance.gouv.fr/Droit-francais/Constitution/Declaration-des-Droits-de-l-Homme-et-du-Citoyen-de-1789>
- Resnikoff, H. L. (1978). *Mathematical aspects of reliability-centered maintenance*. UNITED AIR LINES INC SAN FRANCISCO CA. Source : chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.plant-maintenance.com/articles/mathematical_aspects_RCM.pdf
- Resnikoff, H.L. (1989). *The Illusion of Reality*. Springer-Verlag New York.
<https://doi.org/10.1007/978-1-4612-3474-6>.
- Rezza Baqaee, D., Farhi, E. (2018). JEEA-FBBVA Lecture 2018: The Microeconomic Foundations of Aggregate Production Functions. *Journal of the European Economic Association*, 17(5), 1337–1392. <https://doi.org/10.1093/jeea/jvz050>
- Richardson, M. (2010, 9 septembre). China races for High Tech. *Japan Times*.
- Ritchie, H. (2019). *Where in the world do people emit the most CO₂?*
<https://ourworldindata.org/per-capita-co2>
- Ritchie, H. (2019). *Who emits the most CO₂ , infographie*.
<https://ourworldindata.org/annual-co2-emissions>
- Ritchie, H. et Roser, M. (2019). *Coal, oil, gas, cement: where do CO₂ emissions come from? , infographie*. <https://ourworldindata.org/emissions-by-fuel>
- Rodis-Lewis, G. (1976). *Épicure et son école* (1993). Gallimard.
- Roe, R. M., Busemeyer, J. R., & Townsend, J. T. (2001). Multialternative decision field theory: A dynamic connectionst model of decision making. *Psychological Review*, 108(2), 370–392. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.108.2.370>
- Roethlisberger, F. J., & Dickson, W. J. (2003). (original 1939). *Management and the Worker (Vol. 5)*. Psychology press.
- Rosen, W. (2012). *The Most Powerful Idea in the World: A Story of Steam, Industry, and Invention*. University of Chicago Press.
- Roser, M. (2013). *Future Population Growth*. OurWorldInData.org.
<https://ourworldindata.org/future-population-growth>.
- Roser, M. & Ritchie, H. (2018, 30 août). *Future Population Growth*. OurWorldInData.org. <https://ourworldindata.org/future-population-growth>

- Roser, M., Ritchie, H. and Ortiz-Ospina, E. (2013). *World Population Growth* (2019). OurWorldInData.org. <https://ourworldindata.org/world-population-growth>.
- Ross, S. (1973). The Economic Theory of Agency: The Principal's Problem. *American Economic Review*, 63 (2), 134-39. <https://EconPapers.repec.org/RePEc:aea:aecrev:v:63:y:1973:i:2:p:134-39>.
- Rouxel, P. (réalisateur). (2009). *Green*. <http://www.patrickrouxel.com/index.php/fr/films-fr/green-fr>
- Royer, I., Garreau, L. et Roulet, T. (2019). La quantification des données qualitatives : intérêts et difficultés en sciences de gestion. *Finance Contrôle Stratégie*, NS-6. <https://doi.org/10.4000/fcs.3312>
- Royot, D. (1993). *Les États-Unis à l'épreuve de la modernité : Mirages, crises et mutations de 1918 à 1928*. Presses Sorbonne Nouvelle. <http://books.openedition.org/psn/5171>
- Ruegg, R. T. (1978). *Life-Cycle Costing: A guide for selecting energy conservation projects for public buildings* (Vol. 113). Department of Commerce, National Bureau of Standards.
- Ruffle, S. (1986). Architectural design exposed: from computer-aided drawing to computer-aided design. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 13(4), 385-389.
- Ruparathna, R., Hewage, K., & Sadiq, R. (2018). Multi-period maintenance planning for public buildings: A risk-based approach for climate conscious operation. *Journal of Cleaner Production*, 170, 1338-1353.
- Ryan, S.G. (2008). Accounting in and for the subprime crisis. *The accounting review* 83(6), 1605-1638. <https://doi.org/10.2308/accr.2008.83.6.1605>
- Saaty, T. L., & Peniwati, K. (2013). *Group decision making: drawing out and reconciling differences*. RWS publications.
- Samuelson, P.A. (1954). The Pure Theory of Public Expenditure. *The Review of Economics and Statistics*, 36(4), 387–389. www.jstor.org/stable/1925895
- Sandras, A. (2011). Eugène Poubelle mis en boîte. *Histoire urbaine*, 2 (31), 69-91. <https://doi.org/10.3917/rhu.031.0069>
- Santayana, G. (1905). *The Life of Reason* (1998). Prometheus Books.
- Santé publique France. (2020, avril). *Point épidémiologique hebdomadaire*. <https://www.santepubliquefrance.fr/>

- Say, J.-B. (1814). *Traité d'économie politique ou simple exposition de la manière dont se forment, se distribuent et se consomment les richesses*. Renouard, Paris.
- Schlesinger, J. (2013). *Agriculture along the urban-rural continuum: a GIS-based analysis of spatio-temporal dynamics in two medium-sized African cities*. (Doctoral dissertation, Albert Ludwigs-Universität Freiburg, 2013)
- Schumacher D. (1985). *The 1973 Oil Crisis and its Aftermath*. In: *Energy: Crisis or Opportunity?* Palgrave, London.. https://doi.org/10.1007/978-1-349-17797-4_2
- Schuman, C.A. et Brent, A.C. (2005). Asset life cycle management: towards improving physical asset performance in the process industry. *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 25 No. 6, pp. 566-579. <https://doi.org/10.1108/01443570510599728>
- Schumpeter, J. (1954). *History of Economic Analysis* (2006). Taylor & Francis e-Library.
- Schumpeter, J. A. (1949). Vilfredo Pareto (1848-1923). *The Quarterly Journal of Economics*, 63(2), 147-73. <http://www.jstor.org/stable/1883096>.
- Schwartz, M., Perrot, A. (2017). *Louis Pasteur - Le visionnaire*. La Martinière.
- Selden, T. M., and Song, D. (1994). Environmental quality and development: is there a Kuznets curve for air pollution emissions? *Journal of Environmental Economics and management*, 27(2), 147-162.
- Senik, C. (2014). *L'Économie du bonheur*. Média Diffusion.
- Serafini, F. W. (2002). Dismantling the factory model of assessment, *Reading & Writing Quarterly*, 18:1, 67-85. DOI: 10.1080/105735602753386342
- Shannon, C. E. (1938). A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits. *Trans. AIEE*. 57 (12), 713–723. <https://doi.org/10.1109/T-AIEE.1938.5057767>. hdl:1721.1/11173.
- Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *The Bell system technical journal*, 27(3), 379-423.
- Shannon, C. E. (1949). Communication Theory of Secrecy Systems. *The Bell System Technical Journal*, 28 (4), 656–715.
- Simmons, M.W. (2016). *Thomas Edison: American Inventor*. CreateSpace Independent Publishing Platform.

