



HAL
open science

La patrimonialisation des objets scientifiques contemporains et leurs contextes de valorisation : cas de l'accélérateur de particules Cockcroft-Walton

Séverine Derolez

► **To cite this version:**

Séverine Derolez. La patrimonialisation des objets scientifiques contemporains et leurs contextes de valorisation : cas de l'accélérateur de particules Cockcroft-Walton. Education. Université de Lyon, 2016. Français. NNT : 2016LYSE1274 . tel-01450738

HAL Id: tel-01450738

<https://theses.hal.science/tel-01450738>

Submitted on 31 Jan 2017

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.



N°d'ordre NNT : 2016LYSE1274

THESE de DOCTORAT DE L'UNIVERSITE DE LYON

opérée au sein de
l'Université Claude Bernard Lyon 1

Ecole Doctorale N° 485 EPIC
Education - Psychologie - Information et Communication

**Spécialité de doctorat : Sciences de l'Information et de la
Communication**

Soutenue publiquement le 08/12/2016, par :
Séverine DEROLEZ

La patrimonialisation des objets scientifiques contemporains et leurs contextes de valorisation.

Cas de l'accélérateur de particules Cockcroft-Walton

Devant le jury composé de :

Maurines, Laurence
Bordeaux, Marie-Christine
Brenni, Paolo

Triquet, Éric

Lautesse, Philippe
Khantine-Langlois, Françoise
Jacomy, Bruno

PU, Université Paris 11
PU, Université Grenoble Alpes
Chercheur, Fondazione Scienza e
Tecnica de Florence
PU, Université d'Avignon
et des Pays de Vaucluse
PU, Université de Lyon
Prag HDR, Université de Lyon
Conservateur en chef HDR,
Musée des Confluences

Rapporteure
Rapporteure
Examineur

Examineur

Directeur de thèse
Co-directrice de thèse
Invité

UNIVERSITE CLAUDE BERNARD - LYON 1

Président de l'Université

Président du Conseil Académique

Vice-président du Conseil d'Administration

Vice-président du Conseil Formation et Vie Universitaire

Vice-président de la Commission Recherche

Directeur Général des Services

M. le Professeur Frédéric FLEURY

M. le Professeur Hamda BEN HADID

M. le Professeur Didier REVEL

M. le Professeur Philippe CHEVALIER

M. Fabrice VALLÉE

M. Alain HELLEU

COMPOSANTES SANTE

Faculté de Médecine Lyon Est – Claude Bernard

Faculté de Médecine et de Maïeutique Lyon Sud – Charles Mérieux

Faculté d'Odontologie

Institut des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques

Institut des Sciences et Techniques de la Réadaptation

Département de formation et Centre de Recherche en Biologie Humaine

Directeur : M. le Professeur J. ETIENNE

Directeur : Mme la Professeure C. BURILLON

Directeur : M. le Professeur D. BOURGEOIS

Directeur : Mme la Professeure C. VINCIGUERRA

Directeur : M. le Professeur Y. MATILLON

Directeur : Mme la Professeure A-M. SCHOTT

COMPOSANTES ET DEPARTEMENTS DE SCIENCES ET TECHNOLOGIE

Faculté des Sciences et Technologies

Département Biologie

Département Chimie Biochimie

Département GEP

Département Informatique

Département Mathématiques

Département Mécanique

Département Physique

UFR Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives

Observatoire des Sciences de l'Univers de Lyon

Polytech Lyon

Ecole Supérieure de Chimie Physique Electronique

Institut Universitaire de Technologie de Lyon 1

Ecole Supérieure du Professorat et de l'Education

Institut de Science Financière et d'Assurances

Directeur : M. F. DE MARCHI

Directeur : M. le Professeur F. THEVENARD

Directeur : Mme C. FELIX

Directeur : M. Hassan HAMMOURI

Directeur : M. le Professeur S. AKKOUCHE

Directeur : M. le Professeur G. TOMANOV

Directeur : M. le Professeur H. BEN HADID

Directeur : M. le Professeur J-C PLENET

Directeur : M. Y. VANPOULLE

Directeur : M. B. GUIDERDONI

Directeur : M. le Professeur E. PERRIN

Directeur : M. G. PIGNAULT

Directeur : M. le Professeur C. VITON

Directeur : M. le Professeur A. MOUGNIOTTE

Directeur : M. N. LEBOISNE

« Un jour, soit en frottant deux morceaux de bois, soit en frappant l'un contre l'autre deux silex, soit encore en maîtrisant un incendie déclenché par la foudre, les hommes conquièrent le feu. Cette conquête du feu, c'était la possibilité de cuire le pain, de fondre les métaux, de fabriquer des outils de bronze, de cuivre, de fer ; c'était la machine à vapeur, le moteur à explosion, l'auto, l'avion. C'est cet âge de fer qui vient de prendre fin, alors que se lèvent les premières lueurs de l'âge de l'énergie atomique. De cet âge, nous ne savons encore strictement rien, sinon qu'il n'admet aucune mesure avec le précédent. Il aura ses machines, qui n'auront aucune ressemblance avec les nôtres, sa structure sociale qui diffèrera sans doute radicalement de celle qu'entrevoient nos sociologues les plus hardis ; probablement même introduira-t-il des formes nouvelles dans le domaine de la pensée abstraite, et les écrivains, les artistes de l'âge de l'atome devront-ils puiser leur inspiration dans une tout autre direction que ne le font nos contemporains. »

(Rousseau, 1945)

Remerciements

À l'issue de ce parcours de recherche si particulier et que j'ai façonné avec obstination en fonction de mes affinités, de mes compétences et de mes convictions parfois, je me rends compte aujourd'hui, même si j'en ai toujours été convaincue, combien mon entourage a été déterminant dans l'aboutissement de ce travail. Ce sont ces collègues, amis, famille, proches, que j'aimerais remercier aujourd'hui.

Mes premiers remerciements sont bien sûr destinés à mes directeurs de thèse pour leur disponibilité et leur soutien. Je remercie Françoise Khantine-Langlois avec qui j'ai partagé de belles aventures scientifiques depuis mes premières années de master, et qui renouvelle sans cesse sa confiance en moi. C'est grâce à elle certainement que j'ai eu la force de m'obstiner dans la recherche d'un financement, pour réaliser un travail qui me correspondait vraiment.

Je remercie Philippe Lautesse qui a accepté d'encadrer ce travail alors qu'il prenait de nouvelles fonctions au sein de notre laboratoire, et qu'il ne me connaissait pas encore. Je vous remercie tous les deux pour vos encouragements, le temps que vous avez accordé à me relire, et la qualité humaine et scientifique que nous avons exprimée dans nos échanges, nos discussions, nos palabres. Ces discussions, nous les avons aussi eues avec d'autres membres du laboratoire S2HEP et je les remercie tous très chaleureusement. Je pense particulièrement à Jean-Loup Héraud, Catherine Bruguière, Éric Triquet, Marianne Chouteau, Céline Nguyen, Hugues Chabot et les autres doctorants. J'ai une pensée toute particulière pour les doctorants et amis de la première heure avec lesquels nous avons partagé de bon moments, Marianne Moulin, Angélique Moreau, Marion Cousin, Pascal Bellanca-Penel, Sabine Rabourdin, Thibaut Serviant, Danièle Vial, Yves Gomas, etc...

J'ai également une pensée pour les chercheurs du laboratoire rencontrés en tant qu'enseignants à l'Université et qui m'ont donné goût à ces disciplines : Jacques Toussaint, Olivier Perru, Philippe Jaussaud, Jonathan Simon, Hugues encore une fois, etc...

Ce travail et ces années de doctorat n'auraient pas été les mêmes sans le soutien apporté par Anne-Marie Delattre, alors attachée de conservation au musée des Confluences.

J'ai beaucoup appris en travaillant avec toi et je ne te remercierai jamais assez pour ton soutien sans failles.

Je remercie également le musée des Confluences pour avoir porté ce projet et m'avoir permis de vivre au plus près des équipes l'ouverture de l'institution en décembre 2014. Ce fût un moment très riche en enseignement. Je tiens également à remercier l'ensemble des collègues du musée et tout particulièrement l'équipe du CCEC. Pour votre accueil chaleureux, les très bons moments partagés, le partage de vos expériences, vos conseils, vos encouragements, votre confiance, je vous remercie.

Je remercie l'Institut de Physique Nucléaire de Lyon et le groupe « patrimoine physique » de l'Université de Lyon pour m'avoir permis de travailler au plus près de l'accélérateur et des équipes de recherche. Je remercie vivement Jean-Paul Martin pour son accompagnement au long de ces années. Je remercie aussi Rémy Geindreau pour la qualité de notre collaboration et de son apport de restaurateur pour l'objet de l'IPNL.

Je remercie Pascal Lequitte, de la société Haefely, pour avoir épluché les archives de son entreprise et pour ses nombreux conseils.

Je tiens à remercier les membres du jury, Madame la Professeure Marie-Christine Bordeaux, Madame la Professeure Laurence Maurines, Monsieur le Professeur Éric Triquet, Monsieur Paolo Brenni et Monsieur Bruno Jacomy.

Je renouvelle mes remerciements envers tous ceux qui m'ont accordé de leur temps pour la relecture de certaines parties du manuscrit (Philippe, Françoise, Véronique, Pascal, Jean-Paul, Jean-Loup, Cédric, Anne-Marie, Hugues, Marianne, Catherine) et ceux qui m'ont offert des espaces de travail dans les moments les plus intenses de l'écriture.

J'adresse mes sincères remerciements à Isabelle Dubois-Souchon pour sa disponibilité et son soutien dans l'accomplissement des tâches administratives parfois exotiques.

Je voudrais remercier chaleureusement mes amis pour leur présence et leur soutien et les « Dindes de Bamako » pour leurs sempiternels encouragements.

Merci à tous ceux qui étaient présents ce jeudi 8 décembre au matin, dans cet amphithéâtre de l'IPNL, pour me soutenir.

Je réserve mes derniers remerciements à ma famille, tout particulièrement mes parents, pour leur amour inconditionnel, leur confiance, leur soutien et pour m'avoir toujours offert un cadre de travail confortable. Pour mes grands-parents, mes sœurs et confidentes, ma belle-maman, mes tatans, mon cher filleul, mon cousin. J'ai une pensée particulière pour mon beau-père, qui aurait peut-être été fier de la femme avec qui son fils a choisi de partager sa vie. Enfin, mes plus doux remerciements vont vers celui qui a eu le courage de vivre aux côtés d'une doctorante, et de quand même mener à bien nos plus beaux projets ; notre maison, la naissance de Basile et bientôt la naissance de sa petite sœur ou de son petit frère.

RÉSUMÉ

Notre recherche en didactique des sciences, explore la potentialité des objets scientifiques contemporains à devenir des objets de patrimoine à travers un cas d'étude : l'accélérateur de particules Cockcroft-Walton (CW). Nous faisons l'hypothèse que la valorisation des objets scientifiques contemporains, étape importante du processus de patrimonialisation, est spécifique et nécessite une expertise particulière. Notre travail a été réalisé grâce au dispositif CIFRE, nous permettant de travailler aux côtés du musée des Confluences à Lyon, qui expose un accélérateur de particules CW dans *Sociétés : le théâtre des hommes*. L'Institut de Physique Nucléaire de Lyon (IPNL) possède également un appareil de ce type, qui est aujourd'hui au cœur d'un projet de valorisation. Notre analyse s'appuie sur une étude du contexte, historique, épistémologique et social, de « naissance » du premier accélérateur CW et d'une étude scientifique de l'objet. Nous avons également mené deux enquêtes, la première visant à retracer la trajectoire de l'accélérateur CW à Lyon, la seconde à retrouver l'ensemble des accélérateurs CW dans le monde. En nous appuyant sur différents travaux qui ont souligné les étapes du processus de patrimonialisation, nous avons caractérisé les spécificités du patrimoine scientifique contemporain, et recherché les traces laissées par ces caractéristiques dans la mise en exposition de l'objet. Nos résultats mettent en évidence le manque d'informations permettant l'interprétation et l'appropriation de l'accélérateur CW par un public, et nous invitent à interroger le contenu représentationnel de l'objet, véhiculé à travers d'autres contextes d'utilisation, formel ou fictionnel.

Mots clefs : accélérateur de particules Cockcroft-Walton, patrimonialisation, exposition, médiation, récit, manuels scolaires, média-artistiques, fiction.

ABSTRACT

« PATRIMONIALISATION » OF CONTEMPORARY SCIENTIFIC OBJECTS AND THEIR CONTEXTS OF USING. THE COCKCROFT-WALTON PARTICULE ACCELERATOR.

Our thesis in sciences education explores the potentiality of contemporary scientific objects to become objects of heritage through a case study : the Cockcroft-Walton particle accelerator (CW). The concept of “patrimonialisation” could be translated into English as “the recognition and passing on of a historical, cultural, scientific heritage”, according to Information and Communication Sciences. We assume that the recognition and valuation of contemporary scientific objects, which is an important stage of patrimonialisation, is specific and requires a particular expertise. Our work was made possible thanks to a french financing facility, (CIFRE) allowing us to work hand in hand with *Le musée des Confluences* in Lyon (France), which exhibits a particle accelerator CW in *Societies: the human theater*. The Institute of Nuclear physics in Lyon (IPNL) also possesses a device of this type, which is at the centre of a recognition project. Through a multidisciplinary approach, our analysis began with a study of the historical, epistemological, social and scientific contexts, which saw the creation of the very first CW. We also conducted two types of research , the first one consisted in tracking down the trajectory of the accelerator CW in Lyon, and the second one in locating all the CW accelerators around the world. Indeed , Several studies highlighted the various steps of the patrimonialisation. Using these studies, we characterized the specificities of the contemporary scientific heritage, and looked for traces left by these characteristics in the exhibition texts (museography). Our results demonstrate the lack of information allowing the right interpretation (lecture) and the appropriation (understanding) of the accelerator CW by the public, and invite us to question the representational contents of the object, conveyed through other contexts of formal or fictional use.

Keywords : Cockcroft-Walton particle accelerator, heritage, exhibition, mediation, schoolbook, artistic media, fiction.

Table des matières

INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	17
-----------------------------------	-----------

1^{ERE} PARTIE : L'ACCELERATEUR DE PARTICULES COCKCROFT-WALTON, UN OBJET MULTIPLE. ASPECTS HISTORIQUES ET SCIENTIFIQUES.....	21
---	-----------

Introduction de la première partie	23
---	-----------

Chapitre 1 : le contexte d'invention de l'accélérateur de particules de Cockcroft et Walton	25
--	-----------

1.1 Un besoin : accélérer les particules	25
1.2 Des rencontres déterminantes	29
1.3 Vers l'expérience décisive.....	34
1.4 Un accélérateur qui fait la différence	43
1.5 Le développement des accélérateurs dans un contexte de guerre.....	51

Chapitre 2 : Le fonctionnement d'un accélérateur de particules Cockcroft-Walton	53
--	-----------

2.1 Le générateur de hautes tensions	54
2.2 Le tube accélérateur	61
2.3 Les formes imposées par la physique	62

Chapitre 3 : La trajectoire de l'accélérateur Cockcroft-Walton de l'Institut de Physique Nucléaire de Lyon ...	65
---	-----------

3.1 Le produit de fabrication de la société Haefely	65
3.2 La commande du professeur Thibaud	67
3.3 La livraison et l'installation d'un nouvel outil	74
3.4 La création d'un espace dédié à la physique nucléaire à Lyon	85
3.5 Une démarche patrimoniale : le projet de valorisation.....	91

Chapitre 4 : Les accélérateurs Cockcroft-Walton à travers le monde	97
---	-----------

4.1 Une méthodologie d'enquête alternative	97
4.2 Présentation des résultats	101
4.3 Discussion des résultats	102
4.4 Conclusion du chapitre 4	129

Conclusion de la première partie	131
---	------------

2^{EME} PARTIE : LE PATRIMOINE SCIENTIFIQUE CONTEMPORAIN ET SES USAGES, DU CAS GENERAL A CELUI DE L'ACCELERATEUR DE PARTICULES COCKCROFT-WALTON.....137

Introduction de la seconde partie 139

Chapitre 1: les aspects théoriques de la patrimonialisation de l'objet scientifique contemporain 143

Introduction du chapitre 143

1.1 Du patrimoine à la conception de la patrimonialisation de l'objet scientifique contemporain 144

1.2 Les aspects juridiques et empiriques de la patrimonialisation de l'objet scientifique contemporain . 178

Conclusion du chapitre..... 202

Chapitre 2 : la valorisation du patrimoine scientifique contemporain dans un musée : cas du Cockcroft-Walton au musée des Confluences dans l'exposition Sociétés : le théâtre des hommes 205

Introduction du chapitre 2 205

2.1 L'environnement de l'accélérateur de particules dans l'exposition *Sociétés*, description du corpus de l'étude 207

2.2 Outils d'analyse..... 243

2.3 Analyse et résultats 266

Conclusion du chapitre 2 320

Chapitre 3 : les autres supports de valorisation de l'accélérateur 329

Introduction du chapitre 3 329

3.1 L'image des outils de la science dans les manuels scolaires en classe de Terminale scientifique..... 333

3.2 Les médias artistiques 354

Conclusion du chapitre 3 395

CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE397

BIBLIOGRAPHIE411

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le fil conducteur de notre recherche s'articule autour d'un outil majeur de la physique du début du XX^e siècle, fondamental dans le contexte historique lyonnais et qui est exposé pour la première fois au public dans un « musée de France » depuis décembre 2014 : un accélérateur de particules de type Cockcroft-Walton.

Avant de présenter les grands traits de notre recherche, il importe de la replacer dans son contexte. Notre travail de thèse s'inscrit dans une démarche interdisciplinaire, héritière de l'histoire de notre laboratoire de recherche Sciences, Société, Historicité, Éducation et Pratiques (S2HEP), laboratoire de Sciences Humaines et Sociales implanté au cœur d'une Université scientifique (Université Claude Bernard, Lyon 1) et comprenant des didacticiens, historiens, anthropologues et philosophes des sciences.

Cette recherche s'est développée grâce à une collaboration entre le musée des Confluences à Lyon, le laboratoire S2HEP¹, au sein de l'école doctorale EPIC², dans le cadre d'une Convention Industrielle de Formation par la REcherche (CIFRE) d'une durée de trois années.

Notre objet d'étude n'est pas anodin puisque l'accélérateur de particules de type Cockcroft-Walton, né à la veille de la Seconde Guerre mondiale, est considéré aujourd'hui comme le premier objet de la « Big Science ». Si les objets du patrimoine scientifique contemporain gagnent lentement une place dans nos musées, leur présence aux côtés des collections historiques ne va pourtant pas de soi, comme nous l'enseigne l'expérience lyonnaise.

¹ Avant de devenir en 2010 le laboratoire S2HEP, cette équipe d'accueil de recherche a connu plusieurs époques. Lors de sa création en 1986, le laboratoire se nommait LIRDIST (pour laboratoire interdisciplinaire de recherche en didactique des sciences et techniques). Il a ensuite pris le nom de LIRDIMS (1990 – 1995) intégrant la médiation, puis LIRDHIST (1995 – 2010), intégrant l'histoire des sciences comme axe fort du laboratoire. Sous son nouvel acronyme, le laboratoire S2HEP affirme ses compétences interdisciplinaires en regroupant didacticiens, historiens, philosophes, sociologues et anthropologues des sciences.

² EPIC : Éducation, Psychologie, Information et Communication.

L'enjeu de notre thèse est d'interroger les spécificités du processus de patrimonialisation de tels objets, répondant aux caractéristiques d'un objet dont la nature (scientifique) et la temporalité (contemporaine) sont déterminantes. Nous analyserons la manière dont ils sont valorisés aujourd'hui, et nous discuterons en quoi ils sont spécifiques et nécessitent une prise en charge différente des autres objets.

Deux exemplaires de cet objet scientifique contemporain sont conservés à Lyon, mais avec des statuts différents :

- L'accélérateur Cockcroft-Walton³ (Philips - 1958) d'Universcience (cité des sciences et de l'industrie de la Vilette), exposé⁴ au musée des Confluences (musée de France) dans l'exposition permanente *Sociétés, le théâtre des hommes*
- L'accélérateur Cockcroft-Walton (Haefely - 1953) de l'Institut de Physique Nucléaire, conservé⁵ en pièces détachées dans l'institut et faisant l'objet d'un projet de valorisation.

Nous avons tout d'abord réalisé une analyse contextuelle de l'objet, qui constitue le cadre de référence (historique, épistémologique et scientifique) de notre travail que nous utiliserons dans nos différentes analyses.

Un objet ne devient véritablement un objet de patrimoine que lorsque la sphère sociale, représentée par le public, le reconnaît en tant que tel. Nous avons donc choisi un terrain d'étude où l'objet est présenté. C'est l'exposition *Sociétés : le théâtre des hommes* qui met en scène, par l'intermédiaire de l'institution Musée des Confluences, l'accélérateur Cockcroft-Walton que nous avons pris comme un terrain emblématique pour notre étude.

Nous faisons l'hypothèse, dans notre étude, que les difficultés posées par la mise en exposition de cet objet scientifique contemporain puissent être en partie exprimées, de manière plus ou moins explicite dans le texte de l'exposition. L'analyse de ce texte nous permettra d'identifier les partis pris méthodologiques et épistémologiques des concepteurs de l'exposition. Plus généralement, nous nous proposons de montrer que les récits sont essentiels tout au long de la trajectoire de l'objet, qu'ils interviennent dans la patrimonialisation de l'objet, dans sa mise en exposition ou qu'ils interfèrent avec les représentations que l'on s'en

³ Que nous écrivons parfois : accélérateur CW.

⁴ La partie exposée ne concerne en réalité que la partie supérieure de l'accélérateur : le générateur de haute tension et une partie de la colonne accélératrice.

⁵ La partie conservée ne concerne en réalité que le générateur de haute tension, partie donnant son nom à l'ensemble de l'objet (Cockcroft-Walton).

fait. Cette hypothèse est mise à l'épreuve d'un point de vue théorique et pratique dans la deuxième partie de notre thèse.

Notre manuscrit est donc développé en deux parties :

La première partie comprend quatre chapitres et vise à donner notre cadre de référence. Dans le premier chapitre, nous examinons le contexte historique et les conditions d'émergence de l'accélérateur de particules CW, notamment lors de la construction du prototype par John Cockcroft et Ernest Walton en 1932, au laboratoire Cavendish de l'Université de Cambridge. Dans le deuxième chapitre, nous conduisons une analyse de son fonctionnement en physique. Dans le troisième chapitre, nous décrivons, dans un contexte à la fois historique, anthropologique et social, la trajectoire de l'accélérateur CW de l'institut de physique nucléaire de Lyon (IPNL). Dans le quatrième chapitre, nous répertorions l'ensemble des accélérateurs CW dont nous avons trouvé une trace aujourd'hui dans le monde, qu'elle soit historique (article de recherche) ou matérielle (remonté, exposé, utilisé).

Dans la seconde partie, nous discutons la mise à l'épreuve à la fois théorique (patrimonialisation) et pratique (valorisation) de notre hypothèse selon laquelle les récits sont essentiels tout au long de la trajectoire de l'objet. Cette partie comporte trois chapitres. Dans le premier chapitre, nous proposons une approche du patrimoine scientifique contemporain à travers ses fondements théoriques, développés essentiellement par les sciences de l'information et de la communication (SIC), et la place qui lui est faite dans nos institutions. Dans le deuxième chapitre, nous étudions les textes de l'exposition, mis en place autour de l'accélérateur CW au musée des Confluences, pour faire émerger les éventuelles difficultés rencontrées par les concepteurs. Dans le troisième chapitre, nous nous proposons d'élargir notre étude à des supports différents. Ainsi, le contenu représentationnel de l'accélérateur CW est étudié sur le plan didactique dans un manuel de physique de Terminale scientifique, mais également dans des récits de fiction provenant de médias artistiques.

**1^{ère} partie : l'accélérateur de particules
Cockcroft-Walton, un objet multiple.
Aspects historiques et scientifiques**

Introduction de la première partie

Cette analyse, qui n'est pas à proprement parler une analyse historique, s'appuie sur différents types de ressources : des sources primaires (articles scientifiques, rapports annuels, documentation de laboratoire, sources orales, documentation photographique, thèses, articles de presse, documentation administrative, archives audiovisuelles, etc.), mais aussi un certain nombre de sources secondaires nous donnant un accès plus facile au contexte scientifique très complexe autour de l'année 1932, et qui serait un travail d'histoire des sciences à part entière. Nous nous interrogeons sur l'objet du patrimoine scientifique contemporain qu'est dans notre cas l'accélérateur de particules Cockcroft-Walton. Dans cette partie, nous détaillerons le contexte d'émergence historique de l'accélérateur CW (son invention), nous l'envisagerons ensuite comme un objet purement technique (son fonctionnement), nous regarderons ensuite le contexte de vie de l'accélérateur de particules de type Cockcroft-Walton (accélérateur CW) de l'Institut de physique nucléaire de Lyon (IPNL⁶) puis nous porterons attention aux traces laissées par les autres accélérateurs à travers le monde.

Dans le premier chapitre, nous nous intéresserons au contexte historique dans lequel l'accélérateur Cockcroft-Walton est apparu. Nous nous attacherons à montrer les éléments qui ont joué en faveur de son émergence que ce soit les rencontres, les événements liés à l'activité du laboratoire ou les ambitions scientifiques et politiques du moment.

Dans le deuxième chapitre, nous nous efforcerons de faire une analyse scientifique de l'accélérateur. Nous aborderons donc l'objet d'un point de vue fonctionnel. Plus spécifiquement, nous porterons attention au générateur de hautes tensions qui a donné son nom à l'ensemble de l'accélérateur. Nous nous attacherons à identifier les différents composants électriques du circuit du générateur de hautes tensions et verrons en quoi les phénomènes physiques du montage ont dicté la forme de l'objet.

Le troisième chapitre sera consacré à la trajectoire d'un accélérateur en particulier (trajectoire locale), celui qui est encore en possession de l'institut de physique nucléaire de Lyon aujourd'hui. Nous développerons ainsi le parcours de l'objet, de son statut de marchandise, d'outil perfectionné de la science à celui d'outil archaïque, pour aboutir à son statut actuel d'objet en cours de patrimonialisation.

⁶ L'IPNL est une unité mixte de recherche agissant sous la double tutelle de l'Université Claude Bernard de Lyon et de l'Institut national de physique nucléaire et de physique des particules (IN2P3) du CNRS.

Enfin, le dernier chapitre permettra d'ouvrir la discussion sur la patrimonialisation de ces objets en dressant une cartographie des accélérateurs CW dont nous pouvons trouver une trace aujourd'hui, qu'elle soit historique ou matérielle. Nous aurons l'occasion de présenter la méthodologie un peu ambiguë que nous avons dû adopter, quelques trajectoires d'objets notables, et initier notre réflexion sur les capacités de ces objets à devenir des objets de patrimoine.

Chapitre 1 : le contexte d'invention de l'accélérateur de particules de Cockcroft et Walton

Dans ce premier chapitre, nous nous intéressons au contexte historique dans lequel l'accélérateur Cockcroft-Walton est apparu, lors de son invention en 1932 dans le laboratoire Cavendish de l'Université de Cambridge. Lorsque John Cockcroft et Ernest Walton réalisent la première transmutation artificielle grâce à l'accélérateur de particules qui portera leurs noms, ils répondent à un besoin grandissant de l'époque : accélérer les particules. Plus qu'une manipulation difficile, la réalisation de l'appareil nécessite pour ses inventeurs de dépasser les théories classiques utilisées par la physique à cette époque. Leur imagination et parfois le hasard, donneront naissance au tout premier accélérateur de particules.

1.1 Un besoin : accélérer les particules

L'invention de l'accélérateur de particules de Cockcroft et Walton, s'inscrit dans une période relativement faste du laboratoire Cavendish de l'Université de Cambridge. Succédant à Joseph John Thomson (1856 – 1940), Ernest Rutherford (1871 – 1937) prend la tête de ce prestigieux laboratoire anglais de physique le 2 avril 1919, à la suite de la reconnaissance de ses travaux pour la mise en évidence du noyau atomique.

C'est avant d'être nommé à la tête du laboratoire que Rutherford créa sa réputation de « père de la physique moderne ». C'est à lui que nous devons la modélisation la plus connue de l'atome : chaque atome contient un noyau compact, de charge positive, en son centre. À la fin de l'année 1917, Rutherford continue ses travaux en regardant si les noyaux peuvent se briser. Alors que l'Angleterre est en pleine première guerre mondiale, Rutherford est absorbé par ses expériences et manque une importante réunion du comité de recherche de guerre. Il explique:

"I have been engaged in experiments which suggest that the atom can be artificially disintegrated. If it is true, it is of far greater importance than a war!" Rutherford (Cambridge University, 2015)

Depuis 1898 Rutherford étudie « les rayons de Becquerel » et leur pénétration dans différentes substances. La distinction est déjà faite entre certaines radiations qui ionisent très fortement les gaz traversés et sont arrêtés par une simple feuille de carton, de celles qui sont à la fois beaucoup plus pénétrantes et beaucoup moins ionisantes. Les « rayons peu pénétrants » sont les particules alpha, tandis que « les rayons très pénétrants » sont les rayons bêta (Fernandez, 2006). En 1918, Lord Rutherford découvrit qu'en bombardant de l'azote gazeux avec des particules alpha⁷ provenant d'une source naturelle (bismuth-214), des particules rapides sont détectées. Ces particules sont capables de se propager plus profondément dans le gaz que les particules alpha, et se manifestent (sur les détecteurs) comme des protons. Des mesures de l'influence d'un champ magnétique lui ont permis de valider la présence de protons. Après plusieurs expériences, il écarte la possibilité que ces protons proviennent d'hydrogène, qui aurait pu être présent sous forme d'impureté dans l'azote. Les atomes d'azote sont donc la seule source possible de protons. Rutherford en déduit donc qu'une particule alpha, en heurtant un noyau d'azote, peut dans certains cas éjecter un proton du noyau. Mais les résultats sont difficiles à obtenir et très aléatoires puisque seulement un proton était produit pour environ un million de particules alpha traversant le gaz. Cette expérience est la première désintégration artificielle d'un atome initial (azote) en produits, dont l'un est un proton. Fernandez nous rappelle que ces travaux sont publiés en 1931 sous la forme d'un ouvrage intitulé *Radiations from radioactive substances* (Fernandez, 2006).

Jusqu'en 1924, Rutherford travailla de concert avec James Chadwick (1891 – 1974) pour étendre ces mesures à d'autres éléments légers, du bore au potassium. Tous, à l'exception de l'oxygène et du carbone, sont capables de transmuter et d'émettre des protons. Le but est toujours d'envoyer des particules alpha, issues d'une source naturelle, sur un noyau. Les particules alpha sont chargées positivement (He^{2+}) et sont donc repoussées à mesure qu'elles approchent du noyau, chargé lui aussi positivement. Plus la particule alpha se rapproche du noyau, plus la force qui s'exerce entre eux est forte et répulsive (la force augmente en fonction de l'inverse du carré de la distance). Pour arriver dans le noyau, la particule alpha doit surmonter cette force. Elle doit donc être envoyée avec une grande vitesse (une grande énergie). Rutherford ne parvient pas à désintégrer d'atomes plus lourds que le potassium, car ses particules alpha sont trop peu énergétiques. Son but dès lors est de mettre à jour le processus permettant l'expulsion du proton.

⁷ Les particules alpha, aussi appelées rayonnement alpha, sont émises par des noyaux radioactifs. Elles sont constituées de deux protons et de deux neutrons, tout comme le noyau d'hélium : He^{2+} . Cette conception est acquise dès 1920 grâce aux travaux de Rutherford.

Sa portée dans l'air est de quelques centimètres seulement. Elle peut être arrêtée par une simple feuille de papier.

L'expérience de Charles Thomson Rees Wilson (1869 – 1959), (Cassidy, Holton, & Rutherford, 2014) avec sa « chambre à brouillard » (matériel de détection des traces de particules chargées) a permis de découvrir que la particule alpha incidente, est capturée par le noyau visé, formant ainsi un nouveau noyau qui émet ensuite un proton. Au cours de cette réaction, le nombre de masse⁸ total et la charge électrique totale, sont les mêmes avant et après la collision. Il y a conservation du nombre de masse et conservation de la charge électrique⁹. Regardons de plus près les éléments de la réaction de l'expérience de Rutherford. Nous savons que pour l'azote (N) le nombre de masse (A) est de 14 et la charge électrique du noyau (nombre de protons, Z) de 7. La particule alpha est l'autre nom de l'atome d'hélium ionisé (He^{2+}) donc $A=4$ et $Z=2$; et pour le proton, donc un atome d'hydrogène (H) dont $A=1$ et $Z=1$.

Nous savons de notre réaction que :

Azote + Hélium donne Hydrogène + nouvelle particule

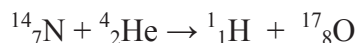


En utilisant la loi de conservation du nombre de charges électriques nous obtenons :

$$7 + 2 - 1 = 8$$

Et en utilisant la loi de conservation du nombre de masse $14 + 4 - 1 = 17$

L'élément créé est donc l'oxygène dont $Z = 8$ et $A = 17$. Ainsi :



Dans son expérience de 1918, Rutherford réussit donc à transmuter des atomes d'azote en atomes d'oxygène. Même s'il ne produit pas de l'or, il accomplit en quelque sorte le rêve des alchimistes en transformant, par une intervention humaine, un élément A en un autre élément B de nature différente. Ses recherches sont publiées en 1919, année où il arrive à la tête du laboratoire de Cambridge.

Durant les années vingt, les physiciens continuent à utiliser des rayons alpha émis par des substances radioactives naturelles comme principal outil pour explorer le noyau. Jusque-

⁸ Le nombre de masse (symbolisé par A) est le terme employé pour représenter le nombre de nucléons, c'est-à-dire la somme du nombre de proton(s) et du nombre de neutron(s) constituant le noyau d'un atome.

⁹ La loi de Soddy (1911) établit un des fondements de la physique nucléaire. Aussi appelée loi de conservation, elle établit que lors d'une désintégration nucléaire, il y a conservation du nombre de charge Z et du nombre de nucléons A. La désintégration d'un noyau X (appelé noyau père) conduit à un noyau Y (appelé noyau fils) et à l'expulsion d'une particule P (particule α ou β).

L'équation de la désintégration s'écrit : ${}^A_Z\text{X} \rightarrow {}^{A1}_{Z1}\text{Y} + {}^{A2}_{Z2}\text{P}$.

Les lois de conservation de Soddy s'écrivent alors :

Loi de conservation du nombre de masse : $A = A1 + A2$

Loi de conservation du nombre de charges : $Z = Z1 + Z2$

là, toutes les découvertes qui concernent le noyau atomique se font grâce à des particules alpha issues de sources radioactives naturelles. L'énergie de ces particules avoisine les 8 millions d'électronvolts. Aucun moyen connu ne permet de produire autrement des particules alpha, ou d'autres, avec une vitesse comparable, et ni *a fortiori* supérieure (Fernandez, 2006). Les intensités limitées de ces sources rendent les progrès difficiles. La nécessité de créer une source artificielle devient de plus en plus évidente (Walton, 1951).

Il existe un intérêt croissant pour les sources artificielles, dont les énergies plus élevées et l'émission plus importante, seraient nécessaires pour progresser. Le problème de base était de pouvoir générer, à un coût raisonnable, une assez haute tension qui permettrait aux particules accélérées de pénétrer la barrière nucléaire. Il fallait aussi développer un appareil assez fort pour résister à ces hautes tensions et le « haut vide »¹⁰ nécessaire pour éviter les effets secondaires qui tendent à en résulter. En effet, en admettant que les physiciens arrivent à produire des tensions dépassant celle nécessaire à l'énergie mise en jeu dans le noyau (au-dessus de 8 millions d'électronvolts, noté MeV) ils rencontreraient des difficultés liées à la décharge spontanée¹¹ de l'appareil et aux étincelles dont la dangerosité va de pair avec la montée en tension (Fernandez, 2006). La recherche sur les réactions nucléaires s'intensifie et les physiciens de nombreux pays s'intéressent de plus en plus aux méthodes qui permettraient d'augmenter la vitesse des particules chargées pouvant servir de projectiles (Cassidy et al., 2014).

“but the practical difficulties appeared to be immense” (Walton, 1951)

Mais comme le dit Walton lors du discours de réception du prix Nobel le 11 décembre 1951, les difficultés pratiques sont immenses. Les barrières de potentiel autour du noyau sont connues pour être de l'ordre du million de volts, et de tels potentiels étaient bien au-delà de tout ce qui avait marché avec des rayons X ou des tubes à rayons cathodiques. De plus, même si les tensions nécessaires pouvaient être générées, les maintenir représentait un défi technique insurmontable avec tous les risques de « claquage » et d'ionisation de l'air.

“Their use seemed impracticable” (Walton, 1951)

¹⁰ Le vide est un espace où les particules matérielles sont fortement raréfiées. La technique du haut vide est donc une technologie mise en œuvre pour obtenir et maintenir des pressions inférieures à la pression atmosphérique ($1,01325 \cdot 10^5$ Pa). Nous parlons de *vide industriel ou primaire* pour des pressions allant de 10^5 à 10^2 Pa ; de *vide moyen* entre 10^2 et 10^{-1} Pa ; de *vide poussé* entre 10^{-1} et 10^{-5} Pa ; et d'*ultravide* pour les pressions inférieures à 10^{-5} Pa (Dolégievez, 2007). Le terme « haut vide » vient de la traduction du terme anglais « high-vacuum » utilisé par Cockcroft et Walton. Il correspond à une pression comprise entre 10^{-1} et 10^{-7} Pa, donc entre le vide poussé et l'ultravide.

¹¹ La foudre est un exemple de cette décharge spontanée due à une grosse accumulation de tensions.

Walton explique que ce sont ces difficultés, combinées à cette nécessité, qui donnent « l'impulsion » et engage un certain nombre de scientifiques, dans la recherche de méthodes de production de particules rapides, ne nécessitant pas l'utilisation de hautes tensions.

« If it were possible in the laboratory to have a supply of electrons and atoms of matter in general, of which the individual energy of motion is greater even than that of the alpha particle, [...] this would open up an extraordinary new field of investigation. » (Rutherford, 1928)

1.2 Des rencontres déterminantes

En 1926, Rutherford rencontre un jeune chercheur, Thomas Edward Allibone (1903 – 2003), qui travaille sur la conception d'une machine à haute tension pour accélérer les particules. Allibone a besoin de trouver un grand espace pour construire sa machine (puisque la tension générée dépendra de la hauteur de la machine) et il le trouvera dans le laboratoire de Rutherford. Le transformateur de Tesla que construit Allibone est une source de tensions élevées très utile, mais il fait un bruit très désagréable et produit des interférences radio qui perturbent les laboratoires environnants.

Allibone partage « la plus grande salle » du laboratoire Cavendish avec John Cockcroft qui travaille lui sur les faisceaux moléculaires. Le projet commence réellement en 1927 quand le jeune Ernest Walton les rejoint, après avoir obtenu son diplôme de mathématique au Trinity College de Dublin, avec la volonté de travailler sur les accélérateurs de particules. De son côté, Rutherford était en quête d'une nouvelle personne pouvant mener cette recherche dans son laboratoire et poursuivre son propre travail. Il avait essayé de mettre au point un dispositif circulaire ressemblant au bêtatron moderne puis un accélérateur linéaire, mais tous deux, sans succès. Toutes les compétences sont désormais au sein du laboratoire, mais comme l'explique Cockcroft *a posteriori* : les compétences sont là sous la forme d'un puzzle.

“For a time it was somewhat of a puzzle” (Cockcroft, 1951)

À l'autre bout de la planète, George Anthony Gamow (1904 - 1968), physicien-théoricien russe, travaille aussi sur l'émission des particules alpha, mais à partir d'une autre théorie : la théorie ondulatoire. La modification du projet, qui sera couronné de succès, se fit grâce à sa visite rendue à Cockcroft au laboratoire Cavendish, en 1929. Gamow travaille dans le prolongement des travaux de Louis de Broglie (1892 - 1987) sur la théorie quantique. Pour

la théorie classique, le problème était de savoir comment les particules alpha peuvent être émises par un atome quand elles ont apparemment une énergie insuffisante pour surmonter la barrière de potentiel qui les lie au noyau. Pour la théorie quantique, il existe une certaine probabilité de chances, de briser la barrière de potentiel, même si leurs énergies sont beaucoup plus petites que ce qui aurait été requis par la théorie classique grâce à l'effet tunnel¹² (1928). La mécanique quantique permet de penser la barrière de potentiel comme étant perméable et percée de quelque tunnel permettant de penser la particule là où la mécanique classique l'interdirait (dans la barrière). La barrière de potentiel, semi-perméable devient un phénomène purement quantique (Fernandez, 2006).

Gamow a travaillé sur les probabilités de l'émission radioactive des rayons alpha, à différentes énergies, et a montré qu'ils étaient en accord avec les phénomènes observés.

« Il s'agit du premier résultat de mécanique quantique effectivement utilisé en physique nucléaire : on considère que c'est à ce moment-là que ces deux disciplines effectuent une « jonction ». » (Radvanyi, 2010)

C'est toute la problématique des interactions entre la physique théorique et la physique expérimentale qui est posée, et qui devient cruciale. Gamow transmet ses travaux sur la réinterprétation de l'expérience de 1919, à Rutherford qui les met dans les mains de Cockcroft, qui se les approprie rapidement. Lors de sa visite au Cavendish en 1928, Cockcroft lui demande s'il ne serait pas possible que par un phénomène quantique analogue à celui qu'il décrit pour l'émission des particules alpha, des protons qui n'auraient pas l'énergie nécessaire pour s'approcher assez près du noyau, pourraient s'infiltrer à travers la barrière de potentiel et pénétrer dans le noyau. Ensemble¹³, ils calculent la probabilité qu'un faisceau de protons désintègre avec succès un élément léger tel que le lithium. Ils trouvent alors que pour des noyaux légers sur mille protons entrant en collision, quelques-uns pourraient traverser la barrière par effet tunnel. L'expérience est donc jouable à condition de bombarder le noyau avec un flot suffisamment intense de protons (Fernandez, 2006).

'The penetrability of the potential barrier surrounding the nucleus was proportional to the atomic number of the bombarded nucleus and to the charge of the projectile, and inversely proportional to its

¹² Nous devons la conception de l'effet tunnel à G.A. Gamow. Il publie en 1928 (G. A. Gamow, 1928) un article dans une grande revue allemande dans laquelle il propose d'interpréter, à la lumière de la mécanique quantique, d'un phénomène étonnant découvert en 1911. Hans Geiger (1882 - 1923) et John Mitchell Nuttall (1890 – 1958) observent mais sans pouvoir l'expliquer, une relation entre la vitesse des particules alpha émises par les substances radioactives et leur période de désintégration.

¹³ Certaines sources secondaires anglaises affirment que Cockcroft s'approprie les travaux de G.A. Gamow et fait lui-même les calculs de probabilité, avant de les soumettre à vérification par G.A. Gamow. D'autres sources secondaires expliquent que Cockcroft demande à G.A. Gamow de faire les calculs pour lui (Fernandez, 2006)

*velocity. Thus, since a proton has half of the alpha particle's electric charge, it would produce (in the same bombarded element) about the same effect as an alpha particle traveling at only one-half of the proton's velocity. Since protons are four times less massive than alpha particles, the necessary kinetic energy of a proton to get through the barrier would be $\frac{1}{4} * \frac{1}{2}^2 = 1/16$ of the alpha particle.*

'Is it that simple?' Asked Rutherford. 'I thought that you would have to cover sheets of paper with your damned formula.'

'Not in this case,' I said. ' (G. Gamow, 1970)

Cockcroft convainc alors Rutherford d'entreprendre (de financer) la construction d'un générateur de 300 000 volts. Avec sa bénédiction, le projet est donc officiellement lancé avec cet objectif précis : construire un appareil dépassant les limites imaginées par les physiciens jusqu'alors.

D'un autre côté, Rutherford suggère à Walton d'abandonner ses travaux sur l'accélérateur linéaire et l'encourage à faire équipe avec Cockcroft pour travailler sur la production de protons et la création d'un tube à vide pour les accélérer. L'Université de Cambridge subventionne alors le laboratoire à hauteur de 1000 £ pour l'achat d'un transformateur de 300 kV. Allibone conçoit de son côté des redresseurs qui ont la capacité de convertir ce courant alternatif en un courant continu stable. À l'époque, les tubes d'accélération et les redresseurs sont de grandes ampoules de verre avec deux tiges. L'appareil se fait déjà remarquer par la place qu'il occupe et les besoins humains que son installation nécessite (voir Figure 1 et Figure 2) :

"The transformer voltage was rectified by the two horizontal rectifiers placed in series, these being evacuated through a third bulb connecting them to the pumps."(Walton, 1951)

"The equipment was too large to fit through doors, so two Metropolitan-Vickers engineers had to come to the Cavendish to finish building it!" (Cambridge University, 2015)

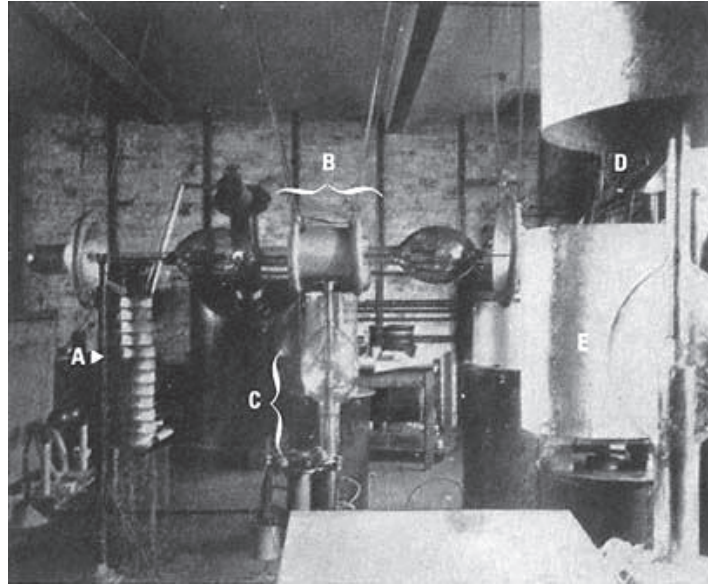


Figure 1 : Le transformateur de 300 kV qui fut la source de courant continu pour le premier accélérateur du laboratoire Cavendish. Nous distinguons les deux redresseurs et un système de pare-effluves (B), la troisième ampoule de décharge. Le tube accélérateur se situe sur la droite de la photographie (E). Sur la légende originale, le système de pompage est identifié en (C) probablement derrière l'ampoule. Le transformateur est en (D). Droits et Source : Laboratoire Cavendish

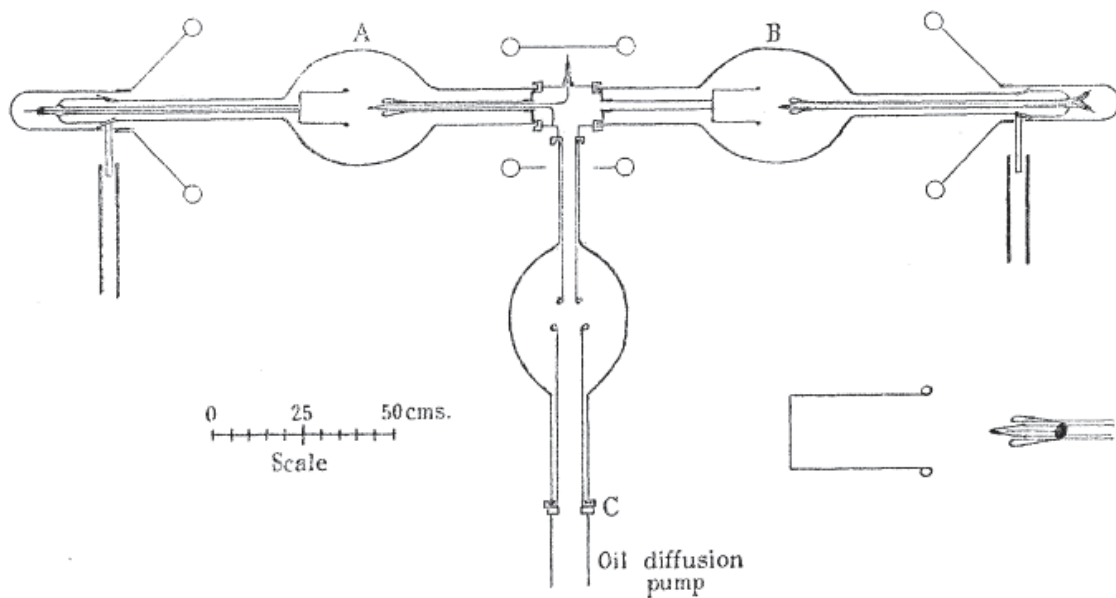


Figure 2 : Schématisation de « la pièce en T » qui complète la vision de la photo ci-dessus. Source : (J. D. Cockcroft & Walton, 1930)

L'appareil est prêt pour les premiers tests en 1930. La source de protons utilisée est la même que celle utilisée par Francis William Aston (1877 – 1945),¹⁴ qui est aussi un membre du laboratoire, soit de l'hydrogène gazeux. Ce gaz est ionisé par un arc électrique traversant la chambre d'ionisation.

La source de protons utilisée est probablement déjà de l'hydrogène gazeux. Les protons de basse énergie (280 keV) sont produits dans une chambre de verre (ionisation d'un gaz par un arc électrique), et sont ensuite accélérés dans le tube. Le faisceau de particules d'énergie élevée ressort à l'autre extrémité du tube et peut être envoyé sur une cible (déjà du lithium). Munis d'un électroscope à feuilles d'or, Cockcroft et Walton espèrent alors trouver les signes d'une désintégration en détectant des rayons gamma. L'expérience n'est pas vraiment concluante et ils ne détectent rien. Cockcroft recherche comment obtenir des tensions encore plus élevées. Il propose alors une nouvelle manière de multiplier la tension en utilisant un circuit conçu par Heinrich Greinacher (1880 – 1974) en 1920 :

« Cockcroft decided a new tack was in order. After pondering the possibilities, he came up with a voltage-multiplying scheme for stepping up a modest A.C voltage to a D.C voltage by a circuit based on an intricate set of condensers and rectifier switches. Unknown to Cockcroft, the scheme had been devised by Heinrich Greinacher in 1920. » (Dahl, 2002)

Cockcroft et Walton développent l'idée de créer un circuit multiplicateur de tension en utilisant des condensateurs pour produire un courant continu de haute tension, toujours à partir d'une tension alternative plus faible. Ils construisent alors une colonne de quatre diodes de redressement et de condensateurs, pour produire une tension quatre fois supérieure. L'appareil commence à changer de dimension et prend petit à petit l'allure que nous lui connaissons aujourd'hui (voir Figure 3) :

¹⁴ Prix Nobel de chimie 1922 pour la découverte des isotopes.

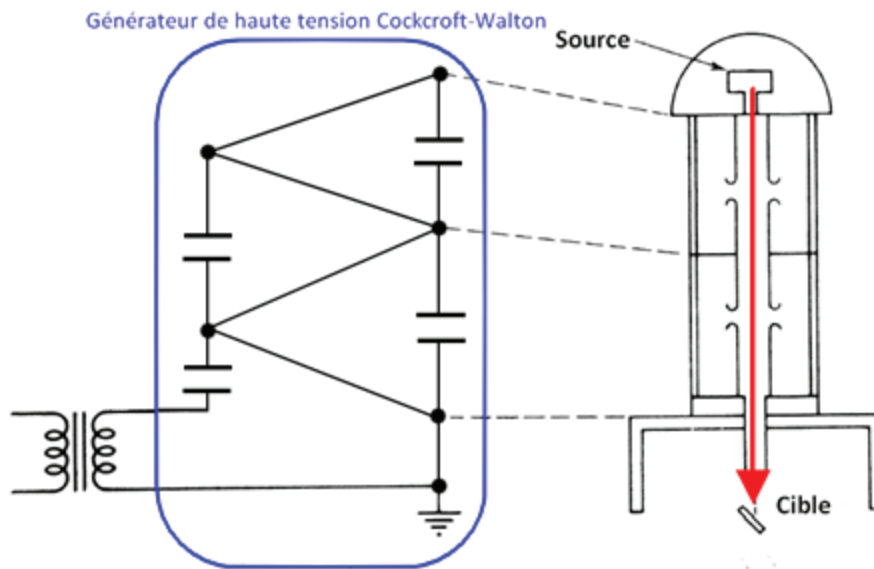


Figure 3 : Schématisation simplifiée d'un accélérateur de particules de type Cockcroft-Walton. Adaptation de schéma (Baron, 2007)

Dans cette version, les ampoules de redressement construites par Allibone sont remplacées par des redresseurs enfermés dans des cylindres de verre de 14 pouces de diamètre (environ 35 cm) et de 3 pieds de long (environ 90 cm) (Dahl, 2002). En partie assemblée, l'expérience se montre prometteuse pour les Anglais, mais un nouvel évènement les contraint d'arrêter leur progression : la réquisition de leur laboratoire par le département de physique-chimie. Les lieux doivent être rendus pour le mois de mai 1931.

1.3 Vers l'expérience décisive

En 1931, Cockcroft et Walton sont obligés de quitter « la plus grande salle » du laboratoire Cavendish et emménagent dans l'ancienne bibliothèque Balfour, qui se trouve avoir un plafond beaucoup plus élevé. Ils profitent de l'occasion pour continuer de faire « grandir » leur machine et d'augmenter l'énergie donnée à la source de protons.

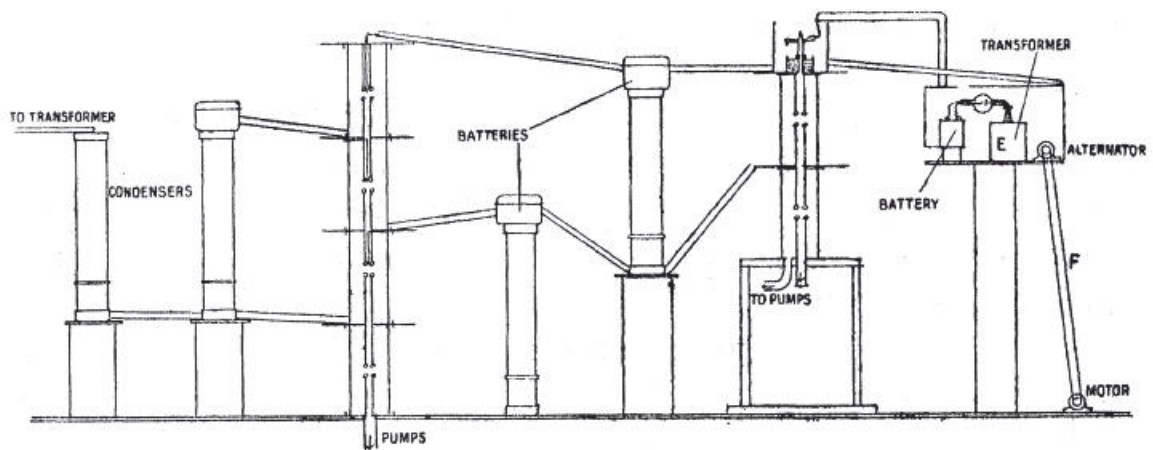


Figure 4 : Schéma global de l'appareil de Cockcroft et Walton. Source : (Cockcroft & Walton, 1932)

C'est à ce moment-là que Walton introduit un circuit multiplicateur de tension en réutilisant le circuit développé par Greinacher en 1921. Ce premier montage (voir Figure 4) multiplie par 4 la tension, mais Walton entrevoit déjà l'extension à des multiples supérieurs.

Cockcroft et Walton obtiennent alors une subvention de 600 £ pour construire le générateur de 500-700 kV qui serait capable de produire des désintégrations.