- Simon, H. A. (1957). A behavioral model of rational choice. *Models of man, social and rational: Mathematical essays on rational human behavior in a social setting (1957)*, 241-260.
- Simon, H. A. (1956). Rational choice and the structure of the environment. *Psychological Review*, 63(2), 129–138. <https://doi.org/10.1037/h0042769>.
- Simon, Herbert A. (1959). Theories of decision-making in economics and behavioral science. *The American economic review*, 49 (3), 253-283.
- Sir Francis Bacon. (1620). *Novum Organum* (2019). Joseph Devey, M.A. <https://oll.libertyfund.org/titles/1432>.
- Skea, J., Shukla, P., Al Khoudajie, A. and McCullom, D. (2021). Intergovernmental Panel on Climate Change : Transparency and integrated assessment modeling. *Wiley interdisciplinary Review: Climate Change*, 12 (5), e727.
- Smith, A. (1776). *An Inquiry Into The Nature and Causes of The Wealth of Nations* (2007). MetaLibri digital edition. https://www.ibiblio.org/ml/libri/s/SmithA_WealthNations_p.pdf
- Smith, C. (2006). *The Plan of Chicago: Daniel Burnham and the Remaking of the American City*. University of Chicago Press.
- Smith, H. J. (2003). The shareholders vs. stakeholders debate. *MIT Sloan Management Review*, 44(4), 85-90.
- Solow, R. M. (1956). A Contribution to the Theory of Economic Growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 70(1), 65–94. www.jstor.org/stable/1884513. Accessed 19 Aug. 2019.
- Spolaore, E. (2020). Commanding Nature by Obeying Her: A Review Essay on Joel Mokyr's A Culture of Growth. *Journal of Economic Literature*, 58 (3), 777-792. <https://doi.org/10.1257/jel.20191460>
- Stern, R. M., Gilmartin, G. et Massengale, J. M. (1900). *Metropolitan architecture and urbanism 1890-1915* (1984). Rizzoli International Publications.
- Stevens, M., & Pradhan, S. (2016). Playing tetris with deep reinforcement learning. *Convolutional Neural Networks for Visual Recognition CS23, Stanford Univ., Stanford, CA, USA, Tech. Rep.*
- Stichweh, D. and Machirus, J., (2016). *NY Skyscrapers*. Prestel; Illustrated edition.
- Stiegler, Bernard. (2014). *Digital studies : Organologie des savoirs et technologies de la connaissance*. FYP éd.

- Stigler, G.J. (1954). Schumpeter's History of Economic Analysis. *Journal of Political Economy*, 62(4), 344-345.
- Stiglitz, J. (2019). *People, power, and profits: Progressive capitalism for an age of discontent*. Penguin UK.
- Stiglitz, J. E. (1974). The Cambridge-Cambridge Controversy in the Theory of Capital; A View from New Haven: A Review Article. *Journal of Political Economy* 82(4), 1974, 893-903. <http://www.jstor.org/stable/1837157>.
- Stiglitz, J.E. (2004). *The Roaring Nineties, Why We're Paying the Price for the Greediest Decade in History*. Penguin Books.
- Succar, B. (2009). Building Information Modeling Framework: A Research and Delivery Foundation for Industry Stakeholders. *Automation in Construction*, 18(3), 357–375.
- Sun, C. and al. (2017). A literature review of the factors limiting the application of BIM in the construction industry. *Technological and Economic Development of Economy*, 23(5), 764-779.
- Supiot, A. (2001). La contractualisation de la société. *Courrier de l'environnement de l'INRA*, 43. 51-58 https://www.college-de-france.fr/media/alain-supiot/UPL7487404529511809532_La_contractualisation_de_la_socie_te_.pdf.
- Supiot, A. (2020, 20 juin). *La gouvernance par les nombres 2 - Le rêve de l'harmonie par le calcul*. Fondation Hugot du Collège de France, Youtube. <https://youtu.be/D3U9IOBz8R8>, (2017).
- Supiot, A. et al. (2019). *Salaires : Travail, Salaires, Profit*. Épisode 3 ARTE. <https://www.youtube.com/watch?v=pBHsV1Vr10w>
- Supiot, A. et Thibault, B. (2016). *Il n'y a pas de paix durable sans justice sociale*. Conférence-dialogue. https://www.iea-nantes.fr/fr/actualites/les-mardis-de-l-iea-avec-bernard-thibault-et-alain-supiot_681
- Swan, T. W. (1956). Economic growth and capital accumulation. *Economic record*, 32(2) ,334-361.
- Taguchi, G., Chowdhury, S., and Wu, Y. (2004). *Taguchi's Quality Engineering Handbook*. Wiley-Interscience.
- Taikan Oki, et al. (2006). Global Hydrological Cycles and World Water Resources. *Science* 313,(1068). <https://doi.org/10.1126/science.1128845>
- Taleb, N. N. (2007). *The black swan: The impact of the highly improbable* (Vol. 2). Random house.

- Taleb, N. N. (2010). *Antifragility, Robustness, and Fragility, Inside the 'Black Swan' Domain*. SSRN Electron. J.
- Taleb, N. N. (2014). *Antifragile: Things That Gain from Disorder*. Random House Trade Paperbacks.
- Taleb, N.N. (2020). *Statistical Consequences of Fat Tails: Real World Pre asymptotics, Epistemology, and Applications*. STEM Academic Press.
- Taussig, S. (2016). Critique de la destruction créatrice de Pierre Caye. *Le Philosophoire*, 1(45), 175-181. <https://doi.org/10.3917/phoir.045.0175>
- Taylor, F. W. (1911). *The Principles of Scientific Management*. Harper and Brothers.
- Taylor, F. W. (1919). *The principles of scientific management*. Harper & brothers.
- tbmaestro SA. (2022). Plateforme collaborative 3t : logiciels myA et evA. www.tbmaestro.com
- Tenu, A. (2016, 20 juin). Les débuts de la comptabilité en Mésopotamie. *Comptabilités*, 8. <http://journals.openedition.org/comptabilites/1877>
- Tesla, N. (1888). *A New System of Alternating Current Motors and Transformers and Other Essays* (2008). Wilder Publications.
- Teulon, F (1996). *Vocabulaire économique*. Que sais-je ? Économie, Dictionnaire.
- The Natural Capital Coalition is an international collaboration that unites the global natural capital community. <https://naturalcapitalcoalition.org/>, consulté le 20 mai 2020.
- Tirole, J. (1988). *The theory of industrial organization*. MIT press.
- Tirole, J. (2015). Market failures and public policy. *American Economic Review*, 105(6), 1665-82.
- To, K., Hung, I., Chan, J., and Yuen, K. (2013). From SARS coronavirus to novel animal and human coronaviruses. *Journal of Thoracic Disease*, 5(2). <http://jtd.amegroups.com/article/view/1212>
- Tol, R.S. (2020). Selfish Bureaucrats And Policy Heterogeneity In Nordhaus Dice. *Climate Change Economics*, 11(04), 1-16. <https://doi.org/10.1142/S2010007820400060>
- Topalov, C. (2002). *Les divisions de la ville*. Éditions de la Maison des sciences de l'homme. <https://doi.org/10.4000/books.editionsmssh.1233>