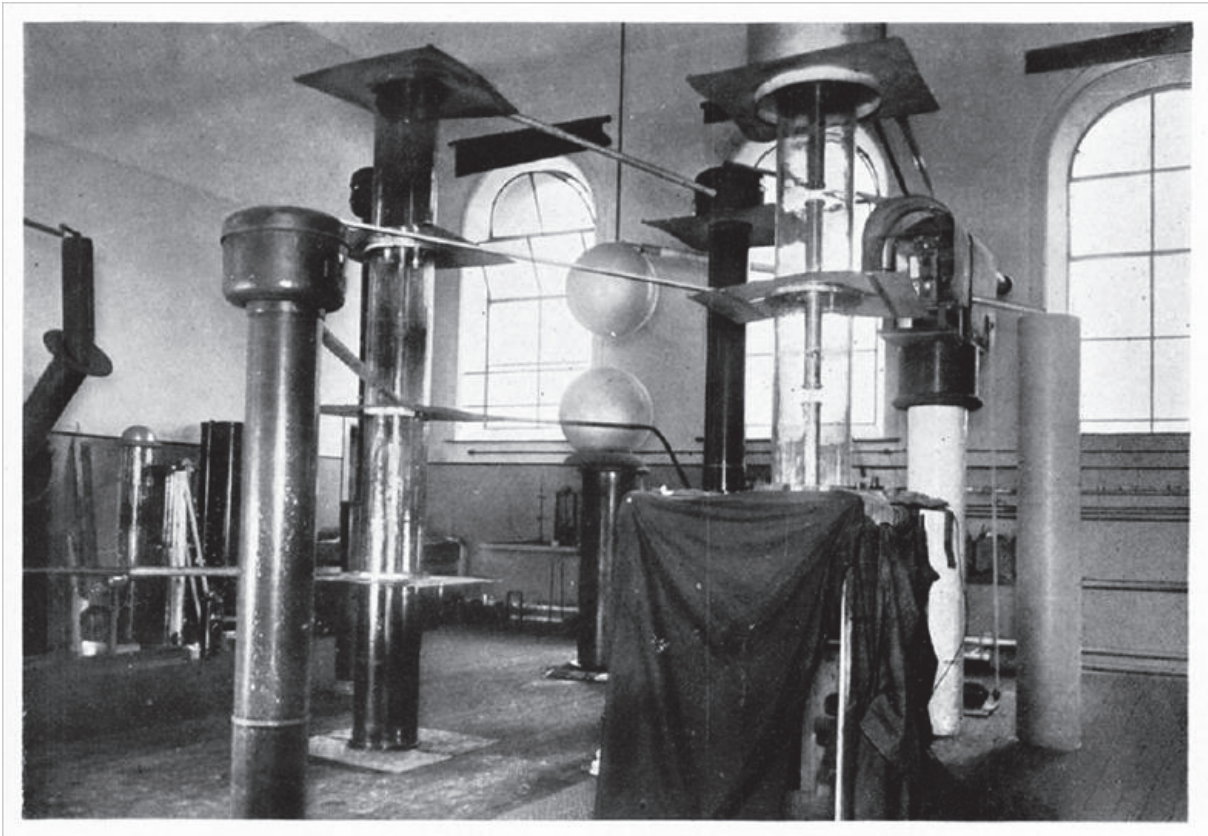


Figure 5: L'appareil tel qu'il est à la fin de l'année 1931. Le haut tube transparent au centre de l'image est le tube de décharges. Les autres cylindres sont probablement des condensateurs et des redresseurs. La boîte cachée sous le tissu noir est le poste d'observation dans lequel se loge le manipulateur. Source : (Cockcroft & Walton, 1932)

Sur la photographie ci-dessus, nous distinguons à gauche la tour de quatre redresseurs, et à droite du centre de l'image, le tube d'accélération en deux sections. La technique du haut vide a été simplifiée par l'utilisation de "pâte à modeler" (plastiline) et plus tard par l'utilisation d'un lubrifiant appelé *Apieson Sealing Compound Q*, encore commercialisé aujourd'hui. Ce joint haute performance et d'utilisation facile, a permis d'atteindre les valeurs de vide nécessaires à l'expérience. Walton (Walton, 1951) explique que, pour assembler les pièces de l'accélérateur, il doit utiliser ces pâtes et serrer les joints entre ses doigts pour que le vide se fasse. À droite de la photo (Figure 5), nous visualisons aussi un grand cylindre de porcelaine blanche, sur lequel circule une courroie d'entraînement qui est utilisée pour obtenir l'alimentation nécessaire.

La source de protons utilisée est la même que celle utilisée par Aston qui est aussi un membre du laboratoire, soit de l'hydrogène gazeux. Ce gaz est ionisé par un arc électrique traversant la chambre d'ionisation.

Les protons sont produits dans la chambre d'ionisation et sont déviés au centre d'un long tube de verre à vide. A la suite de ce tube, des cylindres métalliques sont fixés à intervalles réguliers. Chaque cylindre métallique est relié à une section de la source de haute tension (générateur de hautes tensions en cascade). Quand les protons, sortant du tube de verre, traversent le premier cylindre métallique, ils sont accélérés à une certaine vitesse. Quand ils traversent le second cylindre de métal, ils sont accélérés de nouveau. Après avoir traversé plusieurs cylindres, les protons arrivent à grande vitesse. Le faisceau de protons accélérés, après un réglage minutieux, est envoyé sur une cible à travers une fine fenêtre de mica positionnée à la base du tube d'expérience (voir Figure 6). La source de haute tension initiale était capable de produire environ 700 000 volts, et est reliée à cinq ou six cylindres métalliques.

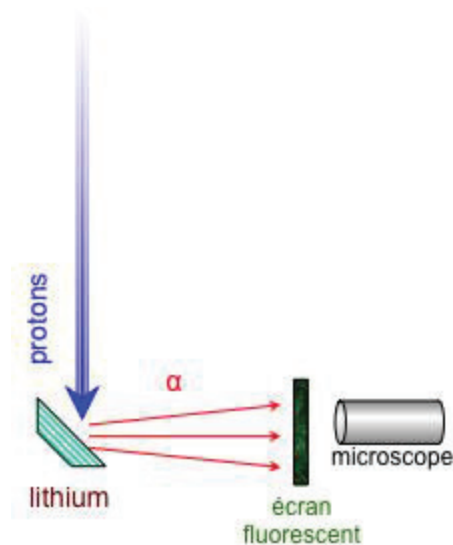


Figure 6 : Schématisation du bas du dispositif de Cockcroft et Walton, représentant la source de lithium impactée par les protons accélérés, qui produit des rayons alpha observables au microscope grâce à la trace qu'ils laissent sur l'écran fluorescent.

Source : (Bouquet, 2015)

À l'époque de la découverte de Cockcroft et Walton, les physiciens pensaient que l'univers était constitué de trois particules : le proton, l'électron et le photon. Prédits par

certaines théoriciens auparavant, les Joliot-Curie¹⁵ et Carl David Anderson (1905 – 1991) rencontrent de plus en plus, sans le reconnaître, le neutron. Cockcroft et Walton ont connaissance des travaux menés par les Joliot-Curie à Paris. À cette époque, le couple français pense avoir identifié les rayons gamma en bombardant une cible de béryllium de particules alpha. C'est la raison pour laquelle les Anglais pensent à leur tour identifier des rayons gamma dans leurs expériences sur les éléments plus légers.

Mais en février 1932, Chadwick, un autre membre du laboratoire Cavendish, refait les manipulations des Joliot-Curie (publiées le 18 janvier 1932 dans une note à l'académie des sciences) et constate que ce sont les fameux neutrons imaginés plus tôt par Rutherford et qu'il cherche depuis 10 ans, et non des rayons gamma qui sont produits par la réaction. Ceci va dans le sens de l'observation de Rutherford de 1920.

Cockcroft et Walton reprennent rapidement leurs expériences, mais partent à la recherche, non pas des rayons gamma, mais des particules alpha à partir de la désintégration du lithium. Peu de temps après la découverte du neutron qui sera attribuée à Chadwick, Rutherford conseille à Cockcroft et Walton d'utiliser un écran fluorescent pour détecter les scintillations des particules alpha (voir Figure 7). Ils installent une fenêtre de mica pour que les rayons alpha s'échappent, et à l'opposé, un écran de sulfure de zinc.

¹⁵ Frédéric Joliot-Curie (1900 – 1958) et Irène Joliot-Curie (1897 – 1956)

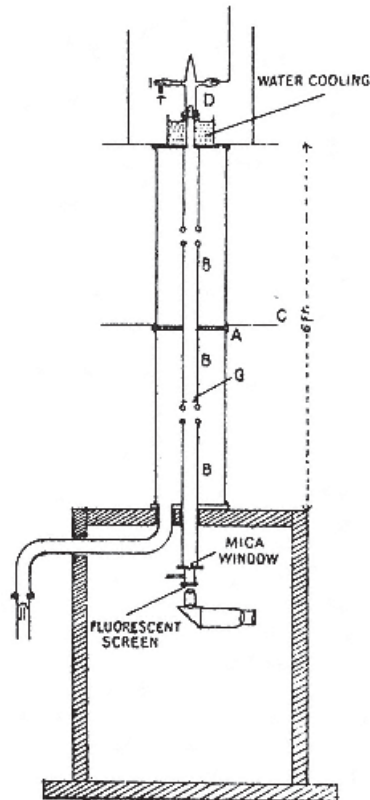


Figure 7 : Description d'une partie de la machine de Cockcroft et Walton. Une plaque en acier (A) est placée entre les deux cylindres de verre et forme aussi le support qui permet de fixer l'électrode B. Au-dessus de l'appareil se trouve la source de protons d'hydrogène (D). Source : (Cockcroft & Walton, 1932)

Ce jour-là, Cockcroft est au laboratoire Mond à Cambridge pour travailler avec Piotr Kapitza (1894 – 1984), comme il le fait régulièrement. Pendant ce temps-là, Walton met en marche l'accélérateur...

« When the voltage reached 'a fairly high value', Walton left the control table while the apparatus was still running, and crawled (to avoid danger from the high voltage) across the room to the little hut under the acceleration tube [...] » (Dahl, 2002)

Très vite, avec une énergie comprise entre de 125 kV et 400 kV, Walton a pu identifier les scintillations caractéristiques des rayons alpha (Cockcroft & Walton, 1932). L'estimation de Gamow était donc plutôt bonne (300 kV). Cockcroft et Walton n'ont même pas eu besoin d'utiliser toute la puissance de leur machine. Walton retourne alors à la table de contrôle et éteint l'alimentation de la source d'ions. Il répète l'expérience plusieurs fois avant d'appeler Cockcroft, qui vient confirmer ses observations. Ce dernier prévient tout de suite Rutherford.

« With some difficulty they maneuvered him into the little hut, and he, too, had a look at the scintillations. » (Dahl, 2002)

Le 14 avril 1932 sera marqué comme étant le jour où Walton a détecté les rayons alpha en bombardant la cible de lithium.

Ils confirment par la suite leur expérience, avec une « primitive coincidence experiment¹⁶ » en installant un second écran de détection prévu pour un second observateur. Pour ce faire, ils disposent de part et d'autre de la mince feuille de lithium deux écrans de sulfure de zinc, chaque écran étant visé par un microscope. Ils sont alors deux à observer que les particules alpha sont émises par paire, chacun derrière un microscope, marquant, en appuyant sur un bouton, l'instant où ils voient une scintillation, témoin du passage d'une particule (Fernandez, 2006). Ils refont l'expérience de manière plus précise pour mesurer l'énergie des particules alpha, et obtiennent un résultat de 8 millions d'électronvolts (l'article de la revue Nature donne 8 MeV, alors que la lecture du prix Nobel de Cockcroft donne 8,6 MeV)¹⁷ et concluent que le lithium se désintègre en deux particules alpha avec une énergie totale de 16 millions d'électronvolts.

Cockcroft et Walton sont alors tenus de garder le secret plusieurs jours durant, le temps d'analyser les résultats et de mettre leur découverte sous forme d'un article qui sera publié le 30 avril 1932 dans la revue Nature (voir Annexe 1). Dans celui-ci, ils annoncent :

« the lithium isotope of mass 7 occasionally captures a proton and the resulting nucleus of mass 8 breaks into two alpha-particles, each of mass four and each with an energy of about eight million electronvolts. The evolution of energy on this view is about sixteen million electronvolt per disintegration. » (Cockcroft & Walton, 1932)

Gamow ne manqua pas de féliciter ses collaborateurs :

« Good stroke, John ; good golf-ball protons ! » (G. Gamow, 1970)

Cockcroft et Walton sont donc les premiers à réaliser une désintégration artificielle avec une source accélérée à l'aide d'un accélérateur de particules. Voici le détail de la réaction qu'ils ont observée :

¹⁶ Dans leur expérience, deux particules sont créées. A l'époque c'est encore le manipulateur qui comptabilise les manifestations qui se produisent sur ses écrans de détection. En ajoutant un écran de détection et un manipulateur, ils peuvent alors relever les traces qui touchent les deux détecteurs en même temps. On dit qu'elle est « primitive », parce qu'aujourd'hui les détecteurs sont très performants et comptabilisent seuls ces coïncidences.

¹⁷ A cette époque J. Cockcroft et E. Walton utilisent aussi bien les volts que les électronvolts comme unité de mesure.



L'énergie libérée par cette réaction est de 17 MeV (méga électron volt). Cette énergie provient de la différence de masse entre les réactifs initiaux de la réaction et les produits finaux. Même si les réactifs et les produits ont le même nombre de protons et de neutrons, les réactifs restent légèrement plus lourds. Le noyau contient plusieurs protons de charges positives. Mais même à l'intérieur d'un noyau les éléments de même charge se repoussent entre eux. Mais s'il y a une certaine cohésion à l'intérieur du noyau, c'est parce qu'il y a une énergie supplémentaire, appelée énergie de liaison, qui permet aux protons de rester à côté les uns des autres. Quand le noyau est éclaté, cette énergie se libère. Une partie de cette énergie servira à lier les nouveaux atomes créés, mais il en restera une petite partie. Cette énergie restante permet aux noyaux d'hélium de s'échapper à grande vitesse. Par cette expérience, Cockcroft et Walton offrent une vérification expérimentale du principe de la Relativité d'Einstein (1879 – 1955).

Cockcroft et Walton ont mesuré la vitesse à laquelle les deux noyaux d'hélium sont expulsés. Ils ont alors pensé que cette énergie « vacante » pourrait provenir de la différence de masse entre l'atome initial et les deux atomes produits.



Ils font alors la somme des masses atomiques de part et d'autre de la réaction, ainsi :

$$\begin{aligned} {}^7_3\text{Li} + {}^1_1\text{H} &= 7,0104 + 1,0072 = 8,0176 \text{ u} \\ {}^4_2\text{He} + {}^4_2\text{He} &= 4,0011 + 4,0011 = 8,0022 \text{ u} \end{aligned}$$

Ils observent une différence de masse de 0,0154 u (unité de masse atomique¹⁸) soit de : $2,56 \times 10^{-29}$ kg. Cette première vérification expérimentale a été faite avec une précision inférieure à 1% (Boudenot, 2005). Quelques années plus tard, la masse atomique du lithium

¹⁸ Dans le domaine de la physique nucléaire, il est possible d'utiliser l'unité de masse atomique notée u comme unité de masse ou d'énergie. L'unité de masse atomique est définie comme étant égale au douzième de la masse d'un atome de Carbone ${}^{12}_6\text{C}$ soit $1,66 \cdot 10^{-27}$ kg.

sera redéterminée à 7,0130 (à la place de 7,0104) ce qui changera leurs premiers calculs. L'écart de masse est alors 0,0180 u s'accordant davantage aux mesures qu'ils obtiennent¹⁹ (Cockcroft, 1951). La masse des deux noyaux d'hélium est légèrement inférieure à la masse des noyaux originaux de lithium et d'hydrogène. Cette très faible variation s'est transformée en énergie et sa valeur peut être calculée suivant la célèbre formule : $E = mc^2$. Cette formule nous dit qu'il y a une équivalence entre la masse (m) et l'énergie (E). Elle nous indique également qu'il existe un lien entre la vitesse de la lumière au carré (c^2) et l'énergie, pour une masse donnée et vice versa. Cela signifie qu'à l'échelle des particules subatomiques, la masse peut se changer en énergie sous forme de lumière, de chaleur ou de mouvement ; et que par la même occasion, l'énergie peut également revenir sous forme de masse (Johnson, 2007).

C'est après avoir terminé son article sur la relativité restreinte qu'Einstein mit au jour la relation entre la masse et l'énergie²⁰. Il publiera ses résultats le 21 novembre 1905, dans ce qui sera son quatrième article marquant de cet « annus mirabilis ». Voici un résumé de son propos : une variation d'énergie est équivalente à une variation de masse, et cette équivalence fonctionne dans les deux sens. En utilisant la lettre grecque delta (Δ) pour symboliser la variation, nous obtenons : $\Delta E \propto \Delta m$ où E est l'énergie du système en joules (J) et m la masse du système au repos en kilogrammes (kg). Einstein découvrit que la constante de proportionnalité était égale au carré de la vitesse de la lumière dans le vide, symbolisé par c^2 ($c = 299792458$ m/s). Ainsi : $\Delta E = (\Delta m) * c^2$, ou de manière plus générale $E = mc^2$.

En regardant cette équation devenue très populaire, nous voyons que la masse est équivalente à une grosse quantité d'énergie puisque la constante c^2 est très importante²¹. Plus

¹⁹ Dans leur expérience, Cockcroft et Walton constatent que les particules alpha sont libérées avec une énergie de 16 MeV. Le premier défaut de masse calculé est de 0,0154 u ce qui correspond à une énergie de 14,345 MeV (avec la conversion 1 u = 931,5 MeV). Avec la nouvelle masse du lithium le défaut de masse est de 0,0180 ce qui correspond à une énergie de 16,767 MeV. Cette dernière valeur est plus proche des 16 MeV qu'ils ont obtenus en 1932.

²⁰ Nous devons tout de même mentionner que l'attribution de la relativité restreinte à Einstein est assez controversée aujourd'hui. Les travaux de Hendrik Lorentz et Henri Poincaré en ce qui concerne la relativité restreinte, ainsi que David Hilbert dans le domaine de la relativité générale font également référence sur le sujet (Auffray, 2005; Hladik, 2005).

²¹ Pour se représenter combien cette équivalence est surprenante, appliquons la relation à 1 gramme de matière. Nous considérons les valeurs suivantes : la masse ($m = 0,001$ kg) et la célérité de la lumière dans le vide ($c = 3*10^8$ m/s).

$$\begin{aligned}
 E &= mc^2 \\
 &= 0,001*(3*10^8)^2 \\
 &= (1*10^{-3})*(9*10^{16}) \\
 &= 9*10^{13} \text{ kg.m}^2.\text{s}^{-2} \quad \text{soit} \quad 9*10^{13} \text{ J (Joules)}
 \end{aligned}$$

Pour nous représenter ce que « produit » une telle énergie, nous pouvons transformer cette énergie en « équivalence TNT » (trinitrotoluène : $C_7H_5N_3O_6$) qui se trouve être une méthode empirique utilisée également en physique. Elle est utilisée pour mesurer l'énergie libérée lors d'une explosion. L'explosion d'un gramme de TNT produit entre 980 et 1100 calories. En prenant comme moyenne 1000 calories thermochimiques, il est communément admis qu'un gramme de TNT produit 4184 Joules. Donc notre réaction produit une quantité d'énergie à peu près égale à l'énergie que peuvent libérer 20 000 tonnes de TNT, soit 20 kT (kilotonnes). Par

que de dire qu'il y a une équivalence entre la masse et l'énergie ; Einstein conclut en 1905 que la masse d'un corps est une mesure de son contenu en énergie et que « la matière est un réservoir d'énergie » (Paty, 2004). Cockcroft et Walton ont mesuré l'énergie des deux noyaux d'hélium et ont pensé que cette perte pourrait être expliquée par cette différence de masse, de sorte que leur expérience était la première vérification de la loi d'Einstein.

« It followed from the special theory of relativity that mass and energy are both but different manifestations of the same thing, a somewhat unfamiliar conception for the average mind. Furthermore, the equation E is equal to $m c$ -squared, in which energy is put equal to mass, multiplied by the square of the velocity of light, showed that very small amounts of mass may be converted into a very large amount of energy and vice versa. The mass and energy were in fact equivalent, according to the formula mentioned above. This was demonstrated by Cockcroft and Walton in 1932, experimentally » (Einstein, 1948)

Ce fait marquant sera rappelé lors de la remise de leur prix Nobel en 1951 :

« The analysis made by Cockcroft and Walton of the energy relations in a transmutation is of particular interest, because a verification was provided by this analysis for Einstein's law concerning the equivalence of mass and energy. » (Walton, 1951)

Ce sera la fierté des deux scientifiques, comme l'explique Walton dans une interview réalisée par la BBC en 1985. (Walton, 1985)

1.4 Un accélérateur qui fait la différence

À cette époque, les physiciens de tous les pays sont dans une effervescence qui est aujourd'hui appelée : la course aux particules. 1932 est une année record pour la découverte de nouvelles particules, dont deux sont revendiquées par les États-Unis et une par l'Angleterre. En Angleterre, Chadwick mesure avec précision l'énergie des noyaux projetés lors de ses expériences, et affirme que le rayonnement détecté ne peut être un rayonnement gamma, d'énergie très élevée, mais doit être composé de particules de masse 1 et de charge électrique 0 : c'est le neutron (Chadwick, 1932). Aux États-Unis, travaillant sur les rayons cosmiques, Anderson détecte des traces inattendues dans la Chambre à brouillard qu'il utilise et les interprète comme étant à l'origine d'une particule ayant une masse identique à celle de

comparaison, la bombe *Little boy* qui a été lancée sur la ville d'Hiroshima a développé une énergie comprise entre 12 et 18 kT.

l'électron, mais dont la charge électrique est opposée : le positron (Anderson, 1933). Les Américains devancent de peu l'équipe du Cavendish Laboratory (Angleterre) où Chadwick, Patrick M.S Blackett (1897 – 1974) et Giuseppe Occhialini (1907 – 1993) font la même expérimentation et identifient également le positron grâce aux rayons cosmiques (Chadwick, Blackett, & Occhialini, 1933). Harold Clayton Urey (1893 – 1981) découvre un isotope²² de l'hydrogène de masse 2 après l'électrolyse prolongée de l'eau qu'il baptise le deutérium (1931) (Urey, Brickwedde, & Murphy, 1932). La terminologie diplogen (ou diplon) développée par l'équipe du Cavendish Laboratory qui travaille aussi sur les isotopes lourds de l'hydrogène devient obsolète, mais les Anglais seront à l'origine de l'identification d'autres isotopes comme le tritium (${}^3_1\text{H}$) et de l'hélium 3 ${}^3_2\text{He}$ (Oliphant, Kinsey, & Rutherford, 1933).

En 1932, des progrès se font tant avec les réactions nucléaires naturelles qu'artificielles, et la technologie des accélérateurs de particules commence à arriver à maturité. Encore une fois, il y a une compétition entre les laboratoires anglais et américains. Aux États-Unis, plusieurs équipes semblaient avoir toutes les cartes en mains pour réaliser la première désintégration atomique artificielle : Merle Tuve (1901 – 1982), Charles C. Lauritsen (1892 – 1968), et Ernest Lawrence (1901 – 1958) et son étudiant Milton Stanley Livingston (1905 – 1986). De leur côté, Cockcroft et Walton sont les seuls à travailler sur un accélérateur de particules (Dahl, 2002).

« Cockcroft and Walton, in achieving the first artificial disintegration of an atomic nucleus, only narrowly beat rival teams working towards the same end with much more powerful apparatus in America. »
(Hendry, 1984)

En d'autres termes, beaucoup d'autres chercheurs dans le monde étaient proches de cette même découverte. Il existe d'ailleurs un litige avec l'université de Californie à Berkeley, chez qui Lawrence revendique la primauté de cette expérimentation.

« By 1930 Lawrence and his assistants at the University of California at Berkeley had constructed a cyclotron capable of accelerating protons in strong beams up to 700 000 volts, and when Cockcroft and Walton announced their disintegration results in 1932 the Berkeley team found that they already had the capacity to do likewise. » (Hendry, 1984)

Mais ce qui fit la différence dans les expérimentations des Anglais fut leur accélérateur. Dès les premières années du développement de la physique nucléaire, plusieurs

²² Deux atomes sont des isotopes s'ils possèdent le même nombre de protons (symbolisé par la lettre Z dans la notation chimique ; c'est aussi le numéro atomique de l'élément). Par exemple ${}^1_1\text{H}$ (hydrogène) et ${}^2_1\text{H}$ (deutérium) où à chaque fois $Z = 1$ (numéro en indice de l'élément chimique).

méthodes d'accélération sont mises au point. Ces méthodes feront perdurer dans le temps, des branches différentes dans la conception des accélérateurs de particules (Schopper, 1993).

À l'époque où Cockcroft et Walton commencent leurs travaux, plusieurs techniques sont déjà proposées : l'accélération par un champ électrique circulaire dans lequel les particules circulent à plusieurs reprises et l'accélération par une série d'impulsions fournies à plusieurs intervalles réguliers. Nous décrivons brièvement ces méthodes en dessous.

1.4.1 L'accélérateur électrostatique de Van de Graaff

Les ancêtres de cet accélérateur sont toutes les machines électrostatiques, dont la plus récente est la machine électrostatique inventée par James Wimshurst (1832 – 1903) en 1882. Ce type de générateur utilise le mouvement d'une courroie isolante pour accumuler en continu des charges électriques sur une électrode terminale. Il permet d'atteindre des tensions continues très élevées (plusieurs millions de volts), mais des courants de faible intensité.

L'étudiant Robert Van de Graaff (1901-1967) reçoit en 1925 une bourse lui permettant d'aller passer 4 ans à Oxford pour obtenir son doctorat. En Angleterre, il entend parler des travaux de Rutherford et des physiciens de Cambridge. À son retour aux États-Unis en 1929 il intègre le « Palmer Laboratory » à l'Université de Princeton, et se lance dans la construction d'une machine capable de générer de grandes tensions, sur un principe de bande transportant des charges électriques. À l'automne de cette même année, son prototype engendrait une différence de potentiel de 80 kV entre deux sphères métalliques. En 1931, il arrive à obtenir une différence de potentiel de 1 000 kV. On lui offre alors une place comme associé de recherche au MIT. Formée de deux sphères de 5 m de diamètre placées sur des pylônes isolants de 8 m de hauteur et 2 m de diamètre, sa première grosse machine rentre en fonctionnement en novembre 1933 et elle atteint 7 000 kV (voir Figure 8). Le générateur est transformé en accélérateur en adaptant un tube à vide (entre l'électrode et le sol), en plaçant une source dans la sphère et une cible au niveau du sol ; et devient ainsi le premier accélérateur électrostatique utilisé en médecine :

« A million-Volt x-ray generator for cancer treatment and research has been developed by the Massachusetts Institute of Technology and is now in use at the Huntington Memorial Hospital of the Harvard Medical School in Boston. The experiment construction of this x-ray generator was undertaken to meet the needs of the medical profession for a relatively simple, compact and intense source of penetrating radiation. » (Trump & Van de Graaff, 1937)

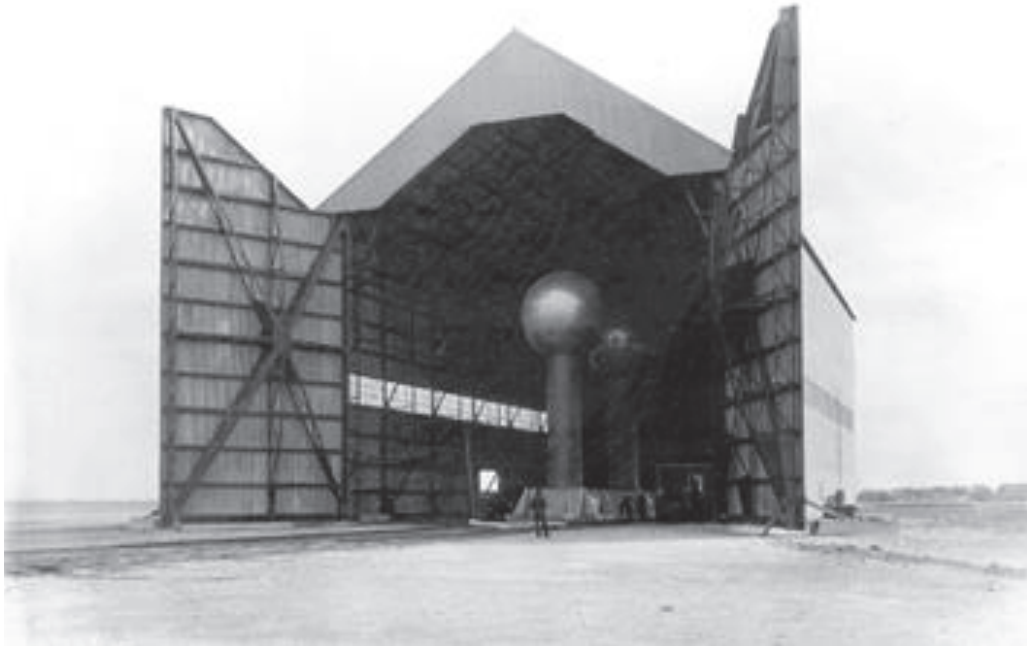


Figure 8 : Photographie de l'accélérateur de Van de Graaff construit au MIT à Round Hill. Archives du MIT. Titre original : Robert J. Van de Graaff's High-Voltage Generator, "Progress Report on the M.I.T. High-Voltage Generator at Round Hill," K. T. Compton, L. C. Van Atta, and R. J. Van de Graaff. 12 décembre 1933.

Cette même année 1937, un générateur de ce type (celui des Joliot-Curie) a été exposé à Paris lors de l'exposition universelle (Molinié & Boudia, 2008). Les accélérateurs électrostatiques, comme le Van de Graaff, ont connu leur heure de gloire dans les débuts de la physique nucléaire. Mais dans la course aux hautes tensions, ils restent limités : malgré certaines améliorations techniques, au-delà de 20-25 MV, la tension limite d'isolement est atteinte et des effluves parfois destructeurs se produisent, empêchant le système de dépasser ces valeurs (Baron, 2007).

1.4.2 Du premier accélérateur linéaire (LINAC) à l'accélération circulaire (cyclotron)

En 1924, Gustav Ising (1883 – 1960) invente le concept de l'accélérateur linéaire, l'ancêtre de tous les accélérateurs modernes basés sur les champs électromagnétiques oscillants. Ses travaux sont ensuite mis en pratique par Rolf Widerøe (1902 – 1996), qui dans

un article de 1929 (*Archiv für Elektrotechnik*) propose d'utiliser une succession de cavités accélératrices. Les protons sont soumis à une série de petites impulsions de l'ordre de 10 kV.

« Si le principe des accélérateurs linéaires est simple, la mise en pratique est plus complexe. Pour commencer, un ion (ou un électron) qui est attiré (et accéléré) par une électrode doit être repoussé par la précédente (et donc aussi accéléré par elle). Cela signifie que les électrodes sont à des potentiels opposés, et qu'il faut inverser les tensions chaque fois que l'ion passe d'une électrode à la suivante. Il faut donc inverser la tension au bon moment pour que les impulsions s'ajoutent toutes (on parle d'accélérateur « résonant »). Comme les particules accélérées vont de plus en plus vite, les électrodes successives doivent être de plus en plus longues, et de plus en plus espacées. » (Bouquet, 2015)

Tous les éléments cruciaux des accélérateurs sont déjà présents : source d'ions, injecteur, générateur de signal radiofréquence, dipôle, détecteurs, vide, etc.

Widerøe construira plusieurs accélérateurs linéaires (LINAC) et ses travaux inspireront d'autres physiciens qui donneront naissance à d'autres types d'accélérateurs.

L'idée de Widerøe traverse l'Atlantique et Lawrence développe très vite l'idée du « manège à protons », mais la réalisation du prototype est retardée par des difficultés mécaniques et électroniques (vide requis, résistance de la machine aux tensions et au champ magnétique, puissance des électrodes, focalisation du faisceau). Ses premières machines verront le jour en 1930 lors de travaux menés avec ses étudiants. Le premier cyclotron réellement fonctionnel est mis au point en 1931 avec Livingston, d'un diamètre de 13 cm, capable d'accélérer des protons à 80 keV avec une tension de 1000 volts seulement. Lawrence continue de développer ce système d'accélération (voir Figure 10) et sera en mesure de faire une collision peu de temps après Cockcroft et Walton la même année (1932). Il obtiendra d'ailleurs un Prix Nobel en 1939 pour la mise au point du cyclotron (12 ans avant Cockcroft et Walton).

Le cyclotron est constitué de deux demi-cylindres conducteurs creux horizontaux appelés "dees", séparés par un intervalle étroit, plongeant dans un champ magnétique uniforme vertical, et soumis à une tension électrique. Les ions produits par la source sont accélérés sous l'action d'un champ électrique. Les particules sont ensuite déviées avec une vitesse constante, sous l'action d'un champ magnétique et décrivent des demi-cercles. Cette vitesse (appelée vitesse angulaire) est indépendante de l'énergie. Les ions déviés se représentent dans l'espace entre les deux "dees" et sont à nouveau accélérés sous l'action du champ électrique qui a été inversé. L'énergie cinétique des particules augmente à chaque

passage entre les "dees", la vitesse augmente, le rayon de leur trajectoire circulaire augmente donc aussi successivement, jusqu'à son éjection (voir Figure 9) :

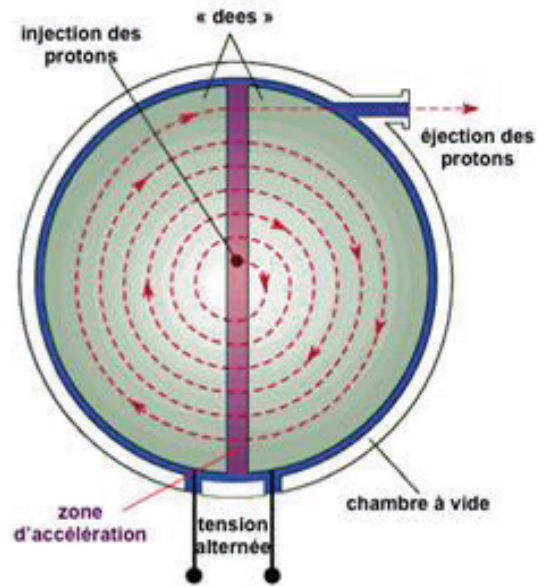


Figure 9 : Principe du cyclotron. (Bouquet, 2015)

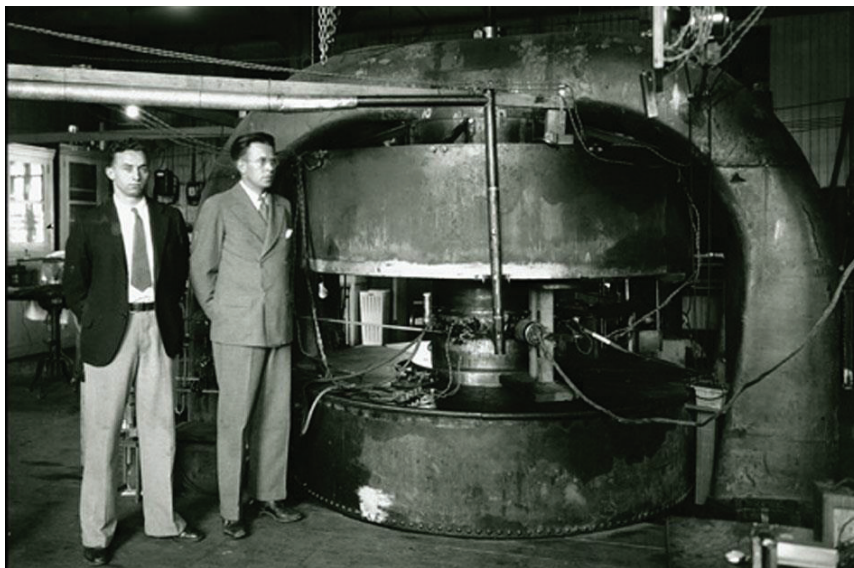


Figure 10 : photographie de Lawrence (à droite) et de son collègue, devant le cyclotron de l'Université de Californie à Berkeley en 1932. Droits et sources : Lawrence Berkeley National Laboratory.

1.4.3 L'accélérateur électrostatique en cascade

L'accélérateur développé par Cockcroft et Walton a plus de points communs avec l'accélérateur de Van de Graaff qu'avec le cyclotron. Il fait partie de la famille des accélérateurs électrostatiques, à tension continue. Il est intéressant de voir en quels termes Walton lui-même explique le fonctionnement de cette machine. Ce texte est extrait du discours qu'il fit le 11 décembre 1951 à l'occasion de leur remise du Prix Nobel de physique.

"In this method a stream of charged particles is sent down the common axis of a line of cylinders, and accelerated successively by electric fields between adjacent cylinders. If a high-frequency alternating potential is applied between the odd-and-even sets of cylinders, by a suitable choice of the lengths of these cylinders it can be arranged that the field is always an accelerating one when the particle is traversing the gap between a cylinder and the next one. The potentials on the cylinders are changed while the particles are travelling through them and thus they are shielded from any adverse fields. The method is most suitable for heavy particle because then shorter cylinders and potentials at lower frequency may be used." (Walton, 1951)

Il continue en expliquant que pour accélérer des particules à hautes énergies, la capacité électrique du système nécessite de grands courants de charge et qu'en pratique, cela nécessite une alimentation à haute fréquence considérable. Comme la trajectoire d'une particule est longue, seul un petit courant de sortie pourrait être obtenu et uniquement si une bonne mise au point est faite avant.

1.4.4 Le perfectionnement de la machine

Cette première désintégration artificielle a propulsé Cockcroft et Walton au rang des célébrités scientifiques. On les appelle alors « the atom splitters » ou « the atom smasher ». Ils recevront le prix Nobel de Physique en 1951 pour leur travail pionnier sur la transmutation des noyaux atomiques par des particules atomiques accélérées artificiellement. Cette expérience fait de ces deux physiciens les premiers expérimentateurs de la nouvelle ère de la physique des hautes énergies.

« Their discoveries initiated a period of rapid development in nuclear physics. Besides the apparatus of Cockcroft and Walton, [...] played important roles. By its stimulation of new theoretical and experimental advances, the work of Cockcroft and Walton displayed its fundamental importance. Indeed, this work may be said to have introduced a totally new epoch in nuclear research. »

(Waller, 1951)

Par la suite, ils étudient la désintégration du bore et mettent au point un nouveau type de courbe d'absorption. Ils trouvent que les particules alpha ont été émises à partir de la plupart des éléments qu'ils testent, mais l'avenir leur prouvera qu'il s'agissait surtout d'impuretés provenant de leur source de bore. En mai 1932 Rutherford tient informé Bohr de leurs progrès :

"We have so far only had time to examine a limited number of elements, but everything so far tested shows some result; although the magnitude varies over a wide range. So far pure iron gives the lowest result, a very minute fraction of that from lithium, and small compared with nickel and cobalt.

I may tell you also, privately, that uranium and lead also give a positive effect. I made the initial observations with uranium myself and we were able to increase the natural activity several times. I think, however, this is not a case of stimulating the natural transformation for it looks as if the range of the particles is greater than the normal. I am inclined to believe that in these heavy elements the effect is likely to be due to capture of the proton through one or more resonance levels and this is a point that I propose to examine using comparatively low voltage." Rutherford to Bohr 26 march 1932, BSC 1930-1945 Reel 25 Rosseland-Teller in (Dahl, 2002).

Sous l'influence de Rutherford, un autre physicien (M. Dee), qui travaillait sur les chambres à brouillard de Wilson, rejoint Walton au Cavendish. Tous deux construisent un autre tube d'accélération et font en sorte que le faisceau de protons traverse une chambre de Wilson. Cette expérience est faite avec une source d'ions hydrogène lourd aussi appelé Deutérium. En 1933, un professeur de chimie physique à l'Université de Californie à Berkeley, Gilbert Newton Lewis, arrive à isoler le premier échantillon d'eau lourde pure²³. Depuis cette date, cette ressource est disponible dans le laboratoire Cavendish, grâce au professeur Lewis qui leur en a envoyé quelques millimètres cubes. Ils continuent de travailler avec Lewis sur un certain nombre d'expériences et font évoluer leur appareil en conséquence. Ils observeront notamment la transmutation du bore (Rousset & Six, 2014).

« Our apparatus was greatly improved in accuracy and we were able to study the disintegration of boron, carbon, nitrogen, and oxygen by deuterons with some precision. » (Cockcroft, 1951)

²³ L'eau lourde est composée des mêmes éléments que l'eau H₂O, mais les atomes d'hydrogène qui la composent sont des isotopes « lourds ». Cet isotope lourd aussi appelé deutérium ²H ou D, est un isotope de l'hydrogène possédant un noyau formé d'un proton et d'un neutron. Sa formule brute est ²H₂O ou D₂O. Sa densité est plus élevée que celle de l'eau, d'où son nom d'eau « lourde ». Elle entre dans la composition de la bombe atomique comme ralentisseur de neutron, augmentant ainsi la probabilité de créer de nouvelles fissions, ceci entretenant la réaction en chaîne.

En 1937 est construit dans le bâtiment du cyclotron du laboratoire Cavendish, une nouvelle haute tension, avec un multiplicateur de tension de 1 million de volts. Et les travaux continuèrent pour créer des tensions toujours plus élevées.

1.5 Le développement des accélérateurs dans un contexte de guerre

« During the 1930s and 1940s the development of accelerators was based on the need of nuclear physicists to obtain higher projectile energies to exceed the Coulomb barrier of heavier and heavier elements for nuclear-structure studies, for the production of radioactive isotopes etc. » (Hellborg, 2005)

En 1939, la guerre bouleverse les laboratoires du monde entier. Alors que certaines recherches sont suspendues, comme celles sur les rayons cosmiques (Johnson, 2007), d'autres sont encouragées avec des moyens dépassant l'imagination des physiciens de l'avant-guerre. Aux États-Unis, plusieurs dizaines de scientifiques travaillent dans les laboratoires militaires, à l'élaboration de la bombe nucléaire.

En février 1940, Otto Frisch (1904 - 1979) et Rudolf Peierls (1907 - 1995), réfugiés dans le laboratoire de Mark Oliphant (1901 – 2000) aux États-Unis, transmettent une note au professeur Chadwick, expliquant que mathématiquement, une bombe à l'uranium 235 est réalisable²⁴. Oliphant rapporte cette découverte aux autorités britanniques, qui envoient un rapport à la commission MAUD au comité consultatif pour l'uranium américain vers mars 1941, mais qui restera sans réponse. La Grande-Bretagne est en guerre et perçoit qu'une bombe atomique est urgente et fait pression sur les instances américaines qui ont plus de moyens et de personnel pour réaliser l'arme nucléaire. Le bureau de recherche scientifique pour la défense (OSRD) est créé le 28 juin 1941, avec la possibilité de lancer de grandes opérations de conception industrielle, en plus de la recherche ; impliquant plusieurs laboratoires et de grosses ressources humaines. Après l'attaque de Pearl Harbor, le District d'ingénierie de Manhattan est lancé sous le nom de « projet Manhattan ». Une délégation britannique est créée et plusieurs chercheurs anglais (et leur programme codé sous le nom de *Tube Alloys*) intègrent ainsi le projet Manhattan. Au Laboratoire national Lawrence-Berkeley, Lawrence et Oliphant se concentrent sur les processus d'enrichissement de l'uranium 235, dont l'essentiel des opérations est réalisé au Laboratoire national d'Oak Ridge dans le

²⁴ Des extraits du *mémoire* sont disponibles sur Wikipédia https://en.wikisource.org/wiki/Frisch-Peierls_memorandum

Tennessee. William George Penney (1909 – 1991), professeur de physique mathématique au collège impérial de Londres, intègre le laboratoire de Los Alamos au Nouveau-Mexique, en tant qu'expert en ondes de choc. Malgré une apparente collaboration, les Américains ne pratiquent pas une politique de partage des informations et les laboratoires en dehors du centre névralgique de Los Alamos sont peu tenus au courant des réelles répercussions de leurs travaux. Le projet Manhattan, maintenu très secret, a investi plus d'une trentaine de laboratoires aux États-Unis, au Canada et en Grande-Bretagne, 130 000 personnes et 2 milliards de dollars. Les événements qui succéderont à ce projet (Hiroshima et Nagasaki) feront une petite révolution dans la communauté scientifique. Qui envisageait la portée catastrophique d'une telle arme ? Dans quelle mesure les scientifiques à l'origine de ces découvertes peuvent-ils être tenus pour responsables ? C'est la naissance de l'éthique des sciences, dans sa conception actuelle et la naissance de gros laboratoires de coopérations internationales.

« En 1945 se produit un double choc symbolisé par Hiroshima et Auschwitz. D'une part les nouvelles armes nucléaires, utilisées pour anéantir des populations civiles ; d'autre part, les révélations sur les pratiques monstrueuses de médecins nazis, et aussi japonais. » (Toulouse, 2000)

« Et bientôt une réaction nucléaire, la fission, a donné à la science une importance politique et économique qu'elle n'avait jamais eue auparavant. Dès la fin de la guerre, commence le « boom » de la recherche scientifique. » (Amaldi, Biquard, Goldstein, & Guinier, 1984)

Ce premier chapitre, nous a permis de présenter le contexte historique social et politique dans lequel cet instrument scientifique s'inscrit. Au-delà de l'importance des recherches et des expériences menées par Cockcroft et Walton dans le laboratoire Cavendish de l'Université de Cambridge, cette étude nous montre que la naissance de cet instrument n'est pas fortuite. Elle est le fruit de la collaboration entre un théoricien (John Cockcroft) et d'un expérimentateur (Ernest Walton) et répond à une attente forte de la communauté scientifique. Les rencontres avec les physiciens qui élaborent les nouvelles théories de la physique et notamment ceux de la physique quantique, auront été déterminantes. Cockcroft et Walton n'étaient pas les seuls à chercher à mettre au point un système permettant d'accélérer les particules, mais leurs choix les ont conduits au succès. L'accélération des particules à hautes énergies nécessite un système dont la capacité électrique peut résister à de grands courants de charges, et l'utilisation d'un générateur de hautes tensions. Ce sont les points du fonctionnement de l'accélérateur que nous allons aborder dans le chapitre qui suit.

Chapitre 2 : Le fonctionnement d'un accélérateur de particules Cockcroft-Walton

L'analyse du fonctionnement de l'accélérateur CW développée dans ce chapitre va nous permettre de comprendre les tenants et les aboutissants techniques liés à l'objet. Un accélérateur de particules, c'est un peu l'instrument de la recherche fondamentale par excellence, qui permet de donner des éléments de réponses aux grandes questions de l'humanité :

« we humans have long been obsessed with four great questions : the nature of matter, the origin of the universe, the nature of life, the workings of mind. » (Simon, 1997)

Les physiciens étudient la matière en faisant interagir les particules entre elles. Pour ce faire, ils les accélèrent à très haute énergie et les orientent minutieusement, de manière à ce qu'elles rentrent en collision l'une avec l'autre. Les collisions qui se produisent à haute énergie peuvent engendrer la création de nouvelles particules ou produire de nouveaux phénomènes. C'est dans l'étude de ces collisions que les constituants de la matière révèlent leurs propriétés (Johansson, 2001). Aujourd'hui, il y a 13 000 accélérateurs de particules en usage à travers le monde et la majorité est utilisée pour l'exploration de la matière. Viennent ensuite des utilisations à des fins médicales (radiothérapie), industrielles (imagerie, stérilisation), pour les recherches sur les accélérateurs en eux-mêmes et enfin la production de radio-isotopes (Nobel Media AB, 2016).

De manière générale, un accélérateur de particules est conditionné par plusieurs composantes : une source (d'ions ou d'électrons qui vont alimenter le système), un champ électrique (qui va accélérer les particules chargées de la source), des éléments assurant la focalisation du faisceau (pour diriger les particules accélérées), une cible (sur laquelle est focalisé le faisceau de particules chargées) et des détecteurs (placés à des endroits stratégiques de l'accélérateur pour « voir » les particules), le tout sous vide. Les accélérateurs peuvent être classés suivant plusieurs critères : l'énergie à laquelle ils accélèrent les particules, la technique qu'ils utilisent. La communauté scientifique parle d'accélérateurs à « basses énergies » quand

l'énergie d'accélération est comprise entre 10 et 100 MeV²⁵, d' « énergie moyenne » entre 100 et 1 000 MeV et de « hautes énergies » pour des énergies supérieures à 1 000 MeV.

Ce qui est communément appelé accélérateur de type Cockcroft-Walton est en réalité un générateur de hautes tensions (de type Cockcroft-Walton) couplé à une partie accélératrice puis à un ensemble de cibles et de détecteurs.

Nous nous intéresserons ici au fonctionnement de la partie haute tension.

2.1 Le générateur de hautes tensions

Les générateurs de hautes tensions sont utilisés dans différentes configurations, le plus souvent dans des laboratoires de recherche ou d'essais et connaissent de nombreuses applications : laser, séparateur électrostatique, rayon X, microscope, tests d'équipements haute tension installés sur des réseaux électriques, etc. Le générateur de type Cockcroft-Walton est un générateur de tension continue qui porte aussi le nom de cascade de Greinacher²⁶ ou de Villard²⁷. Il est constitué d'une suite de doubleurs et de redresseurs de tension, aussi appelés redresseur doubleur de tension de Schenkel²⁸. Son but est de créer une haute tension continue à partir d'une tension alternative beaucoup plus faible.



Une tension alternative périodique (communément appelée tension alternative) est une tension dont les valeurs sont alternativement positives et négatives et dont les valeurs se répètent périodiquement au cours du temps. Schématiquement parlant, les bornes du générateur connaissent une alternance positive et négative. Le réseau électrique (en Europe) fournit un courant s'alternant cinquante fois en une seconde (de 50 Hz).

²⁵ L'électronvolt est une unité de mesure d'énergie. Elle est définie comme étant l'énergie acquise par un électron soumis à un potentiel électrique de 1V. Ainsi, $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ (Joule). Ses multiples sont le keV= 10^3 eV, le MeV= 10^6 eV, le GeV= 10^9 eV, etc.

²⁶ Heinrich Greinacher (1880 – 1974) est un physicien suisse qui conçoit indépendamment de Schenkel un circuit multiplicateur en 1921.

²⁷ Paul Ulrich Villard (1860 - 1934) est un physicien français, natif de Saint-Germain-au-Mont-d'Or (Rhône), qui devient membre de l'académie des sciences à partir de 1908.

²⁸ Moritz Schenkel est un ingénieur allemand qui met au point ce circuit doubleur de tension en 1919.



Les condensateurs ont la capacité de stocker des charges électriques. Quand ils sont « pleins », ils peuvent alors restituer cette charge dans le circuit ; c'est la phase de décharge.



Les diodes sont des dipôles non linéaires²⁹ et polarisés³⁰ qui ont la capacité de laisser passer le courant dans un seul sens, celui symbolisé par une flèche.

Pour faire le lien entre le circuit électrique et la forme générale de l'instrument, prenons l'exemple d'un accélérateur Cockcroft-Walton avec un générateur en cascade de 4 étages. Voici comment le professeur Walton explique le fonctionnement du multiplicateur de tension qu'il met au point avant 1932:

"Essentially, it consists of condensers C1 and C2 in series, the voltages across them being maintained equal by means of the transfer condenser C3. This condenser is connected, in effect, alternately in parallel in rapid succession across C1 and C2. C1 becomes charged to twice the peak voltage (V) of the transformer because during one half-cycle, C4 is charged to V through the rectifier D1 while during the next half-cycle the voltage across C4 is added to the transformer voltage and thus C 1 gets charged through the rectifier D2 to twice the transformer voltage.

In addition to giving a steady voltage which may be any desired even multiple of the transformer voltage, the circuit has other advantages. It gives steady voltage tapings at intermediate points, these being useful when using a multi-section accelerating tube. The rectifiers are all connected in series and so may be erected as a single column and evacuated by one diffusion pump at earth potential. They, as well as the accelerating tube, were made out of straight glass cylinders, these being found to withstand." (Walton, 1951)

Le générateur de tension Cockcroft-Walton peut se schématiser ainsi (voir Figure 11):

²⁹ Les dipôles non linéaires sont des composants électroniques dont la résistance varie en fonction de la tension appliquée à leurs bornes. Une diode est constituée par la jonction de deux types de semi-conducteurs différents. Si la tension qui lui est appliquée est dans le sens correct, la diode a une résistance très faible et laisse passer le courant (état passant) ; si la polarité du générateur est inversée, la résistance de la diode devient très grande et le courant ne passe plus (état bloqué). (Bonnell, 2011)

³⁰ Un dipôle est polarisé quand son fonctionnement dépend du sens du courant.

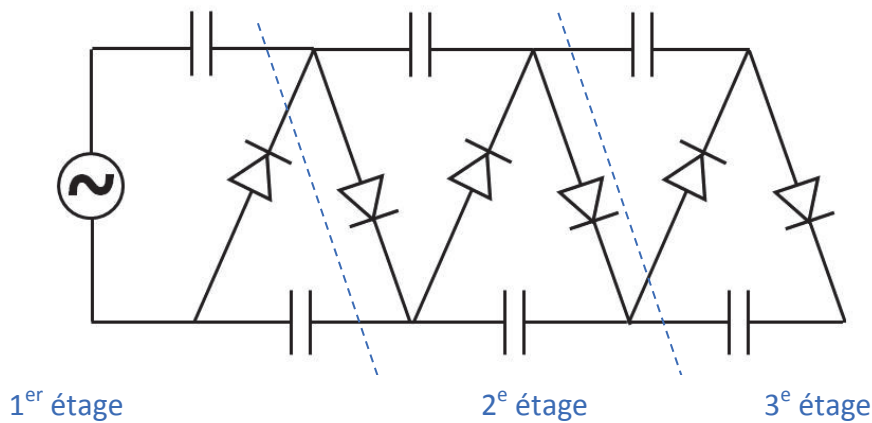


Figure 11 : schématisation du circuit de Cockcroft-Walton à trois étages

Pour aller plus loin dans l'explication du fonctionnement du circuit de Cockcroft-Walton, nous proposons de passer par différentes étapes. Ce montage a la capacité de redresser la tension, mais aussi de la multiplier. Un multiplicateur de tension, comme son nom l'indique, a la capacité de multiplier la tension initiale, d'un facteur n . Souvent, ces circuits d'ordre supérieur sont des extensions d'un circuit appelé « doubleur de tension » aussi appelé circuit de Villard. C'est cette multiplication des étages qui lui donne aussi le nom de circuit en cascade. De manière à mieux comprendre la cascade de Cockcroft-Walton, regardons déjà comment fonctionne le redresseur doubleur de tension.

Un doubleur de tension est donc un circuit qui permet d'obtenir une tension de sortie égale à deux fois la tension crête initiale. Ce circuit est constitué d'un générateur de tension alternative, d'une diode et d'un condensateur (Figure 15).

Supposons que le générateur de tension alternative fournisse une tension appelée U_i avec une valeur crête égale à U_{\max} (voir Figure 12)

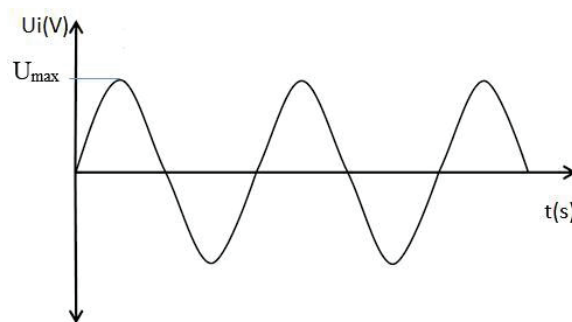


Figure 12 : représentation graphique de la tension alternative périodique U_i

Avec ce circuit dit « redresseur », le courant ne circule que dans une seule direction. Lors de la 1^{re} alternance (demi-période), le courant traverse la diode dans le sens passant et

charge le condensateur, à l'amplitude maximale de la tension alternative U_{\max} . La diode étant passante, la tension à ses bornes est nulle (lieu où se fait la connexion vers la suite du circuit).

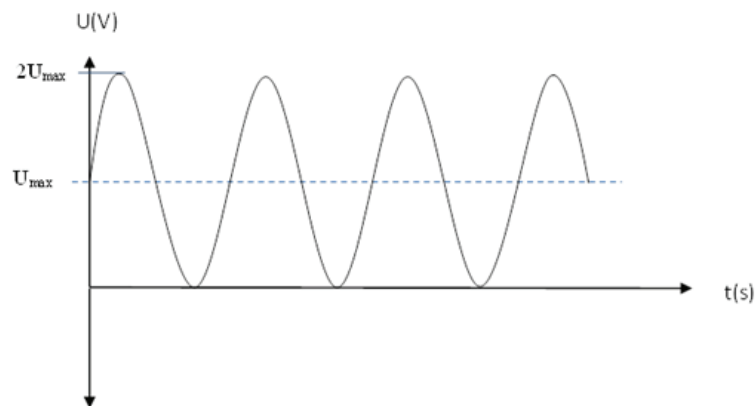


Figure 13 : représentation graphique de la tension U en sortie du doubleur de tension

À l'alternance suivante, la tension de sortie est donc égale à la valeur de la tension alternative, plus celle du condensateur. Au final, nous obtenons l'addition d'une tension alternative et d'une tension continue ce qui donne une tension alternative complètement décalée. La composante continue du signal passe donc de zéro à U_{\max} . Si nous ne tenons pas compte de la tension seuil de la diode, la tension crête de sortie varie entre 0 et deux fois la tension d'entrée $2 \times U_{\max}$ (voir Figure 13).

La tension a bien été doublée, mais avec une oscillation très importante (ondulation résiduelle).