- Tordjman, H (2021). *La croissance verte contre la nature : Critique de l'écologie marchande*. Sciences. La Découverte.
- Transparency and integrated assessment modeling. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate change*, 12 (5), 727.
- Tribot, S. (2016). 8 matériaux de construction innovants et méconnus. *Techniques de l'ingénieur, L'actu de l'innovation, Matériaux, Biotech & chimie*, 4 janvier 2016, <https://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/articles/8-materiaux-de-construction-innovants-meconnus-29376/>
- Tricot, J. (1990). *Aristote - Ethique à Nicomaque*. Vrin.
- Trocmé, H. (1993). Maîtriser la croissance métropolitaine : le plan régional de New York. Dans D. Royot, *Les États-Unis à l'épreuve de la modernité : Mirages, crises et mutations de 1918 à 1928*. Presses Sorbonne Nouvelle. <http://books.openedition.org/psn/5198>
- Turing, A. M. (1950). Computing machinery and intelligence. *Mind*, LIX (236), 433-460 <https://doi.org/10.1093/mind/LIX.236.43>
- Turk, G., & Levoy, M. (1994, July). Zippered polygon meshes from range images. In *Proceedings of the 21st annual conference on Computer graphics and interactive techniques* (pp. 311-318).
- Tversky, A. and Kahneman, D. (1974). Judgment under Uncertainty: Heuristics and biases. *Science*, 185(4157), 1124-1131. <https://doi.org/10.1126/science.185.4157.1124>.
- UNESCO, World Heritage Convention, (2010). *Le quartier des canaux à Amsterdam, (Pays-Bas)*. <https://whc.unesco.org/>
- Union Européenne. (2013). Système européen des comptes, SEC 2010. cat. : KS-02-13-269-FR-C. *Office des publications de l'Union européenne*, 2013. <https://doi.org/10.2785/21383>
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs Economic Analysis. (2017, 23 octobre).
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2018). *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision*. <https://population.un.org/wup/>
- United States Census Bureau. (2020, 23 août). *QuickFacts: Chicago city, Illinois; United States*. <https://www.census.gov/quickfacts/fact/table/chicagocityillinois,US/PST045219>

- Upitis, R. (2004). School Architecture and Complexity. *Complicity*, vol.1, n° 1, DOI: <https://doi.org/10.29173/cmplct8713>
- US department of Agriculture.
<https://www.un.org/development/desa/dpad/publication/frontier-technology-quarterly-september-2019-frontier-technologies-for-addressing-plastic-pollution/>
- US Energy Information Administration. (2020, 20 janvier). theshiftdataportal.org.
- van Dorp, L. Acman, M., Richard, D., Shaw, L.P., Ford, C.E., Ormond, L. and Balloux, F. (2020). Emergence of genomic diversity and recurrent mutations in SARS-CoV-2". *Infection, Genetics and Evolution*, 83.
<https://doi.org/10.1016/j.meegid.2020.104351>.
- Vérificateur général du Québec. (2000). Gestion des immeubles dans le réseau de la santé et des services sociaux. Dans, *Rapport à l'Assemblée nationale pour l'année 1999-2000, Tome I – Chapitre 3*. Québec, Québec, Canada.
www.vgq.gouv.qc.ca/rappann/rapp_2000/TomeI/Chapitr
- Vigarello, G. (1985). *Le Propre et le sale : l'hygiène du corps depuis le Moyen Âge*. Seuil. Sciences humaines, Histoire, L'Univers historique.
- Vigarello, G. (2015). *Histoire des pratiques de santé - Le sain et le malsain depuis le Moyen Âge*. Seuil. Sciences humaines, Divers, Histoire.
- Villemeur, A. (1988). *Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels : fiabilité-facteurs humains, informatisation*. Eyrolle.
- Vindt, G. (2019, 25 juillet). L'invention du brevet à Venise. *Alternatives économiques*.
<https://www.alternatives-economiques.fr/>
- Vogt, W. (1948). *Road To Survival* (2010). Kessinger Publishing.
- Von Neumann, J. et Morgenstern, O. (1947). *Theory of Games and Economic Behavior* (2007). Princeton University Press.
- Von Neumann, J., and Morgenstern, O. (1944). *Theory of games and economic behavior* (2007). Princeton university press.
- Walras, A (1831). *De la nature de la richesse et de l'origine de la valeur*. A. Johanneau.
- Walras, L. (1874). *Éléments D'Économie Politique Pure : Ou Théorie De La Richesse Sociale* (2010). Kessinger Publishing.
- Walras, L. (1896). *Éléments d'économie politique pure, ou, Théorie de la richesse sociale*. F. Rouge.