Pour pallier ce problème, nous allons chercher à lisser cette tension, c'est-à-dire à diminuer l'écart entre la valeur maximale et la valeur minimale. Pour lisser la tension, nous ajoutons un condensateur C_2 qui va se charger au travers d'une diode D_2 . Ce type de circuit porte le nom de circuit Schenkel ou de Greinacher (Figure 16).

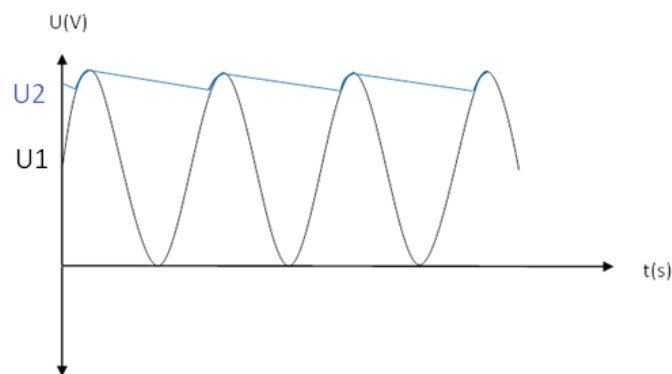


Figure 14 : représentation graphique de la tension de sortie avant (U_1) et après lissage (U_2)

La tension aux bornes du condensateur C2 est "continue" et égale à $2U_{max}$. Cependant dès qu'une résistance est branchée à ses bornes la tension décroît jusqu'à ce que la tension remonte à la période suivante (voir Figure 14).

Maintenant que nous avons doublé et lissé la tension, nous la multiplions en remarquant que la tension aux bornes de la diode D2 est une tension similaire à celle délivrée au premier étage par le transformateur. Donc C3 est chargée de la même manière que C1. La tension aux bornes de C3 n'est pas lisse. Nous la lisons en ajoutant une diode D4 et un condensateur C4, etc.

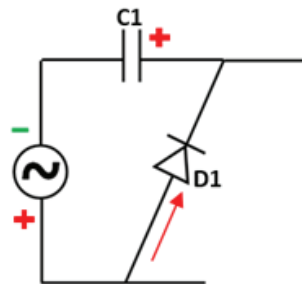


Figure 15 : schématisation du circuit de Cockcroft-Walton lors de la première alternance

Lors de la 2^e alternance, le courant est délivré dans l'autre sens, il rencontre une diode non passante D1 et une diode passante D2. Il empruntera donc la diode passante. Le condensateur C1 va se décharger et empruntera le même chemin. La tension est donc doublée. Le deuxième condensateur C2 se charge à son tour de $2U_{max}$.

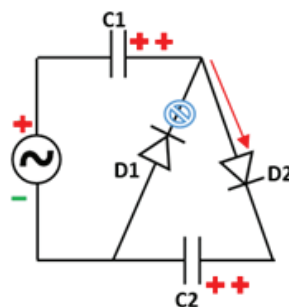


Figure 16 : schématisation du circuit de Cockcroft-Walton lors de la deuxième alternance

Lors de la troisième alternance (voir Figure 17 : Schématisation du circuit de Cockcroft-Walton lors de la troisième alternance), le courant recharge de sens. Le courant traverse les deux diodes passantes qui s'offrent à son chemin D1 et D3. Le premier condensateur se recharge. Le deuxième se décharge de la tension accumulée à la précédente alternance ($2U$). La tension

arrivant donc au troisième condensateur est égale à trois fois la tension initiale ($3U$). Ce processus se poursuit autant de fois qu'il y a d'étages.

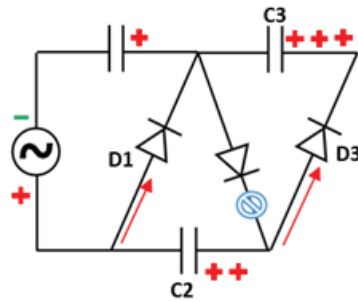


Figure 17 : Schématisation du circuit de Cockcroft-Walton lors de la troisième alternance

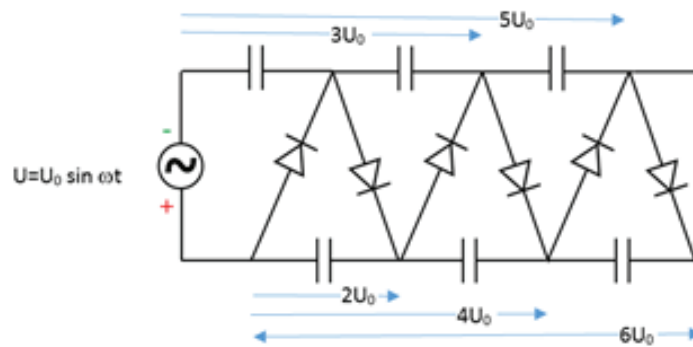


Figure 18 : schématisation du circuit de Cockcroft-Walton et de l'évolution de la tension en fonction des étages du circuit

La cascade est en fait un empilement de circuits redresseurs/doubleurs de tension (voir Figure 18). Le raisonnement expliqué plus haut se répète et la tension du générateur à n étages, composé de $2n$ redresseurs et de $2n$ condensateurs idéaux, sera égale à $2nU_0$.

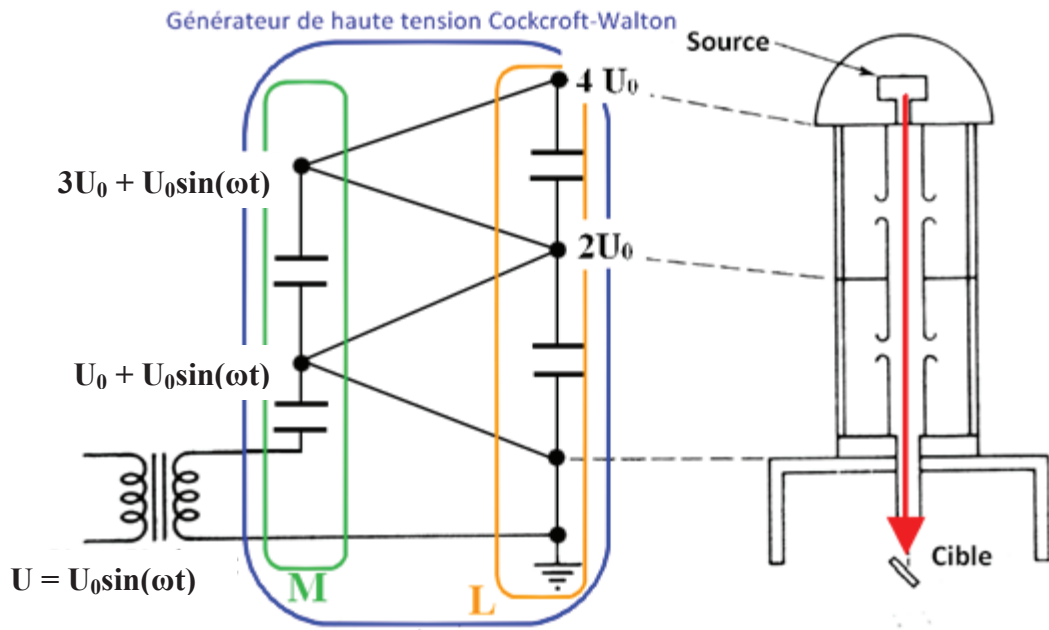


Figure 19 : Schématisation simplifiée d'un accélérateur de Cockcroft-Walton à deux étages, avec M : la colonne de montée en tension, L : la colonne de lissage, la source d'ion et la cible.

Si nous récapitulons en nous aidant du schéma ci-dessus (Figure 19): les condensateurs sont empilés en deux colonnes verticales. Les condensateurs de la colonne M (la colonne de montée) sont chargés pendant la demi-période négative de la tension sinusoïdale, alors les condensateurs de la colonne L (colonne de lissage) se chargent pendant la demi-période positive. Considérons que le transformateur délivre une tension alternative d'amplitude U_0 ($U = U_0 \sin(\omega t)$). En régime permanent, la tension aux différents points d'arrêts de la colonne M monte progressivement : $U_0 + U_0 \sin(\omega t)$ sur le premier point, puis $U_0 + 3U_0 \sin(\omega t)$ sur le second, dans le cas d'une haute tension à deux étages. Parallèlement, sur les points de la colonne L nous passons de $2U_0$ sur le premier, à $4U_0$ sur le second.

Nous devons cependant insister sur un point : cette explication est faite pour des composants « idéaux ». Nous négligeons le fait qu'en réalité, avec une tension appliquée au circuit, les condensateurs se déchargent partiellement de part et d'autre de leurs bornes, dans le circuit. Ceci complexifie largement les calculs théoriques comme le montre le module développé par l'Université de Cambridge (Cambridge University, 2015).

Le schéma que nous venons d'utiliser pour comprendre le fonctionnement de la haute tension a été simplifié. Regardons maintenant un schéma plus complexe (voir Figure 20) avec un générateur à quatre étages et les autres éléments du circuit :

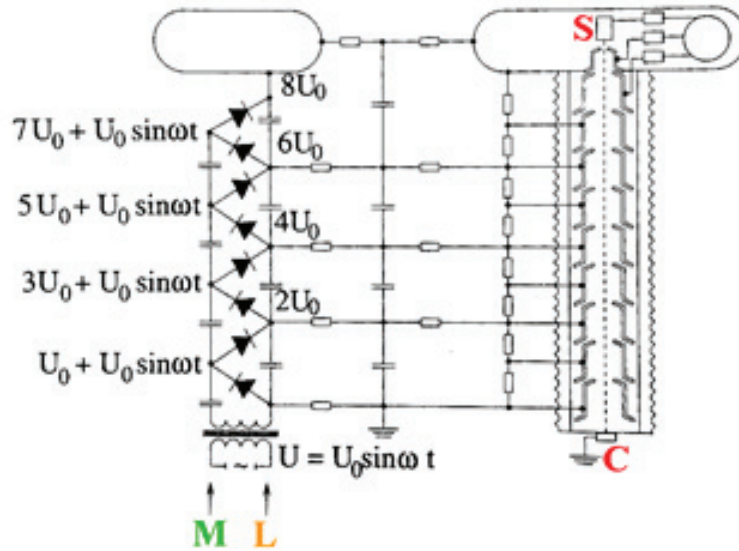


Figure 20 : Schématisation d'un accélérateur Cockcroft-Walton à 4 étages, avec M : colonne de montée, L : colonne de lissage, S : source d'ions et C : la cible. (adaptation de schéma) Source : (Hinterberger, 2006)

2.2 Le tube accélérateur

La partie accélératrice correspond à la partie droite du schéma de l'accélérateur. Le tube accélérateur est une superposition d'isolateurs en céramique sous vide. La haute tension est distribuée graduellement, le long des tubes isolateurs, ce qui augmente progressivement l'accélération du faisceau (le champ électrique le long du tube est donc moins important que sa valeur maximale en haut du générateur, ce qui a pour conséquence de stabiliser la tension (Hinterberger, 2006)). Les électrodes internes au tube d'accélération sont aussi rondes et polies que pour le générateur de hautes tensions, et cela pour les mêmes raisons. Mais dans le vide qui règne dans la ligne accélératrice, la valeur du champ électrique à la surface des électrodes en acier inoxydable ne doit pas dépasser 100 kV/cm^{31} . Quand cette valeur est dépassée, l'émission et l'accélération des électrons de la surface de l'électrode provoquent de violentes décharges. Afin d'éviter les distorsions de trajectoires des ions dans le tube accélérateur, qui seraient causées par des amas de charges sur les bords des isolateurs, les différentes parties du tube d'accélération se chevauchent, comme le montre la Figure 20 en

³¹ Le volt par mètre (V/m) est l'unité de mesure du Système International (SI) de la force électrique d'un champ électrique. C'est l'intensité du champ électrique exerçant une force de 1 newton sur une charge électrique de 1 coulomb. On utilise ici le kilovolt par centimètre (kV/cm) mais il est aussi possible de rencontrer le MV/m (million de volts par mètre).

imbriquant les différentes parties de la colonne C. Ainsi, les ions du faisceau qui voyagent dans le tube d'accélération « ne voient pas » les bords des parties du tube. Pour la même raison, les électrodes doivent être conservées propres, sans traces d'huile, d'hydrocarbures ou de tout type de dépôt isolant (Hinterberger, 2006).

Le faisceau d'ions, qui va être propulsé sur la cible, est extrait de la source d'ion à l'aide d'une électrode d'extraction. Ce sont les champs électriques (symétriques) successifs, exercés sur le faisceau, qui le maintiennent dans sa trajectoire, un peu comme le ferait une lentille de focalisation. Cette mise au point, faite par commande à distance, nécessite un réglage minutieux qui conditionne la taille du faisceau sur la cible. La source d'ions, le système de focalisation électrostatique en sortie de source, les blocs d'alimentations et le générateur de tension de courant alternatif entraîné par un moteur, sont logés à l'intérieur de l'électrode terminale qui surplombe le tube d'accélération (Hinterberger, 2006).

Un des problèmes majeurs des accélérateurs électrostatiques d'ions positifs est causé par les émissions secondaires provoquées par les collisions entre des électrons (provenant des électrodes) et les atomes du gaz résiduel dans le tube d'accélération. Ces électrons sont alors accélérés dans le sens opposé et génèrent des émissions de rayon X lorsqu'ils entrent en collision avec l'électrode terminale (au-dessus du tube accélérateur). En plus de provoquer des effets indésirables, ils contribuent à augmenter le champ électrique dans le système global. C'est une des limites de la montée en tension du système. Par conséquent, elle suscite aussi la nécessité d'un vide élevé à l'intérieur du tube d'accélération. Les accélérateurs les plus récents sont équipés de système « de suppression d'électrons », par exemple des aimants permanents, afin de dévier les électrons gênants et en essayant de perturber le moins possible la trajectoire des ions (Hinterberger, 2006)

2.3 Les formes imposées par la physique

Les formes caractéristiques des générateurs de hautes tensions, bien qu'elles puissent nous paraître peut-être belles aujourd'hui, ont été faites pour répondre directement aux besoins de la physique. Regardons la forme générale de notre objet : les deux colonnes de condensateurs (M et L) sont plafonnées par une grosse électrode ovoïdale. Cette pièce emblématique d'un générateur de hautes tensions Cockcroft-Walton est en lien avec le champ électrique de l'objet et deux phénomènes physiques : l'effet Corona et l'effet de pointe. L'effet Corona, aussi appelé effet couronne, se produit sur tous les matériaux conducteurs

soumis à une haute tension. Dès que le champ électrique à la surface du conducteur est suffisamment grand (atteignant une valeur critique supérieure à la valeur du champ d'ionisation de l'air qui est d'environ 30 kV/cm), l'air s'ionise et forme autour du matériau une couronne lumineuse ou des points lumineux bleuâtres. Ce phénomène a l'inconvénient de provoquer des pertes énergétiques (pertes couronne), des interférences avec les ondes radio, du bruit et des vibrations dans les matériaux conducteurs (Tilmatine, 2014), et laisse des marques sur les matériaux (Geindreau, 2014). Plusieurs facteurs interviennent sur la difficulté des électrons à produire l'ionisation de l'air autour d'un conducteur : la pression, la température, le taux d'humidité, la géométrie du conducteur ou encore sa propreté (Zweiacker, 2013). Il s'intensifie donc quand le taux d'humidité de l'air augmente ou sur les parties aigües des conducteurs.

L'effet de pointe est un phénomène expliquant l'influence d'un objet conducteur pointu sur le champ électrique environnant, dont l'application la plus connue est le paratonnerre pour la foudre. Il a l'inconvénient de provoquer des rayonnements électromagnétiques perturbateurs, une instabilité des tensions et de limiter les potentiels admissibles par le système. À la surface d'une sphère, portée à un potentiel donné, le champ électrique est d'autant plus élevé que le rayon de la sphère est plus petit. Dans le cas des formes ellipsoïdales, le champ est plus élevé à l'extrémité du plus grand des demi-axes, autrement dit, là où la courbure est la plus forte (Zweiacker, 2013).

À l'air libre (dans des conditions classiques de température et de pression), un champ électrique ne doit pas excéder 30 kV/cm et pour limiter les effets décrits ci-dessus, la valeur du champ électrique à la surface des électrodes doit être maintenue la plus faible possible. La taille des électrodes est donc directement en lien avec les contraintes physiques de l'instrument puisque le champ électrique $|E|$ à la surface des sphères d'un rayon de courbure r , (U est toujours la tension) est donné par la formule : $|E| = U/r$. Cette équation nous apprend que plus le rayon de la sphère r sera élevé, plus le champ électrique sera faible. C'est la raison pour laquelle les électrodes terminales et intermédiaires sont de forme ovoïdale, d'un rayon assez important et parfaitement lisse (sans bord tranchant ou pics). Elles sont généralement en aluminium, car cette matière se travaille bien et permet d'obtenir des formes bien sphériques. L'acier inoxydable poli a une limite de claquage plus haute que l'aluminium, mais il est beaucoup plus difficile de lui donner la forme désirée.

L'analyse du fonctionnement de l'accélérateur CW nous permet de mieux comprendre les choix qui ont été faits par Cockcroft et Walton, compte tenu des exigences du système et de la complexité de certains effets physiques. Chaque élément de l'accélérateur, comme pour les accélérateurs modernes, est d'une importance cruciale : la source, les éléments de focalisation du faisceau, la cible, les détecteurs, la génération du vide et le générateur haute-tension. Ce sont ces éléments, en réponse aux besoins du système, et en particulier ceux de la haute-tension, qui ont conditionné la forme si caractéristique de l'objet.

Nous avons la chance d'avoir un laboratoire de physique nucléaire (L'institut de physique nucléaire de Lyon) juste en face de notre laboratoire. Ce laboratoire s'est construit autour d'un accélérateur Cockcroft et Walton acheté par Jean Thibaud au début des années 1950. Cet accélérateur a fini sa vie dans un bâtiment appelé *le dôme* où seule une partie de la machine initiale était utilisée : le générateur de hautes tensions aux formes si caractéristiques. Avant de voir quels ont été les éléments décisifs dans la sauvegarde de cette haute-tension, nous allons nous intéresser à la trajectoire de vie de cet objet.

Chapitre 3 : La trajectoire de l'accélérateur Cockcroft-Walton de l'Institut de Physique Nucléaire de Lyon

La partie de cet accélérateur qui est aujourd'hui conservée par l'Institut de Physique Nucléaire de Lyon (IPNL) est le générateur haute-tension de type Cockcroft-Walton. Ce n'est pas un accélérateur de particules au complet puisque le tube accélérateur a été détruit et qu'il ne reste que les morceaux du générateur de haute de tension. Les vestiges de cet instrument de la Big Science sont aujourd'hui au cœur d'un projet de valorisation qui consisterait à le remonter au sein de l'Université comme objet emblématique des débuts de la physique lyonnaise. Mais en quoi cet objet est-il réellement emblématique ? Qu'est ce qui dans sa trajectoire de vie d'objet scientifique mérite aujourd'hui qu'on s'en souvienne ?

Ce sont ces éléments que nous allons mettre avant dans le chapitre qui suit. Pour réaliser ce travail nous avons pu bénéficier d'un accès aux archives scientifiques et administratives de l'institut, et d'une étroite collaboration avec Pascal Bellanca-Penel qui réalise un travail de thèse consacré exclusivement au professeur Jean Thibaud, fondateur de l'IPNL. Nous avons également réalisé un certain nombre d'interviews de chercheurs et de techniciens de l'institut, ayant travaillé avec l'accélérateur CW. Travaillant à partir de la méthodologie employée pour les « récits de vie savantes³² », nous avons conservé le principe qui consiste à ne pas modifier les propos de l'interviewé, de garder l'ensemble des locutions orales et de ne pas reformuler les phrases.

3.1 Le produit de fabrication de la société Haefely

Ce générateur de hautes tensions est signé de la société Haefely³³ (voir Figure 21). Cette société, fondée en 1904 par Emil Haefely (1866-1939), a pour spécialité la conception

³² La méthodologie utilisée est inspirée des travaux de Nicolas Adell (Adell, 2011) et sera un peu plus détaillée dans la note 99. La grille d'interview a été donnée à titre confidentiel et ne peut figurer dans les annexes de ce document.

³³ Parmi les constructeurs d'accélérateurs de particules de type Cockcroft-Walton il y avait la société Haefely (Suisse), Philips (Pays-bas), High Voltage (États-Unis). D'après une source américaine, il existait aussi un

brevetée d'isolants en papier imprégné de résine. Elle est établie à Neue Welt (Commune de Münchenstein, Suisse) puis déplacée à Bâle (Suisse) en 1907. Elle élargit rapidement ses compétences et lance en 1922 une filiale dédiée aux tests de haute tension et lance la fabrication d'appareils électriques, de condensateurs, etc. (« Our History | HAEFELY HIPOTRONICS », s. d.) Elle ouvre à l'occasion une succursale en France, dans la ville de Saint-Louis (Alsace). Emil Haefely est un important contributeur au domaine de l'électrotechnique ; nous lui devons l'introduction du papier bakéliné comme matériau isolant ou encore le développement d'un procédé d'isolation pour les machines à courant fort (Schmid, 1976). Les établissements sont localisés dans différents pays : la France et la Suisse. Notre appareil a été fabriqué à Bâle où se trouve encore aujourd'hui le siège de la société Haefely Test AG³⁴. Le contrat d'achat et de fabrication a été signé avec la filiale française de l'époque, basée à Saint-Louis. L'institut de physique nucléaire de Lyon garde peu de traces de la fabrication de l'appareil. La quasi-totalité des informations que nous possédons aujourd'hui a été obtenue grâce à l'aimable collaboration de M. Lequitte, commercial du secteur « Europe » pour la société Haefely Hipotronics. À cette époque, le concurrent sur le marché n'est autre que la société Philips, dont le siège du pôle « recherche » se situe à Eindhoven au Pays-Bas, aujourd'hui transformé en musée.

fabricant français sous le nom de « Assistance Industrielle Dauphinoise » (Scharf, 1986). Mais c'est la seule source que nous avons trouvée sur le sujet et aucun des accélérateurs retrouvés ne porte d'indications relatives à ce fabricant.

³⁴ La société Haefely Test AG est le nom de la société suisse. Lors de la recherche sur Internet (2013), nous trouvons plus fréquemment le nom : Haefely Hipotronics. L'appellation Haefely Hipotronics est une marque regroupant la société Haefely Test AG et la société américaine Hipotronics. Haefely Hipotronics est basé aux États-Unis. (« Our History | HAEFELY HIPOTRONICS », s. d.)



Figure 21 : Extrait de la brochure commerciale de la société Haefely dans les années 1950-1960. La photographie montre l'accélérateur Cockcroft-Walton Haefely vendu au professeur Thibaud, monté à l'intérieur du fort de La Vitriolerie à Lyon. Droits et Source : Haefely

3.2 La commande du professeur Thibaud

Le générateur Cockcroft-Walton est aujourd'hui à Lyon grâce au professeur Jean Thibaud (1901-1960), précurseur de la physique atomique et nucléaire à Lyon (Bellanca-Penel, 2012). Après avoir obtenu le diplôme de l'École supérieure d'électricité de Paris et fréquenté le laboratoire de Maurice de Broglie (1875 – 1960) (il soutient sa thèse en juillet 1925), il devient sous-directeur du même laboratoire en 1928. Il fonde en 1935 l'Institut de physique atomique (IPA), rue Raulin à Lyon. Ce physicien de renom est très vite intéressé par la question des accélérateurs et cherche à reproduire l'expérience de Cockcroft et Walton, comme le montrent les travaux de Pascal Bellanca-Penel (Bellanca-Penel, 2012, 2016). La guerre, le régime de Vichy et les querelles entre physiciens français laisseront de grosses séquelles, tant sur le bâtiment de l'IPA³⁵ que sur l'image du professeur Thibaud (Bellanca-Penel, 2012). Ce qui ne l'empêche pas de poursuivre avec obstination ses recherches et d'amorcer le projet de la création d'un centre dédié à la physique nucléaire à Lyon.

³⁵ Bombardé le 26 mai 1944.

« Une solution consisterait à intéresser directement la défense nationale aux recherches atomiques. Celles-ci ne se contenteraient pas d'avoir des observateurs auprès des savants atomistes, d'avoir un comité de coordination composé d'officiers généraux nécessairement incompetents dans les questions atomiques. La défense nationale posséderait, au contraire, un corps autonome d'ingénieurs appartenant aux cadres militaires. »(Thibaud, 1949)

3.2.1 La France et le nucléaire après la guerre

Au lendemain de la Seconde Guerre mondiale, le monde est traumatisé par les effets des premières bombes atomiques. Le sentiment est ambigu : les conséquences désastreuses effraient, mais la puissance de l'atome génère un appétit scientifique dévorant et un intense optimisme (de Gaulle, 1959).

Il existe aussi, dans la communauté des atomistes français, une certaine rancœur envers les Américains qui les ont volontairement mis à l'écart du *projet Manhattan* (Mongin, 1991). Mais les Français ne comptent pas laisser le monopole de l'énergie nucléaire aux Américains.

Le général de Gaulle, alors président du gouvernement provisoire de la République française, demande au directeur du CNRS Frédéric Joliot-Curie (1900 – 1958) et à Raoul Francis Dautry (1800 - 1951) (ministre de la Reconstruction et de l'Urbanisme), de mettre en place un organisme de recherche consacré à l'énergie atomique. Le 18 octobre 1945 est créé le Commissariat à l'énergie atomique (CEA). Cet organisme public aura pour objectif de mener des recherches en vue de l'utilisation de l'énergie nucléaire dans les domaines de la science, de l'industrie et de la défense nationale. Le CEA reste encore aujourd'hui le pilote de nombreuses innovations en matière de nucléaire sur le territoire français (« CEA - Accueil », 2015). Alors que les scientifiques du CEA orientent leurs recherches en vue d'une domestication de l'énergie nucléaire pour le civil, certains militaires ne restent pas indifférents aux bouleversements que cela implique dans la technique des armements (Delmas, 1993). Depuis 1935, l'armée fait bénéficier à ses jeunes, des formations scientifiques, lui permettant ainsi de disposer d'officiers et d'ingénieurs capables de dialoguer avec les scientifiques.

« Après 1947, de nouvelles filières de spécialisation scientifique sont offertes à de jeunes officiers et notamment la physique nucléaire que l'ingénieur de l'Armement Chanson enseigne à l'École polytechnique. L'armée disposait donc d'un petit capital de scientifiques dont certains étaient affectés à la Section technique de l'armée (STA), groupement Z (armes chimiques) ou Y (armes atomiques). » (Delmas, 1993)

L'armée est donc très intéressée par les projets de recherche sur l'atome et débloque des sommes non négligeables pour eux.

3.2.2 Création du CPPN

Les arguments de Thibaud trouvent alors un auditoire et une réponse. Alors que la *Direction des Études et Fabrications d'Armement* lance la création d'une section atomique sous la houlette de l'ingénieur en chef Chanson, l'État-Major de l'armée de terre, dirigé par le général Clément Blanc, signe des contrats d'étude avec l'institut de physique atomique de Lyon. Le professeur Thibaud détient alors un bail pour une partie des bâtiments de la caserne de la Vitriolerie (Bellanca-Penel, 2016). Le général Clément Blanc, désigne alors le colonel Charles Ailleret en janvier 1952 pour créer et diriger le CAS : Commandement des armes spéciales. Le CAS est chargé « d'assurer la coordination de l'ensemble des travaux menés au sein de l'armée de terre, ainsi que de diffuser l'information et la formation dans ce domaine » (Mongin, 1991). La concurrence est encore vive entre le développement du nucléaire civil et du nucléaire militaire. Les objectifs du professeur Thibaud bénéficient certainement de cet environnement compétitif. L'armée de terre décide de lui fournir des locaux et des moyens, pour qu'il mène des recherches dans le but de fonder, à terme, un centre autonome, spécialisé dans « l'application militaire de l'atome ». (Mongin, 1989)

« Ceci l'avait amené [le général Clément Blanc] dès 1950 à passer avec le professeur Jean Thibaud, de la faculté des sciences de Lyon, une convention par laquelle il mettait à la disposition de celui-ci un bâtiment de la caserne de la Vitriolerie pour y installer un laboratoire de recherche comportant en particulier un accélérateur linéaire d'un million d'électrons-volts. En échange, Jean Thibaud était devenu pour lui une sorte de conseiller scientifique dans le domaine qui nous intéresse [...] » (Ailleret, 1968)

À partir de 1951, Thibaud crée officiellement le Centre de perfectionnement en physique nucléaire (CPPN) dans un bâtiment du fort de la Vitriolerie³⁶ et commande pour la

³⁶ La caserne a été construite dans le 7^e arrondissement de Lyon en 1840 à côté de la Société Jalabert et C^{ie} dont l'usine, connue sous le nom de « Vitriolerie » a été fondée en 1803. À l'extrémité sud du bâtiment se trouvait une autre Vitriolerie, plus petite, probablement détruite lors de la construction du fort. (Société d'histoire de Lyon rive gauche, 1962) dans (« Vitriolerie de La Mouche », 2012)

« Avant la Révolution, il existait dans ce coin du quartier de la Mouche, une manufacture où l'on faisait le vitriol et de plus en plus les eaux-fortes, la couperose, l'alun, le sel ammoniac, le sel de Saturne, le blanc de plomb et de céruse, la fleur de soufre, et aussi toutes les compositions pharmaceutiques ; on y fondait également le plomb en table, on y préparait les couleurs en pâte, etc. » (Vachet, 1982)

Depuis 1968, ce quartier a été rebaptisé « quartier Général Frères ». Du fort de la Vitriolerie, il reste le bâtiment le plus au nord-ouest, où un fronton sur la façade ouest porte la mention « Fort de la Vitriolerie ». Il sert de centre de commandement au GIACM (Groupement interarmées actions civilo-militaires). (Inventaire général du patrimoine culturel, 2012)

somme de 20 millions de francs (soit 480 000 euros³⁷) un accélérateur de particules à 1 million de volts, à la maison Haefely. En parallèle de ses cours dispensés aux militaires, Thibaud œuvre pour le 3e cycle de physique nucléaire au sein de l'Université et fait ainsi profiter des équipements financés par l'armée, à ses étudiants de la faculté.

Le département de formation en physique nucléaire initié par Thibaud avec le corps militaire restera une institution puisqu'elle existe aujourd'hui sous le nom de CDNBC (Centre de défense nucléaire biologique et chimique)³⁸.

3.2.3 Jean Thibaud et les militaires

Les militaires et l'État français attendent beaucoup de cette collaboration et des résultats qu'ils en obtiendront.

« Au cours des débats, le secrétaire d'État à la présidence du Conseil, Félix Gaillard déclare qu'« il serait vraiment curieux, alors que tant de pays de part et d'autre du Rideau de fer fabriquent des armes de destruction massive, de voir la France se refuser par principe la possibilité d'en faire pour assurer sa propre défense ». En octobre 1952, l'explosion de la première arme nucléaire expérimentale britannique (en Australie), qui intervient seulement quatre ans après que les Britanniques ont officiellement annoncé leur intention d'en fabriquer, va susciter un regain d'intérêt en France pour les applications militaires de l'énergie nucléaire. » (Mongin, 1991)

Ce regain d'intérêt concerne surtout les militaires. Les scientifiques de leur côté, sont favorables aux recherches pour le nucléaire civil, mais très peu pour le nucléaire militaire.

« Presque tous les autres savants nous apparaissent, pour diverses raisons, hostiles à la réalisation d'armes nucléaires. Ils pensaient en particulier, à tort, que cette réalisation réduirait l'effort purement scientifique du domaine nucléaire en accaparant des moyens en finances et en savants qui seraient mieux – à leur point de vue – utilisés dans la recherche « civile » ». (Ailleret, 1968)

³⁷ Nous sommes avant 1960, donc l'appareil a coûté 20 000 000 d'anciens francs. Pour la conversion nous utilisons un convertisseur en ligne, développé par l'INSEE. Compte tenu de l'érosion monétaire due à l'inflation, le pouvoir d'achat de 20 000 000 anciens francs en 1951 correspond en 2015 à 479 650 euros.

³⁸ *« Dès 1951, un accord entre l'Armée et l'Université de Lyon permettait l'installation au Fort de Vitriolerie à Lyon d'un établissement de recherches accueillant du personnel militaire, nommé Centre de Perfectionnement de Physique Nucléaire. Quelques années plus tard, le 1er octobre 1955, dans les mêmes locaux, naissait le Centre de Perfectionnement Atomique des Armes Spéciales (C.P.A.A.S.), organisme militaire placé sous le commandement d'un Colonel, ayant pour mission la formation de base de l'ensemble des spécialistes militaires atomistes. Le 1er juillet 1959, le C.P.A.A.S., classé dans la catégorie des établissements de l'Enseignement Militaire Supérieur Scientifique et Technique devient l'École Militaire de Spécialisation Atomique (E.M.S.A.), qui comporte à la fois une division scientifique et technique et des cours militaires d'étude de l'analyse d'objectifs. » (« Centre de défense nucléaire biologique et chimique : CDNBC », 2013)*

Thibaud a profité de ses bonnes relations avec le général Clément Blanc pour obtenir des locaux et un certain nombre de crédits ; mais il se retrouvera assez vite confronté à la rancœur du commandant Ailleret.

« Dans le monde scientifique, dont le tour fut rapidement effectué, nous n'en trouvâmes qu'un, encore on le verra, ne devait-il être d'aucune efficacité : le professeur Jean Thibaud. » (Ailleret, 1968)

« Thibaud, que je ne connaissais pas encore. Mais de ce côté notre espoir devait assez vite être déçu. » (Ailleret, 1968)

Le colonel Ailleret est très ambitieux³⁹ et les activités de Thibaud ne satisfont pas cette ambition. Une des premières raisons de ce conflit « de personnes » est certainement que le colonel regrette de ne pas avoir pu convaincre M. Joliot-Curie de suivre sa cause :

« Quant au plus illustre de nos physiciens nucléaires au début de 1952, époque où nous cherchions notre voie, Frédéric Joliot, président des « partisans de la paix », il était ouvertement contre les armes nucléaires françaises. » (Ailleret, 1968)

« J'étais donc a priori plein d'un très grand respect pour cet homme [Jean Thibaud], bien que pour certaines raisons il fut, je le savais, assez discuté par la majorité de ses collègues. » (Ailleret, 1968)

Thibaud est en effet un personnage « discuté » pour plusieurs raisons : son conflit avec Joliot-Curie ou Desjardins, ses positionnements pendant la Seconde Guerre mondiale, son attitude en société, etc. La deuxième raison du conflit tient au caractère de Thibaud. À travers nos lectures, il ressort du professeur un côté « bien trempé » comme nous le dirions aujourd'hui ; empreint de volonté, d'ambition, et d'insoumission aussi, comme le montre cette anecdote :

« Colonel – il ne put jamais se résoudre à m'appeler comme tout le monde « mon colonel », à tel point que je renonçai assez vite à lui donner le titre de « monsieur le professeur » pour ne l'appeler que « professeur » » (Ailleret, 1968).

Volontairement ou non, Thibaud montre à Ailleret qu'il ne compte pas obéir au doigt et à l'œil et qu'il reste maître de ses recherches. Ceci se confirmera par la suite et montre une autre raison du conflit : Thibaud ne partage pas assez le fruit de ses recherches, et ne forme pas les militaires comme le souhaite le colonel Ailleret.

³⁹ C'est d'ailleurs lui qui sera à la tête des opérations conduisant à l'explosion de la première bombe A française à Reggane (Sahara) le 13 février 1960.

« Je compris alors que ce bon M. Thibaud se souciait au fond assez peu de ce que les forces armées françaises disposent ou non d'armes atomiques. Ce qui l'intéressait avant tout était, sous le prétexte d'études préliminaires d'armes atomiques, de gonfler son équipe lyonnaise aux frais des armées, de se créer ainsi l'une des organisations scientifiques puissantes de France et de pouvoir en conséquence se prévaloir de son aptitude à diriger les affaires nucléaires atomiques militaires au cas où on déciderait de les entreprendre. » (Ailleret, 1968)

Il semble en effet que le professeur Thibaud se soucie assez peu de fournir une arme atomique aux forces armées. Même si le colonel ne le perçoit pas de la même manière, il n'y a pas de traces écrites prouvant qu'il espère une place aux côtés de ceux qui dirigent les affaires nucléaires. En revanche, le commandant Ailleret, lui, souhaite plus que tout armer la France et être aux commandes d'une arme nucléaire. Son autobiographie « L'aventure atomique française ; comment naquit la force de frappe » (Ailleret, 1968) montre à quel point les premiers tests l'enthousiasmaient et l'obsédaient. Qu'il ait vu en Thibaud, un concurrent est fort probable.

Thibaud cherchera à obtenir de lui de nouveaux crédits :

« La seule méthode est celle que j'ai proposée au général Blanc et qui est de créer à Lyon une équipe solide et étoffée qui commencera à étudier sans que personne le sache les problèmes de physique nucléaire connexes à la réalisation d'explosifs nucléaires [...]. Il faudrait seulement pour cela que l'état-major de l'armée me renforce en officiers scientifiques qualifiés et augmente quelque peu son effort financier au profit de la Vitriolerie, tout cela se faisant sans attirer l'attention. » (Ailleret, 1968)

Mais l'enseignement que donne Thibaud aux militaires n'est pas au goût de sa hiérarchie militaire. Lui veut créer des scientifiques théoriciens, capables de réfléchir et d'être à la pointe de la recherche ; tandis que l'armée veut des scientifiques qui ne se posent pas trop de questions, mais qui soient capables de créer la bombe atomique. Nous ne savons pas s'il obtint ces crédits-là. Mais lorsque les membres de l'IPA déménagèrent les appareils pour les nouveaux locaux de la Doua (1962-1963), ils ont trouvé deux accélérateurs, neufs, encore dans leur caisse, en plus du Haefely.

« C'est à cette époque que les accélérateurs commandés par J. Thibaud, et qui attendaient dans leurs caisses des jours meilleurs, l'un, le Synchrocyclotron [...], l'autre un Van de Graaff (VdG) 2 MV vertical [...] » (Giffon, 2003)

L'ensemble des lectures tend à montrer que Thibaud ne se rapproche pas de manière innocente des militaires. Comme le montre l'article de Yann Jacob (Jacob, 2006) dans un contexte d'après-guerre, les facultés souffrent d'un cruel manque de budget.

« Le budget de l'Enseignement supérieur est si faible qu'il en est presque dérisoire. [...] Nos crédits servent ainsi, pour une trop large part, à combler les trous d'autres budgets, chose fâcheuse en elle-même, mais fâcheuse aussi en ce qu'elle tend à détourner le Centre de sa véritable mission. Je crois que l'on peut poser en principe que les établissements de l'enseignement supérieur, Universités, Museum, Observatoires, devraient avoir des crédits, en personnel et en matériel, suffisants pour leurs besoins courants, c'est-à-dire pour leur fonctionnement normal. [...] Le Centre ne devrait intervenir que pour des équipements exceptionnels, répondant à des besoins nouveaux ou pour des installations spéciales tout particulièrement onéreuses. » Rapport d'activité du CNRS 1951, cité par (Jacob, 2006)

Le centre dont il est fait mention est le Centre national de la recherche scientifique (CNRS). Une question se pose véritablement : qui doit financer la remise à niveau des équipements de physique nucléaire en France ? Les universités n'en ont pas les moyens et le CNRS a d'autres objectifs (Marnot, 2010). Restent alors les militaires.

Thibaud sait où se trouvent les crédits et en fin stratège arrive à s'intégrer dans les programmes de formation militaire tout en travaillant pour son propre laboratoire. Comme le confirmera le témoignage de M. Jean Goyon⁴⁰ :

« Je pense qu'il allait à la chasse aux sous, ce qui est important, quand même l'aspect relationnel pour trouver des sous ; surtout qu'à l'époque y'en avait point. » (Goyon, 2013)

Un témoignage rapporte aussi que le laboratoire de la Vitriolerie est équipé par des crédits de l'Université :

« On avait beaucoup de crédits, c'était comment... d'un gars... Kowarski⁴¹, qui faisait partie du groupe Joliot-Curie... je ne sais pas qui... je crois. Donc sur les appareils il y avait marqué « kow » avec un numéro, c'était, disons pour justifier les crédits qui étaient envoyés pour l'achat de matériel. Mais ça, c'était du matériel fac, pas du matériel payé par des crédits militaires » (Goyon, 2013)

⁴⁰ M. Goyon a été interviewé en juin 2013 dans notre laboratoire. Ses propos ont été modifiés le moins possible et nous avons conservé volontairement les locutions orales de notre conversation.

⁴¹ Lew Kowarski (1907 – 1979) est en effet un physico-chimiste immigré russe qui travaille aux côtés des grands noms de la physique atomique française. Lors de sa fuite pendant la Seconde Guerre mondiale, il apporte, avec Von Halban, des preuves importantes que la construction d'un réacteur permettant une réaction en chaîne contrôlée était possible en disposant de l'oxyde d'uranium dans une sphère contenant de l'eau lourde. Impliqué dans les débuts du projet Manhattan à Montréal en 1944, il revient en France en 1946 et devient membre du Commissariat à l'énergie atomique et participe au développement du nucléaire civil français sous la supervision de Frédéric Joliot-Curie.

Lew Kowarski est membre du CEA (Commissariat à l'énergie atomique) depuis 1946 et prend des responsabilités au CERN à partir de 1954. Même si ce témoignage porte à croire que les instruments estampillés « Kow » proviennent de crédits universitaires, il semble peu probable que ce soit le cas. Le CEA aurait-il participé au financement d'une partie des équipements ?

En 1946, le général de Gaulle nomme pour cinq ans les membres du comité de l'énergie atomique⁴² (CEA). C'est par cet acte que l'on considère qu'il a mis « les savants au pouvoir ⁴³ »

« Ces années sont aussi celles où les sciences physiques viennent prendre leur place au cœur du politique et du militaire, au cœur de l'économie et de l'imaginaire - pour ne jamais les quitter » (Pestre, 1994).

Ce sont les débuts d'une politique de la science, et du pouvoir de la science sur le domaine politique (Pestre, 1994, 2016; Pestre & Groupe Sciences en questions, 2003; Pinault, 2006).

3.3 La livraison et l'installation d'un nouvel outil

C'est donc dans une caserne militaire que sera monté l'accélérateur Cockcroft-Walton Haefely pour la première fois. D'après le témoignage de M. Raymond Salin⁴⁴, qui se rappelle avoir vu des porcelaines nues⁴⁵, l'appareil est arrivé en pièces détachées en 1949 à la Vitriolerie. Un plancher du bâtiment a même dû être cassé, un autre percé, pour installer l'ensemble de l'appareil (Goyon, 2013) (Salin, 2013).

⁴² Les membres du comité de l'énergie atomique nommés sont : Irène et Frédéric Joliot-Curie, Francis Perrin et Pierre Auger, et Raoul Dautry, ministre de la Reconstruction.

⁴³ Expression utilisée en référence aux travaux de Bernadette Bensaude-Vincent (Bensaude-Vincent, 1978) sur Comte, concluant que pour lui, les temps modernes ne peuvent échapper à la domination des scientifiques.

⁴⁴ Ce témoignage a été recueilli en avril 2013 au domicile de M. Salin. Le questionnaire utilisé était celui développé par l'équipe de l'Université de Toulouse, découvert lors des rencontres sur les récits de vies savantes. Les propos sont donc retranscrits de l'oral et n'ont pas été modifiés ou interprétés.

⁴⁵ Le rapport de pré-restauration n'indique pas la présence de porcelaine. Peut-être que ces éléments faisaient partie des éléments liés à la chaîne de détection (qui se situe en périphérie de l'accélérateur) ou une confusion avec un autre matériau (la Haefelyte).

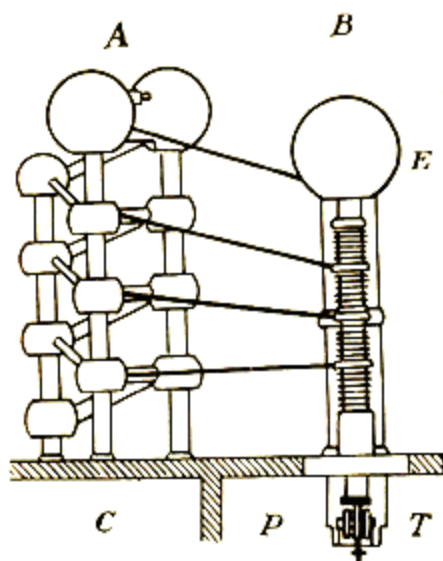


Figure 22 : L'accélérateur de particules à 1 million de volts (a) du Centre de perfectionnement en physique nucléaire (Lyon). A : le générateur à haute tension continue (1 million de volts), avec redresseurs au sélénium. B : le tube accélérateur proprement dit, à 4 étages. La source d'ions (Hydrogène lourd) est sous l'écran E. En T, les cibles où l'on déposera les éléments à transmuter par bombardement, après déviation des particules au spectromètre magnétique. En P, les pompes et le contrôle de vide. En C, le pupitre de commande et de contrôle et la salle des machines (Légende originale). Le professeur Thibaud à l'Institut de physique atomique, rue Raulin (Lyon) Source : (Thibaud, 1946) et les archives de l'IPNL.

Dans une communication présentée en 1954 devant le Groupe du sud-est de la Société française des électriciens, Jean Thibaud (voir Figure 22) présente ce nouvel appareil.

« Il nous faut d'abord produire des corpuscules, ensuite les lancer avec une énergie cinétique suffisante. D'où schématiquement, un appareillage en trois parties : d'une part, un générateur de corpuscules de bombardement, des protons par exemple – puis un tube à haute tension où nous accélérerons ces corpuscules jusqu'à une énergie cinétique correspondant à plusieurs millions d'électrons-volts, en troisième lieu, une sorte de cible où seront disposés les différents atomes que nous voulons transformer sous l'action des projectiles accélérés. » (Thibaud, 1954)

L'appareil, tel qu'il a été livré, est composé d'un redresseur à très haute tension, d'une source de protons, d'un tube d'accélération, de cibles et de quelques accessoires. L'alimentation nécessaire, à la base du système, est un courant alternatif variant de 100 à 500 volts et de 300 Hz. Un transformateur de 15 kVA permet de transformer cette basse tension, en une tension de 130 000 volts. La haute tension nécessaire est produite par un « très

ingénieux appareil », du type multiplicateur de potentiel. Thibaud explique son fonctionnement comme suit :

« Une série de condensateurs sont chargés en parallèle à une tension relativement basse (montage de Greinacher), puis déchargés en série⁴⁶. Les changements de connexions sont produits automatiquement à chaque alternance du sens du courant alternatif d'alimentation, par le jeu de soupape diodes ou de thyratrons. » (Thibaud, 1954)

La tension de 130 000 volts alimente le premier étage du redresseur/multiplicateur de haute tension. Chaque étage de l'appareil est constitué « d'un condensateur de couplage, d'un condensateur de repassage⁴⁷ et de deux valves redresseuses » (Métraux, 1954). Le passage par les trois étages consécutifs du circuit, porte la tension à 1,3 million de volts.

Les redresseurs sont composés de valves, contenant 40 tiges montées dans un cylindre de papier bakélinisé, rempli d'huile (pour limiter les décharges lumineuses et augmenter le rendement). Le dernier étage du redresseur est protégé contre les décharges par deux éclateurs à sphères (l'un entre la borne du transformateur et la terre ; l'autre sur la dernière valve du redresseur). Les mesures se font avec un potentiomètre⁴⁸ (isolé avec de l'huile) monté lui aussi sur un tube en papier bakélinisé.

La source de protons et son alimentation, un générateur synchrone monophasé, sont isolées du sol par une plateforme mise à la tension du redresseur (1,2 MV). L'ensemble de cette installation électrique est elle aussi protégée par des « relais de courant et de tension » qui permettent de couper automatiquement l'alimentation en cas d'incident. La source de protons est un tube à cathode, isolé par de la stéatite spéciale (roche à forte capacité calorifique). Les transmutations nucléaires seront produites par le choc des protons ou deutérons⁴⁹.

⁴⁶ Il est intéressant de noter que Thibaud donne une description du principe de fonctionnement du Haefely, très proche de celui d'un générateur de Marx qui est un générateur d'impulsions, dont l'esthétique est très proche de celui d'un accélérateur de particules de type Cockcroft-Walton. Le montage électrique comprend les mêmes composants (condensateurs et résistances), mais avec des agencements différents. Il produit une impulsion haute tension, souvent utilisée pour simuler les effets de la foudre.

⁴⁷ Un terme plus approprié est celui de condensateur de lissage.

⁴⁸ Un potentiomètre est un type de résistance variable à trois bornes, couramment utilisé dans les circuits électroniques. Aux deux bornes classiques est ajoutée une borne « ajustable » qui permet de recueillir, entre la borne reliée au curseur et une des deux autres bornes, une tension qui dépend de la position du curseur et de la tension à laquelle est soumise la résistance.

⁴⁹ Nous avons précédemment expliqué ce terme en abordant l'utilisation de l'eau lourde : « L'eau lourde est composée des mêmes éléments que l'eau H₂O, mais les atomes d'hydrogène qui la composent sont des isotopes « lourds ». Cet isotope lourd, aussi appelé deutérium ²H ou D, est un isotope de l'hydrogène possédant un noyau formé d'un proton et d'un neutron. Sa formule brute est ²H₂O ou D₂O. Sa densité est plus élevée que celle de l'eau, d'où son nom d'eau « lourde ». Elle entre dans la composition de la bombe atomique comme ralentisseur de neutron, augmentant ainsi la probabilité de créer de nouvelles fissions, ceci entretenant la réaction en chaîne »

« Le gaz nécessaire à la production de ces deutérons, dans une ampoule à décharge, sera extrait de l'eau lourde : cette dernière elle-même obtenue par une électrolyse, assez pénible d'ailleurs, de l'eau ordinaire qui en renferme naturellement de faibles quantités. »(Thibaud, 1954)

Le projectile, alors appelé « agent de transmutation », est donc un noyau d'hydrogène (ou son isotope : le deutéron). Mais à l'époque, l'eau lourde n'est pas produite en grande quantité ni de manière industrielle. Thibaud équipe son laboratoire grâce à la célèbre usine Norsk Hydro⁵⁰ (Norvège) en ampoules de 10cc⁵¹ (Salin, 2003).

« À cette époque j'étais assez mur pour que le professeur Thibaud me donne une ampoule d'eau lourde, venant directement de l'usine Norvégienne ou Suédoise, je ne me souviens plus, qui avait été l'objet d'un film vous savez, « la bataille de l'eau lourde ». »

« On a monté un petit électrolyseur à la rue Raulin, et Thibaud préférait sans doute avoir ces produits-là quand même bien sous les yeux, et on a extrait, c'était des bouteilles d'inox de deux litres environ, peut-être trois, enfin peu importe, avec un filetage, le même que celui de l'appareil Haefely, pour pouvoir bien l'adapter » (Salin, 2013)

L'hydrogène est ionisé par une tension variant de 60 à 80 kV sous une pression de 1/100 mm Hg. Le tube à cathode est refroidi par du pétrole qui circule dans l'une des trois colonnes supportant la source de protons. Le courant qui se présente au trou d'extraction est composé de 40% de protons et de 60% de molécules d'hydrogène ou de deutérium et de particules diverses (Métraux, 1954).

Le tube d'accélération est composé de 4 cylindres de porcelaine texturée, montés en colonne avec des joints en caoutchouc. Les anneaux en aluminium (et les aimants permanents non visibles) recouvrant les joints sont des systèmes « de concentration électrostatique » utilisés pour neutraliser les éventuels rayonnements secondaires. Le tube d'accélération en lui-même ne contient aucune soudure et peut être facilement démontable, ceci permettant plus facilement de l'aligner sur la cible, par un système de lentilles. L'ensemble du système d'accélération est tenu sous vide, et sécurisé par des valves et des boîtes de dérivation. À

Le deutéron est la forme ionisée du deutérium : deutérium 2H^+ , constitué formellement d'un noyau d'hydrogène-2 (un proton et un neutron) ayant perdu son unique électron.

⁵⁰ L'usine de Norsk Hydro est une société norvégienne spécialisée dans la production d'engrais artificiels. En 1934 elle ouvre à Vemork, la première installation hydro-électrique de production d'eau lourde commerciale. L'eau lourde rentrant directement dans la composition de la bombe atomique, son usine de production fut la cible de plusieurs offensives militaires durant la Seconde Guerre mondiale.

⁵¹ Cette unité de 10cc est celle utilisée par M. Salin dans son article. Il semble probable que l'auteur ait utilisé « cc » pour centimètre cube. Soit des ampoules de 10 cm^3 .

l'extrémité du tube d'accélération se trouve un spectromètre magnétique⁵² (une autre boîte de dérivation avec un électro-aimant) et 3 cibles refroidies, avec des vannes pour permettre le changement rapide et sécurisé des éléments bombardés (Thibaud, Verzaux, & Salin, 1954). L'une d'entre elles sert à mesurer l'intensité et la concentration du faisceau de protons envoyé. Après avoir dévié le rayon de décharge, magnétiquement, nous pouvons utiliser les deux autres cibles pour faire différents tests.

« Nous nous sommes efforcés de concevoir le tube d'accélération, ainsi que les autres parties de l'installation, de façon que le tout puisse travailler dans des conditions d'un appareillage industriel. »
(Métraux, 1954)

À la Vitriolerie, les appareils d'observation sont installés en dessous de la ligne accélératrice, comme le montre la brochure de la société Haefely pour laquelle l'installation dans la caserne sert de modèle. L'ensemble de cette installation et les différents instruments de mesure qui le composent sont gérés par un pupitre de commande. Celui-ci doit être placé dans une pièce différente de celle des cibles pour protéger le manipulateur des rayonnements. L'appareillage, une fois monté dans sa globalité, nécessite un étalonnage. Celui-ci se fait grâce à la ligne de résonance du lithium (Métraux, 1954).

L'ensemble de l'installation est protégé par une cage de Faraday soudée au sol, dont la température est gérée par un plancher chauffant.

« Grâce à ces dispositifs et aux grandes dimensions de la salle, on n'a jamais observé de décharges au sol. » (Thibaud et al., 1954)

Il y avait un certain avantage à installer un appareil comme celui-ci sur un terrain militaire : il était en permanence sous surveillance et soumis à la vigilance d'un garde.

« C'est pratique parce qu'on tripotait des cochonneries radioactives un petit peu, alors il y avait des murs épais parce que déjà il y avait de la méfiance, puis là-bas c'est un territoire très bien gardé. Pour rentrer, il y avait le poste de garde jour et nuit de partout et dans le bâtiment il y avait également le poste de garde avec une seule entrée, gardée aussi jour et nuit par un bidasse qui couchait dedans. »
(Goyon, 2013)

⁵² Les auteurs utilisent le terme de spectromètre magnétique. Aujourd'hui, nous parlerions plus probablement d'un spectromètre de masse. Cette technique d'analyse permet de détecter et d'identifier des molécules en mesurant leur masse. Son principe réside dans la séparation en phase gazeuse de molécules chargées (ions) en fonction de leur rapport masse/charge (m/z).

3.3.1 Premières utilisation du CW

La première mise en service de l'appareil, après avoir réglé la focalisation des lentilles et testé les différents circuits de sécurité, a eu lieu le 20 juillet 1953. L'appareil devant être étalonné avec des réactions connues, la première réaction étudiée a été celle d'éléments légers comme le fluorure de lithium (Thibaud et al., 1954). À partir de 1955 (Salin, 2013), d'autres cibles ont été utilisées (carbone, lithium, béryllium, etc.) dont certaines sont fabriquées sur place. L'accélérateur sert alors principalement de générateur de neutrons (Giffon, 2003).

« Dans son fonctionnement à la Vitriolerie il comportait une source à effluve et c'était deux tubes concentriques entre lesquels il y avait un ou deux centimètres de diamètre d'écart ; et les effluves donnaient un courant d'ions assez important sous une tension variable de 60 kV »(Salin, 2013)

Un certain nombre de personnes travaillent autour de cet accélérateur. D'après les témoignages oraux que nous avons recueillis, nous savons que M^{lle} Métraux était alors la chef des travaux pratiques, assistée par M. Goyon, à destination des élèves du 3^e cycle de physique nucléaire. M. Salin travaillait avec M. Depraz notamment sur sources d'ions à excitation électrique haute fréquence. M^{me} Geneviève Legros fait également partie des manipulatrices de l'époque (Goyon, 2013).

3.3.2 Un enjeu technique

La grande nouveauté de cet appareil réside dans la qualité des redresseurs et la robustesse de la haute tension.