- Wang, B. and al. (2010). Evidence-based maintenance: part II: comparing maintenance strategies using failure codes. *Journal of Clinical Engineering*, 35(4), 223-230. <https://doi.org/10.1097/JCE.0b013e3181f6b80b>
- Wasara, G. (2020). Impact of Entrepreneurial Activities on Natural Capital. *Global Journal of Management And Business Research*, [S.l.]. <https://www.journalofbusiness.org/index.php/GJMBR/article/view/3105>.
- Weber, M. (1919). *Le savant et le politique* (2002). 10 X 18, Paris.
- Weibull, Waloddi. (1951). *A statistical distribution function of wide applicability*. *Journal of applied mechanics*, 18(3), 293-297.
- Weiner, N. (1958). *Nonlinear problems in random theory*. Technology Press of Massachusetts Institute of Technology and New York, Wiley.
- Wiener, N. (1950). *Extrapolation, interpolation, and smoothing of stationary time series: with engineering applications*. Cambridge : MIT press.
- Wikipedia. (2021, 5 septembre). *COVID 19 Pandemic data*. https://en.wikipedia.org/wiki/Template:COVID-19_pandemic_data
- WJ Wouter, B. and van den Bergh, J. (2012). How sensitive is Nordhaus to Weitzman? Climate policy in DICE with an alternative damage function. *Economics Letters*, 117(1), 372-374. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2012.05.032>
- Wolloch N. (2020). Adam Smith and the concept of natural capital. *Ecosystem Services*, 43. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101097>.
- Woodhouse, J.(2014). Briefing: Standards in asset management: PAS 55 to ISO 55000. *Infrastructure Asset Management* 1(3), 57-59.
- World Bank. (2020, 16 septembre). *Gross Domestic Product (2019)*. <https://data.worldbank.org/>
- World Heritage Encyclopedia. (2019, 18 octobre). http://community.worldheritage.org/articles/eng/Franz_San_Galli
- World Intellectual Property Organization. (2020). *Patent Cooperation Treaty, Yearly Review 2020, The International Patent System*. https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_901_2020.pdf
- *World Population Review*. (2019, 18 décembre). <https://worldpopulationreview.com/>
- Worton, D., Sturges, W., Schwander, J., Mulvaney, R., Barnola, J.M. et Chappellaz, J. (2006). 20th century trends and budget implications of chloroform and related tri-and

dihalomethanes inferred from firn air. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 6, 2847-2863.

- Yusoff M. S. (2005). Le service public : une organisation apprenante. L'expérience malaisienne. *Revue Internationale des Sciences Administratives*, 71, 497-510.
<https://doi.org/10.3917/risa.713.0497>
- Zabawski, E. (2018). Failure probability curves. *Tribology & Lubrication Technology*, 74(2), 8-8.
- Zalila, Z. (2018). Chapitre 36. L'intelligence artificielle floue augmentée : vers une médecine prédictive personnalisée. Dans : éd., *Architecture et ingénierie à l'hôpital : Le défi de l'avenir* (pp. 271-282). Rennes : Presses de l'EHESP.
<https://doi.org/10.3917/ehesp.lange.2018.01.0271>
- Zeff, S. A. (2016). *Forging accounting principles in five countries: A history and an analysis of trends*. Routledge.
- Zhou, H., Chen, X., Hu, T., Hughes, A., Bi, H. and Shi, W. (2020). A Novel Bat Coronavirus Closely Related to SARS-CoV-2 Contains Natural Insertions at the S1/S2 Cleavage Site of the Spike Protein. *Current Biology, Report* 30(11), 2196-2203.
<https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.05.023>

ANNEXE A – LISTE DES OUTILS ET THÈMES DE LA GESTION D’ACTIFS PHYSIQUES

Liste de contrôle des « outils » nécessaires pour la gestion des actifs :

1. Connaissance de l'organisation et du contexte
2. Compréhension des besoins et attentes des parties prenantes
3. Détermination du périmètre du SGA (actifs et découpage technique, par système, par composants)
4. Le Système de Gestion des Actifs (SGA)
5. Leadership :
 - Politique de gestion d'actifs,
 - Plan stratégique de la gestion d'actifs (PSGA),
 - Système de gestion d'actifs (SGA)
6. Politique de Gestion d'Actifs (rôles, responsabilité, autorité)
7. Planification :
 - Actions pour traiter les risques et SGA
 - Objectifs de la gestion d'actifs et plans pour les atteindre
8. Soutien (ressources et compétences, sensibilisation, communication, exigences, informations clés documentées)
9. Fonctionnement (Planification et maîtrise, gestion des modifications, externalisation)
10. Évaluation des performances (surveillance, mesure, analyse, évaluation et audit interne, revue de direction)
11. Amélioration (non-conformité et actions correctives, actions préventives et amélioration continue)

Les thèmes relatifs à la gestion d’actifs abordés par d’autres normes internationales, régionales ou nationales publiées comprennent, mais sans toutefois s’y limiter les thèmes suivants (ISO 55002, 2018)⁶¹⁵ :

- Gestion des données;
- Surveillance de l’état ou de la condition;
- Management du risque;
- Management de la qualité;
- Gestion des actifs TIC;
- Management environnemental;
- Ingénierie des systèmes et du logiciel;
- Coûts du cycle de vie;
- Sûreté de fonctionnement (disponibilité, fiabilité, maintenabilité, logistique de maintenance);
- Gestion de la configuration;

⁶¹⁵ ISO 55002. (2018). *Gestion d'actifs - Systèmes de management - Lignes directrices relatives à l'application de l'ISO 55001*. <https://www.iso.org/fr/standard/70402.html>

- Térotechnologie (Mode d'organisation intégrée de la disponibilité des équipements industriels: usine 4.0, 5.0);
- Développement durable;
- Équipements sous pression;
- Gestion financière;
- Management de la valeur;
- Qualification et évaluation du personnel;
- Management de projet;
- Biens et gestion de biens;
- Facilities Management;
- Gestion des équipements;
- Processus de mise en service;
- Gestion de l'énergie ;
- inspection ;
- Essais non destructifs, dont :
 - Examen visuel/sensoriel (VT : *Visual Testing*) ;
 - Ressuage (PT : *Penetrant Testing*) ;
 - Rayons X (RTX : *Real Time X*) ;
 - Gammagraphie (RT gamma : *Real Time gamma*) ;
 - Neutronographie ;
 - Jauges ;
 - Ultrasons (UT : *Ultrasonic Testing*) ;
 - Émission acoustique (AT : *Acoustic Testing*) ;
 - Thermographie infrarouge (TT : *Thermographic Testing*) ;
 - Magnétoscopie (MT : *Magnetic particle Testing*) ;
 - Démagnétisation ;
 - Acoustique non linéaire ;
 - Étanchéité (LT : *Leak Tightness*) ou (ITM TODA-15) ;
 - Courants de Foucault (ET) ;
 - Méthodes couplées ;
 - Paramètres de processus ;
 - Tribologie ;
 - Analyse de l'eau et autres ;
 - Inspections télévisuelles ;
 - Tomographie ;
 - Laser;
 - Équilibrage;
 - Calibrage;
 - Mesures d'éclairage et autres ambiances;
 - Analyse vibratoire;
 - Échantillonnages divers (composition de toiture, mur, matériaux – amiante, légionellose, thermite, etc.).