« C'est la première fois qu'un redresseur d'un potentiel de 1.200.000 V est réalisé à l'aide d'éléments secs. »⁵³ (Métraux, 1954)

« L'utilisation des redresseurs secs s'est révélée comme un progrès dans la réalisation d'accélérateurs de protons. » (Métraux, 1954)

« Cet appareil comportait des éléments très robustes, la HT dans son ensemble de type Cockcroft-Walton avec pour la première fois l'utilisation de redresseurs secs à plus de 1 MV » (Salin, 2003)

Les manipulateurs rencontrent tout de même quelques soucis lors de leurs manipulations, notamment avec la nature de certaines cibles dont l'épaisseur n'est pas régulière ou dont l'usure est trop rapide. Ils remarquent également que l'huile des pompes à

⁵³ L'auteure parle de redresseurs réalisés avec des éléments secs, mais il y a tout de même la présence d'huile (liquide).

diffusion se décompose et se retrouve dans les échantillons. Près d'un an après sa première mise en service, les ingénieurs prévoient déjà une première modification majeure : la modification de la source. Le souhait est d'obtenir des protons dont la vitesse serait plus homogène.

Les témoignages de M. Salin ou de M. Goyon nous apprennent également qu'il y avait des difficultés pour stabiliser la haute tension ou focaliser le faisceau :

« L'ancienne structure du Cockcroft à la Vitriolerie comportait des faiblesses. En particulier par exemple, même dans la montée en tension on se rendait compte qu'il y avait des sauts sur les écrans de contrôle et à ce moment-là le professeur Thibaud lui-même est venu - il avait un bureau à la Vitriolerie, mais il n'y était pratiquement pas- il est donc venu plusieurs fois à la Vitriolerie et un beau jour il me dit « bon aller je monte dans la salle et on va voir ce qui se passe » et il a vu des effluves sur des résistances de liaison [...] Donc il y avait des résistances de liaison qui n'étaient pas très brillantes. C'était en bois, il y avait dans je ne sais pas environ dans les deux mètres de longueur, un mètre cinquante, deux mètres, en bois, couverts avec une couche de carbone, mais à l'intérieur il y avait un tissu humecté de je ne sais pas quel produit, fabriqué par Haefely [...] je ne me souviens plus, devant ces défauts, s'ils nous ont changé, la maison Haefely, ces résistances, ou si on ne s'est pas limités à travailler à 500 - 600 kV. »(Salin, 2013)

« Je peux parler ici des ennuis et des progrès qui ont été faits sur le Cockcroft : difficile de monter au maximum en très haute tension. Autre source un peu incertaine : il y avait un analyseur magnétique donnant trois voies centrales et puis deux voies à 30 degrés. Il était alimenté par un groupe moteur dynamo assez pittoresque, c'était Thibaud qui l'avait acheté, ce n'était vraiment pas quelque chose qui était ultra moderne. Et moi je pensais qu'il n'était pas très fiable, et on a acheté une belle batterie d'accumulateur, c'était, je crois, une tension nominale de 60 V qui bien sûr ne servait que de tampon et alors là c'était bien sur la stabilité au moins de la déviation. Quelles autres améliorations avons-nous pu faire ? No... il y avait des obligations fréquentes de nettoyage, alors là c'était des séances assez pénibles, nettoyage des grosses sphères d'aluminium, des éléments en bakélite⁵⁴. [...] Suivant les cas, il fallait prendre des précautions, pas utiliser n'importe quoi, on utilisait quand même généreusement le trichloréthylène qui est maintenant interdit, mais ça c'était indispensable. » (Salin, 2013)

« Je sais plus combien qu'y avait entre la tête haute tension et les murs, mais il y avait peut-être bien quand même 7 ou 8 mètres. Mais ça pétait quand même parce qu'au bord du Rhône c'est humide, puis à Lyon à l'époque c'était humide, beaucoup plus que maintenant. Alors il y avait quand même des fois des étincelles, on ne les voyait pas parce que c'était quand même fermé, mais on entendait bien les décharges quand ça claquait. Oh oui ! [...] Je sais qu'il y avait des problèmes sur la grosse

⁵⁴ Aujourd'hui encore les laboratoires utilisant des dispositifs en courant continu avec des sphères en aluminium, sont astreints à des nettoyages fréquents et fastidieux, avec des produits très spécifiques.

machine [...] alors je ne sais pas une fois que le faisceau était envoyé, je crois que ce n'était pas bien extraordinaire il me semble, ce n'était pas un engin de précision comme ça l'est devenu après avec les accélérateurs. » (Goyon, 2013)

Plusieurs étudiants auront l'occasion de travailler avec cet appareil. Une thèse conservée à la Bibliothèque de l'Université de Lyon, sur le site de la Doua, est marquante pour l'accélérateur : la thèse de Guy Burnot intitulée : Étude de l'optique ionique de l'accélérateur Cockcroft-Walton de 1, 2 MeV de l'Institut de physique nucléaire de Lyon et projet d'amélioration de l'appareil, publiée en 1961 (Burnot, 1961).

« J'en connaissais un par exemple qui a fait un travail sur le Cockcroft, c'est monsieur Burnot, c'était sur l'optique du Cockcroft, et bien lui il travaillait de nuit, et personne n'y voyait à redire » (Salin, 2013)

Nous pouvons aussi citer, grâce au témoignage de M. Salin, les thèses de Bernard Duborgel (Duborgel, 1962) ou de Gérard Grenier (Grenier, 1962), toutes deux publiées en 1962, dont l'accélérateur était l'outil de la recherche.

3.3.3 Un appareil déjà obsolète

« L'Occupation a brisé net le formidable élan initié en 1939 par Frédéric Joliot, si bien qu'en 1945 il n'existe en France qu'un seul véritable accélérateur de particules, le cyclotron du Collège de France. Certes, on recense différents accélérateurs de faible puissance à Bordeaux, à Strasbourg ou au laboratoire de synthèse atomique d'Ivry-sur-Seine ; mais tout ce potentiel, qui était de qualité en 1940, apparaît désormais comme totalement dépassé en raison des progrès technologiques qui ont été réalisés aux États-Unis durant la guerre : les accélérateurs de moyenne puissance se comptent alors par dizaines de l'autre côté de l'Atlantique. » (Jacob, 2006)

Le véritable accélérateur de particules du collège de France⁵⁵ dont il est fait mention est alors capable d'accélérer les particules avec une énergie de 7 MeV. Cette énergie est donc sept fois supérieure à celle du Cockcroft-Walton de la Vitriolerie. Le schéma suivant, appelé diagramme de Livingston (voir Figure 23), permet de visualiser l'évolution des accélérateurs en fonction de leur puissance. Avec son énergie à 1 MV, l'appareil de Thibaud est considéré comme dépassé depuis 1935.

⁵⁵ Cet accélérateur est le premier cyclotron français, commandé par les Joliot-Curie à son inventeur : Ernest Lawrence. Il fut utilisé de 1938 à 1958 à Paris au collège de France puis sur le Campus d'Orsay de 1958 à 1967. Aujourd'hui, la partie centrale de l'accélérateur est conservée et exposée au musée des Arts et Métiers de Paris ; l'autre partie étant *a priori* encore en fonction sur une ligne du centre de protonthérapie d'Orsay.

Pourquoi l’installe-t-il alors chez les militaires qui attendent de lui d’être à la pointe des avancées ? Nous pouvons faire plusieurs hypothèses. La première est que ce type d’appareil se retrouve dans la plupart des grands laboratoires qui ont joué un rôle majeur dans la course aux particules. Même dépassé par d’autres technologies comme l’accélérateur de Van de Graaff ou les cyclotrons, ils seront prisés dans les laboratoires jusque dans les années 1960. Quand le Cockcroft-Walton arrive à la Vitriolerie, les chercheurs de l’équipe du professeur Thibaud connaissent ce genre d’appareil et sont alors très contents d’en avoir un à leur disposition (Salin, 2013), même s’il n’est pas rarissime.

La seconde, c’est que Thibaud veut un instrument pour faire de l’enseignement avant tout. Il a peut-être conscience que de mettre un appareil trop puissant chez les militaires peut représenter un risque.

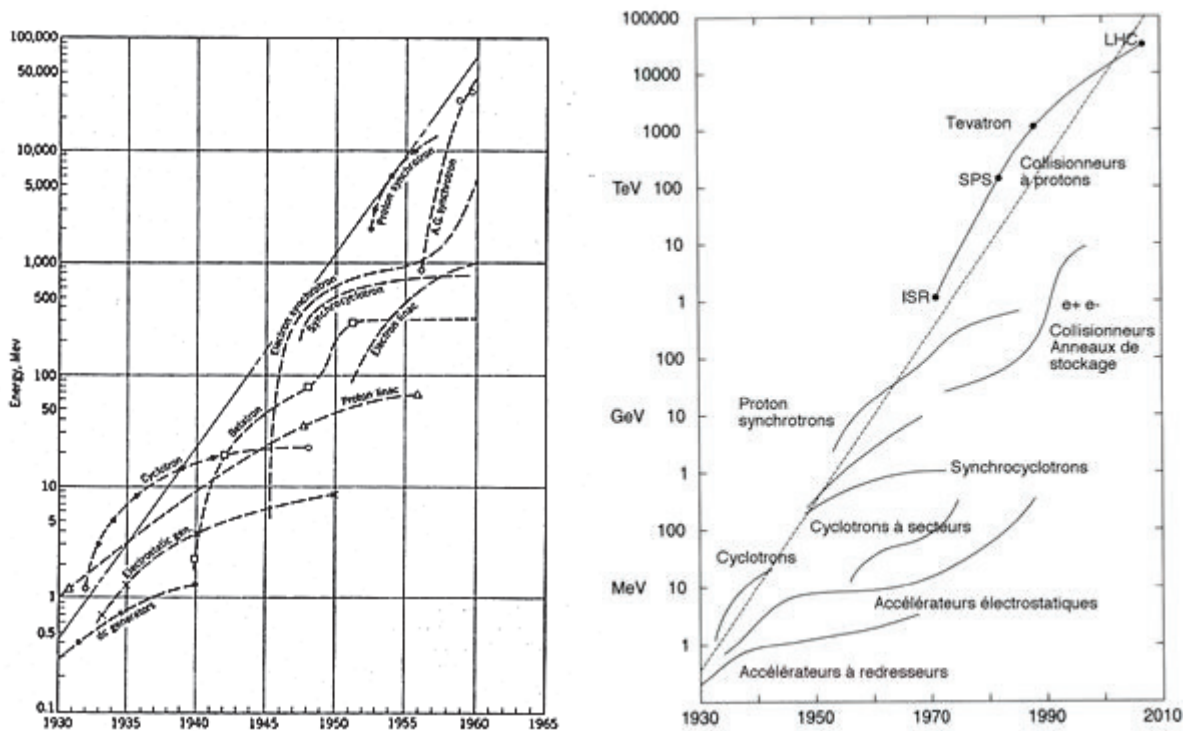


Figure 23 : Diagramme de Livingston montrant le progrès constant de l'énergie des faisceaux de particules accélérées en fonction des décennies, tel qu'il l'a publié en 1962 (a) et actualisé (b). Source : (Antivolt, 2007; Blewett & Livingston, 1962)

3.3.4 La nécessité d’avoir l’appareil

« Actuellement cette technique de désintégration atomique par l'effet des ions positifs accélérés s'est répandue ; des laboratoires spécialisés, aux installations coûteuses et d'une ampleur presque

industrielle, se sont ainsi créés en Angleterre, aux États-Unis, en France, en Russie, en Allemagne, etc. » (Thibaud, 1954)

L'investissement pour cet appareil a été important, mais il est nécessaire pour être à la hauteur de la concurrence. Le discours de Thibaud montre à quel point, être en possession de cet accélérateur est un gage de modernité et une nécessité pour être non seulement dans la « course aux particules », mais au cœur des grandes questions de l'humanité.

« Mais il nous est possible d'entrevoir, dès maintenant, la portée exceptionnelle de cet ensemble de recherches sur les transformations atomiques, pour lesquelles tant de labeurs et une si grande ingéniosité sont nécessaires. Leur objet n'est pas seulement d'enrichir nos connaissances sur la structure des noyaux et de la matière – problème d'un caractère presque métaphysique en lui-même – et, à une époque où la recherche de toutes les sources d'énergie (chutes, charbon, pétrole) est l'objet de préoccupations majeures, personne ne peut méconnaître l'intérêt qu'elles pourront présenter, dans un avenir peut-être rapproché, pour l'humanité elle-même. » (Thibaud, 1954)

Les accélérateurs de type Cockcroft-Walton ont été utilisés dans plusieurs grands laboratoires, essentiellement aux États-Unis et au Royaume-Uni. Moins de dix ans après la fin de la Seconde Guerre mondiale, les Français prennent petit à petit connaissance des avancées qui ont été faites par les Américains. Les grandes questions sur l'éthique des sciences se posent et les laboratoires français doivent y prendre part. Posséder un tel appareil et faire ses propres expérimentations devient une nécessité. Comme nous le verrons dans la partie suivante, Thibaud n'est pas le seul physicien français à prendre conscience de ce besoin.

« Précisément, c'est la présence de cet instrument [accélérateur Cockcroft-Walton de Strasbourg] qui motive la création de l'IRN [Institut de recherche nucléaire de Strasbourg]. Frédéric Joliot-Curie lui-même ne dispose à cette date [1944] que d'un accélérateur plus faible. » (Guthleben, 2009)

« Dès cette époque, Joliot est persuadé que, pour rester dans la course, les physiciens nucléaires doivent disposer de tels accélérateurs. Ceux-ci sont toutefois alors hors de portée des budgets de la recherche. » (Fernandez, 2011)

On retrouvera l'accélérateur Cockcroft-Walton dans un grand nombre de laboratoires comme celui de Los Alamos aux États-Unis, celui d'Enrico Fermi (1901 – 1954) à Rome, etc. Nous aborderons plus précisément ce point-là dans le chapitre suivant. Dans la majorité des cas, ces appareils sont arrivés dans les laboratoires entre les années 1932 et 1960. Mais les laboratoires ne revendiquent pas haut et fort leur possession. S'il est un gage de modernité et d'avancée technique pour certains, les résultats qu'il peut donner sont une source d'angoisse

pour d'autres. Certains laboratoires décideront (ou disent aujourd'hui que ce fut leur décision de l'époque) de suspendre les activités liées à ces accélérateurs, entrevoyant déjà la portée de telles recherches.

Voici des propos relevés à propos des recherches en Italie dans le laboratoire fondé par Fermi, alors qu'ils étaient en train de construire un accélérateur de ce type ; ou en Afrique du Sud avec l'accélérateur reçu de Cambridge :

« However, in 1941 the Rome group decided to cease all research on fission because of its military implications. » (« Chemistry, Aeronautics and Rockets », 2012)

« Wynand, working on nuclear spectroscopy, immediately saw its potential, and with Mike King and other students ran the first nuclear physics experiments at the Unit, using bremsstrahlung gammas, varying the energy using the Compton effect. The historic Cambridge machine was eventually brought into operation, appropriately called Phoenix, and inaugurated in 1960. For many years it was successfully, if labour-intensively, used for a variety of experiments. » (« History of the school of physics », 2012)

3.3.5 Le renouveau de la recherche

L'arrivée d'un tel appareil dans un laboratoire marque un changement dans la conception de la recherche, tant au niveau de la gestion humaine que de celle des budgets. Tout comme la collaboration de Cockcroft et Walton l'a prouvé, un physicien ne peut plus travailler seul devant sa paillasse. La complexité de l'appareillage l'oblige à travailler aux côtés de ceux dont c'est la spécialité :

« Il faut accepter les complications que cet état de choses entraîne pour le physicien, qui doit s'entourer maintenant d'ingénieurs, d'aides techniques, d'ouvriers mécaniciens, etc. L'isolement de la recherche devient difficile et les meilleurs résultats sont souvent le fruit d'une collaboration et de l'esprit d'équipe. » (Thibaud, 1954)

Le schéma de l'expérimentateur isolé avec ses deux disciples est progressivement remplacé par des équipes de physiciens, d'ingénieurs et de techniciens.

Le développement de ce nouvel appareillage de plus en plus puissant nécessite de faire appel à des matériaux de plus en plus coûteux, parfois brevetés, et dont les dimensions se rapprochent de celles des appareils industriels.

« Il n'est plus possible de se contenter de pièces détachées empruntées aux collections de cabinets de physique. Les établissements de recherches, centralisant des moyens spécialisés considérables, doivent gérer un budget important. » (Thibaud, 1954)

« Nous ne sommes plus au temps de Fresnel où des découvertes importantes en optique ont pu être faites avec un carton percé et une goutte de miel ! » (Thibaud, 1954)

3.4 La création d'un espace dédié à la physique nucléaire à Lyon

Mais très vite, les locaux prêtés par les militaires, et très certainement la collaboration avec ces derniers, posent problème à Thibaud, qui travaille dès 1955 à la création d'un institut dédié à la physique nucléaire. Son objectif est de pouvoir avoir assez d'espace pour accueillir un nouvel accélérateur de type Van de Graaff de 2 000 kV , un cyclotron de 32 MeV et des équipes de théoriciens ou techniciens (Salin, 2003). Malgré la forte concurrence avec Grenoble et ses difficultés personnelles avec les acteurs les plus écoutés du développement de la physique nucléaire en France, il fondera l'Institut de physique nucléaire de Lyon. Décédé brutalement en mai 1960, il n'en verra cependant pas le jour puisque ce n'est qu'en février 1961 que commencera la construction de l'institut à la Doua, à Villeurbanne, sur l'emplacement de l'hippodrome (Giffon, 2003). Ce n'est qu'à partir de 1962 que les équipements de la rue Raulin ou de la Vitriolerie peuvent commencer à être transférés. L'accélérateur Cockcroft-Walton sera transféré par la société Haefely et quelques techniciens de l'institut, entre 1962 et 1963. C'est alors une période de travail très intéressante (voir Figure 24) pour les membres du laboratoire qui profiteront de l'occasion pour apporter de nouvelles modifications à l'accélérateur (Salin, 2013). Il est donc assemblé pour la deuxième fois, dans un bâtiment qui porte désormais son nom. La presse lyonnaise couvre largement l'évènement et l'accélérateur est choisi pour illustrer la plupart des articles. Le progrès de Lyon publie le 18 septembre 1961 *trois gros diamants noirs abriteront les accélérateurs de particules de la nouvelle Faculté des Sciences* :

"Dans cette plaine de la Doua, qui devient le terre-plein du savoir scientifique, le dernier pylône radioélectrique a disparu. Les grues et les bulldozers ont épargné, cette année encore, la piste de l'hippodrome. Mais trois cubes de béton sortent de terre le long du boulevard de ceinture. Ils abriteront les accélérateurs de particules de la nouvelle faculté des sciences." (M, 1961)

Cette nouvelle faculté des sciences qui sera désormais considérée comme « le centre de province le mieux équipé pour la recherche nucléaire fondamentale ». (Bonhomme, 1963)

Voici ce qu'en dit Henry Bonhomme dans l'édition du 4 août 1963 du Progrès à propos du « Haefely » :

«Cet étrange appareil est l'accélérateur «Haefely». Bien qu'il paraisse sortir tout droit d'un roman moderne de science-fiction, c'est pourtant le plus ancien de tous ceux que possède l'Institut lyonnais, puisqu'il était installé auparavant à la Vitriolerie. Il fut démonté, transporté et remonté dans son bâtiment définitif en un temps record. Son fonctionnement est assuré par Mlle Legros et M. Salin. Sur la photo du haut, on remarque à gauche le tube accélération et les quatre colonnes qui contiennent les télécommandes. Les trois colonnes de droite forment le redresseur haute tension. Sur la photo du bas, à gauche, la colonne de stabilisation. Les autres tubes noirs verticaux et horizontaux sont des condensateurs, des redresseurs, ou des résistances. Les sphères polies constituent des surfaces permettant d'éviter les phénomènes de décharge par effet de pointe. Les dimensions du bâtiment qui abrite l'appareil sont surprenantes, car le fonctionnement a lieu non plus dans le vide cette fois, mais dans l'atmosphère. Et pour une valeur de l'ordre de 1,2 million de volts la distance d'isolement est d'au moins 4m50. Sinon la foudre artificielle jaillirait entre l'appareil et les murs...»(Bonhomme, 1963)

À son arrivée, plusieurs modifications ont déjà été apportées à l'appareil, comme l'explique M. Chambon :

« Différentes améliorations y avaient été apportées : modification de la source, changement des résistances et des condensateurs de la chaîne Greinacher, système de stabilisation et surtout montage d'un aimant à 90° - remplaçant celui à 30°- ce qui permettait d'équiper une voie d'expérience en horizontal. »(Chambon, 2003)

Le rapport d'activité de janvier 1966 de l'IPN (IPNL - Institut de physique nucléaire, 1966) mentionne la dernière utilisation de l'accélérateur comme producteur de protons et de deutons et le projet à venir : la réalisation d'un accélérateur de 4 MeV à haut débit fabriqué par la Société Haefely.

Il est alors transformé en « usine à neutrons » et plusieurs étudiants viennent travailler dessus. À cette époque, plusieurs équipes de recherche ont besoin d'utiliser l'appareil et donc de partager le temps d'utilisation. Les physiciens parlent alors de se répartir « les heures de faisceaux ». Il sert au groupe de neutronique, dirigé par M. Depraz, notamment pour l'étude des mécanismes de réaction nécessitant une basse énergie (entre 2 et 4 MeV), ainsi qu'au groupe de spectroscopie atomique dirigé par M. Dufay pour l'étude des excitations du

projectile par la technique de la « beam foil »⁵⁶. La réglementation étant souple à cette époque, les chercheurs viennent travailler jour et nuit sur le Cockcroft.

« Je me souviens il y avait une chambre dans le bâtiment Haefely » (Salin, 2013)

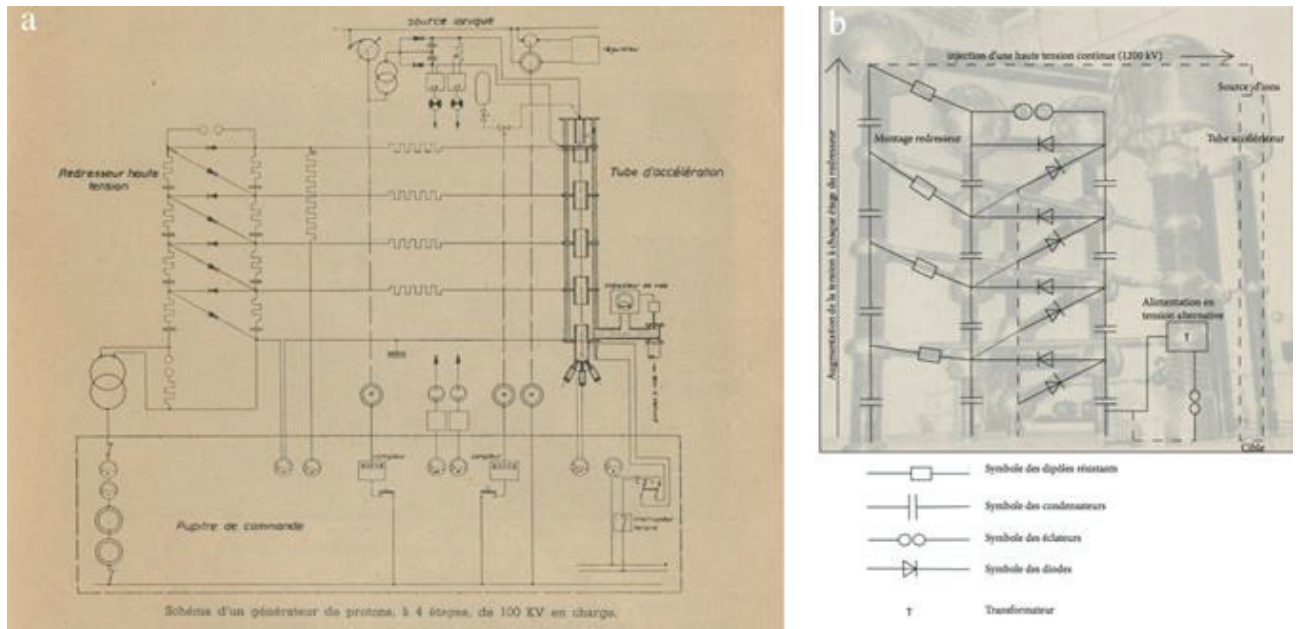


Figure 24 : Schéma du générateur Cockcroft-Walton (a) et schéma simplifié du dispositif électrique sur une photographie de l'accélérateur en filigrane de 1963 (b). Source : (Métraux, 1954)

Le Dôme et la collaboration avec le Cern

En 1967, l'accélérateur est démonté une nouvelle fois et la haute tension est installée dans un bâtiment appelé « Le Dôme ». Ce nouveau bâtiment, conçu par M. Jean Martin et M. Jean Roux, a été construit spécialement pour l'étude du préinjecteur du projet d'accélérateur linéaire avec le CERN⁵⁷. Ce sont les mêmes personnes qui se sont occupées de démonter et de remonter l'appareil (Goyon, 2013). Il a donc été conçu spécialement pour accueillir la haute tension Cockcroft-Walton (et la nouvelle partie accélératrice).

⁵⁶ La spectroscopie « Beam Foil » se traduirait en français par la spectroscopie « faisceau-feuille». Le faisceau de l'accélérateur de particules est projeté à travers une feuille. Les ions du faisceau, après avoir traversé la feuille montrent des perturbations électroniques. La nature de ces changements donne des éléments d'étude sur la nature des ions du projectile.

⁵⁷ Le CERN, est l'Organisation européenne pour la recherche nucléaire. C'est l'un des plus grands et des plus prestigieux laboratoires scientifiques du monde. Il a notamment pour vocation la physique fondamentale, la découverte des constituants et des lois de l'Univers. Pour un certain nombre de points nous pouvons nous référer aux trois volumes consacrés à l'histoire du CERN : History of CERN (Hermann, Krige, Mersits, & Pestre, 1987; Hermann, Krige, Mersits, & Weiss, 1990; Krige, 1996)

« L'enceinte est construite autour des hautes colonnes du générateur 1500 kV (E. Haefely) et de son impératif essentiel : distance aux parois 4 mètres. Une épure à 3 dimensions montre que la forme idéale : meilleure aptitude à la fonction pour un volume minimal, serait une sphère tronquée à la base. Les conditions très sévères fixées par les circonstances : prix « minimorum » délais d'exécution quelques mois, caractère provisoire de cette construction, écartant d'emblée les solutions traditionnelles « en dur ». » (Roux & Martin, 1969)

La coupole du Dôme (voir Figure 25) a l'avantage d'être à la fois rigide et légère : c'est une structure métallique recouverte en mousse de polyuréthane et de polyester, dont l'intérieur est doublé d'aluminium. Elle mesure 13,5 mètres de haut pour un diamètre de 16 mètres. Le Dôme est inauguré le vendredi 27 juin 1969 par M. Sarazin, alors directeur de l'institut (Martin, 2003)

« Il [Jean Martin] était très attentif, il attendait pas mal de ce Cockcroft et également du synchro qui était en caisse, qu'il avait, et dont il a fait approuver les plans avec Jean Roux. [...] C'est vraiment lui qui a établi les plans de l'institut tel qu'il est, et c'est lui ensuite qui a monté, sur ses plans, le Dôme et il a fait l'acrobate vraiment à la pointe des grues. Il était très énergique. » (Salin, 2013)

« Il [l'accélérateur] était extrêmement évolué avec le concours du CERN et de l'Université Karlsruhe⁵⁸ ; il a terminé en générateur de cluster ultra perfectionné. » (Salin, 2013)

« La collaboration avec Lyon portait principalement sur le tube accélérateur, l'IPN fournissait une partie des moyens d'essais dont un imposant hall servant de cage de Faraday et un générateur 1,5 MeV, et le CERN apportant le dispositif expérimental et son expérience dans la construction et l'exploitation des tubes accélérateurs. » (« Nouvelles du CERN, Préinjecteur de 1,4 MeV », 1970)

À la place du Cockcroft-Walton, dans le bâtiment Heafely, un autre accélérateur du constructeur Haefely est monté et atteint 4MeV et laissera à son tour sa place en 1972 à un accélérateur type Van de Graff de 4 MeV.

Lors de sa nouvelle installation, notre accélérateur Cockcroft-Walton subit un grand nombre d'interventions. La haute tension est associée à un préinjecteur dont la cloche, une impressionnante enceinte de bakélite, pèse près de 15 tonnes (« Nouvelles du CERN, Préinjecteur de 1,4 MeV », 1970). Sur la proposition de M. Salin, les physiciens construisent un nouvel étage afin d'améliorer la stabilité de la tension en sortie. À partir de ce moment-là, le Cockcroft devient un générateur de cluster, c'est-à-dire un générateur produisant des

⁵⁸ Institut de Technologie de Karlsruhe, Allemagne

agrégats d'hydrogène (des grappes), grâce au matériel du CERN, pour l'étude de la production d'énergie par fusion nucléaire (Peaucelle, 2013).

« En 1974, le Dr H. O. Moser de l'IKVT⁵⁹ de Karlsruhe, ayant eu connaissance de l'installation de Lyon, souhaite venir travailler au Dôme et utiliser le matériel du CERN (tube accélérateur, système de vide, etc.) pour installer une source cryogénique d'agrégats d'hydrogène afin d'effectuer des recherches dans le cadre de la production d'énergie par fusion (chauffage de plasmas par injection d'agrégats). » (Martin, 2003)

En 1975, le bâtiment « Dôme » est alors destiné aux études des interactions agrégats-solides et à l'étude de l'émission électronique secondaire (voir Figure 26).

Les besoins en énergie étant toujours croissants, l'IPNL commande en 1988 une cavité RFQ⁶⁰ à fréquence variable. La haute tension Cockcroft-Walton est modifiée en 1989, en même temps que l'agrandissement du Dôme qui communique désormais avec le synchrocyclotron. La nouvelle installation est opérationnelle en juillet 1991 et le restera jusqu'en 1996. Dans un article du Progrès (Pennec, 1992), c'est devant cette nouvelle version de la haute tension que pose Michel-Jean Gaillard.

« Une équipe de l'Institut de Physique Nucléaire de Lyon vient de mettre en service un post-accélérateur unique au monde grâce auquel a été obtenu le premier faisceau d'agrégats d'hydrogène de haute énergie. L'appareil ainsi mis au point et installé sur le site de la Doua à Villeurbanne constitue un prototype : il s'agit du premier post-accélérateur de type RFQ (quadrupole constitué de quatre barres accélératrices parallèles et alimenté en radiofréquence), à énergie variable. De ce fait, un faisceau d'agrégats d'hydrogène injecté à 0,14 MeV a été post-accélééré à une énergie dix fois plus élevée (de 0,14 MeV à 1,4 MeV). » (Pennec, 1992)

En 1996 le bâtiment qui accueille le synchrocyclotron doit subir quelques modifications pour les besoins d'une nouvelle installation (appelée Virgo), ce qui oblige de le désolidariser du Dôme et de démonter toutes les voies de faisceau.

« Une étude est entreprise pour orienter l'accélérateur dans une autre direction et créer un nouveau bâtiment annexe, mais ces modifications ne sont pas acceptées, c'est la mort de la machine ! » (Martin, 2003)

⁵⁹ IKVT : Institut für Kernverfahrenstechnik (Allemagne) pouvant se traduire par Institut du génie nucléaire.

⁶⁰ Le quadripôle radiofréquence (RFQ) est une structure utilisée pour les accélérateurs linéaires d'ions. Il permet la mise en paquets du faisceau et une préaccélération indispensable pour un transfert d'énergie efficace dans les étages supérieurs tout en assurant le confinement des particules. (« Les quadripôles à radiofréquence », s. d.)

La haute tension Cockcroft-Walton est donc démontée en même temps que le système RFQ en 1997 et le Dôme devient un lieu de montage pour d'autres groupes de recherches.



Figure 25 : Le Dôme lors de sa construction (1969). Sources : archives de l'IPNL

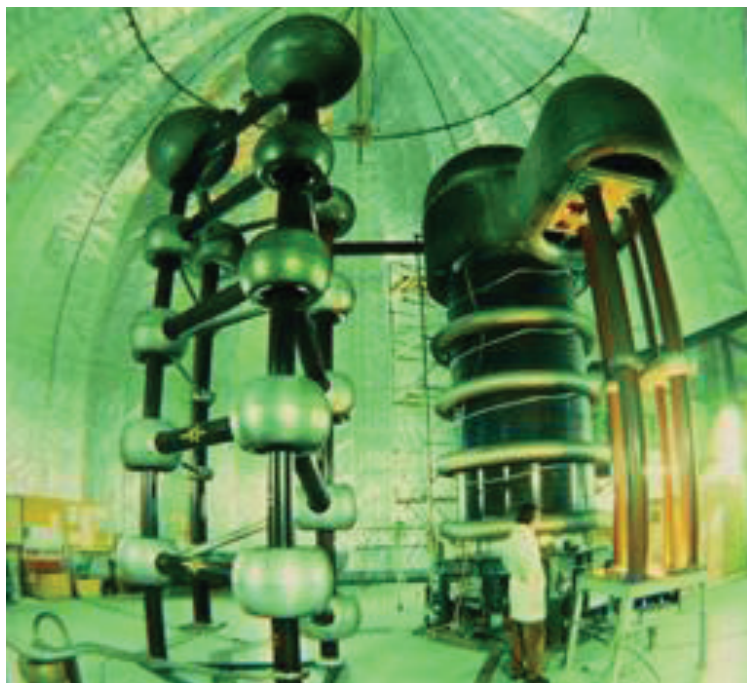


Figure 26 : accélérateur Cockcroft-Walton sous le Dôme entre 1974 et 1997, à l'Institut de physique nucléaire de Lyon. Sources : archives de l'IPNL

3.5 Une démarche patrimoniale : le projet de valorisation

Aujourd'hui, le générateur de hautes tensions de l'accélérateur est conservé, démonté, dans le bâtiment sécurisé appelé « Haefely », à côté d'un autre en activité, plus petit et plus puissant. De moins en moins de physiciens se rappellent l'époque où il était utilisé et était l'objet de toutes leurs attentions. Il ne subsiste que quelques photos que l'on peut voir sur un diaporama dans les bâtiments de l'Université. Pour accéder à l'objet, il faut joindre la bonne personne et pouvoir prendre un rendez-vous pendant une phase d'arrêt de son voisin. Une fois passée la grosse porte de sécurité en béton rouge, traversée la salle et monté un étage ; il est là. Au sol, les sphères en aluminium, les longues diodes, les caisses en bois desquelles dépassent des condensateurs, prennent la poussière. On croit reconnaître des porcelaines, un bout de pupitre ou de tube accélérateur. Debout sur le bord d'un mur, à l'écart, un étrange triangle aux angles marqués semble ne correspondre à aucune autre pièce. Difficile d'identifier les parties restantes de l'accélérateur. Démonté depuis la fin des années 1990 après avoir été supplanté par des accélérateurs plus performants et après deux projets muséographiques avortés, un nouveau projet de valorisation du générateur Cockcroft-Walton émerge. Depuis 2013, un groupe de personnes de l'Université Lyon 1 s'intéresse de plus en plus à l'avenir de cet instrument, à son remontage et à sa valorisation. Sous la tutelle du groupe de travail *Patrimoine scientifique et diffusion de la culture scientifique, technique et industrielle* (PSDCSTI) de l'Université Lyon 1, le rassemblement du département des collections de physique a mis l'accélérateur au cœur de ses préoccupations. Ce projet est unique en France puisqu'il intègre ce générateur haute-tension de type CW au sein d'une véritable démarche patrimoniale. Le but est d'exposer l'objet sur le campus de la Doua de l'Université de Lyon pour qu'il devienne un marqueur emblématique du département de physique et de son histoire locale. Les acteurs du projet représentent des institutions différentes : l'Institut de physique nucléaire de Lyon, le pôle patrimoine de la physique de l'Université Lyon 1, le laboratoire Sciences et sociétés, historicité, éducation et pratiques (S2HEP), le service commun de la documentation de l'Université Claude Bernard Lyon 1, le département de physique de l'Université Lyon 1 et la société Haefely à travers les étroites relations entretenues avec le représentant francophone de la société suisse.

Pour arriver à ses objectifs l'équipe met en place différents projets : la réalisation d'outils facilitant le remontage de l'objet, permettant de valoriser l'objet de manière

novatrice, la création d'outils de partage et de vulgarisation. L'ensemble des actions menées par les acteurs du projet donnent lieu à des publications, des présentations ou des événements de vulgarisation, participent à la reconnaissance du projet et donc à la patrimonialisation de l'objet, comme nous le verrons dans les chapitres suivants. Une partie de ces actions sont présentées dans l'annexe 2.

Le premier projet d'envergure est celui de la réalisation de l'étude préalable au projet de restauration dont le but est d'analyser du point de vue du statut initial de l'objet et de son nouveau destin, les conséquences d'un remontage, d'une restauration sur les propriétés de l'objet. Le second objet, qui est valorisé au sein d'une exposition temporaire à la bibliothèque universitaire de la Doua, est la réalisation d'une maquette 3D du générateur de hautes tensions, et son application permettant de le visualiser en réalité virtuelle. Ces deux principaux projets sont présentés brièvement ci-dessous.

3.5.1 Étude préalable au projet de restauration

Nous avons rencontré Rémy Geindreau, étudiant Master II conservation-restauration de l'École supérieure d'art d'Avignon, lorsqu'il recherchait un objet d'étude dans le cadre de son étude autour de la conservation-restauration du patrimoine technique, scientifique contemporain. Son travail autour de l'accélérateur de particules Cockcroft-Walton durant l'année scolaire 2013/2014 permet aujourd'hui à l'Institut de physique nucléaire de Lyon de voir plus clair sur les conditions de conservation d'un tel objet.

Dès le début, la mise en commun des différentes recherches déjà menées sur l'objet, lui a permis d'établir un portrait de l'objet dans sa condition actuelle :

« Nombre de processus sous-jacents à la préservation de l'objet seront également explicités puisqu'ils sont de nature à contraindre et orienter les choix du conservateur-restaurateur. En effet, sortir une machine d'un laboratoire en pièces détachées, faire de sa particularité technique et historique et de la crainte de sa disparition la raison de sa conservation, rompre le réseau socio-technique dont elle était solidaire, etc., sont des actions qui ont des incidences sur l'exercice de la conservation-restauration. De plus, insérer le générateur dans le réseau patrimonial, le documenter, le remonter, accorder une équipe pluridisciplinaire, traiter les matériaux récents constitutifs peu abordés en conservation-restauration (alliage d'aluminium, matériaux polymères, etc.), l'exposer inerte ou non, en faire l'égal d'un monument, prendre le risque de le rendre indiscernable d'un décor de science-fiction, tenter de maintenir en dépit de ses métamorphoses l'authenticité supposée de l'objet, etc. ; toutes ces actions, nous le verrons, soulèvent des difficultés en théorie comme en pratique. » (Geindreau, 2014)

L'étude de cas du générateur Cockcroft-Walton lui a permis de soulever un certain nombre de difficultés propre à sa pratique de restaurateur :

- dimension et poids de l'objet
- matériaux composites
- documentation lacunaire et historique à reconstituer
- multiplicité des contextes d'usage de l'objet et des évolutions de celui-ci
- problème d'accès
- lieu de conservation et lieu d'exposition
- problème de l'huile présente dans les condensateurs

À l'issue de son travail, en plus de toute sa réflexion théorique sur la restauration des objets techniques, nous possédons maintenant un certain nombre de documents qui seront utiles dans la suite de l'entreprise de valorisation et de sauvegarde du générateur haute-tension de l'Institut de physique nucléaire de Lyon :

- Une fiche signalétique de l'objet
- Une évaluation des dimensions de l'objet (hauteur, poids, surface au sol, distance entre les éléments) (voir annexe 3)
- Un répertoire des 82 pièces conservées dans le lieu de stockage (voir annexe 3)
- Un descriptif détaillé des pièces
- Une identification des matériaux dont est composé l'appareil et les techniques de fabrication (métaux, alliage, résine, Haefelyte⁶¹, papiers, huiles, adhésifs, etc.)
- Un constat d'état détaillé présentant les altérations des parties restantes de l'objet (traces brunes laissées par les arcs électriques, traces de produits de nettoyage, l'imprégnation d'huile des condensateurs, la patine des éclateurs en alliage

⁶¹ Dans les articles de recherche historiques de l'accélérateur, les techniciens parlent de "cylindre en papier bakélysé". La Haefelyte est un type de papier bakélysé breveté par le fabricant Emil Haefely pour la construction de l'instrumentation en physique nucléaire. D'après la brochure du fabricant, l'Haefelyte est composée de couches superposées de papier et de bakélite fortement comprimées à chaud.

cuivreux, les points de corrosion de la structure en fer, obsolescence et fragmentation de l'objet technique)

« En 1997, l'impossibilité (financière et technique) de modifier le générateur le condamne à l'obsolescence (dépréciation avant son usure matérielle véritable). Cet arrêt fonctionnel est bien, selon un constat d'état soucieux du caractère utilitaire de l'objet, l'altération principale à considérer. »
(Geindreau, 2016)

- Une étude préalable au remontage (mesures curatives et préventives, conditions de stockage et numérotation, etc.)
- Un protocole de remontage (Annexe 3)
- Une étude de faisabilité en fonction des différentes options de remontage dont nous disposons

Ce travail est le fruit d'une collaboration et d'un partage régulier de données entre l'élève restaurateur et l'équipe formée au sein de l'Université. Plusieurs actions ont été menées de concert : des interviews de chercheurs, des fouilles dans les archives de l'Institut de physique nucléaire de Lyon, des visites aux archives municipales, des entretiens avec les techniciens de l'IPNL encore actifs ou retraités, lu les thèses de l'époque, consulté des archives militaires, des articles de recherches, etc. Grâce à cela M. Geindreau a pu reconstruire une frise chronologique de l'évolution de l'accélérateur de particules Cockcroft-Walton (voir Annexe 3) et une cartographie mettant en scène les acteurs du projet de valorisation dans lequel l'objet est engagé (voir Figure 27 : Cartographie interdisciplinaire du point de vue du conservateur-restaurateur. Source : (Geindreau, 2014)

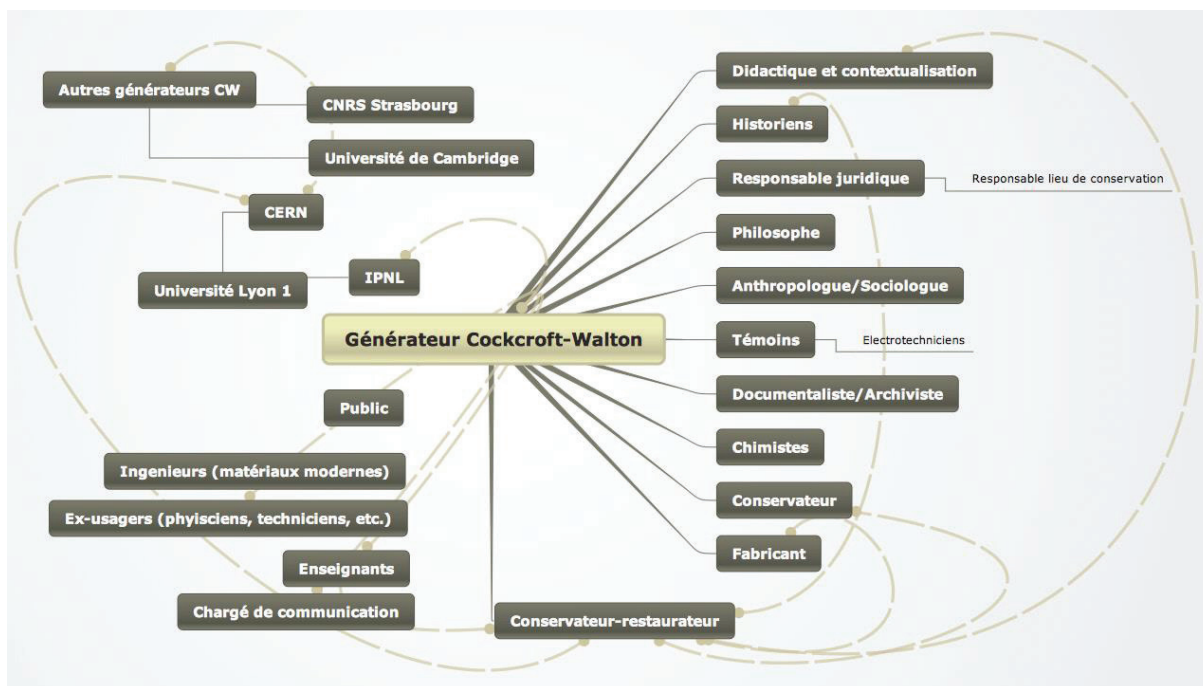


Figure 27 : Cartographie interdisciplinaire du point de vue du conservateur-restaurateur.
Source : (Geindreau, 2014)

3.5.2 La modélisation 3D

Malgré l'ensemble de nos recherches, nous n'avons pas trouvé beaucoup de documentation technique à propos de l'objet. En particulier, il n'existe pas de plan détaillé, ce qui est un obstacle considérable au remontage de l'objet. À partir de l'ensemble de la documentation que nous avons rassemblé et des cotes relevées sur les pièces détachées, M. Geindreau et M. Panczer⁶² ont engagé la mise en plan de l'appareil.

« Le choix d'un modèleur volumique 3D – en l'occurrence le modèleur Solidworks - s'est vite imposé, d'une part parce que ce logiciel utilisé en ingénierie permettait la duplication des pièces, la mise en plan, la cotation, les assemblages de pièces, l'ajout de texture, etc. [...] » (Geindreau, 2014)

Réalisée en 2015, cette modélisation permet de retracer pas à pas les étapes du remontage de l'objet et de visualiser à l'échelle l'envergure de l'objet dans les différents lieux envisagés.

⁶² M. Panczer est le représentant des collections de physique et de cristallographie de l'Université Lyon 1, enseignant-chercheur au sein du laboratoire de l'Institut Lumière Matière (ILM) de Lyon.



Figure 28 : Captures d'écran de la modélisation 3D du générateur Cockcroft-Walton (a) en situation sur le campus de la Doua (b). Droits et Source : Gérard Panczer, Rémy Geindreau, 2016.

Comme ce chapitre vient de le montrer, l'accélérateur de particules CW de l'IPNL est un témoin marquant de la naissance de la physique des particules à Lyon. Il témoigne de l'histoire d'une société, Haefely, qui aujourd'hui encore équipe les plus grands laboratoires du monde, et de la volonté d'un homme à développer la physique des particules en province, et d'en faire un territoire d'excellence. La trajectoire de l'objet s'entrecroise avec plusieurs bâtiments, plusieurs hommes, plusieurs « histoires » comme autant de facettes d'une seule et même vie. Il fut l'objet convoité et attendu avec impatience, objet de conflit entre Thibaud et les militaires, objet de formation pour les premiers physiciens nucléaires. Puis un objet dépassé qu'il a fallu faire évoluer et perfectionner jusqu'à ce qu'il manifeste ses limites. Démonté aujourd'hui depuis presque 20 ans, il reste stocké dans un autre bâtiment attendant que les projets qu'on lui souhaite voient enfin le jour. Mais la démarche entreprise par les membres du groupe patrimoine, bien qu'originale et unique sous certains aspects, n'est certainement pas isolée. Parmi tous les accélérateurs CW développés entre 1932 et les années 1990, combien en reste-t-il ? Ont-ils fait l'objet de démarches de sauvegarde ? Une fois devenu inutile, qu'en ont fait les autres laboratoires ?

C'est à ces questions que va tenter de répondre le chapitre suivant.

Chapitre 4 : Les accélérateurs Cockcroft-Walton à travers le monde

À travers ces premières chapitres, nous avons vu différents moments clefs de la vie de ce type accélérateur de particules :

- Sa naissance sur le territoire anglais,
- La diffusion des connaissances en physique nucléaire,
- Et plus localement, son implantation sur le territoire Lyonnais.

Compte tenu de notre problématique, nous nous sommes rapidement demandé quels autres appareils du même type ont été conservés. En France d'abord, puis en Europe, puis dans la limite de notre capacité de recherche, dans le monde.

4.1 Une méthodologie d'enquête alternative

Dès le début de notre travail, nous nous sommes intéressés à l'existence d'autres accélérateurs de type, en France, puis dans le monde. Mais très vite, nous avons été confrontés à un certain nombre de difficultés à la fois d'ordre méthodologique et sémantique, mais aussi en terme d'accessibilité aux informations. Comment effectuer cette « recherche » ? Comme nous l'aborderons plus précisément dans la seconde partie, les accélérateurs de particules, comme la grande majorité des objets scientifiques contemporains, ne font pas partie du « patrimoine » identifié et répertorié en tant que tel. Les recherches classiques sur les bases de données du patrimoine se sont révélées infructueuses. Les laboratoires de recherche ne font pas état, sur leur site Internet, de tous leurs équipements. Les chances de trouver un instrument « vieux » qui n'est plus utilisé sont encore plus faibles. En raison de son gros gabarit, il était possible de rencontrer des objets exposés en extérieur, mais dans ces cas-là ; c'est un peu comme une sculpture de rond-point que l'on ne mentionne nulle part. Les musées n'adoptant pas tous la même politique de communication, certains ne dévoilent pas le contenu des expositions, et donc les objets faisant partie des collections. Nous avons donc développé une méthodologie de recherche dite « du flou » en ce sens qu'elle se doit de ne pas cibler de

manière précise l'objet de la recherche⁶³. Nous avons en quelque sorte intégré une « mesure d'incertitude », plus ou moins grande autour de notre « valeur » de recherche : l'accélérateur de particules Cockcroft-Walton.

4.1.1 La recherche par l'image

Au moment où nous commençons cette prospection documentaire, nous avons déjà effectué la majorité de l'enquête socio-historique sur l'accélérateur de particules CW. La connaissance de l'objet oriente déjà certainement notre méthodologie. Par exemple, nous connaissons les autres noms de cet appareil (Greinacher, Cascade, Multiplicateur, etc.), les événements marquants de l'histoire à laquelle il est associé (l'année 1932, la seconde guerre mondiale, le laboratoire Cavendish, etc.), mais aussi la qualité de son esthétique. En commençant cette recherche, nous nous doutons donc qu'il a pu être photographié ou dessiné, sans pour autant posséder un référencement en plein texte. Donc chaque fois que nous effectuons une recherche, nous explorons les résultats « textes » et les résultats « images ». Même si la pertinence des résultats proposés par le moteur de recherche semble très approximative, nous avons relevé l'importance d'observer l'ensemble des images proposées. Certaines trouvailles ont été faites alors que nous semblions bien loin du sujet recherché.

4.1.2 La recherche par le nom exact

La première recherche que nous avons faite (texte et image) est celle qui intègre le nom correct de l'objet : « accélérateur particules Cockcroft-Walton ». Nous avons d'ores et déjà pu agrémenter notre liste avec les occurrences françaises : encyclopédies en ligne, dictionnaires, puis quelques cours de physique essentiellement.⁶⁴ La recherche par image, nous relie aux images servant d'illustration aux articles en français et donne accès aux objets les plus connus : l'accélérateur de Cockcroft et Walton exposé au Science museum (Figure 37). Nous accédons aussi aux pages personnelles, parfois très bien documentées, même s'il est difficile de savoir qui en est à l'origine et quelles sont les sources utilisées. Nous avons également retrouvé quelques publications scientifiques, articles de recherches, permettant ainsi de remonter au nom d'un laboratoire et éventuellement à son inventaire. Nous avons

⁶³ Comme pour la majorité des recherches documentaires aujourd'hui, Internet est le support principal d'exploration. Dans cette partie, quand nous utilisons le terme « chercher » ou « rechercher », il signifie la majorité du temps l'acte de faire une recherche sur un moteur de recherche.

⁶⁴ Cette recherche a été faite au début de notre travail de thèse, entre 2012 et 2013. À cette époque le musée des Confluences n'a pas encore ouvert au public, l'élève restaurateur n'a pas travaillé à l'IPNL et aucune communication n'a été faite sur notre recherche. Effectuer une telle recherche aujourd'hui change considérablement les résultats.

ainsi exploré plusieurs terrains d'utilisations de ces appareils : laboratoire de physique, de médecine ou une structure militaire. Très vite, nous nous sommes aperçus que l'objet n'était pas toujours nommé et orthographié de la même manière.

4.1.3 La recherche par le nom mal orthographié

Cet objet a aussi la particularité d'avoir un nom un peu compliqué à écrire. Et nous nous sommes aperçus que bien souvent, le nom du physicien anglais John Cockcroft était mal orthographié. En faisant une recherche volontairement erronée (en oubliant un ou plusieurs « c » sur les trois), les résultats sont différents et complètent la précédente recherche. Cette erreur est beaucoup plus récurrente que ce que nous pensions au début de notre travail.

4.1.4 La recherche par vocabulaire élargi

Comme l'étude ci-dessus le montre, il y a une différence entre ce qu'on nomme un accélérateur de particules de type Cockcroft-Walton et un générateur de hautes tensions de type Cockcroft-Walton. Mais cette distinction n'est pas toujours très claire. Par exemple, un accélérateur peut porter la légende « générateur » si la photographie ne montre que la partie génératrice de haute tension. Le système de haute tension porte aussi le nom de multiplicateur, de multiplicateur, redresseur, de cascade ; et est quelques fois associé au nom de son inventeur : Greinacher (1880 - 1974)⁶⁵.

4.1.5 La recherche dans d'autres langues

En raison de l'origine de l'objet et la nécessité de remonter à certaines sources originales, nous avons dû faire des recherches en utilisant la langue anglaise (particle accelerator). Dans un premier temps sur un moteur de recherche français, puis sur un moteur de recherche américain. En multipliant également cette recherche avec les erreurs orthographiques, nous avons de nouveau obtenu une pléthore de nouveaux appareils à exploiter. Nous avons également fait des recherches en langue espagnole (acelerador de partículas) et italienne (acceleratore di particelle). C'est à ce moment que nous avons senti la nécessité de distinguer les appareils ayant existé, les appareils encore existants, ceux faisant l'objet d'une valorisation muséographique ou ceux qui sont seulement remontés. En effet,

⁶⁵ Nous rappelons ici que Greinacher est l'inventeur du système de multiplication de la tension des années avant le travail de Cockcroft et Walton. J. Cockcroft et E. Walton sont à l'origine d'un accélérateur de particules utilisant un générateur en cascade. Ce n'est que par extension que nous parlons d'un générateur de tension de type Cockcroft-Walton.

nous avons pu identifier certains objets à travers des sources historiques, et d'autres, plus contemporaines. Ils peuvent être différents, comme ils peuvent être le même objet avec en quelque sorte deux histoires : une ancienne, une contemporaine. Parmi ceux dont il reste des traces physiques, certains sont encore en fonctionnement, un petit nombre a trouvé une place dans des musées et d'autres sont arrêtés, mais conservés sur leur lieu d'utilisation sous différentes formes : démontés, montés en accès restreint ou montés sur un espace public. Suivant les cas, les accès aux informations sont bien différents. Avec des légendes de photos nous avons été amenés à faire recherches en polonais (Akcelerator kaskadowy Cockcrofta-Waltona), en Hongrois (kaszádgyorsító), en allemand, en russe, etc. Mais le travail de traduction devient trop important pour entrer dans les détails de chacun des instruments. Dans ces cas-là, nous relevons les sources, les informations chiffrées, et les intégrons dans un dossier documentaire qui nous permettra plus tard de revenir sur les traductions.

4.1.6 La recherche par bonds successifs

La recherche d'informations avec l'outil informatique permet d'adopter une méthodologie à la fois organisée et totalement aléatoire. Nous avons dû, lors de ce travail, nous plier aux contraintes précisément liées à notre objet :

- C'est un objet peu connu du grand public et qui était utilisé dans des laboratoires de recherche ; nous avons donc cherché des traces sur les sites des laboratoires de physique atomique, en exploitant l'historique de la structure, le matériel utilisé, et la recherche d'occurrences dans les articles de recherche.
- C'est un objet grand et dont l'esthétique ne laisse personne indifférent, qu'on l'apprécie ou non. Nous avons donc la chance de pouvoir supposer que cet appareil est souvent (et de plus en plus) photographié, lors des voyages touristiques, lors des journées portes ouvertes de laboratoires, ou par des étudiants sur leur propre campus. Ainsi, grâce à des réseaux de partage (blogue, applications de partage de photos, réseaux sociaux, etc.) nous avons pu retrouver quelques appareils.
- Il a servi pour la recherche ; nous avons donc pu le retrouver parfois grâce aux occurrences de son nom dans des articles de recherche, ou dans des cours (actuels) mis en ligne par les universités.
- Il a un lien avec les instruments développés pendant la Seconde Guerre mondiale, au sein du projet Manhattan. Des sources historiques et des archives utilisées par certains

historiens ou par des rétrospectives biographiques, ont donc été aussi des ressources permettant de remonter aux noms des laboratoires.

Et de fil en aiguille, de photographie en article et en commentaires, nous avons pu retrouver un bon nombre d'accélérateurs Cockcroft-Walton à travers le monde.