ANNEXE B – CLASSIFICATION DES FONCTIONNALITÉS, DES USAGES ET DES FONCTIONS : SYSTÈME DE SUIVI DES ACTIFS PHYSIQUES

Pour les fonctionnalités :

UniFormat (ASTM E1557-09, 2020)⁶¹⁶ et MasterFormat sont des normes ASTM.org organisationnelles de structuration et de classification des éléments d'actifs physiques publiées depuis les années 1990 et mises à jour continuellement. Elles sont utilisées dans la conception et la construction de bâtiments en Amérique du Nord. Les deux normes sont fondamentalement différentes dans leur intention. UniFormat est une organisation du contenu du bâtiment basée sur les *systèmes*. MasterFormat est une organisation du contenu du bâtiment basée sur les *matériaux*.

En outre, du point de vue des meilleures pratiques en matière de modélisation des données du bâtiment (BIMs), il n'est pas efficace de modéliser des composants séparément afin de pouvoir leur attribuer plus facilement un code de matériau, comme le propose MasterFormat. Ainsi, UniFormat, en tant que schéma de codage, est plus proche de la nature des éléments composites dans un BIM que MasterFormat. Les outils de création de BIM offrent plus de possibilités en attribuant un codage UniFormat qu'un codage MasterFormat (Autodesk, 2016)⁶¹⁷.

L'analyse d'un projet et de son suivi pendant les phases d'exploitation et de maintenance avec un codage UniFormat, combiné à système de suivi des composants des actifs physiques (ASTM E3035-15, 2020)⁶¹⁸ est également plus proche du processus de décision pour la gestion d'actifs physiques. L'interprétation d'un projet par rapport aux *systèmes* en utilisant UniFormat augmente la vitesse et la précision des décisions de manière itérative, ce qui se traduit par une meilleure gestion des actifs physiques tout au long du cycle de vie (Wong et Wang, 2014)⁶¹⁹ (Wong et Zhou, 2015)⁶²⁰.

⁶¹⁶ E1557-09. (2020) e1. *Standard Classification for Building Elements and Related Sitework—UNIFORMAT II*. ASTM. <https://www.astm.org/e1557-09r20e01.html>

⁶¹⁷ Autodesk. *Classification Systems and Their Use in Autodesk Revit® - Managing the "I" in BIM*. (White paper). <https://interoperability.autodesk.com/classificationmanager.php>

⁶¹⁸ ASTM E3035 -15. (2020). *Standard Classification for Facility Asset Component Tracking System (FACTS)*. <https://www.astm.org/Standards/E3035.htm>

⁶¹⁹ Wong, J., Wang, X., Li, H., & Chan, G. (2014). A review of cloud-based BIM technology in the construction sector. *Journal of information technology in construction*, 19, 281-291.

⁶²⁰ Wong, J. K. W., & Zhou, J. (2015). Enhancing environmental sustainability over building life cycles through green BIM: A review. *Automation in construction*, 57, 156-165.

Trouvez aux pages suivantes la classification UniFormat ainsi que des figures présentant la structuration d'un système de suivi des composants et de leurs données associées tout au long du cycle de vie.

ASTM E-1557-02 : UNIFORMAT II

TABLEAU DE CLASSEMENT, NIVEAU 1-2-3

ÉLÉMENTS DE TRAVAUX DE BÂTIMENT

Niveau 1 Groupe majeur d'éléments	Niveau 2 Groupe d'éléments	Niveau 3 Éléments individuels
A INFRASTRUCTURE	A10 Fondations	A1010 Fondations standard A1020 Fondations spéciales A1030 Dalle inférieure
	A20 Construction de sous-sol	A2010 Excavation de sous-sol A2020 Murs de sous-sol
B SUPERSTRUCTURE ET ENVELOPPE	B10 Superstructure	B1010 Construction de plancher B1020 Construction de toiture
	B20 Enveloppe extérieure	B2010 Murs extérieurs B2020 Fenêtres extérieures B2030 Portes extérieures
	B30 Toit	B3010 Couverture B3020 Ouvertures de toit
C AMÉNAGEMENT INTÉRIEUR	C10 Construction intérieure	C1010 Cloisons C1020 Portes intérieures C1030 Accessoires intégrés
	C20 Escaliers	C2010 Construction d'escaliers C2020 Finitions d'escaliers
	C30 Finitions intérieures	C3010 Finitions de mur C3020 Finitions de plancher C3030 Finitions de plafond
D SERVICES	D10 Moyens de transport	D1010 Ascenseurs et monte-charge D1020 Escaliers mécaniques et trottoirs roulants D1090 Autres systèmes transporteurs
	D20 Plomberie	D2010 Appareils de plomberie D2020 Réseau d'eau domestique D2030 Réseau de drainage sanitaire D2040 Réseau de drainage pluvial D2090 Autre système de plomberie
	D30 Chauffage, ventilation et conditionnement d'air (CVCA)	D3010 Source d'énergie D3020 Système de production de chaleur D3030 Système de production de froid D3040 Distribution de CVCA D3050 Unités autonomes ou monoblocs D3060 Régulation et instrumentation D3070 Essai et réglage des systèmes D3090 Autres systèmes ou équipement de CVCA
	D40 Protection incendie	D4010 Gicleurs D4020 Canalisations et robinets d'incendie D4030 Accessoires de protection incendie D4090 Autres systèmes de protection incendie
	D50 Électricité	D5010 Service et distribution électrique D5020 Éclairage et distribution secondaire D5030 Communication et sécurité D5090 Autres systèmes électriques
E ÉQUIPEMENT ET AMEUBLEMENT	E10 Équipement	E1010 Équipement commercial E1020 Équipement institutionnel E1030 Équipement pour véhicules E1090 Autre équipement
	E20 Ameublement et décoration	E2010 Ameublement et décoration fixes E2020 Ameublement et décoration mobiles
F CONSTRUCTION SPÉCIALE ET DÉMOLITION	F10 Construction spéciale	F1010 Structure spéciale F1020 Sous-ensembles intégrés F1030 Système spécial de construction F1040 Installation spéciale F1050 Instrumentation et régulation spéciales
	F20 Démolition sélective de bâtiment	F2010 Démantèlement d'éléments de bâtiment F2020 Élimination de produits dangereux