4.1.7 La recherche actualisée

Quand nous en avons eu l'occasion, nous avons reproduit un certain nombre de ces recherches, mais en variant quelques paramètres. Par exemple, en changeant d'ordinateur (ce dernier n'ayant donc pas enregistré de préférences) ou avec quelques mois ou années d'écart pour voir l'évolution des résultats. Nous nous sommes également aperçus que des ressources que nous avons trouvées il y a deux ou trois ans sont aujourd'hui inaccessibles.

4.2 Présentation des résultats

Face à une méthode de recherche aussi hétérogène, il était évident que nous obtiendrions des résultats tout aussi aléatoires. Nous nous sommes donc longtemps demandé quelle serait la manière la plus pertinente de présenter ces résultats. Pour certains accélérateurs, nous avons pu constituer un dossier documentaire complet regroupant à la fois leur valorisation actuelle et les traces historiques liées à leur utilisation ; tandis que d'autres n'ont qu'une photographie et une maigre légende. Comment distinguer ceux que nous avons retrouvés avec certitude, ceux dont nous avons une trace écrite ou photographique, de ceux qui ont probablement existé ?

Le tableau (donné en annexe 4) regroupe l'ensemble des accélérateurs Cockcroft-Walton dont nous avons trouvé une trace aujourd'hui. Soit une trace de leur existence dans le passé, soit une trace de leur persistance actuelle dans un laboratoire, une université ou un musée. Ce tableau rassemble les accélérateurs de particules CW par région du monde, et donne sa localisation (pays, ville, laboratoire), des informations sur la source qui nous a permis de trouver la trace de cet appareil, les dates marquantes de son fonctionnement (première utilisation, achat, mise hors service, destruction, etc.), sa puissance, son fabricant, et une information sur son accessibilité aujourd'hui (conservé dans des réserves, remonté à l'extérieur, détruit, etc.). Toutes les informations ne sont pas présentes pour tous les accélérateurs. Pour certains, ce tableau représente l'ensemble des données que nous avons recueillies, pour d'autres ce n'est qu'un très bref aperçu de tout ce que nous pouvons encore

trouver dessus aujourd'hui. Nous avons établi un ordre en fonction des localisations des appareils. Le tableau commence par présenter les accélérateurs de particules en France, puis de manière générale en Europe (Royaume-Uni, Suisse, Espagne, Italie, Portugal, Allemagne, Belgique, Hongrie⁶⁶, Pays-Bas, Suède). Nous présentons ensuite ceux que nous avons trouvés sur le continent nord-américain (Canada, Etats-Unis), puis dans le reste du monde (Afrique du sud, Argentine, Australie, Chili, Chine, Japon, Corée, Mexique, Taiwan, Pakistan, Turquie, Inde, Yougoslavie, Nouvelle Zélande, Pologne).

4.3 Discussion des résultats

Au total nous avons retrouvé la trace de 126 accélérateurs de particules de type Cockcroft-Walton à travers le monde (dont 7 en France⁶⁷). Plusieurs points nous semblent intéressants :

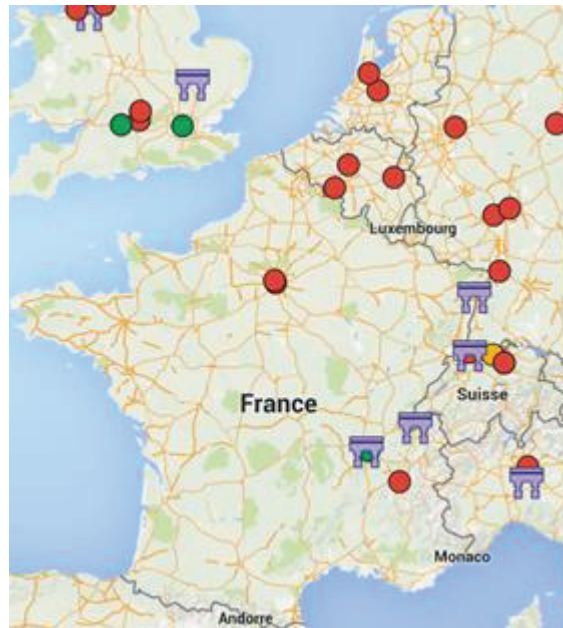
- Où se situent ces accélérateurs dans le monde ?
- Combien de ces accélérateurs ont persisté dans le temps et existent encore aujourd'hui ?
- Parmi ces accélérateurs « actuels », combien sont visibles ? Comment le sont-ils ?

Pour discuter de ces résultats, nous proposons de les représenter sous forme de cartes géographiques sur lesquelles nous pouvons localiser ces accélérateurs. La légende utilisée est à chaque fois la même : les accélérateurs CW dont nous avons seulement une trace historique (cité dans un article de recherche, identifié sur une photographie d'époque, cité dans un rapport, etc.) sont représentés par un rond rouge ; les accélérateurs CW qui sont encore probablement en fonctionnement sont identifiables par un rond jaune ; les accélérateurs qui sont conservés démontés dans des réserves de musée ou dans les locaux d'un laboratoire sont marqués par un rond vert ; et enfin les accélérateurs remontés dans un musée, un laboratoire ou sur un espace public, sont repérables par le petit logo bleu qui est assimilable à la forme générale de la haute tension.

⁶⁶ Nous avons retrouvé la trace d'un de ces appareil (Debrecen) très tardivement dans nos recherches (à moins d'un mois du dépôt). Il figure donc dans ce tableau, mais n'a pas été intégré dans les cartes de répartitions mondiales. C'est également le cas pour un accélérateur en Pologne. Ils sont repérés en gris dans le tableau pour cette raison.

⁶⁷ Le tableau général de l'annexe en donne 8 en France, mais nous avons très peu d'information concernant un deuxième générateur de hautes tensions Cockcroft-Walton chez les Joliot-Curie à Ivry. Nous ne comptabilisons en réalité que celui dont la trace est certaine, celui photographié par Robert Doisneau dans le laboratoire.

4.3.1 Les accélérateurs Cockcroft-Walton en France



	Accélérateur CW remonté partiellement dans un musée, un laboratoire ou un lieu public
	Accélérateur CW encore en fonctionnement (probablement)
	Accélérateur CW conservé démonté
	Trace historique d'un accélérateur CW ayant existé

Figure 29 : Représentation cartographique de la répartition des accélérateurs de particules de type Cockcroft-Walton retrouvés lors de nos recherches, en France et dans les pays limitrophes. (Google maps)

En France (Figure 29), bien sûr il y a ceux que nous avons déjà mentionnés et qui sont au cœur de notre étude : celui du musée des confluences qui appartient à la Cité des sciences et qui est hérité d'un fort militaire parisien, et celui de l'Institut de physique nucléaire de Lyon. Ce sont essentiellement des sources écrites qui nous permettent de savoir qu'il existait d'autres accélérateurs sur le territoire français (Figure 29) :

- Au laboratoire de synthèse atomique d'Ivry, chez les Joliot-Curie (probablement deux)
- Dans le laboratoire de physique de l'école normale supérieure de Paris,
- À Strasbourg sur le campus de sciences

- Chez Max Morand⁶⁸ (1900 - 1990) à Lyon
- Dans un laboratoire de physique grenoblois.

Parmi ces sept accélérateurs, trois existent encore : les deux qui sont au centre de notre étude (celui exposé au musée des Confluences et celui de l'IPNL) et une partie de celui qui était utilisé à Strasbourg.

4.3.1.1 Strasbourg

L'université allemande de Strasbourg était une Reichsuniversität, un établissement installé par les nazis sur un territoire occupé depuis 1939, de novembre 1941 à novembre 1944 (Casel, 1993). Durant la Seconde Guerre mondiale, les autorités allemandes avaient installé dans l'enceinte des Hospices Civils de Strasbourg, un accélérateur de type Cockcroft-Walton, de 1,5 MeV, dans un bâtiment indépendant. L'accélérateur est commandé en 1942, mais sera livré et rendu opérationnel qu'en 1944 par l'ingénieur Kuntke sous la direction du physicien Rudolf Fleischmann (1903 – 2002) (Guthleben, 2009).

« Le générateur de Strasbourg a été installé par une équipe allemande dirigée par le principal collaborateur de Bouwers, l'allemand Kuntke, qui est l'ingénieur en chef de la filiale allemande de Philips (Hambourg) » (Casel, 1993)

Les affres de la guerre laissent l'appareil dans un bâtiment bombardé et Fleischmann est arrêté par les Américains. Au lendemain de la guerre, les Hospices civils reprennent possession des lieux et projettent de créer, avec la faculté de médecine, un laboratoire de recherches nucléaires.

« Précisément, c'est la présence de cet instrument qui motive la création de l'IRN [Institut de Recherches Nucléaires]. Frédéric Joliot-Curie lui-même ne dispose à cette date [1944] que d'un accélérateur plus faible. » (Guthleben, 2009)

Frédéric Joliot-Curie fera une tentative pour obtenir la direction du laboratoire, et donc de l'appareil, dès 1945, mais celle-ci échouera. La faculté de médecine confiera la chaire de biologie médicale, et donc la charge de l'accélérateur, à Marc Klein, docteur en médecine rescapé du camp d'Auschwitz (Des Cilleuls, 1975). Après 1946, la commission chargée

⁶⁸ Max Henri Morand, professeur de physique à l'Université de Liège, arrive à Lyon en mai 1940. Il y restera pendant la fin de l'occupation avant de prendre des postes à responsabilités sur Paris. Pendant les quelques années où il est à Lyon (1940-1945), il installe un laboratoire dans lequel il accueille des physiciens qui tentent d'échapper à la pression politique. Il occupera par la suite la Chaire de physique de la Faculté des sciences de Paris (1957-1968).

« d'assurer la conservation du matériel laissé par les Allemands et d'assurer sa bonne utilisation » s'y intéresse et travaille à la création d'un Institut Universitaire de Recherches Nucléaires. Il est créé en 1947 et donne lieu à la rénovation de l'accélérateur et de son bâtiment. L'ingénieur Kuntke est rappelé pour faire la nouvelle mise en route en 1948 (Busser, 2006) sous la direction de Serge Gorodetzky (« Histoire et patrimoine de la physique à Strasbourg », 2005). L'accélérateur Cockcroft-Walton de Strasbourg fonctionnera de nouveau à partir de 1948 et sera, entre autres utilisé à partir de 1951 par Marguerite Perey, titulaire de la chaire de chimie nucléaire à l'Université de Strasbourg (Casel, 1993). En 1959, le Centre de Recherche Nucléaire bénéficie de nouveaux moyens, et investit dans des accélérateurs plus puissants. Nous ne savons pas à quelle période l'accélérateur Cockcroft-Walton a été mis au rebut, mais ce doit être entre 1959 et les années 1970 (année de construction d'un autre puissant accélérateur). Grâce à l'AMUSS (Association de Culture et Muséographie Scientifiques de Strasbourg), cet accélérateur a été remonté au cours des mois de septembre et octobre de l'année 1999 (voir Figure 30), sous la direction d'un ingénieur du laboratoire et avec l'aide des techniciens retraités.



Figure 30 : L'accélérateur Cockcroft-Walton de l'Université remonté partiellement sur le campus de Strasbourg en 1999.

Pour effectuer ce remontage, les responsables possédaient des photographies d'archives, des plans de montage, et des savoir-faire d'un technicien qui avait utilisé l'appareil lors de sa

période de fonctionnement (Geindreau, 2014). La partie remontée concerne la partie supérieure de l'accélérateur de particules (générateur de tension et partie accélératrice). Lors d'une visite sur place en 2014, l'expertise de l'élève restaurateur M. Geindreau, révèle que les éléments ont apparemment été peints et que des altérations sont déjà visibles au niveau des peintures de revêtement et des éléments en bakélite.

4.3.1.2 L'appareil des Joliot-Curie à Paris

« Dès cette époque [1932], Joliot est persuadé que, pour rester dans la course, les physiciens nucléaires doivent disposer de tels accélérateurs [à propos du premier cyclotron à Berkeley et de l'accélérateur électrostatique de Cockcroft et Walton]. Ceux-ci sont toutefois alors hors de portée des budgets de la recherche. » (Fernandez, 2011)

Même si cet objet ne fait pas l'objet d'une valorisation, il reste de notre point de vue, à la fois emblématique de la physique nucléaire en France, mais aussi de la perte patrimoniale occasionnée par la lente prise de conscience de l'importance de ces objets. En effet, de l'accélérateur Cockcroft-Walton utilisé au laboratoire de synthèse atomique d'Ivry sur seine, il ne reste apparemment rien. Lors de l'exposition intitulée Doisneau chez les Joliot-Curie (voir Figure 31), présentée au public en 2005 au musée des Arts et Métiers de Paris, un cliché atteste bien de l'existence de cet accélérateur que Joliot a récupéré en Allemagne après la Seconde Guerre mondiale. Sur la photographie, c'est le technicien M. Kerzreho, technicien au laboratoire de synthèse atomique.

« Il [Frédéric Joliot-Curie] veut travailler sur un accélérateur, mais Claude Magnan, le sous-directeur d'Ivry, rencontre des difficultés avec son générateur en cascade, un accélérateur semblable à celui de Strasbourg, mais moins puissant (0,9MeV) (ce générateur provient d'Allemagne et a été donné au Laboratoire de synthèse atomique par la Marine nationale en 1945)⁶⁹. » (Casel, 1993)

« Le générateur d'impulsions qui y est encore installé, trop monumental, échappe au désossage des équipements restants mené par le marchand de biens. » (Cazenave & Girard, 2007)

Par chance il a été récupéré par le musée Electropolis de Mulhouse puis rapatrié en région parisienne en 2005, classé comme monument historique en 2007. Le générateur

⁶⁹ Nous mettons une petite vigilance sur cette information, car elle provient d'un article publié par une source secondaire. Ne mentionnant pas sa source primaire, nous n'avons pas eu accès au document original contenant cette information.

d'impulsion ou l'éclateur devraient faire l'objet d'un remontage sur les bords de Seine, comme témoin de l'activité scientifique de cette banlieue.

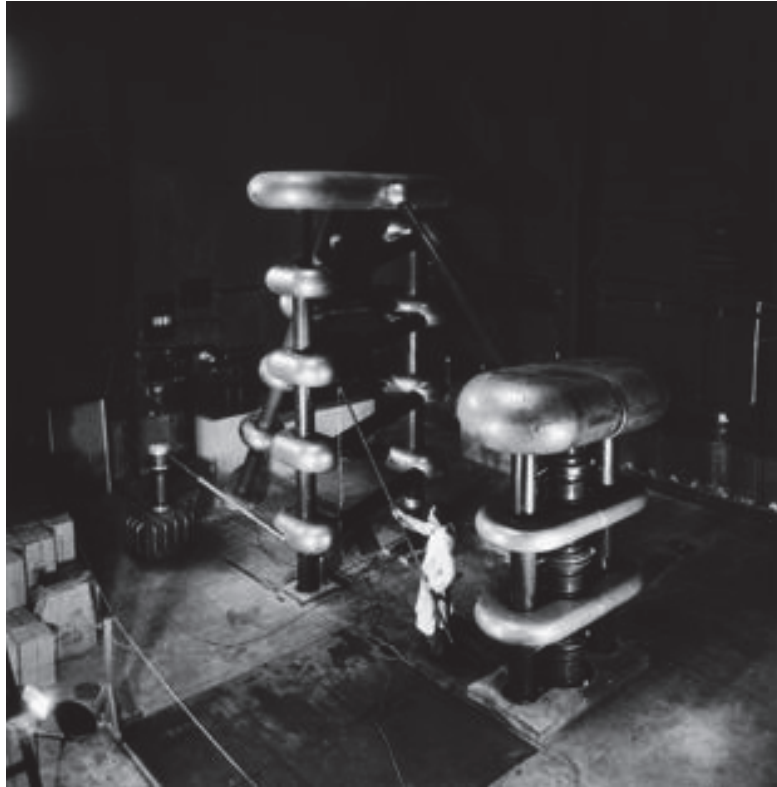


Figure 31 : Générateur de Cockcroft-Walton à Ivry au laboratoire de synthèse atomique, 1942. Droits photographiques : Robert Doisneau. Source : (Pinault & Doisneau, 2005)

4.3.2 Les accélérateurs Cockcroft-Walton aujourd'hui

La carte suivante (Figure 32) est la plus générale de toutes et permet de voir la répartition globale des accélérateurs Cockcroft-Walton repérés. Les points de densité se situent essentiellement de la frontière Est de la France au Royaume-Uni et sur la partie Est des États-Unis (une trentaine). Mais il est intéressant de noter qu'un pays comme le Japon en possédait également dix, l'Allemagne huit et qu'elle n'en a apparemment conservé aucun, la Suisse neuf à elle seule, et le Royaume-Uni quatorze. Nous n'en avons pas retrouvé en ex-URSS, mais l'importance de la recherche nucléaire à l'époque nous laisse penser qu'il devait forcément en avoir.

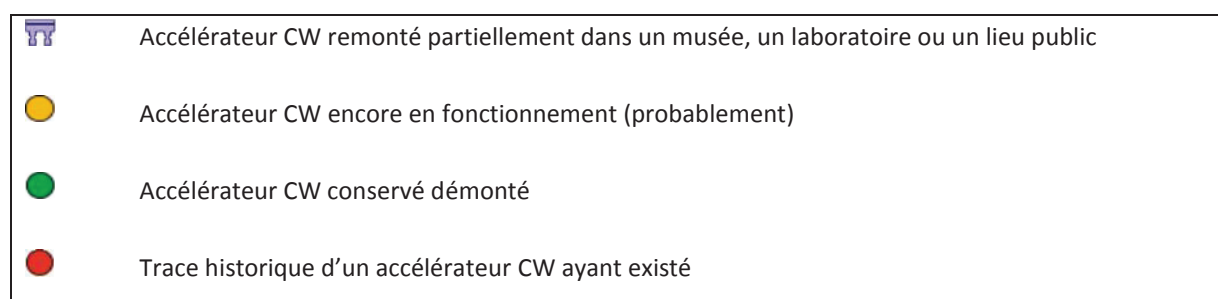


Figure 32 : Représentation cartographique de la répartition des accélérateurs de particules de type Cockcroft-Walton retrouvés lors de nos recherches, à travers le monde (réalisée avec l'application Google maps)

Pour avoir un peu plus de visibilité dans la région qui nous concerne, la carte qui suit (Figure 33) est centrée sur le continent européen. À l'aide de ces deux cartes, nous allons pouvoir voir combien d'accélérateurs Cockcroft-Walton ont persisté dans le temps et sous quelle forme.

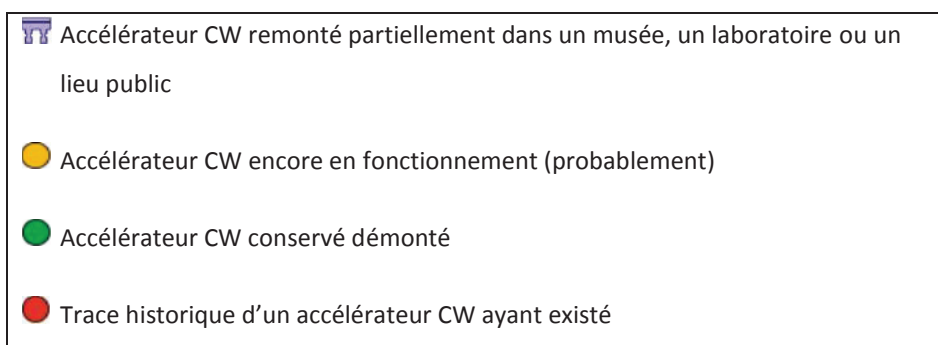
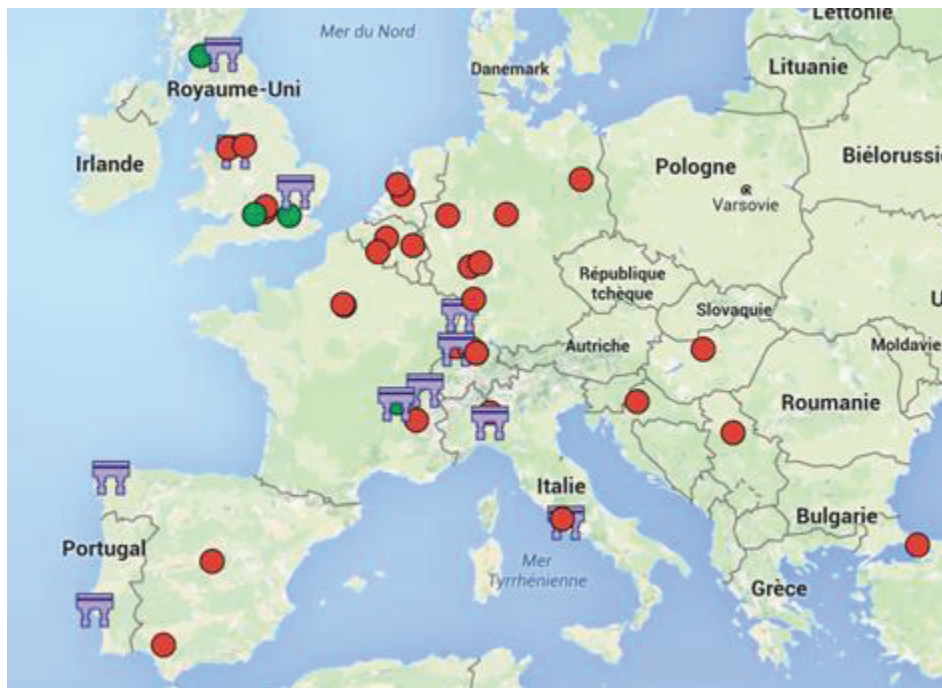


Figure 33 : Représentation cartographique de la répartition des accélérateurs de particules de type Cockcroft-Walton retrouvés lors de nos recherches, sur le continent européen. (Google maps)

4.3.2.1 Les accélérateurs du Royaume-Uni

Le Royaume-Uni est en quelque sorte la « terre mère » de ces instruments. Nous en avons identifié 6 avec certitude, mais d'autres sources indiquent qu'il y en avait probablement le double. Ce recensement ne prend pas en compte le morceau du tout premier prototype, conservé à l'Université de Cambridge, présent dans le tableau général. Parmi ces accélérateurs, 2 appartiennent à des instituts de recherche (Université de Cambridge et Cockcroft Institute) et 4 à des institutions muséales (Science Museum (2), Hunterian Museum, National Museum of Scotland). Les accélérateurs conservés dans les centres de recherche sont remontés dans des lieux de passage de ces institutions. Mais leur accessibilité reste dépendante de celle du laboratoire. Nous avons récolté très peu d'informations sur ces deux objets, car les échanges avec les laboratoires n'ont pas été très fructueux.

Cambridge (Materials Science and Metallurgy)

Celui de l'Université de Cambridge est dans le couloir du département de *Materials Science & Metallurgy*. C'est grâce à un article de magazine que nous l'avons découvert. C'est grâce à la volonté d'un chercheur de ce laboratoire que la partie supérieure de l'accélérateur s'est retrouvée dans un laboratoire qui n'est pas celui où il a été utilisé (Allen, 2004). La partie remontée comporte le générateur de hautes tensions, la source et la partie accélératrice supérieure. Cela équivaut à toute la partie supérieure de l'accélérateur (Figure 34). Étant conservé à l'intérieur, il n'a pas dû subir de traitements particuliers, à part un gros nettoyage.



SECRET CAMBRIDGE:
**MONUMENTAL
 MUSHROOMS**

Words **Becky Allen**
 Images **Charlie Troman**

It is as if a pair of monumental mushrooms have erupted through the floor. Comprising curvaceous, silver-grey aluminium caps supported by chocolate-brown ceramic stalks, it's an object that would be as much at home in Tate Modern as in the Department of Materials Science and Metallurgy (DMSM).

Look more closely at its sculptural form, however, and the object's function begins to be revealed. Hidden under the cap of the right-hand mushroom are a series of dials labelled with embossed tape. "Emission," reads one. "Filament," "deflectors," "lens" and "voltage" say the others.

I think it's architecturally magnificent as well as being very important scientifically. It's a bit like a Henry Moore

For all its beauty, this bit of secret Cambridge is not a work of art, but a scientific instrument, and a piece of the University's technological heritage. Built in the 1960s by the Swiss firm Haefely, it is a Cockcroft-Walton generator – a direct descendent of the device these two Cambridge physicists invented to split the atom 80 years ago.

"I think it's architecturally magnificent as well as being scientifically very important," says Professor Sir Colin Humphreys, director of research at DMSM. "The high-voltage electron microscope that it supplied electrons to was, at the time, absolutely world-leading."

A fan of its pleasing proportions and the craftsmanship of its construction, he finds the generator every bit as attractive as great sculpture. "You can walk round it and get different perspectives. It's a bit like a Henry Moore," he explains. "It's a beautiful piece of scientific sculpture."

Although Humphreys himself never used it, he remembers it being built in the mid-1960s when he was a research student at Cambridge. And it's thanks to him that this generator has survived. After it passed out of service in 1985 and the building housing it was taken over by Social and Political Sciences during the 1990s, Humphreys discovered the generator was destined for the scrapheap.

"I thought this was vandalism, and approached Estate Management to save it," he recalls. "They told me I could have it if I took it apart myself and removed it from the building at no cost to them!"

"I was head of the Materials Science department at the time, and got three technicians to dismantle it. They numbered all the parts and reassembled it in the reception area of the Austin Annexe. It was a dark and dingy place and the Cockcroft-Walton generator transformed it."

The first version of the generator was an icon of the atomic age. Designed and built by John Cockcroft and Ernest Walton in Cambridge's Cavendish Laboratory, the one-million-volt generator or particle accelerator enabled them in 1932 to split the atom in a controlled fashion for the first time. It was a landmark for which they were awarded the Nobel Prize for Physics in 1935.

Its legacy lives on. The clever combination of capacitors and rectifiers that allows the Cockcroft-Walton to generate such high voltages means they are still used as the first stage of many modern particle accelerators, from Fermilab to the Large Hadron Collider.

And tiny versions of the Cockcroft-Walton sit in most of our homes, according to Ernest's son Dr Alan Walton, also a physicist at Cambridge. "The circuit is at the heart of every television set ever made," he says. "We used to joke with Dad that if he'd taken out a patent on it, we'd have been as wealthy as the Gettys. Rolling in it!"

That his father was capable of constructing such a thing came as no surprise. "He was very gifted in those ways," Walton explains. "We always regarded him as capable of doing anything with his hands." His projects included making a liquidiser for his wife from an old vacuum-cleaner motor, an upturned saucepan, a set of rotating blades and a glass goblet. ("The glass goblet was the only part of it he bought," Walton adds.)

Like Humphreys, Walton loves the generator, and hopes it will be preserved when DMSM moves to its new building at West Cambridge. "In the world of theoretical physics it is often said that fundamental equations, for example $E=mc^2$, are beautiful," he says. "In the world of experimental physics, many of the great experiments have an elegance to them that is missing in lesser studies. The Cockcroft-Walton generator is a joy to the eyes."

16 CAM 66

Figure 34 : Article de magazine, identifié grâce à une recherche « type image », permettant l'identification d'un accélérateur Cockcroft-Walton sur l'Université de Cambridge. Droits photographiques : Charlie Troman. Source : (Allen, 2004)

Cambridge (Cavendish)

Le laboratoire Cavendish a créé son propre musée « the Cavendish Museum » dans ses locaux et conserve la documentation originale du laboratoire et de ses physiciens de renom, dont Cockcroft et Walton. Le site présentant une visite virtuelle de l'exposition (« The Museum at the Cavendish Laboratory », 2012) nous indique que le musée montre un des éléments de la toute première version de l'appareil de Cockcroft et Walton (1930) (voir Figure 35), la médaille du Prix Nobel de John Cockcroft, le cahier de manipulations, les lettres originales, et quelques articles de journaux de l'époque.



Figure 35 a : élément original de la première version de l'accélérateur de particules de Cockcroft et Walton au laboratoire Cavendish, b : couverture de presse du 29 mai 1932 « the Times of India ». Droits et sources : Cavendish Museum, Université de Cambridge.

Daresbury

Malgré l'apparente évidence entre le nom du second laboratoire (Cockcroft Institute) et le fait d'y trouver accélérateur, nous avons mis beaucoup de temps à en être certains. L'Institut Cockcroft est un centre international pour la science et la technologie des accélérateurs au Royaume-Uni ouvert officiellement depuis 2006. C'est en trouvant par hasard une photographie de la réunion annuelle d'un groupe de recherche, faite dans le hall de l'institut que l'accélérateur Cockcroft-Walton est apparu en arrière-plan (« ASTeC », 2013). La partie remontée ne semble comporter que le générateur de hautes tensions (voir Figure 36). C'est une présentation lors d'un congrès, faite par un chercheur de l'Institut, qui nous apprend qu'il travaillait sur l'expérience appelée ISIS qui utilisait un accélérateur de type Cockcroft-

Walton de 665 kV de 1984 à 2004 (Findley, 2011). La ressemblance entre les deux appareils nous amène à penser que c'est bien le même dont il est question.



Figure 36 : accélérateur Cockcroft-Walton lors de sa période d'utilisation (a) (1984-2004) et remonté partiellement dans l'entrée de l'Institut Cockcroft à Daresbury (b) en 2011.

Droits photographiques : ISIS RAL et Zhang Pei (photographie 2011). Sources : (Letchford et al., 2005) et (Zhang, 2011).

Parmi les accélérateurs conservés dans des musées, deux seulement sont remontés (en 2014) : celui du Science Museum et celui du National Museum of Scotland.

Londres

Le musée de la science de Londres possède deux accélérateurs de type Cockcroft-Walton (voir Figure 37).

- L'accélérateur le plus référencé sur Internet, exposé dans la galerie du monde moderne du musée. Avant de trôner dans le hall principal du musée, il a été utilisé dans le laboratoire Cavendish de l'Université de Cambridge, puis en Afrique du Sud, à l'Université de Witswatersrand (Université de Johannesburg, Afrique du Sud). La partie remontée ne comporte que le générateur de hautes tensions.
- Le second est celui qui a été fabriqué à l'Université de Cambridge, dans le laboratoire Cavendish par Cockcroft et Walton pour leur expérience décisive. Il est entreposé dans

les réserves du musée. Il a probablement été exposé au début des années 2000 dans une exposition temporaire.

Aujourd'hui, la grande galerie qui exposait le générateur de hautes tensions est en renouvellement et l'objet ne ferait pas partie de la nouvelle exposition. Ce dernier rejoindrait donc la liste des accélérateurs en réserve et celui d'Édimbourg resterait le seul accessible au public.



Figure 37, a: Photographie la plus référencée sur Internet lors de la recherche. Légende d'origine : *A Cockcroft-Walton generator built in 1937 by Philips of Eindhoven*. Figure b : *Model of Cockcroft and Walton's laboratory - spot the scientist in the shielded cabin to the right*. Droits photographiques : *National Science Museum, London, England*. Source : Wikimedia Commons et (Boyle, 2010).

Édimbourg

Le National Museum of Scotland (museum national d'Écosse) présente également une haute tension de ce type dans sa grande galerie à Édimbourg (voir Figure 38). Il n'a d'ailleurs pas été remonté en entier pour pouvoir tenir sous le plafond du bâtiment. Il était en usage à l'Edinburgh University dans un laboratoire de physique appliquée à partir des années 1950.



Figure 38 : Un visiteur qui regarde le générateur Cockcroft-Walton dans la grande galerie du national Museum of Scotland et la partie supérieure du générateur dans le monte-charge, lors de son remontage dans le musée. Droits photographiques : National Museum of Scotland. Sources : (Cox, 2011, 2013).

Glasgow

Au milieu des années 1950, l'Université de Glasgow a commandé un 300 MeV collisionneur de particules électronique de pointe. Cette importante machine de 140 tonnes est alors installée dans le sous-sol de l'immeuble de philosophie naturelle (aujourd'hui le département de physique) dans un espace construit à cet effet avec un plafond antiradiation coulissant. Le Hunterian Museum de Glasgow a hérité de cet appareil. Des échanges avec cette institution nous ont permis de savoir que le dossier d'œuvre avait été égaré et qu'ils ne possèdent que très peu d'informations concernant l'arrivée de cet objet dans les réserves, dans lesquelles il est stocké, démonté (Reeves, 2014). Une petite présentation en a cependant été faite sur la BBC par un assistant de conservation spécialisé dans les objets scientifiques (Macdonald, 2014).

4.3.2.2 La Suisse : entre utilisation et valorisation

Le CERN

Du fait de la proximité géographique de notre laboratoire avec les physiciens du CERN, nous savons qu'un accélérateur Cockcroft-Walton est remonté dans l'espace microcosme (musée d'objets du CERN) qui est accessible au public, mais pas de manière permanente. Ce générateur Philips a été remonté par les équipes (et avec les moyens) mis à disposition par le CERN pour ce projet, dans les années 1990. L'expertise apportée par M. Geindreau sur cet appareil nous indique qu'un revêtement a été appliqué sur les pare-effluves, et une peinture résistant aux intempéries sur les éléments de bakélite (voir Figure 39). Avec le temps, il n'y a pas de corrosion, mais un ternissement général des matériaux et un désajustement des pièces. L'appareil est donc « protégé » pour tenir à l'extérieur, mais ses matériaux d'origine ne sont plus visibles et les revêtements appliqués semblent « salir » l'objet (Geindreau, 2014).



Figure 39 : le générateur Cockcroft-Walton du CERN quelques vues sur des points de détails des défauts que présente l'objet aujourd'hui, 2014. Droits photographiques : Rémy Geindreau. Source : (Geindreau, 2014)

« Le jeudi pour nous c'était Villigen en Suisse, car il y avait l'institut Paul Scherrer [...] remarque : les Suisses ne font pas seulement le fromage » (auteur anonyme).

Voici comment a commencé notre rencontre avec cet instrument, encore en fonctionnement : par un blogue d'adolescent en visite scolaire, puis plus tard avec la page qui est destinée à l'accélérateur sur le site Internet de l'Institut Paul Scherrer.

« L'origine du faisceau de protons au PSI est un accélérateur linéaire au look rétro. Ce modèle charismatique est baptisé Cockcroft-Walton, du nom de l'inventeur du principe. Depuis 1984, il fournit la première étape d'accélération des protons, qui sont ensuite amenés dans l'accélérateur circulaire à une vitesse équivalant à 80% de la vitesse de la lumière. Depuis des décennies, c'est ici qu'est généré un faisceau de protons remarquable qui, grâce à des améliorations continues, détient même depuis 1994 le record du monde du faisceau le plus performant. » (Hennemann, 2014)

À travers l'expérience du physicien qui a la charge de l'accélérateur, nous découvrons des détails de fonctionnement, d'utilisation et de construction qui constitue une trace très riche du mode opératoire lié à l'objet (voir Figure 40).

« Il y a dans l'air un sifflement sonore, douloureusement aigu, mais dont Joachim Grillenberger ne paraît pas se formaliser. Ce sont les pompes turbomoléculaires pour le vide, explique-t-il, détendu [...]. Le Cockcroft-Walton est un accélérateur linéaire, vieux de 30 ans, et avec un peu d'imagination, on lui trouve, à lui aussi, quelque chose de dégingandé. Il se dresse derrière une paroi vitrée, dans sa propre halle, tout en hauteur, comme un mélange de tour d'observation et de décor de vieux film de science-fiction : avec ses condensateurs argentés en forme de donuts, reliés les uns aux autres par un zigzag de diodes orange en forme de barres. Ces diodes forment une voie à sens unique vers le haut pour l'accumulation de charge, explique Joachim Grillenberger. Chacune des barres orange est constituée à l'intérieur de quelque 200 diodes individuelles, soudées les unes aux autres. Cela génère une cascade de tension : une tension toujours plus élevée est enrichie de condensateur en condensateur, jusqu'à la coupole qui trône tout en haut, où la charge positive est extrême. Ou encore, comme dit Joachim Grillenberger : « La tension est peu à peu poussée vers le haut. » La construction est ancienne, solide, et le Cockcroft-Walton un modèle extrêmement fiable : Il a presque quelque chose de mécanique, relève Joachim Grillenberger d'un air pensif. La redondance issue de 200 diodes individuelles dans chaque barre fait que si l'une ou l'autre dans le conglomerat tombe en panne, cela ne perturbe pas la fonction de la barre. Au cours des dix dernières années, il n'a ainsi fallu en changer qu'à une seule reprise, et les constructeurs du Cockcroft-Walton avaient même anticipé ce cas de figure : quelques barres supplémentaires avaient déjà été réalisées à l'époque, et la plupart d'entre

elles attendent toujours d'être utilisées. Aujourd'hui, personne ne souderait de son plein gré 200 diodes juste pour avoir des réserves. » (Hennemann, 2014)



Figure 40 : Partie supérieure de l'accélérateur Cockcroft-Walton de l'Institut Paul Scherrer, 2013. Droits photographiques : Institut Paul Scherrer, Markus Fischer. Source : (Hennemann, 2014).

Elektra Birsech Museum

C'est par l'intermédiaire de Pascal Lequitte, commercial de la société Haefely, à Bâle ; que nous avons eu connaissance de l'existence du générateur de hautes tensions suivant (voir Figure 41). Il est remonté à l'extérieur, devant le musée de l'électricité fondé par la société Elektra Birseck (EBM) à Münchenstein. EBM est l'un des fournisseurs d'énergie suisse qui alimente environ 226 000 personnes en Suisse du Nord-Ouest et en Alsace et exploite plus de 170 installations en Suisse et dans les régions d'Alsace et en Allemagne du Sud. Nous n'avons cependant pas pu établir de contact avec l'établissement.



Figure 41 : générateur Cockcroft-Walton à Bâle, devant le musée de l'électricité, Elektra Birsech, 2004. Crédits photographiques: Roland Zumbühl. Source : (Zumbühl, 2004)

4.3.2.3 Espagne et Italie : des exemples de valorisation muséale

La recherche par image, nous a permis de trouver cet accélérateur, conservé dans le musée de sciences appelé le MUNCYT (Coruña) en Espagne, exposé dans le département de physique, dans la section physique nucléaire (voir Figure 42). Les recherches en physique nucléaire commencèrent timidement en Espagne, après l'attribution du Prix Nobel à Cockcroft et Walton. Les quelques éléments conservés sont ceux d'origine, ceux du premier accélérateur construit en 1957 en Espagne.

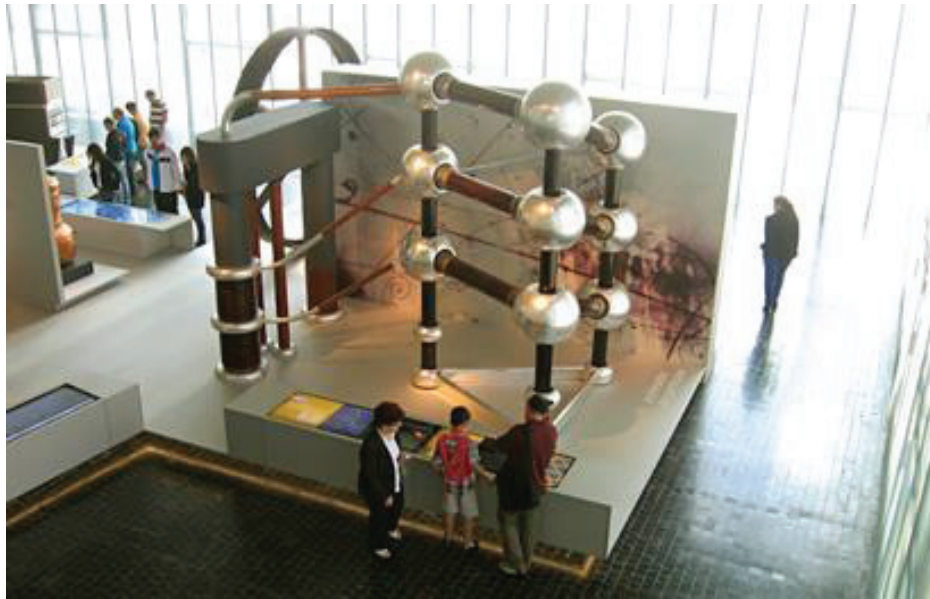


Figure 42 : Accélérateur de particules exposé au MUNCYT, 2012. Droits photographiques : R.F. Rumbao. Source : (Rumbao, 2012).

Le musée italien de la technologie électrique a été créé en mars 2000 par un accord entre l'Université de Pavie, la région de Lombardie, la province de Pavie et de la ville de Pavie. C'est en parcourant la galerie de photographie du musée que nous avons trouvé cet instrument, avec très peu de précisions (voir Figure 43). Il est manifestement conservé dans sa globalité, est antérieur à 1945 et fournissait une tension de 560 kV. Des échanges avec le musée nous ont permis de savoir qu'il a été construit avant la Seconde Guerre mondiale, mais intensément utilisé après la fin de celle-ci dans l'institut de physique de l'Université de Pavie. Il s'agit bien ici de la haute tension connectée à un accélérateur de protons linéaire. Grâce à Paolo Brenni, nous avons pu obtenir des photos complémentaires de l'objet lors de son remontage dans le musée, ainsi qu'un article de recherche de 1956 décrivant le fonctionnement de l'appareil et son utilisation au sein du laboratoire Volta.

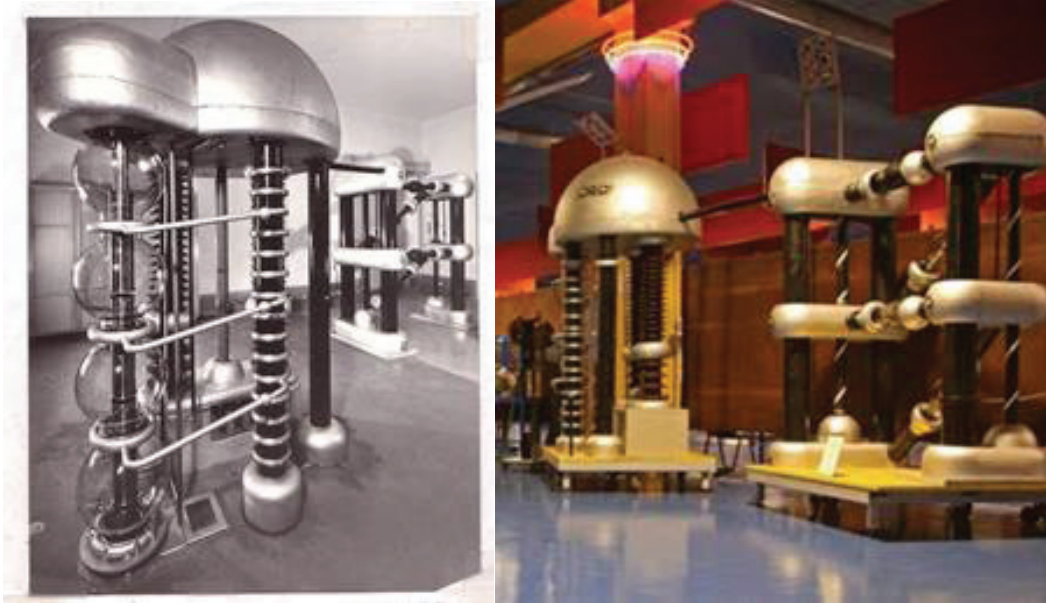


Figure 43 : accélérateur Cockcroft-Walton monté à l'Université de Pavie lors de sa période d'utilisation (a), puis dans la section 4 de l'exposition du musée de l'électricité de Pavie. Droits photographiques : Université de Pavie. Sources : Paolo Brenni et (« Museo della tecnica elettrica di Pavia », 2014)

4.3.2.4 D'autres exemples de sauvegarde : accélérateur ou générateur ?

À travers le monde, plusieurs accélérateurs Cockcroft-Walton ont fait l'objet d'une intention de sauvegarde. Voici quelques exemples de ceux que nous avons retrouvés.

Portugal

Dans le jardin du musée national d'histoire naturelle et des sciences de Lisbonne se trouve une partie d'un accélérateur de 0,6 MeV. Il est arrivé au Portugal en 1957 à l'Institut technologique et nucléaire (ITN) et a été acquis dans les années 1990, par le professeur Gil Bragança pour le musée (Figure 44). Il porte la marque de fabrication de la société américaine Hight Voltage (Teixeira, 2013).



Figure 44 : Partie supérieure de l'accélérateur de particules Cockcroft-Walton remonté sur la pelouse de l'Université scientifique de Lisbonne. Droits et sources : (« Thesaurus do Património », 2016)

Chili (Beauchef)

Lorsque l'accélérateur de particules de Cockcroft-Walton de Beauchef (Région métropolitaine de Santiago) a commencé ses activités, le développement de la physique au Chili a littéralement pris un autre rythme. Cet instrument est maintenant répertorié comme une pièce de musée et exposé dans l'une des cours du campus Beauchef (Figure 45). Son acquisition est le résultat d'une initiative de l'ancien recteur de l'Université du Chili, Juan Gómez Millas (1953-1963), qui croyait qu'aucun pays, aussi pauvre qu'il était, ne pouvait manquer d'intérêt pour la recherche scientifique. L'accélérateur de particules a été fabriqué par Philips, en 1954, a été installé dans le sous-sol du bâtiment du Département de physique, et exploité de 1956 à 1967 (Otero & Cid, 2008). Cet accélérateur remonté en extérieur ne semble pas avoir de protection particulière contre les intempéries. En revanche, c'est le seul qui est monté dans la totalité.



Figure 45 : accélérateur Cockcroft-Walton remonté sur deux étages sur la pelouse de l'Université de Beauchef au Chili, 2012. Droits photographiques : Ricardo Hurtubia.

Source : (mettre sa page flickr)

Chine (Beijing)

Nous avons rencontré celui-ci grâce à un physicien américain. Lors d'un colloque en Chine, celui-ci a eu l'occasion de visiter le laboratoire IHEP (Institut of high energy physics), et a photographié cette partie d'accélérateur remontée devant l'entrée du bâtiment (Figure 46). Cette photographie a été postée sur un réseau social, et c'est par ce biais que nous en avons eu connaissance.



Figure 46 : accélérateur Cockcroft-Walton du Beijing Proton LINAC en 2002 (a) et partie d'un accélérateur Cockcroft-Walton remonté à l'extérieur devant l'Institut Physique des hautes énergies de Beijing (b) en 2014, Chine. Droits photographiques : Institut Physique des hautes énergies de Beijing et Richard Ruiz. Source : (Institute of High Energy Physics, 2002; Ruiz, 2014)

Sur son site Internet, l'IHEP décrit un générateur Cockcroft-Walton intégré au Beijing Proton LINAC 35 MeV. La description coïncide avec l'objet photographié par M. Ruiz et il y a une probabilité pour que ce soit le même appareil. Ce premier gros accélérateur chinois a été mis en service en 1987 et fut récompensé en 1991 par le premier prix national pour le progrès des sciences et les technologies. Ici, le générateur de hautes tensions Cockcroft-Walton fait office d'injecteur (750 keV) et a été monté en collaboration avec les physiciens du Fermi Lab (États Unis). Le BPL est lui-même une partie d'un plus gros accélérateur : le BPS (Beijing Proton Synchrotron) qui atteint 50 GeV.

Taiwan (NTU)

Dans la galerie consacrée à la physique du musée de l'Université Nationale de Taiwan, se trouve le premier accélérateur de particules Cockcroft-Walton construit en Asie (Figure 47). Il a été construit par l'équipe du professeur Arakatsu Bunsaku, pendant le régime colonial japonais (avant 1945). L'accélérateur fut reconstruit après la Seconde Guerre mondiale et permettra aux physiciens de reproduire l'expérience de fission du lithium en 1948. Il est exposé au public depuis 2005, dans une salle reconstituant un laboratoire de physique de l'époque. Nous avons trouvé cet appareil grâce au référencement photographique sur le blogue d'un Américain qui a habité à Taiwan (Reid, 2008), puis par le site institutionnel du musée (« NTU Museums », 2014).



Figure 47 : Accélérateur de particules Cockcroft-Walton exposé dans le musée de l'Université Nationale de Taiwan, 2008. Droits photographiques : David Reid. Source : (Reid, 2008)

Des objets proches : microscope électronique ou laboratoire d'essai à haute tension

Comme nous l'avons vu au début de cette partie, un accélérateur de particules est composé de plusieurs éléments dont un générateur de hautes tensions. C'est d'ailleurs la présence d'un générateur de hautes tensions de type Cockcroft-Walton, qui donne son nom à l'accélérateur. Mais les accélérateurs de particules ne sont pas les seuls instruments scientifiques à être composés d'un générateur haute-tension. Parmi les objets proches d'un accélérateur de particules Cockcroft-Walton et étant accessibles au public, nous souhaiterions encore citer deux autres exemples : celui du microscope électronique de Toulouse et du centre de recherche à haute tension d'Istra en Russie.

Construit par Jeanne Marvige dans le quartier de Ranguel, le bâtiment appelé « la boule » abrite un puissant microscope électronique à très haute tension (voir Figure 48). Cet objet a été inauguré en grande pompe par le Général de Gaulle en février 1959, et il a été immortalisé par le photographe toulousain, Jean Dieuzaide. Appartenant au laboratoire CEMES/CNRS, ce microscope n'est plus utilisé aujourd'hui, mais est accessible au public lors d'évènements comme les journées du patrimoine. Grâce à la vidéo faite par des enfants lors de leur visite dans la boule Ranguel (« Un microscope électronique de légende », 2011), nous avons su que la haute tension de type Cockcroft-Walton, qui alimente le microscope a été construite par la société Haefely (la même que celle qui a construit l'accélérateur de particules de l'Institut de physique nucléaire de Lyon). Nos échanges avec la société nous ont permis de savoir que cette haute tension de 1,5 MeV a été commandée par le professeur Gaston Dupouy pour le laboratoire toulousain. Cet objet, ici magnifié par l'objectif du photographe Bernard Rome, a la chance d'être conservé dans l'établissement où il a été utilisé, mais aussi dans un bâtiment qui a été construit spécialement pour lui et ses dimensions hors-normes.

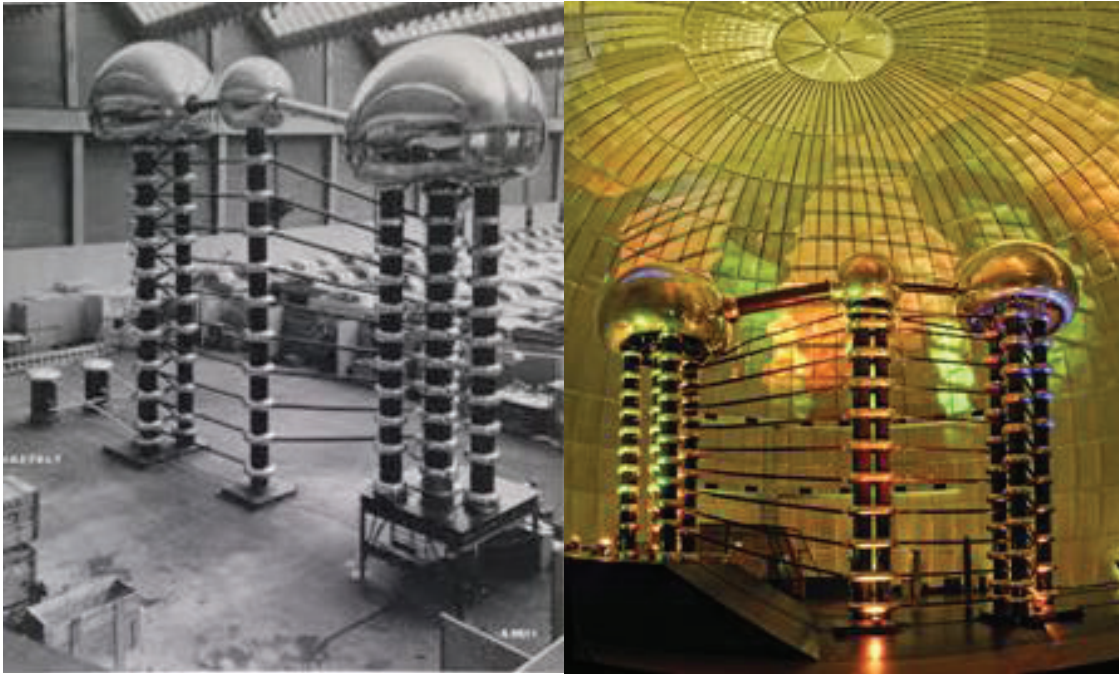


Figure 48 : haute tension de type Cockcroft-Walton du microscope électronique de Rangueil, dans les locaux de la société Haefely (a) avant 1959 et dans son bâtiment appelé « la boule » à Toulouse (b) en 2011. Droits photographiques : Haefely et Bernard Rome. Source : Communication privée et (Rome, 2011)

Un autre exemple de haute tension (construite sur le principe de Cockcroft et Walton probablement aussi) très relayé par le public se trouve en Russie. Surnommée « High Voltage Marx and Tesla Generators Research Facility » (Centre de Recherche des Générateurs Tesla et Marx à Haut Voltage) cette installation fait partie de l'Université d'ingénierie électrique de Moscou, et se trouve dans la paisible ville d'Istra, à 40 km à l'ouest de Moscou (voir Figure 49). La quantité d'informations non scientifiques sur cet instrument et la lecture du russe, rendent les recherches assez complexes. Un article de recherche diffusé par l'Université de Harvard nous confirme que l'installation appartient bien au « High-Voltage Research Center, All-Russia Institute of Electrical Engineering, Istra, Russia » et que des physiciens de plusieurs structures y ont accès (Académie des sciences russe, Institut de physique appliquée, Université des hautes études économiques de Moscou) (Kostinskiy et al., 2015). Construite dans les années 1970, elle sert à l'étude de la foudre et de son impact sur diverses installations et comporterait : un générateur de Marx, un multiplicateur de tension Cockcroft-Walton, et des bobines de Tesla. L'installation est toujours en fonctionnement, même si on la présente souvent comme « une base abandonnée », et peut être accessible à la visite sur

demande⁷⁰. Attirant les curieux et les artistes, les photographies du site d'Istra sont nombreuses. Nous avons choisi les clichés de la photographe russe Elena Liseykina Petrova qui a accepté d'échanger avec nous sur sa séance de photographie en famille à Istra. L'objet n'a toujours connu que des conditions climatiques extrêmes et présente de nombreuses altérations (une corrosion très forte). Les barrières qui délimitent le centre de recherche tombent sous le poids de la neige ce qui rend l'endroit accessible au tout-venant.



Figure 49 : installation de haute tension sur le site d'Istra, Russie, 2013. Droits photographiques : Elena Liseykina Petrova. Source : (Liseykina, 2013)

⁷⁰ Pour avoir des informations sur les visites, il existe un site : <http://vei-istra.ru/en/>

4.4 Conclusion du chapitre 4

L'accélérateur Cockcroft-Walton a été un objet construit en série par différentes sociétés (Haefely, Philips ou encore High Voltage) ou fabriqué « maison » par les physiciens dans leurs laboratoires. Parmi les 126 accélérateurs recensés à travers le monde entre 1932 et aujourd'hui, certains peuvent être vus par le public (15), d'autres sont encore en fonctionnement. Ces objets sont exposés dans des musées, des Universités ou des laboratoires, et suivant des modes de préservations différents. Le tableau ci-dessous donne un petit récapitulatif des informations collectées à propos des objets visibles par le public :

Tableau 1 : récapitulatif des accélérateurs de particules de type Cockcroft-Walton faisant l'objet d'une exposition ou d'un remontage, et quelques-unes de leurs spécificités.

Identification de l'objet	Lieu	Intérieur ou extérieur	Partie de l'objet concernée	Restauration si spécifiée	Commentaires sur l'état général de l'objet
Lyon (France)	Exposé dans le musée des Confluences	intérieur	Partie supérieure de l'accélérateur	Restauration muséale	Bon état
Strasbourg (France)	Remonté sur le campus	extérieur	Partie supérieure	Peinture de revêtement	Altération du revêtement, Bakélite altérée
Cambridge (Royaume-Uni)	Remonté dans le couloir d'un laboratoire	Intérieur	Partie supérieure	Nettoyage intégral	Bon état
Daresbury (Royaume-Uni)	Remonté dans le hall d'entrée de l'institut	Intérieur	Générateur de hautes tensions (et une autre partie probablement)	Nettoyage intégral	Bon état
Édimbourg (Royaume-Uni)	Exposé dans le musée	intérieur	Une partie du générateur de hautes tensions	Restauration muséale	Bon état
Cavendish (Royaume-Uni)	Exposé dans le musée universitaire	intérieur	Un condensateur		Bon état
Genève (Suisse)	Remonté dans le jardin du musée	extérieur	Partie supérieure de l'accélérateur	Peinture anticorrosion	Ternissement général, pièces mal ajustées
Bâle (Suisse)	Remonté à l'entrée du musée	extérieur	Générateur de hautes tensions		Ternissement général
MUNCYT (Espagne)	Exposé dans le musée	intérieur	Partie supérieure de l'accélérateur	Restauration muséale	Bon état
Pavie	Exposé dans le	intérieur	Partie	Restauration	Bon état

(Italie)	musée		supérieure de l'accélérateur	muséale	
Lisbonne (Portugal)	Remonté dans le jardin de l'université	extérieur	Partie supérieure de l'accélérateur		Ternissement, corrosion assez forte
Beauchef (Chili)	Remonté dans le jardin de l'université	extérieur	Partie supérieure et inférieure de l'accélérateur (manque l'alimentation et les pupitres de commande)		Ternissement général
(Beijing) Chine	Remonté devant le laboratoire	extérieur	Générateur de hautes tensions		Ternissement accentué
Taiwan	Exposé dans le musée universitaire	intérieur	(intégralité ?)	nettoyage	Bon état
Debrecen (Hongrie)	Remonté devant le laboratoire INR	extérieur	Partie supérieure de l'accélérateur		Bon état

Ce tableau réunit donc les quelques accélérateurs de particules de type Cockcroft-Walton ayant fait l'objet d'une sauvegarde, et qui sont accessibles au public, identifiés par leur localisation (ville et pays). Pour chacun, on spécifie le lieu où l'objet est présenté (dans un musée, sur un campus, dans un laboratoire, dans un hall ou sur une place publique), si l'objet est en intérieur ou en extérieur, la partie de l'objet concernée par la valorisation, les actions de conservation préventive dont il a fait l'objet (un nettoyage, une peinture amateur ou une démarche de restauration par des professionnels) et un petit commentaire sur l'état de l'objet fait à partir des photos que nous avons de l'objet.

Pour conclure, nous observons qu'il y a une grande variété dans les pratiques de sauvegarde de ces objets. Des choix sont faits sur la sélection de la partie à remonter, bien qu'il ne soit jamais présenté dans son intégralité (avec les pupitres de commande et sous toute sa hauteur). Certains ne remontent que le générateur de hautes tensions, d'autres la partie supérieure. Nous avons retrouvé un cas où l'accélérateur a été monté sur pilotis, ceci permettant de montrer la partie inférieure de l'objet (Chili). Les parties exposées en extérieur font parfois l'objet d'interventions plus lourdes (peintures, revêtements, etc.), mais qui ne garantissent pas nécessairement la conservation en bon état de l'objet. C'est souvent le choix fait par les Universités.

Conclusion de la première partie

L'analyse contextuelle développée dans cette première partie met en évidence la multiplicité des facettes de l'accélérateur Cockcroft-Walton, pris dans différents milieux. Elle justifie aussi pourquoi nous appelons cet objet : un objet polysémique ; c'est-à-dire un objet qui peut avoir plusieurs sens suivant la référence que l'on prend pour le « regarder ».

Comme nous l'avons précisé dans le premier chapitre, quand John Cockcroft et Ernest Walton réalisent la première transmutation artificielle du lithium grâce à leur accélérateur de particules, ils répondent à un besoin exprimé par la communauté scientifique : accélérer les particules pour provoquer des collisions qui permettraient d'étudier la matière.

Au début des années 1930, la radioactivité (Becquerel, 1896) et la transmutation artificielle (Rutherford, 1919) ont déjà été découvertes par leurs précurseurs. Le monde de la physique est en effervescence : Le modèle de Bohr est confirmé expérimentalement par les travaux de James Franck (1882 - 1964) et Gustave Hertz (1887 - 1975) depuis 1914, De Broglie suggère que chaque particule pourrait être associée à une onde (1923), Ernest Schrödinger établit un modèle ondulatoire de l'atome dans lequel les électrons sont décrits sous forme d'onde, Erwin Schrödinger (1887 - 1961) établit un modèle ondulatoire de l'atome dans lequel les électrons sont décrits sous forme d'onde (1926), en 1930 Wolfgang Pauli (1900 - 1958) suppose l'existence d'une particule neutre que Fermi et Edoardo Amaldi (1908 – 1989) baptisèrent sous le nom de *neutrino* en 1932. 1932, c'est aussi l'année de la découverte du neutron par Chadwick, de la proposition du modèle atomique de Werner Heisenberg (1901 - 1976) (composé à la fois de protons et de neutrons, et qui exercent entre eux une force attractive permettant d'expliquer la stabilité des noyaux), de la découverte du positron par Anderson qui valide la prédiction théorique de Paul Dirac (1902 - 1984). Mais les intensités limitées des sources utilisées rendent les progrès difficiles. La nécessité de créer une source artificielle devient de plus en plus évidente (Walton, 1951). La mise au point de l'appareil a nécessité pour ses inventeurs d'utiliser des théories alors nouvelles dans le monde de la physique subatomique (physique quantique) et d'articuler savamment les problèmes théoriques avec les problèmes techniques. Nous pourrions dire que l'objet a d'abord été une innovation dans le sens où il est le fruit d'une collaboration scientifique, qu'il a répondu aux attentes de la communauté scientifique (permettre l'exploration de la matière).

L'analyse du fonctionnement de l'accélérateur CW développée dans le chapitre 2 nous permet de mieux comprendre les choix qui ont été faits par Cockcroft et Walton, compte tenu des exigences du système et de la complexité de certains effets physiques. Un des éléments fondamentaux de l'appareil, tant du point de vue scientifique que patrimonial est le générateur de hautes tensions. C'est d'ailleurs cette partie de l'accélérateur qui a été le plus souvent sauvegardée, quand l'appareil a échappé à la destruction. Un des deux objets au cœur de notre étude est celui de l'Institut de Physique Nucléaire de Lyon. Cet accélérateur fut un outil privilégié de l'IPNL dès sa création et reste le témoin physique de son histoire locale, comme nous l'avons montré dans le chapitre 3. La trajectoire de l'objet est riche : de sa conception, sa fabrication, son achat par un usager, l'histoire de son utilisation, de ses réutilisations, puis du temps de l'obsolescence à celui où on envisage sa revalorisation. Ce parcours de vie particulier nous montre que la science ne peut être dissociée des événements historiques et sociaux. Plus généralement, l'étude nous ouvre une fenêtre sur le développement de la physique nucléaire en France, et l'intégration des premiers appareils de la Big Science dans les laboratoires de recherche. Les témoignages des physiciens, pour qui l'utilisation de l'accélérateur CW a constitué un événement marquant dans leur carrière, nous permettent de lui donner une dimension sociale et de « l'humaniser ». Pour ces hommes, l'accélérateur de particules CW est un objet « clé » dans l'identité de l'institut, et l'entreprise qui est aujourd'hui menée pour le remonter est pour eux une évidence. La trajectoire de l'accélérateur CW de l'IPNL nous permet aussi d'identifier plus distinctement les différents « temps de vies » qui ponctuent la trajectoire d'un objet scientifique tel que lui.

- Le temps de la conception
- Le temps de la fabrication
- Le temps de l'achat
- Le temps des premières expérimentations
- Le temps du perfectionnement
- Le temps des expériences routinières
- Le temps de l'obsolescence
- Le temps de la « re-découverte » et de la patrimonialisation...

En généralisant notre propos à l'ensemble des accélérateurs CW qui existent ou qui ont existé, nous pouvons supposer que tous ces accélérateurs ont été aux mains de physiciens

qui ont fait leurs études et leur carrière avec ces instruments. Ils ont donc potentiellement tous été un jour l'objet de soins, de réparations, de perfectionnements et d'attentions de la part de leurs utilisateurs. L'enquête menée dans le chapitre 4 montre que sur les 126 accélérateurs CW dont nous avons retrouvé la trace aujourd'hui, 15 peuvent être actuellement vus par le public, soit environ 12%. Ce chiffre montre bien qu'il y a malgré tout eu une volonté internationale de conserver ces objets pour les générations futures. Mais la manière dont ils ont été conservés ou gardés nous questionne. Nous avons observé une grande variété dans les pratiques de sauvegarde de ces objets. Ils ne sont presque jamais conservés en entier et seule la partie supérieure, intégrant la haute tension est sauvegardée. L'objet, perdant son intégrité, perd déjà en un sens une partie de son caractère d'objet scientifique. D'autre part, seuls 5 objets ont trouvé une place au sein d'une exposition, dans un musée. Les autres, sont souvent conservés *in situ*, c'est-à-dire sur les lieux où ils ont été utilisés. Dans 7 cas sur 15, la partie sauvegardée de l'objet est remontée en extérieur et présente déjà des altérations dues aux intempéries. Il semble donc que ces données reflètent une certaine hétérogénéité dans les pratiques de sauvegarde pour ces objets scientifiques et contemporains.

Parmi ceux qui peuvent être vu par le public, nous pouvons désormais distinguer :

- Les accélérateurs sauvegardés : ceux qui sont gardés mais qui restent soumis aux intempéries, aux dégradations de l'homme et du temps,
- Les accélérateurs conservés : ceux qui sont protégés de la dégradation (on parle ici de conservation préventive)
- Les accélérateurs conservés et stabilisés : ceux dont l'état a nécessité un nettoyage, une protection antirouille pour en améliorer l'aspect (le terme qu'il convient est ici conservation curative)
- Les accélérateurs restaurés : ceux qui ont nécessité une intervention « plus lourde » comme le remplacement d'une pièce trop dégradée, le recollage, la reproduction d'une pièce manquante, etc. Comme le souligne les travaux de Pierre Leveau :

« Essentielle par sa visibilité, mais superficielle et attachée aux apparences, la « restauration » est populaire parce qu'elle rend aux biens leur valeur esthétique. C'est aujourd'hui la troisième et dernière partie de la « conservation-restauration », terme couvrant l'ensemble des opérations visant à transmettre aux générations futures les biens culturels hérités du passé. » (Leveau, 2011)

Nous faisons l'hypothèse que le processus de patrimonialisation des objets scientifiques contemporains, qui a conduit à la sauvegarde de certains accélérateurs de particules CW, diffère en plusieurs points du processus de patrimonialisation décrit pour les objets culturels plus classiques. Il est différent parce que l'objet que nous étudions est scientifique et contemporain :

- Il est dit scientifique, dans le sens où il a été utilisé à des fins scientifiques, comme dans un laboratoire de recherche pour les cas de l'accélérateur de particules CW. Nous aurions aimé définir ces objets comme : « les objets de la science » mais le terme aurait été trompeur car il exprime tout aussi bien les objets concrets (matériels) que les objets conceptuels de la connaissance scientifique (Bachelard, 1983)⁷¹. Nous définissons donc le terme d' « outils de la science » pour qualifier ces objets qui peuvent être utiles dans une expérimentation scientifique et que l'on est susceptible de retrouver dans un laboratoire de recherche.
- Il est aussi contemporain parce qu'il a été construit après les années 1950, avec des matériaux nouveaux, avec un certain nombre de moyens financiers et humains, dans une société moderne dont les mœurs évoluent rapidement.

Un des premiers objectifs de la seconde partie de la thèse, sera d'exploiter dans un premier chapitre, les définitions théoriques du patrimoine et de la patrimonialisation, de les confronter aux caractéristiques de l'objet scientifique contemporain en général et de l'accélérateur de particules CW en particulier. Cette confrontation fera apparaître plusieurs points, dont celui de la nécessité d'apporter une attention toute particulière à la valorisation de l'objet pour qu'il puisse être reconnu comme objet de patrimoine. Nous faisons ici l'hypothèse que les récits, notamment ceux de la mise en scène autour de l'objet dans l'exposition, sont essentiels dans la construction de sens autour des objets et que les mots du récit, de par leurs différentes fonctions, participent directement à l'interprétation et à l'appropriation de l'objet. C'est ce que nous défendrons dans un second chapitre.

Mais l'objet scientifique contemporain, bien que représenté de manière ponctuel dans « la sphère sociale », est aussi porteur d'un contenu représentationnel. Dans un troisième chapitre,

⁷¹ Nous faisons ici référence au « constructivisme épistémologique », qui montre que la science construit ses objets en incluant à la fois une vision historique et une vision dynamique. Les objets de la science sont alors envisagés comme des constructions internes à la connaissance et qui a la capacité d'inventer les concepts sur lesquelles elle travaille (Bachelard, 1983).

nous ferons alors l'hypothèse que ce contenu représentationnel interfère dans l'interprétation et l'appropriation de l'objet. Nous analyserons donc les sources potentielles qui sont porteuses de ce contenu à travers l'étude d'un corpus à la fois formel (manuels scolaires) et fictionnel (médias artistiques).

**2^{ème} partie : Le patrimoine scientifique
contemporain et ses usages, du cas
général à celui de l'accélérateur de
particules Cockcroft-Walton**

Introduction de la seconde partie

Cette seconde partie est consacrée à l'analyse du processus de patrimonialisation et à l'étude de l'une des étapes de ce processus : la valorisation. Nous l'étudierons dans trois contextes différents : dans une exposition, dans les manuels scolaires et dans les médias artistiques.

Le premier chapitre de cette seconde partie est consacré à une approche théorique du patrimoine et de la patrimonialisation. La notion de patrimoine a une acceptation très large aujourd'hui, nous commencerons donc par délimiter ce que nous entendons par « patrimoine » dans le cas de notre étude. Nous faisons ensuite le choix de l'aborder sous l'angle de la patrimonialisation en détaillant différentes conceptions :

- Celle de Krzysztof Pomian pour qui la patrimonialisation s'apparente à une trajectoire
- Celle de Dominique Poulot qui l'envisage plus comme une généalogie de l'objet
- Celle de Jean Davallon qui l'envisage comme un processus
- Celle que partagent d'autres auteurs comme Emmanuel Amougou, Laurent Reynès ou de Guy Di Méo pour qui le patrimoine est avant tout une construction sociale.

Dans chacun des cas présentés nous ferons un parallèle avec l'accélérateur de particules CW. Dans un second temps nous verrons en quoi le fait que notre objet soit « contemporain » influe sur le processus de patrimonialisation, notamment par l'approche des sources historiques et de la construction biographique de l'objet. Riche de ces éléments nous proposerons une manière de se représenter le processus de patrimonialisation pour les objets scientifiques contemporains. La définition du patrimoine ne pouvant être séparée de l'institutionnalisation du patrimoine, il nous est apparu nécessaire de détailler les caractéristiques juridiques d'une patrimonialisation, notamment à travers l'identification du propriétaire ou l'impact du lieu de conservation. Ces caractéristiques sont ici essentiellement en lien avec le caractère « scientifique » de nos objets. Nous finirons le chapitre en faisant un état des lieux sur la présence du patrimoine scientifique contemporain dans les différents dispositifs (inventaires, catalogues, bases de données, réseaux) nationaux et internationaux que nous avons rencontrés lors de notre travail de recherche. Cette dernière enquête nous

donnera une évaluation de la place qu'occupe le patrimoine scientifique contemporain dans les bases de référencement du patrimoine ou dans les réseaux professionnels, traduisant l'intérêt qu'ont suscité ces objets. Pour conclure nous verrons que l'objet scientifique contemporain est souvent mis en lien avec les questions de propriété, d'identité, et que pour être reconnu comme un objet de patrimoine, il se doit de faire sens pour une communauté (ou plus largement pour la sphère sociale).

Nous ferons alors l'hypothèse que pour « faire sens », les récits qui sont nés au cours du parcours de l'objet et qui sont encore développés autour de lui, sont essentiels et sont constitutifs du processus de patrimonialisation. Nous distinguons deux types de récits :

- Les récits qui sont nés au cours des étapes de la vie de l'objet (de sa trajectoire particulière) que nous pourrions appelés récits primaires,
- Les récits secondaires qui sont ceux par exemple de la médiation, qui peuvent utiliser les récits primaires mais aussi en développer d'autres autour de l'objet pour créer une nouvelle cohérence. C'est par exemple le cas des récits qui contextualisent l'objet dans un musée, dans les médias-artistiques, etc.

Parce que les « récits » qui sont développés au musée sont écrits pour un destinataire (un public) nous les appellerons « discours ». Parce que tous les mots écrits dans le cadre d'une exposition ne sont pas porteurs d'une plus-value cognitive, nous appellerons « textes » ceux qui sont directement en lien l'objet exposé, et ce sont eux qui seront l'objet d'étude du second chapitre de cette partie.

Le second chapitre sera donc consacré à l'étude des textes de l'exposition, intitulée *Sociétés : le théâtre des hommes*, fournis au visiteur pour le guider dans son processus d'interprétation autour de l'accélérateur de particules CW. La première partie de ce chapitre sera consacrée à la description de cette exposition et de la collection dont fait partie l'accélérateur de particules CW exposé. Dans un deuxième temps, ceci grâce à des outils issus des Sciences de l'information et de la communication, nous envisagerons l'exposition comme un dispositif sémantique et communicationnel (Poli, 2010) ce qui nous permettra de mener une analyse fonctionnelle des textes. Cette analyse nous permettra entre autre de relever précisément les textes qui permettent au visiteur d'interpréter et de s'appropriier l'objet.

Dans un troisième temps, en repartant des critères réglementaires d'inventaires, nous développerons une grille d'analyse nous permettant d'identifier la nature des informations présentes dans les textes à fonction d'inventaire ou d'ancrage. L'application de cette grille

nous permettra d'identifier les critères d'inventaire qui sont utilisés dans les textes de l'exposition et de les comparer avec les critères d'inventaire dont disposaient les concepteurs.

De manière plus empirique, nous définirons une autre grille d'analyse, toujours en complémentarité des précédentes, mais qui nous permettra d'identifier le degré d'implication du texte (à fonction d'inventaire ou d'ancrage), avec l'objet exposé au visiteur.

S'approprier un objet dépasse le cadre du texte de l'exposition pour devenir une confrontation cognitive avec l'objet et ses représentations. Cette affirmation nous permet de dépasser le cadre du texte de l'exposition pour nous intéresser aux autres contextes de valorisation de l'accélérateur de particules CW qui pourraient jouer un rôle dans l'appropriation et l'interprétation de l'objet, par exemple lors d'une visite dans un musée. Dans cette partie de l'étude, le corpus n'est toujours pas constitué en fonction de sa nature ou de ses destinataires, mais parce qu'il intègre un objet commun : l'accélérateur de particules CW.

Dans la première partie de ce chapitre nous nous intéressons à l'un des terrains de la didactique des sciences : les manuels scolaires. En effet, l'un des cinq manuels de Terminale Scientifique (programme 2012), sur lesquels nous avons effectué une analyse de l'ensemble des objets de patrimoine, présente un accélérateur CW. Nous analyserons ici les dispositifs de mise en page, les formats de représentation graphique et les postures de commentaires des images et envisageons la « place » qui est donnée aux objets de patrimoine dans ces manuels. Une étude plus précise sur l'activité qui montre l'accélérateur CW nous amènera à conclure que la représentation de l'accélérateur dans ce contexte d'étude est avant tout iconique (elle montre un objet qui lui ressemble) et graphique (sélection avant tout esthétique de l'image) au détriment d'une fonction symbolique ou physique (scientifique) que l'objet serait légitimement capable de porter.

Dans la deuxième partie de ce dernier chapitre nous nous intéresserons aux médias artistiques qui utilisent un objet pouvant être identifié comme un accélérateur CW, ou un objet chez qui les caractéristiques esthétiques sont proches de l'accélérateur CW. Notre corpus sera ici constitué de bandes dessinées, d'une série télévisée et de films. Nous réutiliserons ici la notion de « récit », utilisée dans les deux chapitres précédents, pour conduire notre réflexion en lien avec la théorie des « mondes possibles », empruntée à la philosophie (Lewis, 1978). Cette théorie, fondée sur un monde contrefactuel d'arrière-plan, nous permet de questionner la capacité des récits de fiction de ces médias, à permettre au

lecteur une accessibilité cognitive de l'objet, ou bien leur capacité à interférer avec les interprétations qui peuvent être faites d'un accélérateur de particules de type Cockcroft-Walton

Chapitre 1: les aspects théoriques de la patrimonialisation de l'objet scientifique contemporain

Introduction du chapitre

L'objectif de ce chapitre est de proposer une certaine approche du patrimoine scientifique contemporain à travers ses fondements théoriques, la place qui lui est faite dans nos institutions⁷², et les manières de s'en saisir.

Notre travail s'inscrit dans le champ de la didactique des sciences, mais comme de plus en plus de travaux de recherches actuelles, il se veut interdisciplinaire et affirme sa volonté d'utiliser des travaux provenant d'autres champs tels que les sciences de l'information et de la communication, l'ethnologie, l'histoire moderne ou encore le droit.

La première partie de ce chapitre est consacrée à préciser la notion de patrimoine. Nous faisons le choix de l'aborder par le biais de la patrimonialisation, c'est-à-dire comme un processus qui vise à construire un héritage porteur de sens et à le transmettre. Les sciences humaines et sociales ont déjà largement exploité la question patrimoniale, faisant émerger toute sa diversité, ses enjeux et la multiplicité de ses acteurs et pratiques. Nous présentons différentes conceptions de la patrimonialisation qui permettent d'interroger notre cas d'étude : l'accélérateur CW de l'IPNL. Sous une approche un peu différente, nous aborderons les spécificités des objets contemporains, pour les relier à leur patrimonialisation et à notre réflexion.

Bien que les notions de patrimoine ou de patrimonialisation soient aujourd'hui au cœur des questionnements de la recherche, le cas des objets scientifiques contemporains reste très en marge de ses considérations. C'est pourquoi dans la deuxième partie de ce chapitre, nous étudions les particularités du patrimoine scientifique contemporain⁷³, à travers des aspects à la fois juridiques, historiques et empiriques. Cette analyse passera par l'évaluation de la place

⁷² Dans un référentiel essentiellement francophone.

⁷³ Au cours du texte nous avons parfois senti le besoin de mettre un des deux termes : scientifique ou contemporain, entre parenthèses. Elle traduit plus la prédominance d'un des termes sur l'autre que l'absence de celui qui est mis de côté. Par exemple, pour les considérations juridiques, c'est avant tout le caractère scientifique que nous avons utilisé pour définir l'objet. D'un autre côté, les processus de patrimonialisation étant souvent lié à une temporalité ou à une distance avec l'objet, c'est le caractère « contemporain » qui a souvent été déterminant.

qu'occupe le patrimoine scientifique contemporain dans les bases de référencement du patrimoine ou dans les réseaux professionnels.

1.1 Du patrimoine à la conception de la patrimonialisation de l'objet scientifique contemporain

Nous avons choisi d'aborder la question des objets scientifiques contemporains par le biais de la question de la patrimonialisation de ces objets ; c'est-à-dire de placer l'objet dans un cycle, dont l'un des états serait celui « d'objet de patrimoine », mais qui ne serait pas un état forcément immuable. La patrimonialisation est vue comme :

« un processus qui vise à construire un héritage chargé de sens et porteur de relations à transmettre » (Lavorel, 2014),

« le transfert d'un objet x, en vue de sa conservation et sa mise en valeur au titre de sa représentativité d'une culture locale, dans le champ de compétence des institutions de l'administration culturelle » (Isnart, 2013).

Le processus de patrimonialisation, en tant que milieu dynamique du patrimoine, fait subir à l'objet un certain nombre de changements d'état. On parle alors de transfert d'un état à un autre. Pour l'administration culturelle, le transfert de l'état d' « objet banal » à « objet de patrimoine » est encadré par des lois et des décrets, mais aussi par un usage et un certain nombre de pratiques qui légitiment cet acte (Heinich & Sous-direction de l'archéologie, 2009). Dans un premier temps, nous n'échapperons pas à l'entrée par les définitions données du patrimoine pour différents milieux, puis à une brève évolution historique de la définition.

1.1.1 La notion de patrimoine

En ce début de XXI^e siècle, la notion de patrimoine apparaît comme une préoccupation majeure, qui s'est étendue bien au-delà de sa définition et de son cadre d'origine, longtemps réservé au patrimoine historique et monumental.

« Cet engouement récent pour ce que l'on a qualifié de « fait patrimonial » s'inscrit incontestablement dans un contexte plus global de « crise » de l'identité qui se manifeste au sein des sociétés modernes, crise qui sous-tend un effort de mobilisation de la mémoire » (Stoessel-Ritz, 2004).

Toute la difficulté de cette définition de « patrimoine » réside dans le fait qu'elle est en permanente construction, par différents acteurs, de différentes disciplines et de différentes institutions. C'est à la fois une représentation générale abstraite, et le fruit d'une réglementation. L'objet de cette thèse n'est pas de statuer sur une définition immuable ni de débattre sur ce qui, pour finir, peut mériter le statut de « patrimoine ». À travers nos lectures (Babelon & Chastel, 2000 ; Heinich, 2009 ; Isnart, 2010 ; Poulot, 1993, 2006 ; Reynès, 2004 ; Stoessel-Ritz, 2004), nous pouvons tout de même faire émerger deux visions, qui ne sont pas contradictoires, mais complémentaires dans la perception de l'objet.

D'un côté, nous pouvons postuler que le patrimoine est partout, et que tout est susceptible de devenir patrimoine :

« La main de l'homme a une emprise quasiment omniprésente autour du globe terrestre. Cette même main de l'homme agit différemment selon l'endroit où elle se trouve et les conditions qui l'entourent. Peut-on dire par là que tout est patrimoine ? Assurément, avec des degrés de qualité différents » (Reynès, 2004).

D'un autre, que la qualité de patrimoine ne peut être intrinsèque à l'objet :

« Aucun objet n'est patrimonial par nature, on ne trouve pas d'objets patrimoniaux à l'état natif dans le monde social. Les objets que les hommes manipulent deviennent patrimoniaux par destination. Le patrimoine est le produit d'une action, que l'on nomme patrimonialisation, et qui s'effectue toujours dans une sorte d'arène sociale et politique particulière, en suivant des règles établies à des niveaux internationaux ou nationaux ou locaux » (Isnart, 2010).

Sans être en opposition totale, l'une défend le fait que le potentiel de patrimonialisation est intrinsèque à l'objet et que l'homme doit en quelque sorte la révéler ; l'autre qu'il n'y a pas de patrimoine sans une action humaine dont l'objectif sera de construire cette qualité.

Nous devons également préciser quel champ du patrimoine nous allons utiliser. En effet, le patrimoine est un terme polysémique qui revêt plusieurs définitions. Dans une définition donnée par un dictionnaire classique, il signifie à la fois :

« Bien qu'on tient par héritage de ses ascendants »,

« Ce qui est considéré comme un bien propre, une richesse »

« Ce qui est considéré comme l'héritage commun d'un groupe »,

« Ensemble des biens, droits et obligations ayant une valeur économique dont une personne peut être titulaire ou tenue »,

« Ensemble des éléments aliénables et transmissibles qui sont la propriété, à un moment donné, d'une personne, d'une famille, d'une entreprise ou d'une collectivité publique » (Larousse, 2015).

Outre la généralisation du patrimoine à la notion de propriété commune (Babelon & Chastel, 2000), le mot « héritage », entendu sous des sens différents, va conduire à l'émergence de deux courants de définitions. Ceux pour qui, comme L. Reynès, l'héritage tient de la transmission idéologique, et ceux pour qui il revêt plutôt une valeur économique. C'est d'ailleurs le cas de la définition proposée par B. Fayolle Lussac :

« Ainsi le Patrimoine atteste du statut d'appartenance d'un bien transmissible, quel qu'en soit le contenu notamment matériel. Dans l'opération légale de transmission, l'acheteur du patrimoine c'est l'héritier désigné qui se porte acquéreur rituellement des biens et de la famille » (Fayolle Lussac, 2004).

Même si ce spectre économique est toujours en arrière-plan, notre travail est plus en adéquation avec le point de vue sociologique qui présente le patrimoine comme un don pour les générations actuelles et futures, le vecteur d'un savoir-faire, d'une époque, d'un souvenir.

« Le patrimoine, c'est l'ensemble des principes et des valeurs spirituelles qui cimentent la vie en commun au sein d'un peuple et donnent un sens à sa vie quotidienne. [...] Le soin que chaque génération apporte à la conservation de l'équilibre et des ressources de son univers représente un héritage inestimable qui permettra à la génération suivante de mieux vivre [...] » (Desvallées & Lochot, 2000).

« Le patrimoine, au sens où on l'entend aujourd'hui dans le langage officiel et dans l'usage commun, est une notion toute récente, qui couvre de façon nécessairement vague tous les biens, tous les « trésors » du passé » (Babelon & Chastel, 2000).

« En matière de définition du patrimoine, l'idée la plus communément admise est que ce dernier assure une continuité entre ceux qui l'ont produit ou ceux qui en ont été les possesseurs – et nous, qui en sommes les héritiers puisqu'ils nous l'ont transmis. De là naîtrait la charge de le conserver, de le préserver, de le sauvegarder pour le transmettre à notre tour » (Davallon, 2006).

Bref historique du patrimoine

Les premières initiatives de transmission et de volonté de sauvegarde des connaissances remontent probablement au Moyen-Age, avec la préservation de certains objets

sacrés ou saints comme les reliques, et surtout de documents juridiques, de livres, d'archives (Di Gioia & Chaumier, 2008).

« Les problèmes juridiques que posent leur reconnaissance et le culte qui leur fut rendu correspondent parfaitement à la connotation, juridique elle aussi, du mot patrimoine » (Babelon & Chastel, 2000).

Généralement, les histoires du patrimoine remontent à la Révolution française, avec la prise de conscience de l'Etat de la nécessaire protection d'un patrimoine culturel commun (Babelon & Chastel, 2000; Choay, 2009). À cette époque naissent les premiers décrets visant à protéger les monuments, les biens de l'Église ou les objets d'art du « vandalisme révolutionnaire » observé (nous devons le terme à l'Abbé Grégoire, 1794), qui fait naître un sentiment de traumatisme de la mémoire collective (Poulot, 1993). C'est aussi la période où apparaissent les premiers musées (1795). À l'occasion de la démolition de la Bastille (1789) émerge le terme de « monument historique » ; l'inspection des monuments historiques verra le jour quelques années plus tard (Souiah, 2010).

L'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture, l'UNESCO, a vu le jour en 1945, toujours dans un contexte d'après-guerre. Elle construit un nouveau concept de patrimoine, qui se veut mondial, culturel et naturel.

« Nos patrimoines culturel et naturel sont deux sources irremplaçables de vie et d'inspiration. Des lieux aussi extraordinaires et divers que les étendues sauvages du parc national de Serengeti en Afrique orientale, les Pyramides d'Égypte, la Grande Barrière d'Australie et les cathédrales baroques d'Amérique latine constituent le patrimoine de notre monde.

Ce qui rend exceptionnel le concept de patrimoine mondial est son application universelle. Les sites du patrimoine mondial appartiennent à tous les peuples du monde, sans tenir compte du territoire sur lequel ils sont situés » (« UNESCO Centre du patrimoine mondial - notre patrimoine mondial », s. d.).

Depuis les années 1970, les listes d'inscription à l'UNESCO et les demandes de classement explosent. L'essor du tourisme de masse et la « crise des valeurs » de ces années influent directement sur l'expansion du terme de patrimoine. Le patrimoine, essentiellement artistique, architectural et naturel, devient militaire, industriel, documentaire, bibliographique, ethnologique, gastronomique, linguistique, immatériel, maritime, urbain.

Depuis 1972, est défini comme patrimoine culturel par l'UNESCO :

« les monuments : œuvres architecturales, de sculpture ou de peinture monumentales, éléments ou structures de caractère archéologique, inscriptions, grottes et groupes d'éléments, qui ont une valeur

universelle exceptionnelle du point de vue de l'histoire, de l'art ou de la science [...]» (UNESCO Centre du patrimoine mondial, 1972).

Aujourd'hui en France, une base législative permet de définir cette notion : le code du patrimoine (ministère de la Culture, 2016). Il s'agit d'un texte compilant des dispositions de droit français concernant le patrimoine et certains services culturels. Il se découpe en sept thématiques appelées « livres » portant chacun sur un domaine différent. Le livre I traite des dispositions communes à l'ensemble du patrimoine culturel (régime de circulation, droit de préemption, dépôt légal, institutions chargées du patrimoine). Les livres suivants sont destinés aux : Archives, Bibliothèques, Musées, Archéologie, Monuments historiques - sites et espaces protégés, Dispositions relatives à l'Outre-Mer. Le code du patrimoine en donne la définition suivante :

« Le patrimoine s'entend, au sens du présent code, de l'ensemble des biens, immobiliers ou mobiliers, relevant de la propriété publique ou privée, qui présentent un intérêt historique, artistique, archéologique, esthétique, scientifique ou technique » (Code du patrimoine - Article L.1, 2004).

1.1.2 La patrimonialisation

La patrimonialisation est une notion associée à la question du patrimoine, mais qui peut se traduire de différentes manières : comme une pratique ou comme un outil d'analyse. Là encore, il existe plusieurs manières d'aborder la question en fonction des disciplines : histoire, ethnologie, information-communication, etc. Nous présentons ici trois points de vue : celui du philosophe et historien Krzysztof Pomian, de l'historien spécialisé dans l'histoire du patrimoine Dominique Poulot et du muséologue Jean Davallon. Pour cela nous utilisons les travaux originaux des chercheurs (Davallon, 2006, 2009, Pomian, 1987a, 1987b, 1990, Poulot, 1993, 1998, 2001, 2006, 2010) mais aussi les thèses récentes sur le sujet qui proposent parfois une interprétation de ces mêmes travaux (Lavorel, 2014 ; Mariot-Leduc, 2008). Nous présenterons une dernière vision du patrimoine, plus empreinte des travaux de sociologie de différents auteurs (Amougou, 2004 ; Amougou, Billard, Briffaud, & Cougrand, 2011 ; Di Méo, 2007 ; Montlibert, 1989 ; Reynès, 2004), et qui présentent la patrimonialisation comme une dimension sociale et relationnelle.

1.1.2.1 La patrimonialisation comme une trajectoire et le générateur CW

« Le patrimoine est la réunion des objets visibles investis de signification (sémiophores) que se donne, à un moment donné, une société » (Pomian, 1987a).

Selon K. Pomian, philosophe et historien, le processus de patrimonialisation est le passage pour l'objet du circuit d'activités utilitaires ou économiques à celui où il devient porteur d'une autre signification, le circuit sémiotique.

« À propos du terme de «sémiophores», je me suis aperçu qu'il n'y avait pas de mot dans la langue française pour désigner à la fois des tableaux, des monnaies, des imprimés, des coquilles, etc., c'est-à-dire des objets porteurs de significations » (Pomian, 1987b).

L'homme a la capacité de donner une signification à un objet utilitaire même le plus modeste, par exemple une petite cuillère ayant appartenu à un personnage illustre. Il est aussi capable de fabriquer un objet uniquement pour sa signification et non pour son utilité : K. Pomian donne l'exemple d'une médaille commémorative, d'un tableau grand format destiné uniquement à un musée.

« Le choix d'objets qui entrent ainsi dans le patrimoine culturel tient à leur capacité de recevoir des significations, liée, principalement, à leur histoire antérieure, à leur rareté, à leur apparence externe » (Pomian, 1990).

La notion de rareté contribue également à la transformation en sémiophore, mais doit tout de même être nuancée:

« Un objet qui n'est pas rare est pratiquement insignifiant. Mais là aussi, les choses se compliquent parce qu'il peut exister des collections d'objets communs. Dans ce cas, un autre facteur intervient. Si vous voulez faire une collection de fourmis, par exemple, vous allez devoir les attraper, les préparer, etc., et ce n'est déjà plus si commun que ça ! » (Pomian, 1987b)

Selon K. Pomian, une autre étape du processus de patrimonialisation est importante : celui du passage au stade de « déchet ». Sophie Mariot-Leduc, le résume ainsi :

« Dans ce parcours, il est un moment crucial où ce qui aurait dû être une fin naturelle et banale devient le début d'une nouvelle vie fondée sur l'exemplarité : c'est le paradoxe du statut du « déchet », à la fois fin de parcours logique et inhérente à la matérialité d'objets usuels, et commencement

exceptionnel d'un nouveau mode d'existence lié aux valeurs immatérielles dont il est porteur » (Mariat-Leduc, 2008).

Le passage au stade de « déchet » nous permet de nous interroger sur la nécessité ou pas que l'objet atteigne ce stade avant d'être promulgué au rang de patrimoine. De la vision de cet auteur, nous retiendrons le principe de sémiotisation des objets (qu'il appelle initialement « chose »), ainsi que l'interrogation sur le statut de « déchet ».

Dans le cas d'étude qui est le nôtre, la vision de K. Pomian nous permet de questionner différents points en rapport avec l'accélérateur de particules Cockcroft-Walton. Aujourd'hui, une partie de cet accélérateur est bien engagé dans un processus de patrimonialisation, selon K. Pomian, dans le sens où il a déjà effectué le passage du statut de « chose » à celui de « déchet », en quittant le circuit d'activité utilitaire. Pour les membres du « groupe patrimoine » qui s'investissent dans le projet de valorisation et de restauration du générateur de haute tension de l'accélérateur, il est porteur d'une nouvelle signification. Mais ce constat nous amène à nous demander pourquoi il a été choisi. À cela, nous avons aujourd'hui deux catégories de réponses liées aux raisons de sa sélection : les raisons « éveillées » et les raisons factuelles. Si nous reprenons les points mentionnés par K. Pomian : le générateur Cockcroft-Walton est un témoin fort de l'histoire de la physique nucléaire locale lyonnaise, un objet rare aujourd'hui, et dont l'esthétique ne laisse pas indifférent. Il regroupe toutes les caractéristiques d'un objet pouvant appartenir au patrimoine culturel. Pour les raisons plus factuelles et peut-être dues au hasard, nous pensons au fait que la grande majorité des matériaux qui le composent ne sont pas recyclables. De la même manière, les parties du générateur de haute tension, sous cette forme, ne peuvent sans doute pas s'intégrer de manière séparée dans un autre système. Une diode de la haute tension ne peut pas être intégrée dans un autre circuit électrique, bien que beaucoup de circuits utilisent des diodes. L'évolution de la technique de fabrication des différents éléments, rend les éléments du générateur obsolètes. D'autre part, nous pouvons aussi soulever le fait que lors de son démontage, le générateur a été stocké en pièces détachées dans le bâtiment qui l'avait accueilli en premier : le bâtiment Haefely. Or, au cours des années qui ont suivi, la porte de sécurité en plomb et béton a été refaite, et une partie des éléments du générateur ne passent apparemment plus (les plus grosses sphères). Cet élément, raconté par les physiciens de l'IPNL, mais dont nous n'avons pas réellement vérifié les faits, montre que l'appareil est peut-être resté si longtemps démonté dans un coin « parce qu'il ne passait plus les portes ». D'un autre point de vue, si vraiment les

physiciens avaient voulu s'en débarrasser, ils auraient pu se séparer de l'ensemble des autres pièces qui passent encore largement, ou faire découper les gros éléments.

La formalisation que K. Pomian propose pour montrer les trajectoires fonctionnelles des objets du patrimoine culturel met surtout en avant les ruptures que nécessite le processus. Nous pouvons adapter cette représentation au cas de l'accélérateur CW (voir Figure 50):

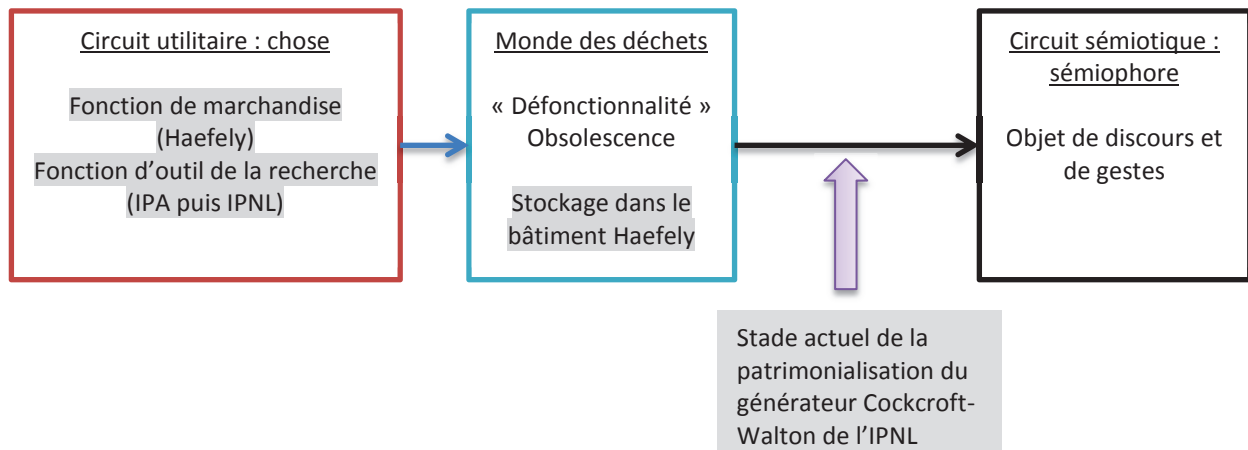


Figure 50 : représentation du processus de patrimonialisation selon K. Pomian, adapté au cas de l'accélérateur CW de l'IPNL. Source : (Pomian, 1990) et (Mariot-Leduc, 2008).

Cette représentation a l'avantage de montrer rapidement quelles sont les ruptures importantes dans la vie de l'objet (la rupture fonctionnelle) qu'induit le processus de patrimonialisation. La rupture entre le monde utilitaire et le monde des déchets, où l'objet perd une partie de ses fonctions et celle entre le monde des déchets et celui de sémiophore. Mais notre cas d'étude nous montre que l'objet ne perd peut-être pas la totalité de ses fonctions dans le passage d'un monde à l'autre. Aujourd'hui, la forte implication du représentant de la maison Haefely dans le processus de patrimonialisation de l'accélérateur de l'IPNL montre que l'objet continue à être une marchandise de la société productrice. C'est aussi la raison pour laquelle, dans le cartel⁷⁴ de beaucoup d'objets scientifiques, le nom du constructeur est l'un des premiers éléments donnés au visiteur. C'est aussi l'un des éléments incontournables de la description de l'objet, en musée notamment.

Si le principe de patrimonialisation selon K. Pomian s'articule essentiellement autour de la trajectoire de l'objet, celui présenté par D. Poulot se place plus largement dans la

⁷⁴ Un cartel est une plaque ou une étiquette, souvent placée à proximité immédiate de l'objet valorisé (tableau, monument, statue, ou objet de patrimoine). Il donne les éléments principaux qui permettent d'identifier l'œuvre présentée : nom, auteur, date, etc.

chronologie de l'histoire, l'accumulation de faits. Voyons comment elle peut permettre d'enrichir notre vision.

1.1.2.2 La patrimonialisation comme une généalogie et le générateur CW

« Dans son acceptation la plus générale, le patrimoine comprend deux aspects fondamentaux : l'assimilation du passé, qui est toujours transformation, métamorphose des traces et des restes, recréation anachronique, et le constat d'une fondamentale étrangeté des témoins de ce passé » (Poulot, 2001).

D. Poulot, professeur d'histoire et des civilisations, est une figure incontournable quand on s'interroge sur les questions du patrimoine. Sa vision de la patrimonialisation tient sur trois piliers : la vertu généalogique, l'utilité pédagogique et l'attribut d'identité. La construction de ces trois fonctions s'est faite de manière chronologique, en fonction d'évènements appartenant à l'histoire culturelle française. L'assimilation du passé qu'il tient comme élémentaire dans sa définition du patrimoine a donné naissance à la première fonction du patrimoine : la vertu généalogique. C'est l'acceptation de ce que nous ont laissé nos ancêtres, « l'expression traditionnelle de la transmission et de sa profondeur mémorielle » (Poulot, 2001). La deuxième fonction qu'il définit, l'utilité pédagogique, est née avec la Révolution française de 1789 et la destruction de biens matériels de l'ancien régime. Ces actes de « vandalisme » ont fait naître une conscience, celle de la conservation pour donner un exemple, qui consiste à garder un témoin de ce qui a été fait, qu'il soit exemplaire ou non, comme gardien d'une réalité. C'est le début de la sélection des objets et de la définition des critères de sélection, qui feront de la patrimonialisation (pour les professionnels) une pratique à part entière, avec une méthodologie précise.

« La transmission « à la postérité » sera le résultat d'initiatives déployées expressément en ce sens, et non le fruit du cours naturel des choses : l'idée d'une reconnaissance volontaire se substitue à celle d'un lien obligé » (Poulot, 1998)

La troisième fonction, celle de l'attribut d'une identité, permettra à plusieurs catégories d'objets d'être reconnus comme patrimoniaux, pourvu qu'ils contribuent à la généalogie d'un espace public, d'une société.

« Notre patrimoine doit contribuer à révéler à chacun son identité, grâce au miroir qu'il lui fournit de l'autre, l'autre d'un passé perdu et comme ensauvagé, l'autre de l'ailleurs ethnographique » (Poulot, 1998).

« Le patrimoine ne cesse pas en cela d'être le fruit d'un processus conscient de sélection, comme il l'a toujours été, mais il est fondé dans cette perspective sur des jugements particuliers. Monuments ou sites culturels, pour entrer dans le patrimoine, doivent être d'abord marqués d'un signe positif par des individus ou des groupes, car [...] il ne s'agit plus seulement de protéger des objets, mais aussi de permettre à une population d'intérioriser la richesse culturelle dont elle est dépositaire » (Poulot, 2010).

D'après cet auteur, la patrimonialisation est un acte à la fois politique, social et culturel, qui s'inscrit dans une temporalité. La sélection du patrimoine telle qu'elle se pratique aujourd'hui n'est pas celle que l'on pratiquait hier, mais elle est l'héritière de choix qui ont été faits par le passé. La patrimonialisation n'est plus seulement un fait de valorisation des richesses cléricales ou princières à des fins de jouissance personnelles d'un gouvernement, mais un acte réfléchi qui relève d'une conscience d'un avant et d'un après (Mariot-Leduc, 2008). Nous retiendrons de la vision de D. Poulot la notion de temporalité dans la construction patrimoniale. Chaque génération « d'héritier » enrichit le patrimoine de nouvelles visions, d'une nouvelle sphère empreinte des problématiques d'une époque, d'une société.

« L'accent mis aujourd'hui sur la conscience d'un rapport construit et actuel au patrimoine montre combien sa définition et ses contours de naguère étaient profondément liés à une société, à ses intérêts du moment, voire à ses modes » (Poulot, 2001).

Aujourd'hui, les physiciens de l'Institut de physique nucléaire de Lyon voient en ce générateur un héritage laissé par les anciens membres du laboratoire. Il témoigne en effet d'une assimilation et d'une reconnaissance du passé de l'institution. Mais cette acceptation comme témoin d'un passé commun est-elle valable en dehors du cercle de l'IPNL ? Si cet objet était remonté comme tel dans un autre lieu que l'Université, incarnerait-il la vertu généalogique nécessaire à sa patrimonialisation ? En revanche, s'il ne peut à lui seul faire perdurer sa valeur généalogique dans tous les milieux, il peut incarner un exemple type, dans la lignée du développement des accélérateurs de particules. Qu'en est-il de son utilité pédagogique ? Suivant la vision de D. Poulot, il nous semble que c'est pour cette fonction du patrimoine que l'on retrouve des accélérateurs de ce type dans quelques musées. C'est le cas, nous le verrons plus tard, quand on le présente presque systématiquement comme « un objet de la Big Science » étant en lien avec le développement de la bombe nucléaire et le projet

Manhattan. Mais l'accélérateur lyonnais n'a pas quant à lui joué de rôle dans les événements de la Seconde Guerre mondiale. Celui qui est exposé au musée des Confluences n'y a pas contribué non plus. Les vertus patrimoniales des objets décrites par D. Poulot sont-elles valables pour l'objet en particulier ou de manière plus large pour les objets de la même famille ? De notre point de vue, cette question est cruciale au sein du processus de patrimonialisation, et nous aurons l'occasion de l'aborder plus tard dans notre raisonnement. Nous garderons également de la vision de D. Poulot cette fonction pédagogique, qui a la particularité d'intégrer une nouvelle dimension dans le processus de patrimonialisation qu'est celle du destinataire, du visiteur.

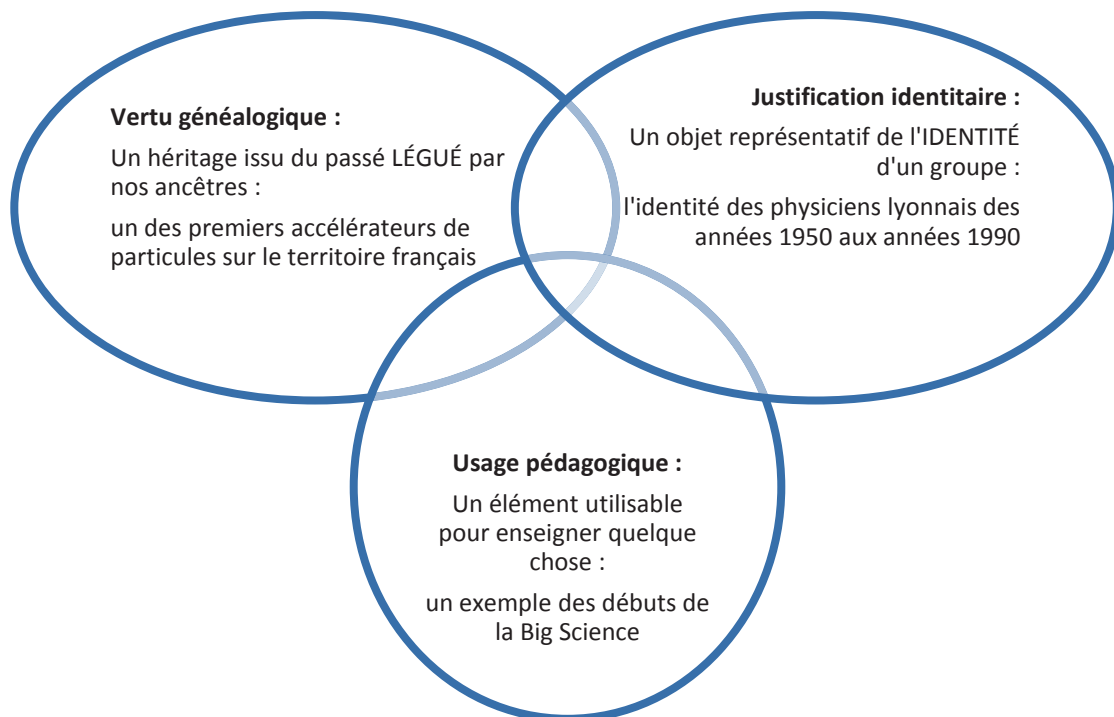


Figure 51 : Représentation graphique des critères auxquels doivent répondre les objets pour être susceptibles d'être reconnus comme des objets de patrimoine (matériels ou immatériels) selon la vision de D. Poulot et détails pour l'accélérateur CW de l'IPNL.

Le troisième point de vue que nous développerons est celui de J. Davallon, diffusé dans plusieurs articles et ouvrages, et qui utilise la patrimonialisation plutôt comme une catégorie de pensée nécessaire à l'approche du patrimoine, tout en s'appuyant sur une démarche d'archéologue.

1.1.2.3 La patrimonialisation comme un processus : de la construction symbolique à la transmission

À travers son approche caractérisée par d'autres auteurs comme « archéologique », J. Davallon s'interroge sur « la raison pour laquelle nous accordons de la valeur » à certains objets, et quelles sont les raisons qui font accéder un objet au statut de patrimoine. Nous retrouvons dans cette vision plusieurs points en commun avec les deux auteurs précédents : un intérêt pour la trajectoire de l'objet et l'importance de la société dans laquelle le patrimoine évolue. Il détaille notamment les 6 étapes qui constituent le processus patrimonial : la découverte de l'objet comme trouvaille, la certification de l'origine de l'objet, l'établissement de l'existence du monde d'origine, la représentation du monde d'origine par l'objet, la célébration de la trouvaille de l'objet par son exposition et l'obligation de transmettre aux générations futures. Nous allons dans les cinq paragraphes suivants décrire brièvement ces différentes étapes, les étapes deux et trois (la certification de l'origine de l'objet, l'établissement de l'existence du monde d'origine) étant regroupées sous un seul et même titre. En effet même s'il s'agit de deux points différents, ils se produisent mutuellement par les mêmes gestes et en référence l'un par rapport à l'autre.

- La découverte de l'objet comme trouvaille

Deux notions sont importantes dans cette première étape : celle de la découverte et celle de « la trouvaille ». J. Davallon emprunte le terme de « trouvaille » à Umberto Eco (Eco, 1993) pour manifester l'effet positif d'une découverte pour celui qui la met au jour, contrairement au terme de « déchet » utilisé par K. Pomian.

« La trouvaille a toujours une valeur positive : elle est signe de chance et apporte de ce fait bonheur ou satisfaction » (Davallon, 2006).

La « trouvaille » ne veut pas pour autant dire que l'objet était oublié ou qu'on ignorait son existence : c'est plus une disparition symbolique. Pour l'expliquer, J. Davallon pointe les similitudes entre les transmissions des patrimoines familiaux et des patrimoines culturels : cette obligation de garder qui s'impose lorsqu'il s'agit d'une photo des arrière-grands-parents, ou du service à thé ébréché de la grand-mère. Lorsqu'on est l'héritier de tels « vestiges », on se sent investi d'une mission pour les générations familiales à venir, qui est un exemple de la « logique de la trouvaille » au fondement du patrimoine selon J. Davallon.

Les objets qui existaient pour leur valeur d'usage, qui semblaient sans intérêt, prennent soudain une valeur inestimable pour celui qui le regarde aujourd'hui avec un autre œil (Davallon, 2009). Le terme « découverte » est utilisé pour attribuer une valeur symbolique permettant la « reconnaissance » de l'héritage, la mise en lumière, la révélation. C'est un peu l'instant de la révélation.

« Ce qui est important est qu'il possède une valeur suffisante pour qu'on lui prête intérêt et qu'on le regarde comme un objet à conserver » (Davallon, 2006) .

En ce sens, les restes de l'accélérateur sont les représentants d'un monde en train de disparaître, celui des débuts de la physique des particules à Lyon. Les personnes qui ont utilisé ce premier appareil, tant convoité à l'époque de son achat, sont retraitées depuis 30 ou 40 ans et les témoignages oraux deviennent très rares. Il incarne le dernier lien matériel et réel avec des personnes dont nous pourrions nous sentir les héritiers.

L'étape de la découverte, nous avons réellement la sensation de l'avoir vécue lors de notre première visite en mars 2013 (voir Figure 52). Le bâtiment Haefely héberge aujourd'hui un accélérateur en fonctionnement d'un autre type. Pour rentrer en dehors des périodes de manipulation, il faut venir tôt le matin, avant que les physiciens ne lancent leurs expériences. Cette petite difficulté d'accès l'a rendu encore un peu plus mystérieux et moins abordable, nous donnant cette réelle sensation de « découverte » décrite par J. Davallon. Avoir l'opportunité de entrer dans ce bâtiment sécurisé, passer la grosse porte de plomb et de béton, monter à l'intérieur du « diamant noir » tant décrit par les journaux, et découvrir, sous quelques couches de poussières, l'objet. Les sphères ont été empilées les unes sur les autres, les porcelaines dépassent d'une caisse en bois, un triangle est posé contre le mur... le générateur est là, en morceaux, disloqué, recouvert « d'une patine d'émotion » (Gellereau, 2012), attendant qu'on s'occupe de lui et qu'on l'aide à dépasser ce stage de déchet (pour reprendre le terme de K. Pomian), qu'on le découvre.



Figure 52 : Les restes de l'accélérateur de particules Cockcroft-Walton stockés dans le bâtiment Haefely de l'Institut de Physique Nucléaire de Lyon en 2013. Cette photographie illustre la première étape du processus de patrimonialisation de J. Davallon, la découverte de l'objet comme trouvaille. Crédits photographiques : Séverine Derolez.

Cette première étape du processus montre l'importance de l'objet en lui-même et du nouveau regard qui est posé sur cet héritage. Cette étape de découverte produit généralement un certain nombre de récits⁷⁵. Il est alors aussi intéressant de souligner que les récits de cette découverte intègrent en eux-mêmes le processus de patrimonialisation.

« Si dans de nombreux cas la valeur patrimoniale vient de l'intérêt historique ou technique [...] dans de nombreux autres, la valeur patrimoniale est liée à l'histoire du don ou de la vie de l'objet [...] »
(Gellereau, 2012)

- La certification de l'origine de l'objet et l'établissement de l'existence du monde d'origine

Mais « la trouvaille » ne devient pas un témoin du passé sans une connaissance minimum de ses caractéristiques et de son monde d'origine, sans une attestation de son authenticité.