ÉLÉMENTS DE TRAVAUX	D'EMPLACEMENT	
G AMÉNAGEMENT D'EMPLACEMENT	G10 Préparation d'emplacement	G1010 Déblaiement d'emplacement G1020 Déplacements et démolition sur l'emplacement G1030 Terrassement d'emplacement G1040 Décontamination d'emplacement
	G20 Amélioration d'emplacement	G2010 Chaussée G2020 Aire de stationnement G2030 Surface piétonnière G2040 Aménagement d'emplacement G2050 Aménagement paysager
	G30 Services de mécanique sur l'emplacement	G3010 Alimentation en eau G3020 Égout sanitaire G3030 Égout pluvial G3040 Distribution de chauffage G3050 Distribution de refroidissement G3060 Distribution de combustible G3090 Autres services de mécanique sur l'emplacement
	G40 Service d'électricité sur l'emplacement	G4010 Distribution d'électricité G4020 Éclairage d'emplacement G4030 Communication et sécurité sur l'emplacement G4090 Autres services d'électricité sur l'emplacement
	G90 Autre construction sur l'emplacement	G9010 Tunnels piétons et de services G9090 Autres systèmes sur l'emplacement

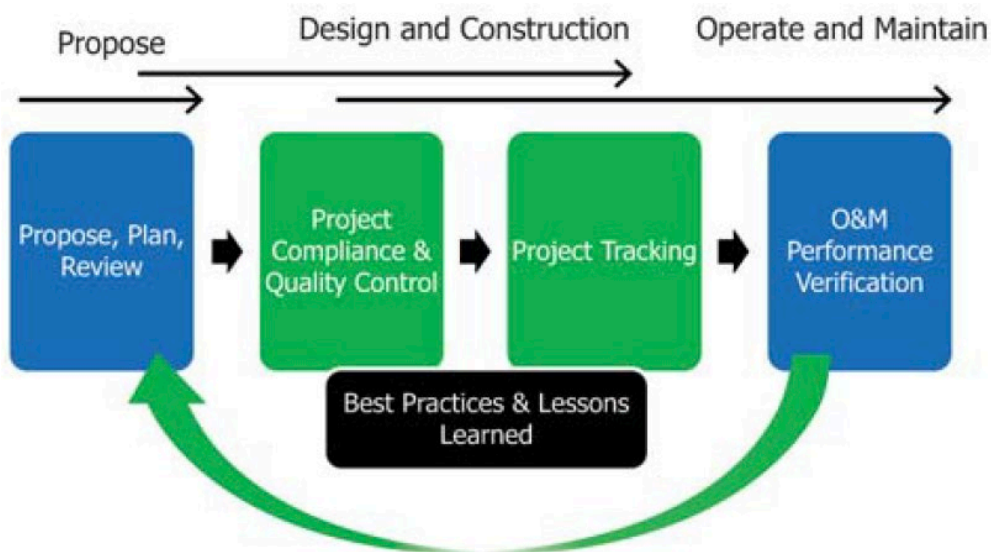


Figure A.1 : Application d'un système de gestion d'actifs durant le cycle de vie
(Source : ASTM E3035 -15)



Figure A.2 : Niveau de détail (LOD) et niveau d'information (LOI) recommandés pour un système de gestion d'actifs durant le cycle de vie (Source : ASTM E3035 -15)

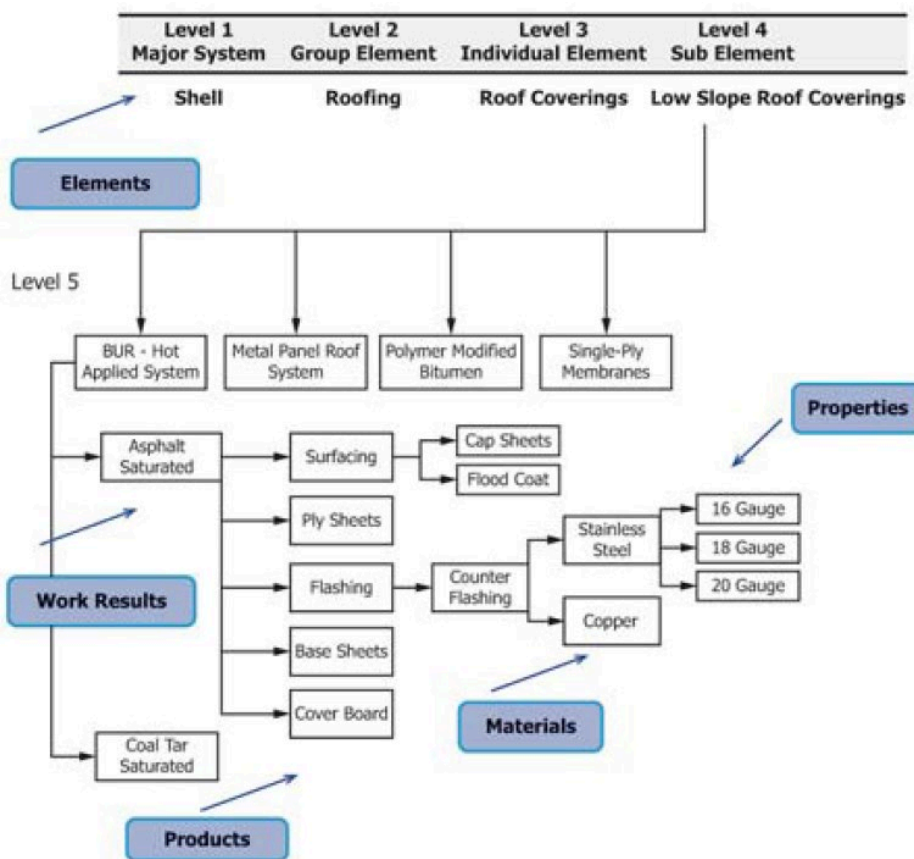


Figure A.3 : Relation intégrée des composants, du résultat des actions de construction, de maintenance ou de maintien d'actifs, des équipements utilisés et des propriétés techniques. (Source : ASTM E3035 -15)

Pour les usages et les fonctions :

Sur le plan des *usages* et des *fonctions*, les systèmes de classification ne sont pas normalisés. Chaque organisation doit convenir d'une nomenclature et de son découpage. L'objectif est de mettre en place un référentiel servant à identifier l'*allocation* (quels usagers ? quelles activités ?) et à identifier la *dynamique d'occupation* par la mesure de la *densité temporelle* et la *densité surfacique*. Enfin, il est utile pour tester la rupture d'usage, l'adéquation des espaces avec les usages actuels ou souhaités.