« Il est indispensable d'établir son origine, c'est-à-dire de certifier qu'il vient bien du monde duquel il semble venir, et d'établir l'existence de ce monde d'origine » (Davallon, 2006)

⁷⁵ Nous aborderons dans le chapitre suivant (chapitre trois) de manière plus précise ce que nous entendons quand nous utilisons le terme de *Récit*, en faisant essentiellement référence aux travaux de Paul Ricœur. La définition donnée par Ricœur nous permet cependant de définir un autre terme qui est celui de *la mise en intrigue* du récit. Ricœur définit le récit de manière assez large en englobant, tout acte de parole ou d'écriture opérant une forme de configuration temporelle (un acte de narrativisation de l'expérience temporelle vive du sujet), conçu comme un acte de synthèse des événements (mimesis) et du temps et se fait par le biais de la mise en intrigue. En ce sens, les textes du musée peuvent être éligibles à la définition du *récit* selon l'auteur.

Il est donc nécessaire de certifier que « l'objet-trouvaille » provient d'un *monde* (monde d'origine de l'objet), et en même temps, utiliser cet « objet-trouvaille » pour décrire ce *monde*, revient à le redéfinir. Pour montrer toute l'ambivalence de cette action, J. Davallon utilise le terme de « gestes ». En théorie, la découverte de l'accélérateur démonté dans un bâtiment ne suffirait pas pour lui reconnaître immédiatement valeur de patrimoine. Il faut que l'on puisse attester de son origine et sa réelle appartenance au monde duquel il semble venir. Mais dans le cas du patrimoine contemporain, il y a moins de doutes quant à la certification du monde d'origine, car il persiste (du moins dans notre cas) un certain nombre de preuves tangibles : facturation de la société de fabrication, bon de commande de l'Institut de physique atomique, articles scientifiques, numéro de série retrouvé dans les archives (voir Figure 53), etc. Il y a peu de risques que dans un laboratoire de physique on puisse retrouver une copie non fonctionnelle d'un accélérateur. En revanche, la recherche des récits qui permettent de documenter l'objet pour l'interpréter ou le comprendre est aussi fastidieuse que pour un objet ancien ou plus classique. Nous avons ici effectué un véritable travail de recherche en interrogeant les quelques utilisateurs encore vivants de l'objet, consultant les archives de l'institut, contactant l'entreprise de fabrication, la caserne militaire, les recherches d'objets semblables, etc. Si cette recherche ne servait pas directement à authentifier le monde d'origine de l'objet, elle a servi à reconstituer l'objet symboliquement, dans ses différents contextes de représentations, d'utilisations. En ce sens, ces recherches contribuent à détailler le monde d'origine de l'objet, et participe à la description du monde des débuts de la physique nucléaire, dans un contexte local et général.



Figure 53 : Documents attestant de l'appartenance des restes de l'accélérateur au monde des débuts de la physique nucléaire, avec l'entête de la facture des améliorations de 1962, extrait des archives de la société Haefely (1954) et une photographie du numéro de série du transformateur (2014). Sources : archive Haefely et IPNL

Ces deux étapes incarnent la nécessité de la démarche scientifique qui authentifie l'objet et le monde auquel il appartenait, à travers l'établissement d'un certain nombre de critères à la fois institutionnels et scientifiques. Cela pourrait se représenter comme une mise en superposition de l'image de l'accélérateur actuel, avec une image de l'accélérateur lors de ses premières années de fonctionnement au fort de la Vitriolerie, à Lyon (voir Figure 54).

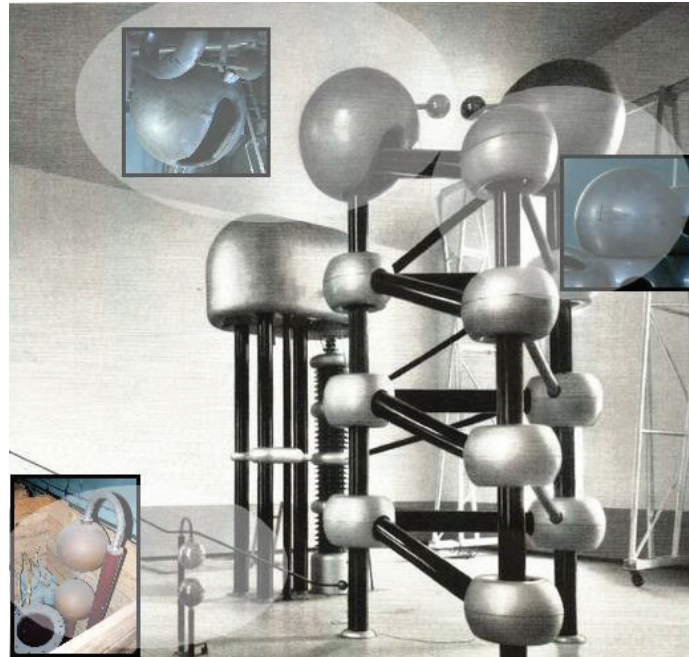


Figure 54 : Représentation de l'étape de la certification de l'origine de l'objet à partir d'un montage intégrant une photo de la partie supérieure de l'accélérateur au fort de la Vitriolerie (1949-1954), et des photos du moment de sa découverte (2013). Crédits photographiques : Séverine Derolez

- *La représentation du monde d'origine par l'objet*

« L'erreur la plus communément faite à propos du patrimoine est de croire que le passé représenté par l'objet se limite à des faits historiques. Si l'objet nous touche, c'est parce qu'il nous relie à un monde d'origine qui est un monde social : le monde des hommes qui l'ont produit, utilisé, modifié, embelli ; voire au contraire saccagé ou détruit » (Davallon, 2006).

L'objet lui-même est encore au cœur de ce geste, puisqu'étant admis comme représentant du *monde* (monde d'origine de l'objet), il en devient le témoin, le signe. C'est lui qui va nous donner la vision de son monde, être le représentant présent de son monde appartenant au passé. Cette représentation sociale de l'objet lui donne une valeur toute particulière et est d'une grande importance dans le processus de patrimonialisation. J. Davallon prend l'exemple de l'émotion que génère la visite d'une grotte avec des peintures

rupestres, et la visite de Lascaux II qui est une reproduction de la grotte originelle. Cette même différence peut se manifester devant un célèbre tableau. L'émotion ressentie ne sera pas la même devant une toile de maître originale que devant une reproduction de celle-ci.

Dans notre exemple, c'est comme si, une fois persuadés que l'accélérateur que nous regardons est un réel représentant du monde des débuts de la physique nucléaire auquel il appartient, nous pouvons baisser notre vigilance et nous laisser envahir par d'autres sentiments. Nous l'acceptons comme réel témoin de ce monde dont il vient compléter le paysage et la représentation.

- *La célébration de la trouvaille de l'objet par son exposition*

Quand l'objet passe du statut de « trouvaille » à celui d'objet du patrimoine, il devient le témoin de son monde d'origine. L'observateur de ce témoin se trouve alors en lien avec ce passé révolu, cet ailleurs qui est donné accessible grâce au lien qu'établit l'objet avec son monde. Dans ce second temps, l'objet est tout aussi important que le pont temporel qu'il offre à l'observateur. Cette fonction de représentation projette l'objet dans un rôle de médiation, dont le lieu d'expressivité est l'exposition. Cette étape est selon nous l'élément majeur de la vision de J. Davallon, qui intègre l'exposition et le regard du visiteur comme un élément du processus de patrimonialisation. Obtenir l'étiquette « patrimoine » ne signifie donc pas l'aboutissement du processus de patrimonialisation. Au fond, visiter, c'est pour chacun de nous répéter les diverses opérations par lequel l'objet est devenu patrimoine. La visite est assimilée à la célébration de la découverte de l'objet, et célébrer le lien qui nous unit avec les autres hommes : ceux qui ont inventé l'accélérateur, ceux qui l'ont fabriqué, ceux qui se sont battus pour l'avoir à Lyon, ceux qui ont fait leur carrière avec, etc. Grâce au lien de parenté avec le générateur, nous pouvons « toucher des yeux, comprendre, et être émus » par ce passé scientifique qui nous appartient à tous (Davallon, 2009).

La célébration de l'objet, avant son exposition au public, est aussi selon nous le moment de son entrée en collection. Le moment où le collectionneur, conservateur ou amateur, va en quelque sorte statuer sur le sort de l'objet. Pour le cas des collections musées de France par exemple, il y a des commissions organisées par la direction régionale des affaires culturelles régionales (DRAC). Le service des musées de la DRAC assure un contrôle scientifique et

technique des projets d'acquisition et de restauration⁷⁶. Mais que ce soit dans cette commission ou dans une autre instance, le moment de l'entrée « en collection » d'un objet produit un certain nombre de récits intégrant directement le processus de patrimonialisation de l'objet.

« Les récits recueillis lors de l'entrée de l'objet dans la collection ou au musée sont fondamentaux dans l'établissement de sa valeur mémorielle, patrimoniale, symbolique et parfois commerciale car ils en dévoilent les usages multiples, ainsi que les continuités ou ruptures de leur célébrations. »

(Gellereau, 2012)

Bien que le générateur de haute tension de l'IPNL ne soit pas encore arrivé à ce stade de la patrimonialisation, puisqu'il n'est pas encore remonté et accessible au public, nous pouvons représenter cette étape de la manière suivante (Figure 55):

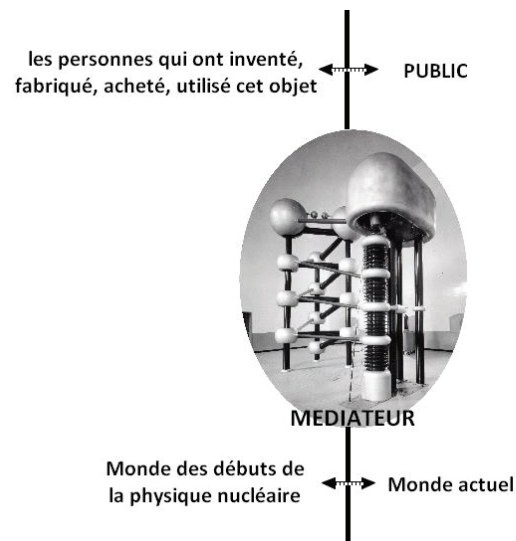


Figure 55 : Représentation graphique de l'accélérateur de particules Cockcroft-Walton de l'IPNL comme médiateur entre ses futurs visiteurs et le monde des débuts de la physique nucléaire.

Pour la suite de notre étude nous avons cependant besoin de discuter ce terme et de lui donner une portée plus large. Toutes les actions humaines en lien avec la « célébration » telle que définie par Davallon, sont conscientes et s'intègrent dans une démarche. A cela nous souhaiterions ajouter une dimension plus subjective, qui permettrait de considérer les lieux, les moments, où l'objet est donné à voir un peu malgré lui. Nous utiliserons le terme de

⁷⁶ Cela signifie que chaque projet de restauration ou proposition d'acquisition, à titre onéreux ou gratuit est nécessairement présenté devant la commission scientifique régionale des musées de France instituée par la loi du 4 janvier 2002 (Code du patrimoine, Livre IV). Un musée peut donc sélectionner un objet mais qui sera refusé par la commission. La DRAC est un service du ministère de la culture et de la communication. Cela représente ici l'importance de l'acteur « politique » dans la patrimonialisation des objets.

valorisation pour refléter à la fois ce qui relève de la célébration (mise en exposition, entrée en collection, médiation, etc.) et d'une visibilité plus large (utilisation de son image, objet détourné, etc.)

- *L'obligation de transmettre aux générations futures*

Cette dernière étape du processus de patrimonialisation se manifeste par la nécessité de conserver ces objets et d'instaurer une continuité temporelle et sociale à travers lui.

« Même si le fait de les posséder nous donne un plaisir et un pouvoir symbolique indéniable, nous n'en serions pas les propriétaires, mais les dépositaires. Et nous aurions à ce titre, la charge de les transmettre à ceux qui viendront après nous » (Davallon, 2006).

Aujourd'hui, la découverte de la dernière partie de l'accélérateur a fait de notre génération, et plus largement de notre culture, les bénéficiaires de cet objet. Lorsque chaque visiteur pourra célébrer à son tour la découverte de l'objet, la visite (pour garder le vocabulaire de J. Davallon) fera d'eux les nouveaux bénéficiaires, les nouveaux responsables.

« La valeur de ces objets appartient à cette humanité qui a inspiré leur création à ceux qui les ont faits. Cette valeur nous dépasse donc, comme elle dépassait d'ailleurs leurs créateurs eux-mêmes. La conséquence en est que nous ne pouvons disposer de ces objets à notre guise » (Davallon, 2009).

La possession d'un objet donne à son propriétaire un pouvoir sur l'objet, mais ne fait pas de lui le propriétaire. C'est le propriétaire du moment, le dépositaire. Il doit donc être conscient de son devoir de laisser l'objet, plus persistant que lui sur cette terre, aux autres, aux suivants. Cette étape soulève pour nous la question des choix de restaurations qui peuvent être faits pour un objet, et le devoir de faire en sorte que l'objet persiste, sans que l'action humaine réduise son « temps de vie ». Pour la cascade de l'accélérateur qui nous intéresse, cette question se pose en même temps que celle de l'exposition. Notre cas d'étude nous montre qu'une célébration avec le public doit être faite de manière durable et réfléchie, pour ne pas déroger à l'obligation de transmettre l'objet par la suite. Par exemple, nous pourrions remonter l'objet sans le protéger des intempéries. Dans ce cas il serait effectivement célébré, mais pendant combien de temps ? Nous en voyons les effets sur les autres objets de ce type qui sont victimes de corrosion, de noircissement, de désajustement des pièces, etc., alors qu'ils ne sont exposés au public que depuis 40 ans au maximum. Dans quel état se retrouveront ces objets dans le temps ? Peut-on avoir une conception de patrimoine « jetable » ? Si nous remontions l'accélérateur sur le campus de Lyon sans traitement

particulier, sans abri et qu'il subisse de grosses dégradations, il est possible que dans 200 ans, les physiciens de l'Université soient amenés à décider de le jeter « pour de bon ». Dans ce cas, l'objet était-il réellement patrimonialisé ? Ces questions montrent la nécessité de chacune des étapes décrites dans le processus de patrimonialisation dans lequel est engagé notre objet.

La patrimonialisation selon J. Davallon résulte d'un processus qui convoque un objet, des acteurs, une mise en valeur et un public. C'est en quelque sorte entrer dans une logique de conservation, de valorisation et d'exposition. Il intègre aussi un certain nombre d'aller-retour entre le présent et le passé, le monde actuel et le monde d'origine de l'objet. La représentation de l'ensemble des données du processus devient très complexe. Pour le cas du générateur de haute tension Cockcroft-Walton de l'IPNL, nous pouvons essayer de le placer schématiquement dans ce processus maintenant détaillé (voir Figure 56). Les éléments colorés sont issus d'un schéma présenté par J. Davallon lors d'une communication à Louvain en 2014. Les éléments en noir sont ceux qui ne sont pas encore réalisés pour le Cockcroft-Walton, et en gris ce qui le concerne.

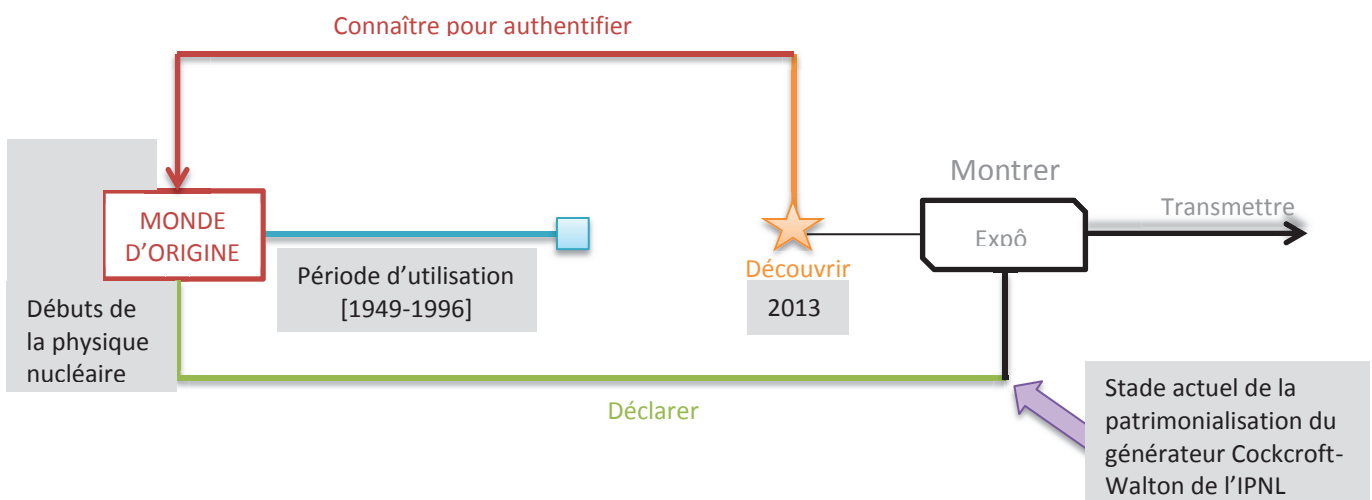


Figure 56 : Schématisation des éléments du générateur Cockcroft-Walton de l'IPNL, dans le processus de patrimonialisation défini par J. Davallon. Interprétation de la source : (Davallon, 2014).

1.1.2.4 La patrimonialisation comme une dimension sociale et relationnelle

« La patrimonialisation pourrait ainsi s'interpréter comme un processus social par lequel les agents sociaux (ou les acteurs si l'on préfère) légitimes entendent, par leurs actions réciproques, c'est-à-dire interdépendantes, conférer à un objet, à un espace (architectural, urbanistique ou paysager) ou à une pratique sociale (langue, rite, mythe, etc.) un ensemble de propriétés ou de « valeurs » reconnues et partagées d'abord par les agents légitimés et ensuite transmises à l'ensemble des individus au travers des mécanismes d'institutionnalisation, individuels ou collectifs nécessaires à leur préservation, c'est-à-dire à leur légitimation durable dans une configuration sociale spécifique. Ainsi admis, la patrimonialisation assure non seulement la légitimation des objets, mais également celle des catégories sociales qui sont au principe de sa définition et de sa diffusion dont les modes d'emprise sociale permettent le renforcement et la reproduction des positions sociales et de domination de ces catégories » (Amougou, 2004).

Un objet est donc désigné comme patrimonial s'il peut devenir un objet de partage pour une certaine communauté. La conscience patrimoniale naît souvent d'une mobilisation collective : d'un regroupement familial, d'un voisinage, d'une association, de collègues au sein d'une entreprise ou d'un atelier, etc. Tous réunis autour d'une série de conditions propres à chaque cas : ressemblance des conditions économiques, proximité des styles de vie, partage de références communes, adhésion aux mêmes schèmes de pensée, etc. (Montlibert, 1989).

« La force d'un mouvement collectif est d'autant plus intense que les membres du groupe [...] se croient liés les uns aux autres et savent faire croire à leur détermination » (Montlibert, 1989).

« Toute intervention humaine à un moment donné sert de repère à une génération future. Des constructions jugées inintéressantes aujourd'hui peuvent se révéler d'une grande valeur dans un, deux ou vingt siècles » (Reynès, 2004).

Selon cette vision, le patrimoine ne peut exister exclusivement que par la reconnaissance d'une société. L'institutionnalisation du patrimoine ne fonctionnera que par l'adhésion d'un public, pour qui ce patrimoine fera sens.

« Cet objet reconnu à la fois comme témoin du passé et comme porteur de valeurs communes et actuelles au sein d'un espace social pose ici toute son ambiguïté et sa force. À la fois lien entre des temps et des individus différents, doté d'un pouvoir symbolique et idéologique certain, le patrimoine est également le lieu de revendications identitaires et de conflits sociaux » (Lavorel, 2014).

Le concept patrimonial devient ainsi un outil d'utilité sociale à la fois politique, idéologique et facteur de cohésion sociale et territoriale (Di Méo, 2007).

Ce qui porte plus à constater qu'à l'évidence, les hommes d'aujourd'hui créent le patrimoine de demain. Et que chaque homme d'aujourd'hui portant de l'intérêt à un objet en fait potentiellement un patrimoine pour demain. Nous l'avons par exemple vécu lors d'une visite dans un laboratoire de chimie à propos d'une cuve de chromatographie développée dans les années 70. L'objet avait été conservé sur une étagère, dans un bureau du laboratoire de chimie. Le développement de cette cuve était au cœur de la thèse de la personne qui l'a conservé. C'était pour elle un souvenir de cette époque et du début de ses travaux de recherche. L'intérêt que nous lui avons témoigné lors d'un référencement pour la mission PATSTEC lui vaut aujourd'hui d'être conservée dans une caisse qui la protège, avec l'ensemble des ustensiles et documents liés à son utilisation. Alors que lors d'une première rencontre le laboratoire voulait « s'en débarrasser si elle m'intéressait », il a conscience aujourd'hui que la garder dans ses locaux peut être une richesse pour ses futurs étudiants.

« Le patrimoine est donc un concept vivant organisé par la vie qui n'est que du mouvement » (Reynès, 2004).

Si cette vision se rapproche du caractère « identitaire » de la définition du patrimoine de D. Poulot, il place le processus de patrimonialisation comme une transition entre deux actions sociales (voir Figure 57). La première est celle de la reconnaissance par une société, de l'attribution de valeurs qui pourront être partagées. La seconde action est celle de la transmission de l'objet porteur de valeur (du sémiophore de K. Pomian) à l'ensemble des individus (la société au sens large) par le biais de l'institutionnalisation du patrimoine, c'est-à-dire le transfert de l'intérêt local éprouvé par une communauté spécifique (celui des premiers acteurs sociaux légitimes) à celui plus large leur permettant une légitimité durable. De ce point de vue, l'accélérateur CW de l'IPNL est au cœur de la première action du processus. Toute la difficulté, pour rendre cette démarche pérenne, réside dans le fait d'arriver à faire reconnaître à d'autres acteurs la valeur de cet objet pour différentes strates de communautés : la communauté des physiciens de l'IPNL, celle des étudiants de l'université Lyon 1, celle de la ville de Lyon, celle de la Région, etc. Cette reconnaissance sera même nécessaire en amont du remontage, puisque le laboratoire seul ne pourra pas financer la restauration, les traitements préventifs, la location du matériel spécifique pour le remontage, la préparation de l'emplacement à l'accueil de l'objet. Une démarche de mécénat intervient-elle avant l'institutionnalisation ou en fait-elle partie ?

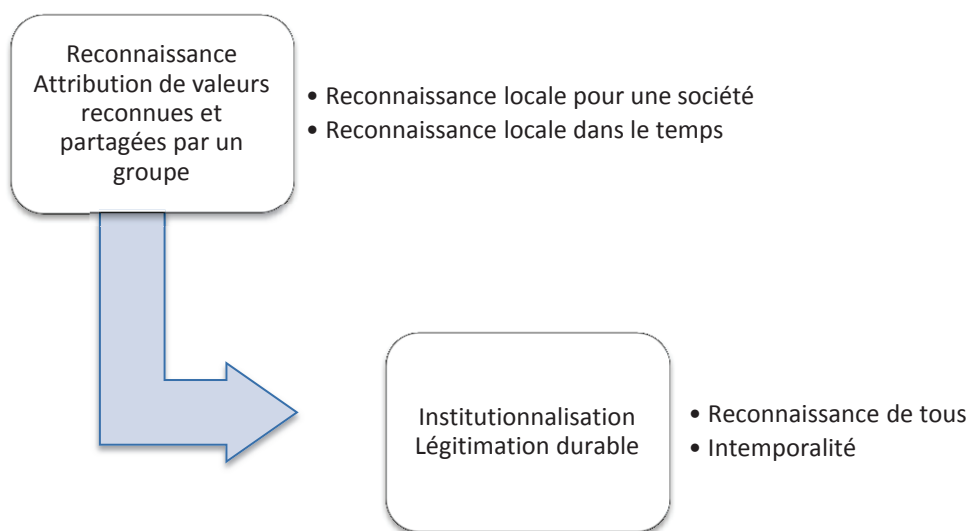


Figure 57 : Représentation simplifiée du processus de patrimonialisation d'après notre interprétation des travaux d'E. Amougou.

Ces quatre systèmes de représentation du patrimoine nous montrent que le patrimoine tel que nous le définissons est le fruit d'un processus lent et progressif, qui s'est construit avec les avancées sociales et économiques de nos sociétés. Mais l'histoire de la patrimonialisation se poursuit au XXI^e siècle et entre aujourd'hui dans une nouvelle phase :

« Le ressort intime du patrimoine semble tenir aujourd'hui à l'impératif de précaution, comme anticipation des risques de disparition, de perte. Aux modèles curatifs (jusqu'au XVIII^e siècle la restauration complète, parfois inventive, de l'œuvre s'impose) puis de protection (tel que le XIX^e siècle le régleme), succède celui de l'anticipation » (Poulot, 1997).

Avant de voir comment la patrimonialisation peut être envisagée comme n'étant ni une reconstruction de l'ancien ni une simple conservation, nous vous proposons de nous familiariser avec l'objet contemporain et de voir comment nous pouvons le saisir pour l'intégrer dans ce questionnement.

1.1.3 Comment saisir l'objet (scientifique) contemporain

Aujourd'hui en fonction des disciplines d'origines, le terme de « contemporain » ne signifie pas la même chose. Le dictionnaire en donne la définition suivante : « de la même époque, de la même période, de l'époque actuelle, du temps présent ». Le terme

« scientifique » dans le titre est mis entre parenthèses pour signifier que nous faisons sans cesse le pont entre des considérations générales, empruntées à d'autres disciplines, et le cas des objets de la science. Pour les historiens, l'époque contemporaine commence en 1789 et se poursuit jusqu'à nos jours ; dans le domaine de l'art, cette période désigne de façon générale l'ensemble des œuvres produites depuis 1945 à nos jours. Dans la sphère du patrimoine scientifique, le "contemporain" est entendu comme la période s'étendant de 1950 à nos jours. Sans avoir trouvé de réelle justification, nous remarquons qu'il y a une coïncidence entre cette délimitation et l'apparition de nouveaux matériaux de construction. Le bois, le laiton, le verre sont remplacés par la bakélite, l'aluminium, le plastique, etc. Ces nouveaux matériaux engendrent de nouvelles techniques de conservation, de nouveaux repères esthétiques. Cette spécificité a d'ailleurs donné naissance à un nouveau courant de conservation-restauration, dans lequel les travaux de Philippe Tomsin (2007, 2015) font référence.

« Ce patrimoine présente une particularité : l'objet a une fonction et un fonctionnement qu'il est souvent très important de conserver pour l'histoire des techniques. Une fois l'objet au musée, il est difficile de réaliser cette exigence pour des raisons :

- de conservation stricte des matériaux,*
- de difficultés de transmission des savoirs et savoir-faire et*
- des coûts importants de l'entretien du fonctionnement en moyens humains et financiers.*

Le conservateur restaurateur peut être amené à travailler sur ces objets au sein d'équipes pluridisciplinaires avec des ingénieurs, des mécaniciens, d'anciens ouvriers, des historiens des techniques, des collectionneurs passionnés... » (Tomsin, 2015)

En France, en 2015, la FFCR (Fédération française des Professionnels de la conservation-restauration) ne compte que 5 professionnels du patrimoine scientifique technique et industriel, formés par l'Institut National du Patrimoine, l'École supérieure d'art d'Avignon, l'Université Paris 1 ou l'École des Beaux-Arts (pour ne citer que les exemples français⁷⁷). Riche de ces quelques particularités, regardons maintenant ce que les historiens contemporains nous apprennent.

⁷⁷ En Belgique, l'École nationale supérieure des arts visuels, dite « La Cambre », à Bruxelles, délivre un diplôme de conservation préventive. En Suisse, à Neuchâtel, la Haute École Arc conservation-restauration délivre un diplôme de Master Arts HES-SO en conservation-restauration.

1.1.3.1 Une histoire de l'objet qui s'écrit dans « le temps présent » (Jean François Soulet)

Lors des journées professionnelles de la FEMS⁷⁸ (organisées à Bayonne en 2013), Jean-François Soulet, professeur émérite d'histoire contemporaine, présentait aux conservateurs et acteurs d'écomusées et musées de société, une conception de l'histoire immédiate, c'est-à-dire une histoire où la distance entre l'historien et l'objet est réduite. Le parallèle se fait rapidement entre cet historien et l'acteur de patrimoine face à son objet contemporain. Les différences majeures tiennent en deux points : le rapport au temps et la nature des sources.

- Un rapport au temps différent

Comme l'historien du temps présent⁷⁹, le conservateur de l'objet contemporain, bafoue un vieux précepte historiographique qu'est celui de la nécessité du « recul du temps ». Si les historiens du XIX^e siècle ne concevaient pas que l'on puisse pratiquer une étude sérieuse, sans un fossé de plusieurs siècles avec son objet d'étude, l'historien du temps présent s'en affranchit volontiers. Cette distance n'est cependant pas totalement supprimée. L'historien du temps présent n'est pas un historien du simultané, sans quoi il deviendrait un journaliste. Si l'histoire classique pratique un recul de plusieurs centaines d'années, l'historien du présent peut n'en admettre que dix. Il n'a pas à s'affranchir de toute sa contemporanéité, à oublier son temps et à s'immerger dans un temps qui n'est pas le sien (Soulet, 2012). Et en effet, serions-nous vraiment plus précis en parlant des événements ou des choses les plus éloignées chronologiquement de nous ? Comme le présentait Jean-François Soulet avec humour, « parle-t-on mieux de la préhistoire que de la Renaissance sous prétexte que c'est plus vieux » ?

L'historien du temps présent et le conservateur du patrimoine contemporain sont en quelque sorte des aventuriers de l'histoire. Il faut oser s'affranchir du temps qui rassure, et qui donne l'impression que son objet d'étude ne va pas trop se mouvoir, ne sera pas trop contrarié. L'objet actuel est à saisir dans sa complexité, dans son mouvement, dans sa richesse. Il faut oser se confronter à cet objet, à cette étude. Ce n'est pas la distance chronologique qui est importante, c'est la distance méthodologique qui l'est. La limite d'une

⁷⁸ FEMS : Fédération des écomusées et musées de société

⁷⁹ Le terme « historien du temps présent » est une expression utilisée dans le langage scientifique. Elle est apparue en France à la fin du XX^e siècle avec la création de l'Institut du temps présent à Paris (Laboratoire CNRS / Centre National de la Recherche Scientifique) en 1978.

telle démarche est de savoir rester vigilant et de ne pas assimiler son propre univers à celui de l'objet de son étude. L'impartialité et l'objectivité à avoir vis-à-vis de son objet sont les mêmes.

Dans toute étude historique, les sources sont un élément majeur pour le travail du chercheur. Une particularité essentielle de l'histoire du temps présent et de l'étude de l'objet contemporain réside dans la nature et l'accessibilité de ces sources.

- Des sources différentes

Comme l'explique Thierry Bonnot,

« Un objet ne prend un sens que dans un contexte humain. Une machine, une installation ne garde sa signification que si elle peut rendre compte d'un fait social total et servir la conservation d'une culture technique sous tous ses aspects, c'est-à-dire la matérialité des objets, mais aussi les éléments immatériels qu'ils contiennent : les gestes, les savoir-faire, les rapports sociaux » (Bonnot, 2002).

Cette vision coïncide avec l'un des points phares de l'histoire du temps présent : l'homme comme source principale.

« C'est une séquence historique délimitée par la présence d'acteurs vivants, donc porteurs d'une mémoire, de souvenirs, d'un témoignage qui peut aider à la connaissance du passé » (Rouso, 2015).

De manière très générale, l'historien dessine son objet d'étude à travers deux ressources : les témoignages oraux et les sources écrites. Il nous permet de les identifier sous trois formes : des informations, des témoignages et des représentations. Si méthodologiquement, l'approche des sources est la même pour l'objet ancien ou contemporain, des particularités se retrouvent dans la nature et le volume. La première distinction notoire est certainement la quantité : documents écrits, imprimés, sources iconographiques, audiovisuelles, etc. L'étude d'un fait récent offre une multiplicité des ressources. Un travail de tri et de sélection peut s'imposer devant la masse de documents.

« Incontestablement, la maîtrise de cette énorme documentation constitue l'un des principaux défis de l'historien » (Soulet, 2012).

Si l'étendue des sources se remarque, la variété de celles-ci en est la seconde particularité. Excepté pour l'Antiquité, la documentation des autres périodes de l'histoire repose essentiellement sur l'écrit. Or aujourd'hui, le son et l'image sont des moyens de transmission de plus en plus répandus et nécessitant un traitement et une exploitation propres. La troisième singularité nous porte à regarder en direction de l'émetteur de la source : si pour

les périodes plus anciennes, l'information émane essentiellement de la société « officielle », il faut désormais compter sur l'abondance des documents provenant des constituants et relais de la société civile. Cette tendance est aussi appuyée par le fait que la législation définit des délais pour l'accessibilité à certaines archives publiques (actes de naissance, actes notariés, dossier médical, dossier judiciaires etc.). À l'inverse, on voit se développer un nuage de blog, sondages, sites, journaux, revues, réseaux sociaux qui enrichissent la vision que peut avoir l'historien, des opinions, représentations et mémoires de cette société actuelle.

Nous pouvons essayer de dresser la liste des sources potentielles qui peuvent apporter une contribution à l'étude de l'objet contemporain :

- Les archives

« Les archives sont l'ensemble des documents, quels que soient leur date, leur lieu de conservation, leur forme et leur support, produits ou reçus par toute personne physique ou morale et par tout service ou organisme public ou privé dans l'exercice de leur activité » (Article L.211-1, 2008).

« La conservation des archives est organisée dans l'intérêt public tant pour les besoins de la gestion et de la justification des droits des personnes physiques ou morales, publics ou privés, que pour la documentation historique de la recherche » (Article L.211-2, 2004, p. 2).

Sous l'appellation « archives » se retrouve un grand nombre de types de documents, référencés dans une liste d'autorité (Service interministériel des archives de France, 2011). On peut notamment y retrouver : des actes de congrès, brevets d'invention, brochures, catalogues, correspondances, inventaires, permis de recherche, plan du cadastre, publications périodiques, rapports de stage, revues de presse, etc.

- Les archives publiques

Les archives dites publiques sont celles qui émanent de l'Etat, des collectivités territoriales, des établissements publics et de tout organisme fonctionnant par un financement public.

« Les archives publiques sont, sous réserve des dispositions de l'article L. 213-2, communicables de plein droit » (Article L.213-1, 2008)

- Archives publiques en accès libre : les actes délibératifs et décisionnels du pouvoir central, les lois, les décrets, les débats parlementaires, les travaux du parlement européen, mais aussi les délibérations des collectivités territoriales (régionales, départementales et municipales)
- Archives publiques soumises à des délais légaux de communication : renseignement individuel de caractère médical, sûreté de l'Etat, défense

nationale, données statistiques d'ordre privé, etc. (*Article L.213-2, 2009, p. 2*)

– Les archives privées

Les archives privées proviennent des particuliers, familles, associations, syndicats, entreprises, partis politiques et confessions religieuses. Elles peuvent se retrouver sous différentes formes et dans différents lieux : les services d'archives, les instituts, les fondations développées par les familles, amis ou disciples ; les sièges, les musées, les caves, les greniers, etc⁸⁰.

« Longtemps encore l'historien [...] devra, avant toute investigation, se transformer en archiviste, en rassemblant et en classant la documentation dispersée aux quatre vents, et suppléer tant bien que mal aux nombreuses lacunes en interrogeant les membres les plus anciens » (Soulet, 2012).

- La presse : la presse écrite et la presse en ligne (revues électroniques). Au-delà des sites Internet propres à la revue, les bibliothèques ou médiathèques, archives municipales sont des lieux de ressources utiles.
- Les sources littéraires : littérature classique, de fiction ou littérature grise : essais, comptes rendus, articles scientifiques, mémoires de recherche, actes de colloques, manuels scolaires, ouvrages de souvenir (mémoires et autobiographies), d'enquête et d'investigation, œuvres de fiction, etc.
- Les sources orales : ce type de source occupe une place particulière, en raison de sa singularité et de ses limites. Elles sont à remettre en perspective : l'évènement ou l'objet n'est vu que par le prisme de l'orateur, à une date, avec ses interprétations, avec son vécu personnel et son lot de subjectivité (Soulet, 2012). C'est une source dite « suscitée » en ce sens que c'est l'historien qui va stimuler sa naissance, qui va l'aider à se développer et qui la fixera. À ce propos, d'autres disciplines (sociologie, ethnologie, psychologie, etc.), dont c'est le terrain privilégié, ont déjà réfléchi et expérimenté ces spécificités ; et il est indispensable de s'en enrichir. Gardons à l'esprit quelques préceptes :
 - Dans la relation entre le témoin et l'interviewer, où entre empathie et clairvoyance, on ne peut négliger ces trois dimensions : affective, éthique et scientifique.

⁸⁰ Concernant les archives des scientifiques, Thérèse Charmasson a publié un ouvrage intitulé *Les archives des scientifiques XVI^e –XX^e siècle. Guide des fonds conservés en France* qui est un outil de recherche pour les historiens s'intéressant aux archives personnelles des scientifiques (Charmasson, Daniel, Gaziello, & Rota-Tréguier, 2008).

Aujourd'hui, les bases de données en ligne permettent de localiser un certain nombre de documents privés et publics : <http://www.archivesportaleurope.net/home>

- La préparation en amont qui se doit d’être minutieuse : sélection des interviewés, dossier de documentation important, création de la grille d’entretien.
- Une transcription fidèle prenant en compte les spécificités orales et visuelles : le vocabulaire, les expressions, les hésitations, les silences, les surprises... ; et des références précises : date, lieu, nom, âge, profession...
- Les sources iconographiques : de plus en plus présentes dans les sociétés contemporaines, les ressources iconographiques peuvent se retrouver sous différentes formes comme la caricature, la bande dessinée, la peinture, la gravure ou la photographie. Là encore, seule une méthodologie adaptée permet de bénéficier des ressources que peut offrir une image : une analyse du contexte sociopolitique, la connaissance du support de diffusion/publication, cerner la personnalité de l’auteur, repérer les « illusions du réel », etc.
- Les sources audiovisuelles bénéficient d’une conservation et d’une accessibilité de plus en plus développées, même si elles nécessitent un travail contraignant et délicat. L’Institut National de l’Audiovisuel (INA), en France, est le dépositaire légal des archives de la télévision et de la radiophonie. En fonction de l’objet de la recherche, cela peut aller de l’émission culturelle au télé-achat, en passant par le débat politique ou le documentaire de vulgarisation scientifique.
- Internet (sources virtuelles) et les sources numérisées : particulièrement pour l’histoire immédiate, cet outil est utile tout au long de la genèse d’une recherche : du test de la pérennité d’un sujet à l’étude d’un corpus numérique. L’intérêt n’est pas seulement celui de fournir rapidement des documents dispersés, mais aussi de donner de nouvelles sources pour l’histoire et la recherche : les sites officiels nationaux et internationaux, les sites de journaux, les sites d’organisations militantes, etc. Internet a aussi donné naissance à de nouveaux supports de communication, individuels ou collectifs, permettant de partager à distance, avec des personnes connues ou non, des connaissances, opinions, débats, etc. Les forums, listes de discussions, sites et pages personnelles, blogs, tweets, murs sont aussi des sources nouvelles d’exploration. Méthodologiquement, les outils qu’offre Internet progressent de manière exponentielle : moteurs de recherche spécialisés, bases de référencement bibliographique, outils de veille scientifique, outils de gestion de contenus numériques, etc.

1.1.3.2 L'approche de l'objet contemporain par la biographie d'objet (Thierry Bonnot)

Dans son livre intitulé *La vie des objets*, Thierry Bonnot explique que l'ethnologue doit se débarrasser des préjugés d'esthétique et de rareté pour porter attention aux objets les plus humbles, dans une logique de récolte d'objets significatifs. L'objet beau ou unique ne sera pas nécessairement celui qui sera le plus porteur de sens pour la communauté. Il ne sera pas plus « parlant » que l'objet quelconque (Bonnot, 2002). Il privilégie les objets communs, banals, voire des déchets.

« Dans cette prise de distance avec le positivisme le plus strict se profile l'ambition de "faire parler" l'objet au-delà de sa seule matérialité. L'idée était déjà sous-jacente chez l'un des pères de l'anthropologie sociale moderne, Bronislaw Malinowski, qui soulignait combien il serait dommage de réduire l'objet à une interprétation exclusive » (Bonnot, 2009).

Pour expliquer ce point de vue, T. Bonnot reprend l'exemple du canoë à Malinowski (anthropologue polonais de langue anglaise).

"Des données sociologiques complémentaires, par exemple, sur qui possède le canoë, qui fabrique et qui emploie la pirogue ; des renseignements sur les cérémonies et les pratiques qui accompagnent cette construction, une sorte de vie type et d'histoire d'un canoë" (Malinowski, 1963) cité par (Bonnot, 2009).

À travers cet exemple, l'accent est mis sur la « vie type », l'histoire d'un objet en particulier et non de l'objet générique. L'objet est une chose vivante ayant son individualité propre et sa singularité et est doté d'un statut social qui varie selon les étapes de sa biographie (Bonnot, 2004). Cette notion de vie sociale des objets a été développée en premier lieu par le sociologue et anthropologue indien (Appadurai, 1988) qui défend l'idée selon laquelle les objets ont une trajectoire biographique, à l'image des êtres vivants. Et c'est à Igor Kopytoff que nous devons la notion de « biographie d'objet » et de la singularisation individuelle et culturelle des choses (Kopytoff, 1986). La vision de l'objet vivant, explicitée par T. Bonnot par le biais d'objets contemporains, permet d'interroger d'une manière différente le processus de patrimonialisation, et casse toute linéarité dans les processus. Elle coïncide avec la pensée de J. Davallon en ce sens où elle prône les allers-retours (entre l'objet, le monde d'origine et le monde actuel), mais intègre en plus la notion d'erreurs d'interprétations, de déviations dans le parcours d'un objet. La notion de « biographie des choses » impose de tenir compte de la multiplicité de contextes successifs, restituant ainsi la polysémie de l'objet dans son

historicité complète et non dans une histoire sélective. Il devient important de savoir que cet objet servait à cette action, à cette époque, dans cette région et en de telles circonstances.

« Cette option méthodologique, outre qu'elle permet d'obtenir des éléments d'informations sur l'attachement des individus aux objets, a de nombreuses implications, notamment politiques. Car en cristallisant l'identité d'un objet sur une étape de son arcure (...) on escamote les épisodes suivants, ceux qui l'ont amené derrière la vitrine d'un musée entre autres » (Bonnot, 2002).

L'intérêt du traitement biographique de l'objet est bien de mettre en évidence le caractère transitoire de son statut, qui ne peut être définitif. Il nécessite un travail d'enquête scrupuleux pour identifier et analyser le pluralité des identités attribuées au même objet dans différentes situations, et d'en dresser un tableau le plus complet possible, au croisement de ses statuts sociaux et symboliques (Bonnot, 2004). Ce genre littéraire appliqué à l'objet contemporain en ethnologie connaît aussi un certain succès aujourd'hui en histoire des sciences et des techniques. La biographie y est en effet de plus en plus utilisée, car elle est particulièrement adaptée à la mise en valeur des relations sociales et culturelles (Bensaude-Vincent, 2012). S'étendant des savants et inventeurs aux produits de leur activité, la narration biographique a, de fait, été utilisée récemment pour décrire la trajectoire d'objets depuis leur conception en laboratoire jusqu'à leur disparition (Daston, 2000).

« C'est précisément parce que leur existence est irréductible au contrôle de la raison technique que ces objets appellent des biographes capables d'appréhender leur singularité, leurs chemins de vie. Écrire leur biographie, c'est prendre soin de leur devenir, au-delà de leurs usages et de leurs fonctions. Et c'est une condition pour vivre avec eux dans un monde de partage et de partenariat avec les choses » (Bensaude-Vincent, 2012).

Riches de ces considérations, nous aimerions maintenant essayer de modéliser un processus de patrimonialisation pour l'objet contemporain (scientifique) qui intégrerait l'ensemble de ses caractéristiques.

1.1.3.3 Du continuum patrimonial à la patrimonialisation de l'objet (scientifique) contemporain

Reprenons maintenant notre discussion autour des différentes manières d'envisager la patrimonialisation. Ce que D. Poulot appelle une vision du patrimoine par anticipation, entre en résonance avec ce qu'E. Amougou baptise : le continuum patrimonial. C'est une

conception selon laquelle le patrimoine cesse de n'appartenir qu'à l'histoire, d'être un objet du passé loin derrière nous. Le patrimoine peut désormais être contemporain, il devient hybride, il se complexifie par les actions de l'homme sur lui : il devient relationnel. Naissent alors de nouveaux concepts comme celui de patrimoine paradigmatique :

« c'est-à-dire formant une chaîne d'objets ou de phénomènes dont la valeur patrimoniale peut n'exister qu'en référence à ce lien » (Amougou et al., 2011).

Thierry Bonnot propose même d'utiliser le terme de « valence » pour mettre en avant l'idée que les objets « n'ont jamais une seule valeur dans le sens où leur valeur dépend du point de vue d'où on les observe, d'où on les évalue » (Bonnot, 2014). Cette notion de valence représente ainsi l'histoire singulière ou collective de l'objet, les caractéristiques intrinsèques de l'objet et les réseaux de relations sociales qu'il est susceptible de susciter.

Nous vous proposons maintenant de nous servir de cette notion de continuum patrimonial pour réinterpréter les systèmes de représentation du processus de patrimonialisation. La vision de K. Pomian qui est très marquée par la chronologie est peut-être celle qui désormais fonctionne le moins pour l'objet (scientifique) contemporain. Aujourd'hui le patrimoine est surtout interpellé par l'avenir, et c'est en fonction de cela qu'il convoque le passé (Gellereau, 2012). Le stade de déchet n'étant plus nécessairement justifié, il nous reste de cette vision deux halos : celui de l'objet dans son circuit utilitaire et celui du sémiophore. De la vision de D. Poulot, c'est la vertu généalogique qui est peut-être maintenant la moins porteuse de sens. En revanche, la vertu identitaire prend une importance toute particulière. La vertu pédagogique reste à notre sens un critère valable et justifiable, que l'objet soit contemporain ou non⁸¹. Les différents points de la vision de J. Davallon vont être plus complexes à discuter. Au-delà de la représentation des gestes de la patrimonialisation, J. Davallon propose de les regrouper en trois temps, identifiant trois fonctions : la fonction d'authentification, la fonction de représentation et la fonction de transmission. Ce sont les gestes liés à la fonction d'authentification qui vont essentiellement être discutés. La première étape de la découverte de l'objet comme une trouvaille prend un nouveau sens. De notre point de vue, il faut que quelque part l'objet apparaisse comme « une trouvaille » pour un acteur social du patrimoine, qu'il soit utilisateur de l'objet ou non. Mais en aucun cas, l'objet n'est obligé de disparaître (même symboliquement) pour être retrouvé. C'est une trouvaille, mais

⁸¹ Notons cependant que Dominique Poulot a encadré récemment un travail de thèse sur la sauvegarde et la mise en valeur du patrimoine scientifique et technique. Cette thèse a peut-être été l'occasion de discuter certains points de sa vision, mais nous n'avons pu prendre connaissance des travaux à ce jour. Cette thèse a été soutenue en décembre 2014, en histoire de l'art, à l'Université Paris 1.

avec un certain niveau d'abstraction, c'est un symbole pour l'acteur du patrimoine. C'est par exemple le cas pour des instruments scientifiques contemporains qui sont référencés par des bases patrimoniales (que nous verrons dans la section suivante) alors qu'ils sont encore utilisés dans les laboratoires. Ils n'ont pas disparu, ne sont pas encore obsolètes, mais sont des trouvailles pour celui dont la mission est de trouver le patrimoine scientifique de nos laboratoires avant qu'il soit cannibalisé, vendu, recyclé. C'est aussi là une manière de sensibiliser les utilisateurs à la valeur que d'autres sphères sociales peuvent voir en un objet qui pour eux est plus commun.

Le second geste de la patrimonialisation de J. Davallon est la certification de l'origine de l'objet et l'établissement du monde d'origine. Comme nous l'avons déjà un peu abordé, l'objet contemporain a la chance d'avoir des sources proches de nous, qui rendront cette certification beaucoup plus facile (documents à l'appui) de l'appartenance de l'objet au monde dont il veut témoigner. Il y a peu de risques pour qu'au moment où un acteur porte intérêt à l'objet contemporain, il soit obligé de faire des suppositions sur son monde d'origine, que l'objet soit un fac-similé, ou qu'il faille recourir à la datation. Mais nous pensons ici devoir faire une distinction supplémentaire. De même, si l'appartenance à un monde se fait beaucoup plus facilement, l'existence de ce monde ne sera pas vraiment remise en compte. Pour illustrer les deux précédents gestes, nous pouvons prendre l'accélérateur CW de l'IPNL. Que l'objet soit remonté sur le campus de Lyon 1 ou en plein cœur de la ville de Lyon, personne ne remettra en cause l'existence du monde de la recherche ou de la physique nucléaire. Par contre, l'étape de « représentation du monde d'origine de l'objet » reste tout aussi pertinente (peut-être même plus selon nous). Parce que même si les laboratoires sont en périphérie de la ville, ce ne sont pas des lieux ouverts au public, et à moins d'en faire partie, c'est un monde qui est peu connu et sur lequel de fausses idées sont souvent véhiculées. Parce qu'il est authentique, il devient un symbole et endosse la responsabilité de représentant d'un monde social et justifie qu'on lui prête une attention particulière. Les gestes de la patrimonialisation suivants : célébration de la trouvaille par l'exposition et obligation de transmettre aux générations futures restent tout aussi importants, que l'objet soit contemporain ou non.

En prenant chacun des éléments qui nous semblent particulièrement importants dans le cas de la patrimonialisation de l'objet scientifique contemporain, nous arrivons à représenter les strates du processus sous forme de trois halos successifs (voir Figure 58). Il met en avant

les trois existences de l'objet : dans son monde d'origine, dans le monde de la découverte et dans le monde ultime, celui qui donne accès au statut d'objet de patrimoine.

Ce dernier monde est certainement le moins évident à qualifier puisqu'il intègre des objectifs à atteindre (reconnaissance de tous, institutionnalisation) des faits (représentation du monde d'origine) et des actions (valorisation). Nous avons donc choisi de l'appeler « monde polysémique » dans le sens où c'est une étape redonne « du sens » ou plutôt « des sens » à l'objet.

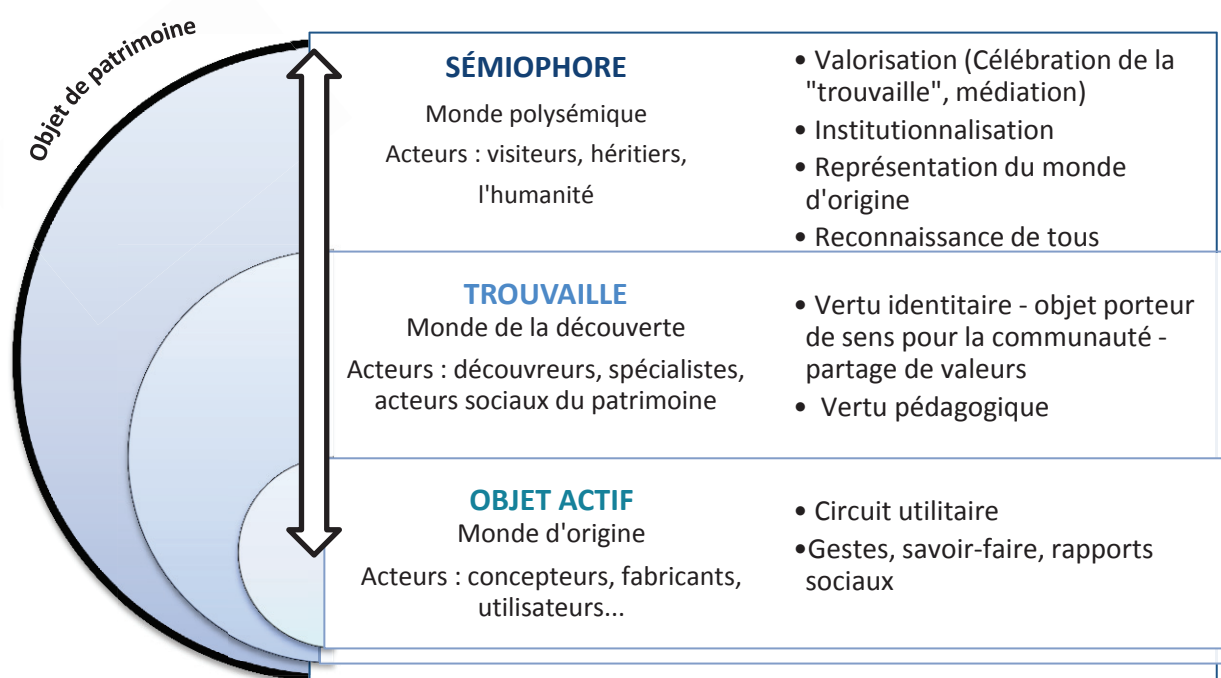


Figure 58 : Schéma récapitulatif du processus de patrimonialisation pour un objet (scientifique) contemporain, construit à partir des travaux initiaux de K. Pomian, D. Poulot, J. Davallon et E. Amougou.

Ce schéma présente la patrimonialisation de l'objet comme une succession de couches par rapport à l'objet initial. Des couches qui représentent à la fois « le monde » dans lequel évolue l'objet, les acteurs qui font vivre l'objet, le sens qui lui est donné. La lisière noire à l'extrémité représente l'enveloppe de ce que l'on appelle « un objet de patrimoine ». Il montre bien que la patrimonialisation est un processus complexe, mais dans lequel chacun a un niveau différent, peut être acteur.

« Au XXI^e siècle, il apparaît nécessaire de sauvegarder ce futur patrimoine en le replaçant dans le cycle de l'innovation qui l'a vu naître » (Rainette, Cornu, & Wallaert, 2008).

1.2 Les aspects juridiques et empiriques de la patrimonialisation de l'objet scientifique contemporain

1.2.1 Introduction des questions soulevées par la sauvegarde du patrimoine scientifique (contemporain)

Maintenant que nous venons d'éclaircir la question de la patrimonialisation pour des objets contemporains, regardons ce que l'objet scientifique (contemporain) a de caractéristique. Dans cette deuxième partie de chapitre, c'est le terme contemporain qui est mis entre parenthèses pour signifier que le caractère « scientifique » est mis au premier plan, mais que le caractère « contemporain » des objets est toujours présent.

1.2.1.1 Bref historique des instruments scientifiques

Les premiers instruments scientifiques sont essentiellement des instruments de mesure utilisés par des architectes, astronomes, navigateurs, bâtisseurs, etc. Entre la fin du XVI^e siècle et le début du XVII^e siècle, avec la Révolution copernicienne⁸² et l'avènement de la méthode expérimentale naît un nouveau type d'instruments destiné à « agir sur la nature » (Brenni, 2005) à la mesurer, la quantifier, la regarder. Les premières collections scientifiques et techniques sont pour certaines issues des cabinets de curiosités de physique et autres théâtres de machines. Le premier musée abritant des collections scientifiques en France est probablement le musée des arts et métiers de Paris, fondé à la fin du XVIII^e siècle. La

⁸² Nous faisons ici référence à la notion de Révolution Scientifique, utilisée en histoire des sciences (Bensaude-Vincent, 1999; Jorland, 2002; Kuhn, 2008). Le terme de révolution Copernicienne évoque l'épisode historique correspondant au passage d'un système géocentrique à un système héliocentrique.

révolution industrielle⁸³ et plus généralement le XIX^e siècle donnent naissance à un grand nombre d'instruments que l'on côtoie désormais aussi, en dehors des laboratoires et des Universités, dans les cabinets scientifiques, les salons et les soirées mondaines (Brenni, 2005). Le XX^e siècle, outre l'essor des télécommunications, de l'électronique, de l'informatique, des matériaux de synthèse ou de l'énergie nucléaire, se caractérise par trois grandes mutations : la miniaturisation, l'« éclatement » de l'instrument et le gigantisme de la *Big Science* (Jacomy, 2005). L'historien des sciences et des techniques, Robert Halleux, l'exprimait en ces mots :

« Dans l'histoire de l'humanité, le siècle qui vient de s'achever a connu plus de révolutions scientifiques et technologiques que tous les autres ensembles. Les rapports entre science, technique et société s'en sont trouvés radicalement modifiés » (Halleux, 2005).

1.2.1.2 Un questionnement riche

Le patrimoine scientifique, comme la plupart des patrimoines, revêt deux aspects : l'un matériel comprenant les appareils de laboratoires, les modèles pédagogiques, les archives, les publications ; l'autre immatériel : les savoirs, les concepts, les pratiques de chercheurs, etc. (Adell, 2011; Dodebei & Tardy, 2015; Fourcade, 2007; Jadé, 2006; Van Praët, 2004) Nous nous pencherons ici sur le cas du patrimoine matériel « mobilier⁸⁴ » : celui des instruments scientifiques, tels que le définit Paolo Brenni :

« Nous pouvons considérer les instruments comme les outils indispensables à la recherche scientifique, à la didactique des sciences et à toute une série d'activités professionnelles impliquant mesure, observations, contrôles et analyses » (Brenni, 2005).