Les caractéristiques d'une classification adéquate des usages et des fonctions sont de :

- Choisir une échelle de découpage pérenne pour capitaliser de l'information à toutes les échelles :
 - Organisation concernée;
 - Typologie de bâtiment : enseignement, culture, sports et jeunesse, formation aux adultes, formation primaire, formation secondaire, etc.;
 - Site : Groupe scolaire X, Stade de football Y, Groupe de logements sociaux Z, etc.;
 - Bâtiment : Maternelle du Groupe X, École élémentaire du Groupe X, etc.;
 - Zone : maternelle, restaurant, logements, etc.
 - Local : classe, toilette, couloir, etc.
- Adopter une logique uniforme permettant la comparaison simplifiée des actifs physiques à toutes les échelles et conserver la possibilité d'une agrégation de l'information par aires urbaines (îlot, quartier, ville) ou territoriales (département, région, province, pays);
- Généraliser l'usage de l'inventaire comme référence pour les services techniques, mais aussi pour les autres services gestionnaires et administratifs.

ANNEXE C – PRIX DE CONSTRUCTION ET VAR : TROIS ÉCOLES PRIMAIRES (REF 2011)

Cas n°2 : École de 2 865 m²

	Annexe à la soumission Liste des prix ventiles	Section 00430 Page 1
Nouvelle école primaire		
Ecole avec fondation sur pieux et dalle sur sol		
Cout 6 496 003,50\$ excluant allocation et incluant les taxes 2011		
2865 m²		
2267\$ du m²		
SPECALITÉS		
Conditions générales		300 000,00\$
Démolition		5 000,00\$
Déblaiement, coupe d'arbres et essaimement		20 000,00\$
Excavation et remblayage		213 067,00\$
Terre végétale et terrassement de finition		20 000,00\$
Clôture et barrières à mailles de chaîne		12 000,00\$
Arbres, arbustes et couvre sols végétaux		10 000,00\$
Gazonnement en plaques		16 000,00\$
Égouts sanitaires et pluviaux		95 000,00\$
Aqueduc		10 000,00\$
Bassin de rétention		5 000,00\$
Bordures et trottoirs de béton		10 000,00\$
Fondation granulaire de chaussée		26 000,00\$
Pavage		30 000,00\$
Béton et fini de béton		165 000,00\$
Carrefrages		80 000,00\$
Armatures		80 600,00\$
Pieux à tubes d'acier		105 000,00\$
Mécanisme de blocs de béton architecturaux		90 000,00\$
Mécanisme de blocs de béton		450 000,00\$
Acier de charpente		450 000,00\$
Structure de bois		30 000,00\$
Platelage métallique		30 000,00\$
Couvre joints de dilatation		30 000,00\$
Escaliers métalliques		15 000,00\$
Escaliers métalliques		8 000,00\$
Chapfenère		51 000,00\$
Mémoire		5 000,00\$
Fermeture		130 000,00\$
Mobilier vanités dans les classes (12 items)		12 000,00\$
Fondet hydrologie biomimé		1 200,00\$
		1

Nouv. école primaire	Amorce à la soumission Liste des prix ventiles	Section 01430 Page 2
Dossier		
Pare-vapeur en feuilles	5 000,00\$	
Isolant en matelas	8 000,00\$	
Isolant en panneaux	20 000,00\$	
Isolant moussé en place	35 000,00\$	
Ensemble coupe-feu et pare-flamme	10 000,00\$	
Membrane pare-air/vapeur liquide/autocolante	20 000,00\$	
Panneaux métallique perforés	190 000,00\$	
Couverture à membrane élastomère soudée	200 000,00\$	
Solins et garnitures métalliques	7 000,00\$	
Trappe de toiture	500,00\$	
Produits d'étanchéité	2 700,00\$	
Portes et cadres en acier	80 000,00\$	
Portes en bois	20 000,00\$	
Vollets à enroulement vertical	2 000,00\$	
Fondres en aluminium	70 000,00\$	
Lanterneaux en plastique	9 000,00\$	
Quincaillerie	15 000,00\$	
Allocation inspection quincaillerie et tirage	3 800,00\$	
	30 000,00\$	
Murs-riveaux, portes et cadres en aluminium	400 000,00\$	
Colombages métalliques / panneaux de gypse	100 000,00\$	
Carreaux de céramique	30 000,00\$	
Carreaux de plâtré insourisants	60 000,00\$	
Carreaux de vinyle composé au sol / planche souple	40 000,00\$	
Recêtement de vinyle en rouleau +plinthe souple	20 000,00\$	
Recêtement de sol de gymase en PVC	17 000,00\$	
Panneaux acoustiques pour murs	2 000,00\$	
Peinture	50 000,00\$	
Tableaux à écrire et d'affichage	25 000,00\$	
Chaises de plastique stratifié pour salles de toiles:	12 000,00\$	
Signalisation intérieure	2 000,00\$	
Casiers postaux (pigeonier)	1 000,00\$	
Accessoires de toitures	2 000,00\$	
Equipement de gymase	18 000,00\$	
Crêles grille-pains	4 000,00\$	

Nouv. école primaire	Amorce à la soumission Liste des prix ventiles	Section 01430 Page 3
Ascenseur hydrauliques à cylindres de surface	62 000,00\$	
Cocherme	200 000,00\$	
PloMBERIE	215 633,00\$	
Chauffage / refroidissement	148 000,00\$	
Ventilation	376 000,00\$	
Protection incendie	52 500,00\$	
Électricité	427 800,00\$	
Régulation automatique	128 200,00\$	
Divers	NA	NA
Autres	NA	NA
Allocation de construction Structure*	AVANCE	50 000,00 \$
Allocation de construction Civil*	AVANCE	15 000,00 \$
Administration et profit		200 000,00\$
TOTAL --exclant taxes (Ce montant doit être égal au montant de la soumission)		5 767 000,00\$
2. Identification du soumissionnaire	Soumissionnaire:	
	Signature:	

* Cette allocation sert à couvrir les honoraires au chantier. Les sommes non utilisées de cette allocation seront créditées à la fin du contrat et ne représentent en aucun cas une obligation de la Commission Scolaire à verser l'allocation sans pièces justificatives au soumissionnaire.

** FIN **

SEAO		10/6/2011 0:14:24 PM PAGE 6/008 FAX SERVIER	
Nouvelle école primaire		Annexe à la soumission	
28		Liste des prix vendus	
SECTION MODIFIÉE		ADDENDA 04	
		Section 00430	
		Page 2	
Soins et garnitures métalliques	inclus		
Trappe de toiture	1,200.00		
Produits d'étanchéité	inclus		
Portes et cadres en acier	162,000.00		
Portes et cadres en aluminium	inclus		
Portes en bois	inclus		
Volets à encastrement vertical	2,000.00		
Fermettes en aluminium	inclus		
Puits de lumière	15,235.00		
Quincaillerie	inclus		
Allocation inspection quincaillerie	inclus		
Vitrage	inclus		
Devanture coulissante en aluminium (grille plane)	3,645.00		
Murs-rideaux vitrés à ossature d'aluminium	667,000.00		
Tableau des fins	inclus		
Ossature non-porteuse en colombages métalliques	429,000.00		
Ossature de suspension pour plafonds insonorisants	inclus		
Panneaux de gypse	inclus		
Carteaux de céramique	79,460.00		
Carteaux de plâtre insonorisants	inclus		
Revêtement de sol en carreaux de vinyle composé	78,175.00		
Revêtement de sol de gymnase en PVC	29,900.00		
Panneaux acoustiques pour murs	10,000.00		
Peinture	75,000.00		
Tableaux à écrire et d'affichage	44,100.00		
Cloisons de plastique stratifié pour salles de loisirs	20,646.00		
Signalisation intérieure	3,400.00		
Porte ascenseur	9,000.00		
Rideau diviseur de gymnase	inclus		
Accessoires de toilettes	15,025.00		
Équipement de gymnase	37,815.00		
Grilles grille-pieds	6,927.00		
Ascenseur hydrauliques à cylindres de surface	45,000.00		
Isolation mécanique	inclus		
Géothermie	97,250.00		

SEAO		10/6/2011 0:14:24 PM PAGE 7/000... FAX SERVIER	
Nouvelle école primaire		Annexe à la soumission	
		Liste des prix vendus	
SECTION MODIFIÉE		ADDENDA 04	
		Section 00430	
		Page 3	
Promoteur	637,535.00		
Chauffage / refroidissement	inclus		
Ventilation	580,400.00		
Contrôle	inclus		
Protection incendie	72,400.00		
Électricité	566,323.00		
Régulation automatique	211,900.00		
Deboisement	inclus		
Excavation et remblayage	711,686.00		
Égouts sanitaires et pluviaux	inclus		
Arpente	inclus		
Bassin de rétention	inclus		
Bordures et trottoir de béton	inclus		
Fondation granulaire de chauxsée	inclus		
Pavage	inclus		
Béton et fins de béton	200,000.00		
Coffrages	61,500.00		
Armatures	76,600.00		
Acier de charpente	677,400.00		
Structure de bois	39,500.00		
Platelage métallique	inclus		
Couvre-joints de dilatation	inclus		
Divers	45,683.00		
OPTION A (cours supplémentaires suppl. - voir A1001)	18,425.00		
OPTION B (stationnement suppl. - voir A1001)	38,375.00		
OPTION C (cour gymnase suppl. - voir A1001)	2		
Allocation de construction Architecture*	62,000.00 \$		
Allocation de construction Structure*	27,000.00 \$		
Allocation de construction Mécanique / électricité*	35,000.00 \$		
Allocation de construction Civil*	9,000.00 \$		
Autres	inclus		
Administration et profit	TEQ		
Sous-total	8,208,800.00		

4925 m²

Nouvelle école primaire

Annexe à la soumission
Liste des prix ventiles

ADDENDA 04

Section 00430

Page 4

SECTION MODIFIÉE

Taxe fédérale (5%)

EXCLUS

Taxe provinciale (8.5%)

EXCLUS

Grand-total (Ce montant doit être égal au montant de la soumission)

8,208,800,00**2. Identification du soumissionnaire**

Soumissionnaire:

Signature:

*Cette allocation sert à couvrir les frais d'éventuelles modifications au chantier. Les sommes non utilisées de cette allocation seront créditées à la fin du contrat et ne représente en aucun cas une obligation de la Commission Scolaire à verser l'allocation sans pièces justificatives au soumissionnaire.

* FIN *

HONORAIRES PROFESSIONNELS : Ingénieur en méca. élect. comm. cat. IV		=	222 767 \$
[Coût de construction + équipement Ingénieur] x 40 % +			
[Coût des transformations + équipement Ingénieur] x 65 % = Coût estimé des travaux			
2 822 990 \$		=	2 822 990 \$
1. METHODE A POURCENTAGE			
Hon. pour plans et devis et services		2 822 990 \$	
1 ^{re} franchise		1 600 000 \$	
Reste		1 222 990 \$	
Total (100%)			119 150 \$
			74 602 \$
			193 752 \$
2. ACHAT DE PLANS ET DEVIS			
Redevance pour achat: 15,0%		0 \$	15,0% = 0 \$
Hon. pour modifications, max. 20%		0 \$	20,0% = 0 \$
Hon. pour services : 35%		0 \$	35,0% = 0 \$
Total (0%)			0 \$
3. METHODE A FORFAIT			
Honoraires pour plans et devis et services			0 \$
T.P.S.		193 752 \$	X
T.V.Q.		203 440 \$	X
			9 688 \$
			19 327 \$
HONORAIRES PROFESSIONNELS : Ingénieur en struct. et génie civil - catégorie II			
[Coût de construction + équip. intégré] X 25% + [Conditions spéciales + aménagement ext. + cour d'école]			235 735 \$
+ Conditions spéciales charpente = Coût estimé des travaux			
7 057 475 \$ X 25,0% + 1 824 886 \$ =		3 589 255 \$	
			0
			3 589 255
1. METHODE A POURCENTAGE			
Hon. pour plans et devis et services		3 589 255 \$	
1 ^{re} franchise		1 600 000 \$	
Reste		1 989 255 \$	
Total (100%)			99 600 \$
			105 431 \$
			205 031 \$
2. ACHAT DE PLANS ET DEVIS			
Redevance pour achat: 15,0%		0 \$	15,0% = 0 \$
Hon. pour modifications, max. 20%		0 \$	20,0% = 0 \$
Hon. pour services : 35%		0 \$	35,0% = 0 \$
Total (0%)			0 \$
3. METHODE A FORFAIT			
Honoraires pour plans et devis et services			0 \$
T.P.S.		205 031 \$	X
T.V.Q.		215 283 \$	X
			10 252 \$
			20 452 \$
FRAIS DIVERS RELIES AUX HONORAIRES PROFESSIONNELS			
Frais de déplacement		4 300 \$	Contrôle du béton et compactation de sols
Frais d'impression des plans et devis		6 325 \$	Etude des sols
Provision pour études et relevés (agrès-disséminé et réaménagement)		14 400 \$	Surveillance de chantier
			Etudes spécialisées
			28 900 \$
J. Divers			
Appel d'offres (frais de publication)		4 000 \$	Permis de construction
Raccordement téléphonique		0 \$	Autres imprévus
Raccordement électrique		0 \$	
			83 941 \$
			79 941 \$
			0 \$
M. Intégration des arts (œuvre d'art et services)			
Œuvre d'art		96 912 \$	
			104 294 \$
			17 292 \$