Parler de patrimoine scientifique soulève un grand nombre de questions sur la sauvegarde, la conservation et la valorisation, dont certaines possèdent peut-être déjà une réponse partielle.

Qu'est-ce qui caractérise le patrimoine mobilier scientifique ? Quelles sont ses fonctions ? Quels sont les enjeux de sa sauvegarde ? Quels sont les risques liés à ce patrimoine ?

Quelle est la valeur de ces objets ? De quoi dépend-elle ? Qui la définit ?

⁸³ Nous faisons ici référence à l'expression populaire qui désigne le processus historique qui fait basculer une société plutôt agraire et artisanale vers une société commerciale et industrielle.

⁸⁴ Aujourd'hui nous nous demandons si un objet aussi gros que le générateur de haute tension Cockcroft-Walton, bien qu'il soit un instrument scientifique, ne rejoindrait pas plus la catégorie du patrimoine « immobilier ». En effet dans la définition même le patrimoine mobilier peut être déplacé et à l'inverse, le patrimoine immobilier regroupe les biens qui ne peuvent pas être déplacés, par exemple un immeuble, un terrain, etc.

Que doit-on conserver ? Qui doit assurer cette sauvegarde ? Pourquoi doit-on le faire ? Dans quel but ? Avec quels moyens ? Comment le faire ? Où trouver ces objets ? Quelles sont les actions et initiatives actuelles de sauvegarde et de valorisation ? Comment mettre ces objets en valeur ? Dans quel contexte ? Comment reconstituer l'usage, comment raconter l'histoire des objets et personnes les ayant inventés, les ayant utilisés ? Comment sensibiliser à sa protection ? Quelles sont les initiatives mises en place ?

Pour tenter de répondre à ces questions, nous allons dans cette partie aborder plusieurs points relatifs aux caractéristiques du patrimoine scientifique, le plus souvent contemporain. Dans un premier temps, nous allons détailler ce qui distingue l'objet scientifique contemporain de l'objet scientifique ancien, et voir en quoi on peut dire qu'il est plus fragile et volatile. Dans un deuxième temps, nous verrons que la reconnaissance du propriétaire est un élément crucial mais qu'il n'est pas toujours facile de l'identifier. Nous aborderons ensuite les caractéristiques liées au milieu de conservation, et distinguerons particulièrement le patrimoine conservé sur son lieu d'utilisation (*in situ*) du patrimoine muséal. Enfin dans un dernier temps, nous évaluerons la place qui est donnée au patrimoine scientifique contemporain dans les dispositifs institutionnels du patrimoine : les inventaires, bases de données et réseaux.

1.2.2 L'objet contemporain plus fragile que l'objet ancien

Les instruments scientifiques historiques ont longtemps peiné à attirer l'attention des chercheurs ou des pouvoirs publics et à trouver leur place au rang de patrimoine culturel (Brenni, 1997). Mais plusieurs critères ont joué en leur faveur : matériaux précieux, propriétaire illustre, esthétique, etc. L'instrument scientifique ancien peut avoir été fabriqué avec des matériaux dits précieux : bois, laiton, porcelaine, cuivre, corne, bronze, ébène, ivoire, etc. Il peut présenter des gravures, des armoiries, des ornements qui lui confèrent un caractère esthétique dont la reconnaissance n'est plus à éprouver. L'instrument scientifique ancien s'est ainsi trouvé une place sur le marché de l'art et des antiquités. L'objet ancien est également conservé en fonction de la notoriété de son utilisateur (objet de ...) ou de son fabricant (objet signé par ...), même si ce n'est pas tout le temps le cas. C'est aussi une catégorie d'objets souvent petits ou moyennement encombrants qui peuvent trouver une place sur une armoire ou dans le fond d'une cave où ils trouvent ainsi refuge pour quelques années, ou dans une vitrine.

« Il est important de noter que ce ne sont pas les instruments vraiment anciens qui risquent d'être perdus à jamais. Leur beauté, leur élégance leur a depuis longtemps assuré une place dans les musées, même si souvent ils ont été considérés plus comme des curiosités précieuses que comme des objets dignes d'être étudiés attentivement. C'est surtout les instruments de l'après-guerre qui risquent aujourd'hui de disparaître » (Brenni, 1997).

Ce constat n'est pas nouveau, mais n'a pas encore convaincu beaucoup de monde. Qualifier un objet comme étant à la fois « scientifique » et « contemporain », c'est un peu comme lui donner deux fois plus de contraintes à l'accession au rang de patrimoine. Un objet scientifique contemporain a-t-il réellement plus de chances de disparaître?

« Les instruments scientifiques sont considérés comme des consommables, abandonnés dès qu'ils n'offrent plus d'utilité, tout juste bons à être "cannibalisés" pour de futures expériences. Quelques objets ayant une certaine valeur esthétique (bois, laiton, etc.) ou symbolique (savant célèbre, expérience illustre, etc.) parviennent à échapper à ce mouvement systématique de destruction. Les collections qui avaient été constituées pour la recherche ou pour l'enseignement ont été dédaignées. "Du passé faisons paillasse rase", propose Ginette Gablot (ingénieure CNRS retraitée, fondatrice et présidente du parcours des sciences), comme formule pour désigner le regard des chercheurs sur leur passé » (Roth, 2000).

Les objets scientifiques contemporains sont plus fragiles parce que plus volatils. L'évolution de l'instrumentation va de concert avec l'évolution technique que nous avons connue depuis le milieu du XX^e siècle. Ils vieillissent de plus en plus vite et les instruments utilisés il y a seulement dix ans sont déjà obsolètes, dépassés par de nouvelles technologies. Souvent très encombrants et lourds, peu attrayants du point de vue purement esthétique, difficiles à exposer et à expliquer, ils ont peu de chances de survivre. L'objet scientifique contemporain n'est plus fabriqué avec les matériaux précieux recherchés par les passionnés⁸⁵, et ses nouveaux matériaux posent d'autres problèmes de conservation encore à l'étude pour les écoles spécialisées (Geindreau, 2014).

« Enfin, la simple conservation matérielle de ces œuvres du XX^e siècle, souvent constituées de matériaux hétérogènes, s'avère délicate : [...] complexité technologique ... autant de problèmes spécifiques inédits à résoudre » (Halitim-Dubois, 2007).

⁸⁵ Je fais ici cette distinction entre les « matériaux précieux » et les « matériaux recherchés par les passionnés », car les matériaux utilisés actuellement pour la fabrication des instruments scientifiques ne sont pas nécessairement moins « précieux » que le bois, l'ivoire ou le laiton.

« Un autre inconvénient majeur : ces objets posent de nombreux problèmes de conservation et de restauration par la complexité de leurs matériaux et le comportement de ceux-ci. Et les musées n'ont pas forcément davantage d'espace pour les accueillir » (Dal Zotto & Palouzié, 2007).

Les objets scientifiques contemporains peuvent atteindre des tailles qui dépassent toute imagination ou à l'inverse une extrême miniaturisation. Ils sont le plus souvent complexes dans leur mode de fonctionnement ou d'utilisation, et donc moins intuitifs que les instruments plus anciens. On dit qu'ils sont hermétiques, qu'ils sont comme des boîtes noires. Leur fabrication en série, à l'opposé du critère de rareté tant soulevé dans les considérations patrimoniales, ne joue pas non plus en leur faveur. Le culte du scientifique n'est en effet plus de mise aujourd'hui non plus, puisque ce sont souvent des équipes, des laboratoires entiers, voire des organisations internationales qui travaillent de concert à la réalisation d'un projet. Si autrefois un savant pouvait faire sa carrière entière sur un objet scientifique et le conserver comme un souvenir de son activité, aujourd'hui ce n'est plus le cas. La question que nous nous posons aujourd'hui, c'est qui peut bien être en mesure de garder ces objets et de leur épargner une casse certaine ? Qui peut se demander si ce sont des objets qui méritent d'être patrimonialisés ou pas ? Qui en a la responsabilité ?

Et le premier élément de réponse tient dans l'identification du propriétaire de l'objet. La question de la titularité des biens, comme l'explique Caroline Rainette (Rainette et al., 2008), est une question fondamentale pour comprendre le statut du matériel, des instruments et des collections scientifiques.

1.2.3 La difficulté d'identifier le propriétaire de l'objet

Pour éclaircir les questions de propriétés des objets scientifiques, nous avons largement utilisé les travaux de Caroline Rainette (diplômée de droit et d'histoire de l'art) et de Marie Cornu (directrice de recherche au CNRS à l'Institut des Sciences sociales du Politique). Dans le droit français, on distingue deux types de propriétaires : les propriétaires publics et les propriétaires privés.

Le propriétaire dit « public » peut être une collectivité ou bien un établissement ayant directement la capacité « d'acquérir », c'est-à-dire d'acheter le matériel. Dans le cas du matériel scientifique par exemple, Caroline Rainette nous présente l'exemple du CNRS :

« Les objets acquis par une unité du CNRS appartiennent, non à l'unité, mais à l'établissement public scientifique et technologique CNRS » (Rainette et al., 2008).

Il existe des exceptions, par exemple pour les Unités mixtes de recherche (UMR), pour les matériels créés par la recherche, pour les matériels financés sur contrat de recherche : c'est alors la convention qui définit le propriétaire. Le cas échéant, c'est bien souvent « celui qui paye » qui possède l'objet. Il est intéressant de noter qu'être propriétaire de l'objet ne confère pas les droits de propriété intellectuelle, sauf en cas de cession de droits. Les deux droits (propriété et propriété intellectuelle) peuvent coexister et non se concurrencer sur la propriété de l'objet. S'il est attesté que l'objet appartient au domaine public, il est alors imprescriptible et inaliénable (*Article L3111-1*, 2006). Cela signifie que la propriété des biens peut être revendiquée sans limites de temps et qu'ils ne peuvent pas être vendus. Concrètement, un bien peut entrer dans le patrimoine de la personne publique soit par l'achat (*Article L1111-1*, 2006) (acquisition à titre onéreux), soit par dons ou legs (acquisition à titre gratuit). Tout bien qui entre dans le patrimoine des personnes publiques doit normalement être mentionné sur l'inventaire des biens de l'établissement qui distingue les biens propres de l'établissement et ceux qui lui sont affectés ou mis à sa disposition.

Dans le domaine qui nous intéresse (les sciences et techniques), le propriétaire privé peut être une personne physique privée (un collectionneur, chercheur à titre privé, etc.), une entreprise, un laboratoire ou des personnes morales de droit privé (fondation, association, etc.).

« Le propriétaire d'un objet est donc libre d'en disposer, de le vendre, le donner, ou encore de le détruire, sauf à ce que le bien jouisse d'une protection au titre du Code du patrimoine (monuments ou archives historiques, musées de France). Les risques de dispersion des biens du patrimoine scientifique et technique sont par conséquent particulièrement élevés [...] » (Rainette et al., 2008).

Ici aussi les principaux modes d'acquisition sont l'achat, les dons ou legs, dont les dispositions sont régies par le Code civil. Mais il faut également considérer la possession et la découverte fortuite⁸⁶. Les règles relatives à l'exportation (valables aussi pour le domaine public) seront un moyen pour l'administration de repérer les biens culturels présentant un intérêt pour le patrimoine national et devant faire l'objet d'une protection.

« Les trésors nationaux ne peuvent pas être exportés à titre définitif. Par ailleurs, les biens culturels, qui ne sont pas des trésors nationaux, mais qui présentent un intérêt historique, artistique ou

⁸⁶ Un objet découvert fortuitement, qu'elle qu'en soit la nature, appartient pour moitié à son inventeur (son découvreur) et pour l'autre moitié au propriétaire du terrain, conformément à l'article 716 du Code Civil (*Article 716*, 1803). Cette notion est surtout utilisée en archéologie.

archéologique doivent obtenir un certificat d'exportation autorisant la sortie durable du territoire »
(Rainette et al., 2008).

1.2.4 Le lieu de conservation et de valorisation et son impact sur l'institutionnalisation de l'objet de patrimoine

La distinction faite entre les deux régimes de propriété, il faut maintenant discerner les types de protection qui peuvent s'appliquer au patrimoine scientifique. Pour cela nous distinguons les objets scientifiques conservés sur leur lieu d'utilisation (le patrimoine *in situ*), et les objets que nous retrouvons dans les musées (le patrimoine muséal).

1.2.4.1 Le patrimoine scientifique conservé sur son lieu d'utilisation (*in situ*) et son institutionnalisation

Le patrimoine scientifique *in situ*, regroupe les instruments scientifiques conservés au sein des laboratoires et des établissements d'enseignement et de recherche (Rainette et al., 2008). Mais il concerne aussi les objets conservés « sur place », dans les entreprises, les usines de fabrications, les hôpitaux, etc.

« Comme dans tout laboratoire dynamique [CERN] la priorité scientifique, opérationnelle et financière est ancrée sur le développement du présent ; le futur ne laisse que peu de place au passé »
(Pellequer, 2010).

Quand par chance les objets sont gardés, ils sont le plus souvent dispersés sur les différents sites, trouvant une place là où « ils ne gêneront pas ». Beaucoup d'objets trouveront ainsi un sursis en attendant d'être « re-trouvé » (ou d'être découvert pour reprendre le terme de J. Davallon expliqué précédemment). Parmi les objets gardés, il faut distinguer ceux qui le sont grâce au bon vouloir d'une personne (pour mémoire⁸⁷, pour une potentielle utilité future ou au hasard d'une poubelle trop inaccessible) et ceux qui le sont dans le cadre d'une

⁸⁷ Ce type de conservation peut entrer en conflit avec les dispositions réglementaires qui encadrent la notion de patrimoine. En effet un chercheur n'a en théorie pas le droit de conserver à titre personnel un objet financé avec les fonds de son institution (publique ou privée). Cette pratique a un avantage et un inconvénient : un avantage parce que cela permet de retrouver des objets qui auraient certainement été jetés par l'institution mère, et le chercheur, devenant collectionneur a contribué à sa sauvegarde ; un inconvénient, parce que l'objet est dispersé dans la nature et qu'il devient difficile de le retrouver. Il est fragilisé par les successions et peut de nouveau être perdu, jeté, détruit.

démarche de conservation et de constitution de la mémoire scientifique. Mais malheureusement, même ces derniers sont le plus souvent mal protégés et non inventoriés.

Le patrimoine *in situ* est considérable, mais il est bien souvent méconnu même par ses propriétaires et fait l'objet d'un désintérêt de la part de la majorité des décideurs (Office de Coopération et d'Information Muséales & Université de Bourgogne, 2010). Une institution scientifique est par définition portée sur le progrès, le futur, l'innovation. Pour cette communauté, le patrimoine est trop souvent synonyme d'une vision passéiste et rétrograde⁸⁸.

« Considéré comme une vieillerie du passé en contradiction avec la modernité voulue d'une recherche tournée vers l'avenir, ce patrimoine encombre plus l'espace physique universitaire que l'attention de ses dirigeants. Or la diversité de ce qui subsiste encore aujourd'hui n'est qu'une part infime de la richesse de ce qui a été utilisé ou produit au cours du temps, bribes d'éclairages de l'histoire passionnante de la recherche et de l'enseignement dit supérieur, mais aussi de la capacité à laisser perdre ou détruire délibérément un trésor historique inestimable » (Gomel, 2010).

Aujourd'hui, il devient primordial de sensibiliser les personnels des laboratoires à la valeur que peut avoir leur patrimoine (matériel et immatériel). Mais la volonté de sauvegarde *in situ* se heurte aussi à d'autres problèmes comme celui du changement de propriétaires, du changement d'usage de l'objet, à l'abondance de matériel et encore une fois à sa taille (Déal, 2007). Dans le patrimoine *in situ*, nous nous intéressons plus particulièrement au cas du patrimoine universitaire, le patrimoine de la recherche et de l'enseignement supérieur.

- *Patrimoine universitaire français, entre atouts et difficultés*

Le patrimoine universitaire a déjà été l'objet de plusieurs études (Antoine, 2010; Ferriot & Lourenço, 2004; P.-A. Gérard, 2008; Roussillon-Constanty, 2010; Sanz & Sjur, 2006; Soubiran, 2010; Soubiran, Lourenço, Wittje, Talas, & Bremer, 2009). La thèse soutenue en 2005 par Marta C. Lourenço (Lourenço, 2005) a permis de formaliser et de redéfinir les quatre types de collections universitaires : les collections destinées à l'enseignement (teaching collection), les collections de la recherche ou qui ont été organisées pour la soutenir (research collection), les collections historiques d'enseignement ou de la recherche (historical teaching and research collections) et les collections sur l'histoire de l'université (collections of university history). L'auteure propose un tableau (voir Figure 59) qui détaille quels types de collections peuvent rentrer dans chacune des catégories définies.

⁸⁸ Ces propos nous ont réellement été tenus lors des entretiens que nous avons eus avec le directeur d'une institution scientifique, pendant l'inventaire des objets de la mission PATSTEC.

	Type	Process of collecting	Examples
First generation	Research collections	Purposefully for research or as a result of research.	Herbaria, palaeontology and zoology collections, bioacoustics collections, collections of microbiology, pathology and embryology, anthropology collections, archaeology collections, etc.
	Teaching collections	Purposefully for teaching.	Collections of surface models in mathematics, models in engineering and architecture, sculpture casts in art, etc.
Second generation	Historical research and teaching collections	Historical accumulation.	Historical instruments in physics, astronomy, medicine or other disciplines; historical collections of mathematical models, etc.
	Collections of university history		Portraits and sculptures related to the university, biographical collections, memorabilia.

Figure 59 : Résumé des différentes typologies de collections universitaires. Source :
(Lourenço, 2005)

Les collections des universités possèdent des atouts qui leur permettent de se distinguer des collections de musée (Murphy, 2003). Les objets sont hérités sur une période longue, ce qui permet d'obtenir une généalogie d'objet qui donne un relief particulier à la constitution de la collection. Ces objets bénéficient aussi du lien encore existant avec la « science en train de se faire » et avec « ceux qui font la science ». C'est un avantage très important, surtout dans le domaine du patrimoine scientifique contemporain. Ces objets possèdent la capacité de :

*« [...] raconter l'histoire des découvertes, de la science, de la connaissance, et de l'innovation »
(Tobelem, 2010).*

En revanche, la première difficulté est certainement celle de sa reconnaissance. Contrairement à certaines universités étrangères qui ont développé très tôt des missions d'investigation, de recherche et de remise en question à travers la valorisation de collections universitaires (par exemple aux Etats-Unis), la France peine à apporter une réelle considération. A ma connaissance, aujourd'hui, seule l'Université de Bourgogne et l'Université de Nantes ont sollicité les savoir-faire d'un « conservateur du patrimoine » dans les rangs de sa mission culture scientifique. « La solitude du conservateur du musée universitaire » est un titre d'article (Weeks, 2000) assez significatif sur le double isolement de cette profession ; à la fois détachés de leurs collègues au sein de l'université et de leurs confrères du monde des musées (ici cela concerne un exemple dans une Université du Royaume-Uni). Dans la majorité des cas, les collections françaises sont gérées au bon vouloir

des enseignants-chercheurs en activité ou retraités. Les objets sont dispersés aux quatre coins de l'université, dans les bureaux, les armoires, les caves et les salles de classes oubliées.

« Au cours de son histoire, le patrimoine scientifique universitaire a été souvent malmené, dispersé ou mal conservé suite à des problèmes de financement, et l'on peut dire que son existence n'a tenu qu'à l'acharnement et au soin d'une poignée d'individus exceptionnels ayant conscience de leur valeur unique. À bien des égards, cette histoire d'une lente dégradation, c'est l'histoire de l'université elle-même » (Roussillon-Constanty, 2010).

Ce besoin dramatique de reconnaissance va de pair avec des besoins budgétaires, de personnels, mais aussi d'espace pouvant accueillir les objets (Tobelem, 2010).

« Ce que l'on pourrait appeler la « tragédie » des collections universitaires ne se limite pas là : en dehors de ne pas figurer parmi les priorités des universités, faute d'un véritable fondement ancré dans les missions de ces dernières et d'une pertinence qui reste à démontrer au cas par cas, leur accessibilité est bien souvent limitée, quand on n'assiste pas à des fermetures » (Tobelem, 2010).

- *Une protection possible au titre des monuments historiques ?*

La loi du 31 décembre 1913 relative aux monuments historiques est un dispositif législatif qui définit deux types de protection selon la nature meuble ou immeuble du bien et sa qualité publique ou privée : le classement ou l'inscription.

Le classement

Le classement au titre des monuments historiques est la protection qui garantit l'intégrité matérielle des biens, et qui correspond au plus haut niveau de contraintes pour le propriétaire. Cela concerne les objets précieux dont l'intérêt ne fait aucun doute.

« Un monument historique est un immeuble ou un objet mobilier recevant un statut juridique particulier destiné à le protéger, du fait de son intérêt historique, artistique, architectural, mais aussi technique ou scientifique. Le statut de « monument historique » est une reconnaissance par la Nation de la valeur patrimoniale d'un bien. Cette protection implique une responsabilité partagée entre les propriétaires et la collectivité nationale au regard de sa conservation et de sa transmission aux générations à venir » (Ministère de la Culture et de la Communication, 2015b).

Les objets qui peuvent être concernés par le classement sont ceux dont la conservation présente, au point de vue de l'histoire, de l'art, de la science ou de la technique, un intérêt public (Article L.622-1, 2005). Bien qu'arrivés plus tardivement dans les lignes

administratives (Rainette et al., 2008), les objets scientifiques peuvent donc aujourd'hui bénéficier de ce dispositif à condition qu'ils soient définis comme étant « d'intérêt public ».

« La rareté, l'innovation, la construction en nombre ou en série, l'importance de l'objet dans l'histoire de la recherche, l'aspect représentatif de l'objet dans l'évolution des sciences et techniques, un objet unique tel que les prototypes, une série d'objets représentative de ruptures ou d'évolutions scientifique et technique, un stade représentatif d'une production, l'aspect symbolique de la marque de l'objet ou d'une série, mais aussi l'état de conservation, l'authenticité et parfois la possibilité de faire fonctionner l'objet ou encore la présentation au public lors d'expositions, etc. sont quelques-uns des critères qui influenceront la décision de protection » (Rainette et al., 2008).

Même si dans les textes, le patrimoine scientifique reste très peu représenté⁸⁹ le patrimoine récent est quant à lui presque inexistant. Le Code du patrimoine ne contient aucune disposition spécifique à l'ancienneté du bien.

« Dans un premier temps, la pratique administrative estimait que seuls les biens de plus de cent ans pouvaient faire l'objet d'une protection. La pratique a aujourd'hui évolué, et des biens relativement récents, c'est-à-dire de moins de trente ans, peuvent être classés » (Rainette et al., 2008).

L'inscription

L'inscription à l'inventaire au titre des monuments historiques est quant à elle une intervention préventive qui est moins exigeante que le classement. Les instruments scientifiques peuvent prétendre à cette protection seulement depuis la loi du 23 décembre 1970.

« Les objets mobiliers, soit meubles proprement dits, soit immeubles par destination, appartenant à l'Etat, aux départements, aux communes, aux établissements publics ou aux associations culturelles, et qui, sans justifier une demande de classement immédiat, présentent au point de vue de l'histoire, de l'art, de la science ou de la technique, un intérêt suffisant pour en rendre désirable la préservation, peuvent, à toute époque, être inscrits sur un inventaire supplémentaire à la liste des objets mobiliers classés » (Article 24 bis, 1970).

La notion d' « intérêt suffisant pour en rendre désirable la préservation » met en avant le fait que cela peut concerner des objets dont l'intérêt n'est pas encore établi et que l'on peut *a priori* préserver des objets pour lesquels le recul du temps n'a pas encore permis de déterminer la valeur réel de l'objet. Le patrimoine scientifique contemporain aurait ici une

⁸⁹ Parmi les objets scientifiques anciens classés nous pouvons mentionner une partie du patrimoine d'astronomie dont s'est chargé Jean Davoigneau. Cela concerne dans le Rhône, par exemple, une partie des instruments de l'observatoire de Saint-Genis-Laval.

chance un peu plus grande ; si dans les faits, le jugement n'était pas aussi sévère que pour le classement en lui-même (Rainette et al., 2008).

Nous pouvons cependant nous demander, en quoi une protection au titre des monuments historique résoudrait vraiment la question de la conservation du patrimoine scientifique *in situ*.

« Sachant qu'une protection de type monuments historiques ne saurait résoudre le problème du devenir de ces machines, des demandes de créations de lieux de stockage, de dépôt, sont régulièrement adressées aux communes » (Halitim-Dubois, 2007).

« Quand la volonté du propriétaire est défaillante, ou qu'il disparaît, quand les moyens matériels et financiers manquent, les modes de protection classique, type protection monuments historiques, semblent non adaptés à l'urgence des situations » (Halitim-Dubois, 2007).

Notons également que ces protections existent à titre individuel, mais qu'elles ne concernent pas les ensembles d'objets, les collections. De manière générale, la notion d'unité d'un ensemble est absente du droit français (Rainette et al., 2008), sauf pour ce qui concerne les archives.

1.2.4.2 Le patrimoine scientifique muséal, entre réglementation et exceptions

- *Le cadre juridique du patrimoine français muséal*

Les objets scientifiques se sont heureusement fait une place dans certains musées et collections. Le musée, c'est un peu « la baguette magique » du patrimoine, cette « machine à transformer en patrimoine des objets prélevés à leur environnement natif » (Amougou et al., 2011). Aujourd'hui, le code du patrimoine définit ainsi la notion de musée :

« Est considérée comme musée, au sens du présent livre, toute collection permanente composée de biens dont la conservation et la présentation revêtent un intérêt public et organisée en vue de la connaissance, de l'éducation et du plaisir du public » (Code du patrimoine - Article L.410-1, 2004).

Les musées sont cependant à séparer en deux catégories : les musées « ordinaires » et les musées « de France ». Cette distinction se répercute dans la législation à appliquer aux objets. Les collections des musées « ordinaires » dépendent du domaine public ou privé (Article L2112-1, 2006) alors que l'appellation « musée de France » correspond à un régime spécifique défini par ce que l'on appelle communément la « loi musée ».

« L'appellation « Musée de France » a été instaurée par la loi du 4 janvier 2002 relative aux musées de France. Cette appellation peut être accordée aux musées appartenant à l'État, à une autre personne morale de droit public ou à une personne de droit privé à but non lucratif. [...] »

L'appellation « Musée de France » peut être attribuée à la demande de la ou des personnes morales propriétaires des collections, par décision du ministre chargé de la culture, après avis du Haut conseil des musées de France »(Ministère de la Culture et de la Communication, 2015a).

Les musées de France ont des missions bien définies, encadrées par le Code du patrimoine :

- « a) Conserver, restaurer, étudier et enrichir leurs collections ;*
 - b) Rendre leurs collections accessibles au public le plus large ;*
 - c) Concevoir et mettre en œuvre des actions d'éducation et de diffusion visant à assurer l'égal accès de tous à la culture ;*
 - d) Contribuer aux progrès de la connaissance et de la recherche ainsi qu'à leur diffusion »*
- (Article L.441-2, 2004).*

Cette appellation est attribuée de droit aux musées nationaux, aux musées classés ; elle peut bénéficier aux musées appartenant à l'Etat ou à une personne publique, mais aussi aux personnes morales de droit privé à but non lucratif (association ou fondation) (Article L.442-1, 2004).

Le code du patrimoine établit un certain nombre de règles communes de gestion des collections qui concernent essentiellement la circulation matérielle et juridique ainsi que leur conservation restauration. De manière générale la tenue d'un inventaire et d'un récolement est obligatoire, les collections sont imprescriptibles et inaliénables, les musées sont soumis à un contrôle de leurs acquisitions, restauration et des conditions de conservation, et les collections n'ont pas le droit d'être exportées à titre définitif.

- La protection du patrimoine au niveau européen et international*

Au niveau européen⁹⁰ et mondial, il existe aussi un certain nombre de conventions destinées à encadrer le patrimoine. Nous pouvons ainsi citer la Convention-cadre du Conseil de l'Europe sur la valeur du patrimoine culturel pour la société (STCE n° 199), qui est un traité ouvert depuis le 27 octobre 2005 à la signature des États membres et à l'adhésion de l'Union européenne et des États non membres. Cette convention est entrée en vigueur le 1^{er}

⁹⁰ Sur cette question, une thèse récemment publiée traite spécifiquement de la construction du patrimoine européen dans des réseaux transnationaux (Gaillard, 2015).

juin 2011 et a été ratifiée par 17 membres du conseil de l'Europe, dont la France. Elle est disponible en ligne et consultable par tous.

« Cette Convention part de l'idée que la connaissance et la pratique du patrimoine relèvent du droit du citoyen de participer à la vie culturelle tel que défini dans la Déclaration universelle des droits de l'homme. Ce texte présente le patrimoine culturel comme une ressource servant aussi bien au développement humain, à la valorisation des diversités culturelles et à la promotion du dialogue interculturel qu'à un modèle de développement économique suivant les principes d'usage durable des ressources » (Conseil de l'Europe, 2011).

L'UNESCO (Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture) a elle aussi défini une convention, dédiée à la protection du patrimoine mondial culturel et naturel : la convention du patrimoine mondial. Depuis 2007, sa stratégie se résume avec les « 5C » : Crédibilité, Conservation, développement des Capacités, Communication, Communautés (UNESCO Centre du patrimoine mondial, 1972). La convention, disponible en ligne, a été créée lors de la Conférence générale de l'UNESCO, qui s'est réunie à Paris en 1972.

« Le patrimoine culturel et le patrimoine naturel sont de plus en plus menacés de destruction non seulement par les causes traditionnelles de dégradation, mais encore par l'évolution de la vie sociale et économique qui les aggrave par des phénomènes d'altération ou de destruction encore plus redoutables » (UNESCO Centre du patrimoine mondial, 1972).

Une autre institution fait référence en termes d'encadrement du patrimoine : le Conseil International des Musées (ICOM). Il définit, depuis 1986 (révisé en 2001, 2004 et 2006), un Code de déontologie à destination des musées, qui vise à établir les valeurs et principes communs à l'ICOM et à la communauté muséale mondiale. C'est un outil de référence, traduit en 38 langues, qui fixe un certain nombre de normes sur les pratiques des professionnels du musée. Disponible également en ligne, il aborde les questions de la protection, de la documentation, de la promotion, de la conservation, des liens avec les communautés, etc.

« La mission d'un musée est d'acquérir, de préserver et de valoriser ses collections afin de contribuer à la sauvegarde du patrimoine naturel, culturel et scientifique. Ses collections constituent un important patrimoine public, occupent une position particulière au regard de la loi et jouissent de la protection du droit international. À cette mission d'intérêt public est inhérente la notion de gestion raisonnée, qui recouvre les idées de propriété légitime, de permanence, de documentation, d'accessibilité et de cession responsable » (ICOM, 1986).

1.2.5 L'existence du patrimoine scientifique (contemporain) au travers des dispositifs institutionnels

Dans le monde muséal, la meilleure manière d'identifier un objet est d'interroger un inventaire. Réaliser un inventaire est une chose minutieuse, encadré institutionnellement, et nécessitant une méthodologie rigoureuse et une préparation soignée, entre fonctions administratives, scientifiques et documentaires (Bary & Tobelem, 1998).

« [...] Pour que l'œuvre soit inventoriée, il faut qu'elle soit devenue visible. Et elle n'échappe pas à la nuit par la lumière qui l'éclaire comme elle éclaire les roches, mais par les valeurs qui l'éclairent comme elles ont toujours éclairé les formes délivrées de la confusion universelle. Tout inventaire artistique est ordonné par des valeurs ; il n'est pas le résultat d'une énumération, mais d'un filtrage » (Malraux, 1964).

1.2.5.1 Les dispositifs nationaux

Les inventaires, catalogues et bases de données

Il existe différentes manières de retrouver et d'identifier le patrimoine scientifique contemporain qui a aujourd'hui bénéficié d'une « attention » particulière ou d'une protection. En dehors des bases internes aux musées⁹¹, il est possible de consulter des bases d'inventaire en ligne, de s'adresser à différents organismes de protection ou de valorisation ou encore des réseaux de professionnels. Cette liste n'est certainement pas exhaustive, puisqu'aujourd'hui le terrain est favorable à un certain nombre d'initiatives indépendantes. Mais nous pouvons relever les principaux acteurs.

PALISSY⁹²

La base d'inventaire appelée Palissy est dédiée depuis 1989 au référencement du patrimoine mobilier des Monuments historiques publics et privés, ainsi qu'au patrimoine d'un certain nombre de musées, lycées, universités, observatoires, etc. Elle est mise en œuvre dans le cadre de l'inventaire général du patrimoine culturel du ministère de la Culture et de la Communication et compte parmi les cinq bases documentaires « Architectures et Patrimoine ».

⁹¹ Dans le cas du musée des Confluences, il s'agit par exemple de la base Flora, développée par la société Ever Team.

⁹² La base Palissy est disponible à l'adresse : <http://www.culture.gouv.fr/culture/inventai/patrimoine/>

« La base du patrimoine Mobilier-Palissy recense le patrimoine mobilier français dans toute sa diversité : meubles et objets religieux, domestiques, scientifiques et industriels. Elle contient environ **350 000** notices, dont près de **90 000** sont illustrées.

Les notices sont réparties en deux fonds interrogeables séparément ou simultanément. Le premier s'enrichit à mesure des enquêtes de l'**Inventaire général du patrimoine culturel** sur le terrain (environ 65 000 dossiers d'inventaire complets disponibles en ligne). Le second, constitué à partir des mesures nationales de protection au titre de la loi de 1913 sur les **Monuments historiques**, est mis à jour annuellement » (Ministère de la culture et de la communication, direction de l'architecture et du patrimoine, 2015).

Parmi les nombreuses disciplines représentées, on retrouve l'astronomie, la chimie, la physique, la biologie, etc. Dans la description de la base, il n'existe aucune restriction de « datation », mais une brève recherche⁹³ nous permet de savoir que sur les 350 000 notices que contient la base, seules 329 sont consacrées à des instruments scientifiques (0,09%). Si nous opérons un classement par datation, seuls trois objets correspondent à notre recherche (objet contemporain) : un écorché de cerveau (santé) qui date du 4^e quart du XX^e siècle, un appareil électrique à irrigation (santé) du 3^e quart du XX^e siècle et l'accélérateur linéaire d'ions lourds, dit LINAC, de cette même période. Les objets scientifiques contemporains peuvent donc *a priori* être intégrés à cette base, mais on peut considérer qu'ils sont aujourd'hui inexistantes.

JOCONDE⁹⁴

Cet inventaire est également rattaché à l'Inventaire général du patrimoine culturel du ministère de la Culture et de la Communication, mais est géré par le Service des Musées de France dans la Direction générale des Patrimoines.

« Le catalogue regroupe plus de 500.000 notices d'objets de toute nature (archéologie, beaux-arts, ethnologie, histoire, sciences et techniques...) valorisées par des parcours thématiques, des zooms et des expositions virtuelles.

Joconde est le fruit d'un partenariat constant entre le bureau de la diffusion numérique des collections

⁹³ Ce genre de base est destiné aux professionnels comme aux particuliers, mais le chercheur amateur doit mettre un certain moment avant de s'approprier le fonctionnement de ce genre d'outils. Il faut aussi considérer qu'il y a plusieurs contributeurs à la base, et que chacun peut avoir des directives différentes de remplissage. Par exemple, en recherchant « instrument scientifique » dans l'onglet désignation, on obtient 44 notices. La même recherche dans l'onglet « recherche libre » donne 329 notices. La qualité de remplissage des fiches sera différente en fonction du contributeur. Pour effectuer cette recherche « avancée », nous avons rempli les champs : « recherche libre » et « siècle ».

⁹⁴ La base Joconde est disponible à l'adresse : <http://www.culture.gouv.fr/documentation/joconde/fr/pres.htm>

du service des musées de France et les musées participants » (Ministère de la culture, Direction générale des patrimoines, & Service des musées de France, 2015).

Si nous recherchons les objets du domaine « sciences-techniques », nous obtenons 164 notices, dont 25 correspondent à un patrimoine daté du 3^e quart du XX^e siècle, et 11 du 4^e quart du XX^e siècle (aucun du domaine de la physique). Encore une fois, nous pouvons constater que le patrimoine scientifique contemporain est presque inexistant.

Le catalogue des collections numérisées⁹⁵

Ce catalogue a été entrepris à l'initiative du comité de la documentation informatisée et multimédia du ministère de la Culture et de la Communication. Il regroupe un nombre important de données iconographiques, sonores, des fonds de collectivités locales, de fondations, d'associations, des fonds d'objets, de plans, de photographies, etc. Ici ce sont bien des collections plus que des objets indépendants qui sont identifiés. Le catalogue permet de localiser une ressource disponible en ligne sur un site dédié, et donne accès à une recherche par thématique, région, période, type de document, etc.

« Catalogue collectif national, outil de pilotage des politiques de numérisation, Patrimoine numérique a vocation à valoriser les collections numérisées de France et à favoriser l'accès aux ressources numérisées. Les collections recensées sont issues de l'ensemble des initiatives, qu'elles émanent de l'État (plan national de numérisation du ministère de la Culture, programmes des grands établissements...), des collectivités territoriales, d'associations ou fondations » (Ministère de la Culture et de la Communication, 2015).

Le nombre de résultats obtenus pour notre recherche ici n'est pas pertinent puisque sous une entrée on peut retrouver une photo comme un fond photographique entier, un objet comme les collections entières d'un musée. Cette entreprise de numérisation concerne aujourd'hui 3262 collections et 1043 institutions. Dans le domaine des sciences et techniques, il est possible de remonter à un certain nombre de fonds de documents iconographiques disponibles en ligne, comme le fonds Curie ou à partir de Gallica⁹⁶.

NUMES

À l'origine, le serveur NUMES (inventaire en ligne des corpus numérisés et des projets de numérisation des établissements et organismes de l'Enseignement supérieur et de la

⁹⁵ Ce catalogue est disponible à l'adresse : <http://www.numerique.culture.fr/pub-fr/index.html>

⁹⁶ Base de données qui permet la consultation d'une partie des collections numérisées de la Bibliothèque Nationale de France, accessible à l'adresse : <http://gallica.bnf.fr/>

Recherche) recensait des collections dans de multiples disciplines, dont les sciences et techniques. Suite à un trop grand nombre de piratages de la base, celle-ci a fermé. Les 204 notices de corpus numériques saisies entre 2009 et 2014, ainsi que les données et images sur les projets, modes de diffusion et institutions liées à ces corpus, ont été sauvegardées par l'ABES (Agence Bibliographique de l'Enseignement Supérieur) ; mais elles ne sont apparemment pas accessibles au public pour le moment.

PATSTEC⁹⁷

Le projet PATSTEC est né à partir de 1996 dans les laboratoires d'enseignement universitaire et les organismes de recherche de la région des Pays de la Loire : il a mis en évidence la richesse du patrimoine présent et l'importance de recueillir le témoignage de ceux qui, dans les années 1960-1970, ont participé massivement à la création des laboratoires et les ont fait évoluer de façon dynamique (Musée des arts et métiers & Ministère de la recherche et de l'enseignement supérieur, 2015). Ce projet a ensuite été étendu à la France entière. En effet,

« depuis 2003, le Ministère de la Recherche a chargé le directeur du Musée des Arts et Métiers (CNAM) d'organiser un réseau national de sauvegarde et de valorisation du patrimoine scientifique et technique contemporain, en suscitant et en coordonnant les initiatives régionales.

Au XXI^e siècle, il apparaît en effet nécessaire de sauvegarder ce futur patrimoine en le replaçant dans le cycle de l'innovation qui l'a vu naître. Il constituera demain l'un des outils privilégiés permettant à nos concitoyens de se familiariser avec les savoirs, les techniques et les innovations » (Musée des Arts et Métiers, 2015).

Dans un contexte de mutation rapide du monde de la recherche et de baisse des effectifs des étudiants dans les filières scientifiques, cette mission a pour objectifs :

- de sensibiliser les établissements d'enseignement supérieur et de recherche et les entreprises à la sauvegarde de leur patrimoine scientifique et technique ;
- de recueillir la mémoire des chercheurs par le biais d'interviews ;
- d'inventorier et de documenter les instruments scientifiques postérieurs à 1950 pour les intégrer dans une base de données nationale, consultable en ligne ;
- de valoriser ce patrimoine par le biais d'articles, d'expositions, de prêts, etc., ce qui permet de valoriser l'ensemble des partenaires.

⁹⁷ La base Patstec est disponible à l'adresse : <http://www.patstec.fr/PSETT>

La base de données comporte aujourd'hui plus de 7 900 notices visibles sur le site internet de la mission. La réalisation de cet inventaire spécifique participe grandement à la préservation du patrimoine scientifique contemporain et permet de mobiliser différentes personnes autour de cette thématique. Mais on peut également s'interroger sur la méthode employée. Les fiches d'inventaires sont le fruit du travail des missions régionales et participent directement à la sensibilisation auprès des établissements d'enseignement supérieur et de recherche, à la sauvegarde de leur patrimoine. Les objets inventoriés sont intégrés à la base de données nationale et consultable en ligne, mais à condition de réaliser sa recherche sur le site de la mission. En effet, il est regrettable que le référencement du site ne permette pas aux fiches de ressortir via une recherche classique sur un moteur de recherche lambda⁹⁸. On peut se demander si les objets inventoriés par les Universités gagnent réellement en visibilité en étant intégrés à la base Patstec. La mission de recueil de la mémoire des chercheurs est faite sous la formes d'interviews (16 vidéo faites par la mission Pays de Loire et 1 vidéo en réalisée par la région Midi-Pyrénées) qui mettent bien en avant toute la difficulté de cette entreprise. Le discours du chercheur est certes très riche, mais aussi parfois très complexe. La mission s'est ici confrontée au temps que demande la réalisation de telles vidéos, mais aussi à toutes les démarches très spécifiques qu'elles nécessitent et dont l'Université Toulousaine s'est faite spécialiste⁹⁹. Cette mission toute dédiée a le mérite d'exister et d'agir directement dans le sens de la préservation du patrimoine scientifique contemporain, mais on peut s'interroger sur la pertinence des méthodes utilisées et la portée de son action.

⁹⁸ Nous pouvons prendre l'exemple de la recherche d'une machine électrostatique de Wimshurst. Sur la base Patstec, il y a 11 références sous les noms « appareil de Wimshurst », « machine de Wimshurst », ou encore « machine électrostatique à influence de Wimshurst ». Si nous faisons cette recherche sur un moteur de recherche type Google, à aucun moment ces fiches ne sont affichées. Par contre, on peut retrouver les mêmes objets via les sites des Universités participant à la mission et qui mettent leurs objets en ligne de manière individuelle.

⁹⁹ Nous avons à ce titre participé au colloque organisée par l'Université Toulouse II Le Mirail (2012) intitulé « Vie savante : formes et récits d'un style » et dont l'objectif était de revenir sur les manières de dire les vies savantes. Il mettait en avant le fait que la figure scientifique est particulièrement féconde pour générer des récits (auto)biographiques mais aussi que les manières de « se dire » et de « se mettre en scène » (en tant que savant) témoignent de conceptions personnelles mêlant la pratique scientifique, mais aussi la vie sociale du savant, l'une et l'autre se modelant.

« La narration vient ici déplier une trajectoire, articuler des événements, des lieux, des personnes, des valeurs ; les torsions sont parfois gommées, parfois exacerbées ; des ruptures brutales deviennent des épisodes émollients, des stries à peine visibles sont muées en frontières intangibles : des scripts, des styles et des configurations se dégagent qui fournissent la matière d'une grammaire des récits de vies savantes. Un répertoire de figures s'établit, mobilisé de façon plus ou moins consciente par les savants se racontant. »
(Université fédérale Toulouse Midi-Pyrénées, 2012)

Lorsque nous avons réalisé des interviews de chercheurs dans notre exploitation historique de l'accélérateur Cockcroft-Walton, c'est la méthodologie découverte lors de ce colloque que nous avons utilisée.

L'ASEISTE (Association de Sauvegarde et d'Étude des Instruments Scientifiques et Techniques de l'Enseignement) est une association française fondée en 2004 par Christian Gendron et Francis Gires, qui œuvre principalement dans les collèges, lycées et universités françaises. Elle a pour objectif d'aider les établissements scolaires à prendre conscience de l'importance que peut avoir leur patrimoine scientifique et de les aider à en assurer la sauvegarde, l'étude et la mise en valeur. Son action principale est la réalisation d'un catalogue (inventaire) contenant plus de 5 600 objets, provenant de plus de 50 établissements essentiellement français. Le président de l'association a été chargé de mission par le ministère de l'éducation nationale pour la sauvegarde du patrimoine scientifique dans les lycées et collèges. Les objets sont classés par établissement, par nom, par constructeur, et par discipline, ce qui rend la recherche bien différente des autres bases. Nous ne retrouvons pas la distinction par date par exemple et celle-ci n'est souvent pas mentionnée dans les fiches descriptives. Nous remarquons cependant qu'il n'y a quasiment pas d'instruments *a priori* « contemporains ».

Les réseaux

L'Observatoire du Patrimoine et de la Culture Scientifiques et Techniques (OPCST) de l'Office de Coopération et d'Information Muséales (OCIM) et l'Université de Bourgogne ont mis au point un site collaboratif appelé « plateforme OCIM-Université », dans le but de faire une étude sur les collections des universités. Les données collectées entre 2010 et 2012 ont été publiées sous la forme d'un rapport disponible gratuitement en ligne (Office de Coopération et d'Information Muséales & Université de Bourgogne, 2010). Ce document permet de localiser les collections universitaires « actives » et de les catégoriser, mais elle ne permet pas d'en connaître précisément la nature. La plupart des universités ayant répondu, 37 sur les 131 existantes, sont déjà engagées dans des actions de valorisation du patrimoine, comme la mission PATSTEC. Ceci nous permet de penser qu'un certain nombre de collections « contemporaines » font partie de cette collecte, mais elles ne sont pas clairement mentionnées.

« La situation du patrimoine universitaire, sa dispersion disciplinaire ou thématique (historique, archives, immatériel, etc.), la multiplicité des entités qui en ont la charge (facultés, entités de recherche, services spécialisés), la diversité de ses usages (recherche, enseignement, histoire des

¹⁰⁰ Le site de l'association de l'ASEISTE est disponible à l'adresse : <http://www.aseiste.org/>

sciences ou simple conservation) et la variabilité de l'attention qui lui est portée, laissent à penser que beaucoup d'établissements n'en ont qu'une connaissance imparfaite » (Office de Coopération et d'Information Muséales & Université de Bourgogne, 2010).

Les autres réseaux, souvent des associations soutenues par différentes organisations, ont tous la volonté de favoriser les échanges en développant différents outils. L'AMCSTI (Association des Musées et Centres pour le développement de la Culture Scientifique, Technique et Industrielle¹⁰¹) est un réseau qui fédère plus de 200 acteurs scientifiques allant des Museums aux associations d'animation scientifique, mais aussi des centres de sciences, des établissements de recherche, des musées techniques, etc. Soutenue par les ministères en charge de la Recherche et de la Culture, elle œuvre plus particulièrement pour la reconnaissance et le développement de la Culture Scientifique, Technique et Industrielle (CSTI) en France, notamment à travers la publication de son bulletin disponible en ligne¹⁰².

La FEMS (Fédération des écomusées et musées de sociétés¹⁰³) regroupe 170 structures patrimoniales établissements impliquées dans l'économie solidaire et le développement local. Cette association permet de rencontrer un grand panel de professionnels et d'amateurs, autour d'une « écomuséologie » qui place le citoyen au cœur de l'action de médiation. Le patrimoine contemporain est un objet de recherche qu'ils connaissent bien et pratiquent au quotidien. Leurs actions sont diverses : carte du réseau en ligne, journées professionnelles, formations, expositions virtuelles, expositions itinérantes, etc.

Le projet ESTIM¹⁰⁴ (Egalité d'accès aux Sciences et Techniques, à l'Innovation et au Multimédia), est un portail dédiés aux professionnels de la culture scientifiques technique et industrielle. Lauréat d'un appel à projet du programme des investissements d'avenir, il est porté par Universcience, et bénéficie du soutien de l'AMCSTI. Le site offre une aide à la recherche documentaire, donne accès à un annuaire de professionnels du milieu, tient à jour un agenda des manifestations, expositions, formations, rencontres, spectacles, etc. Mais son action la plus conséquente est de fournir un panel de documents : vidéos, sons, images, fiches d'exposition, publications, outils pédagogiques et outils muséologiques. Certaines de ces informations se retrouvent également via le réseau REMUT (Réseau des Musées et collections Techniques¹⁰⁵).

¹⁰¹ <http://www.amcsti.fr/>

¹⁰² Bulletin de l'AMCSTI : <http://www.bulletin-amcsti.fr/>

¹⁰³ <http://www.fems.asso.fr/>

¹⁰⁴ <https://www.estim-science.fr/>

¹⁰⁵ <http://www.remut.fr/le-reseau/>

Le CCSTI¹⁰⁶ est l'association nationale des Centres de Culture Scientifique, Technique et Industrielle qui fédère différentes antennes régionales. Ils jouent un rôle d'assembleur territorial avec des collectivités locales, des structures nationales et internationales en partenariat avec le monde de la recherche, de l'éducation des entreprises et du milieu associatif.

D'autres associations, peut-être plus spécifiques, peuvent également devenir des ressources, comme l'AGCCPF (Association Générale des Conservateurs des Collections Publiques de France¹⁰⁷) ou l'AJSPI (Association des Journalistes Scientifiques de la Presse d'Information¹⁰⁸).

1.2.5.2 Les dispositifs internationaux

Les inventaires

Au niveau international, il existe aussi des inventaires. Le plus connu est celui de l'UNESCO (Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Science et la Culture) appelé Digicol (Collections Digitales¹⁰⁹) : il recense les collections numérisées à travers le monde. L'objectif est de faire connaître les aspects culturels patrimoniaux pour mieux les sauvegarder. Sur le thème de la « science », il existe 11 entrées (dont celle de l'American Institute of Physics qui propose une numérisation des travaux d'Einstein¹¹⁰).

Plus particulièrement pour les collections scientifiques, la base SCICOLL (Scientific Collections International¹¹¹) a pour mission d'accroître l'utilisation et l'impact des collections scientifiques et de développer l'accès, la sensibilisation et l'appréciation des collections scientifiques. Elle développe notamment un registre en ligne des collections, dans le but de faciliter l'émergence d'une nouvelle génération de recherches interdisciplinaires basées sur les collections et axées sur des thématiques actuelles comme les maladies émergentes, la sécurité alimentaire, la migration humaine ou le changement climatique.

Les réseaux

Il existe aussi un certain nombre de dispositifs mis en place au niveau international, avec des objectifs qui se recoupent parfois. Le plus ancien (créé en 1946) et qui fait référence

¹⁰⁶ <http://www.cesti.fr/>

¹⁰⁷ <http://www.agccpf.com/agccpf>

¹⁰⁸ <http://www.ajspi.com/>

¹⁰⁹ <http://www.unesco.org/webworld/digicol/>

¹¹⁰ <https://www.aip.org/history/exhibits/einstein/>

¹¹¹ <http://scicoll.org/index.html>

dans la communauté muséale mondiale est l'ICOM (International Council Of Museum). Nous avons déjà mentionné cette communauté dans le paragraphe traitant de la protection du patrimoine au niveau européen et international.

« Officiellement associé aux conventions multilatérales internationales liées au patrimoine, l'ICOM est un espace diplomatique rassemblant 136 pays et territoires, qui concentre des personnalités internationalement reconnues grâce à leur action en faveur de la culture » (« ICOM International Council Of Museums », 2015).

Cette organisation a différentes missions dont celles de la valorisation de la culture et de la connaissance, la protection du patrimoine matériel et immatériel.

Le deuxième groupe important, concerné par le patrimoine, est Universeum (Réseau du patrimoine Universitaire Européen).

« Universeum is a European network established in 2000 and concerned with academic heritage in its broad sense, tangible and intangible. It aims at the preservation, study, access and promotion of university collections, museums, archives, libraries, botanical gardens, astronomical observatories, etc. It is open to heritage and museum professionals, researchers, students, university administrators and all those involved with university heritage » (« UNIVERSEUM European Academic Heritage Network », 2015).

Ce type de collectifs propose des congrès, des groupes de travail, une veille documentaire importante, des annuaires, des agendas d'évènements incontournables, etc. Il existe aussi un réseau européen des centres de sciences et musées, ESCITE¹¹², qui réunit plus de 350 organisations en Europe et dans le monde entier, dans le but d'encourager et de soutenir toutes les organisations qui engagent les gens avec la science, et de promouvoir leurs actions. Une carte interactive donne les coordonnées des différents membres. Les sites Internet des musées de sciences sont aussi un bon moyen de retrouver certains objets et permettent d'en identifier d'autres. Parmi les plus connus, nous pouvons citer :

- Museum of the History of Science, Oxford, Royaume-Uni
- Istituto e Museo di Storia della Scienza, Firenze, Italie
- British Museum, London, Royaume-Uni
- Museum Boerhaave, Leiden, Pays-bas
- Le Musée des Arts et Métiers, Paris, France

¹¹² <http://www.ecsite.eu/>

- Norwegian Museum of Science and Technology, Oslo, Norvège
- Deutsches Museum, München, Allemagne

Nous citons ici les musées à caractère uniquement scientifique, mais il existe aussi un certain nombre de musée avec des thématiques plus générales qui possèdent également des collections d'instruments scientifiques, comme le musée des Confluences à Lyon. Nous pourrions également citer Universcience à Paris, qui est la fusion du Palais de la découverte et de la Cité des sciences. Il en existe d'autres à travers le monde, mais dont la principale occupation est de mettre les sciences dans les mains du public et qui ne présentent pas à proprement parlé de collection patrimoniale. Nous pouvons également citer EUSEA (European Science Events Association¹¹³) qui travaille à la création d'une plateforme internationale pour les communicateurs scientifiques. Sur ce site dédié au partage des approches de la culture des sciences, on retrouve un listing d'évènements, de projets propres à la communication scientifique. L'IUHPS (Union Internationale d'Histoire et de Philosophie des Sciences¹¹⁴) possède une composante dédiée aux instruments scientifiques appelée SIC (Scientific Instrument Commission¹¹⁵). Cette commission regroupe plusieurs pays, essentiellement lors de colloques annuels sur des thématiques visant à encourager la recherche scientifique sur l'histoire des instruments scientifiques, sur la préservation et la documentation des collections d'instruments, ainsi que sur leur utilisation dans la discipline plus large de l'histoire des sciences. Le site Internet de la SIC fournit des liens vers des documents de référence et d'autres sources d'informations relatives à des instruments scientifiques. Il est ainsi possible de trouver en ligne : des catalogues commerciaux d'instruments scientifiques, des vidéos de manipulation ou de vulgarisation, des liens vers des bases de données de catalogues d'instruments, etc. et la possibilité de s'inscrire dans une liste de diffusion consacrée à l'histoire des instruments scientifiques et ouverte à tous¹¹⁶. La revue en ligne eRittenhouse¹¹⁷ a pour objectif de faciliter la communication entre les personnes intéressées par des instruments scientifiques, leur développement, la construction, l'utilisation et l'impact social et éducatif en ce qui concerne les Amériques pour toutes les périodes, y compris actuelle. On peut y lire des documents en plusieurs langues, se tenir informé des projets de

¹¹³ <http://www.eusea.info/About>

¹¹⁴ <http://iuhps.net/>

¹¹⁵ <http://iuhps.org/index.shtml>

¹¹⁶ Pour plus d'informations et une éventuelle inscription à la mailing list RETE, consulter : <http://www.mhs.ox.ac.uk/join/rete/>

¹¹⁷ <http://www.erittenhouse.org/>

recherche en cours, des publications de livres, des collectes d'instruments. Le réseau international et les ressources associées sont d'une grande richesse.

Conclusion du chapitre

« Il n'existe pas [...], ce moment magique où un objet va passer d'un statut quotidien, quasi banal, à celui d'objet exemplaire, parce que fragile unique ou beau, pour devenir patrimoine. C'est donc dès maintenant qu'il faut envisager cet objet du XX^e siècle comme faisant patrimoine : à nous de définir la façon dont nous voulons qu'il soit considéré » (Van Reeth, 2007).

Longtemps, l'objet de patrimoine était déconnecté de l'ordinaire et des hommes. Il prouvait sa singularité par son appartenance à un « passé définitif et irrévocable » (Choay, 2009), un objet hors du temps, hors de son espace. C'est l'époque où les politiques en ce domaine étaient centrées sur « la conservation et la sanctuarisation du bien patrimonial » (Amougou et al., 2011).

Mais aujourd'hui, cette vision tend de plus en plus à disparaître et une nouvelle conception voit le jour. L'objet est aujourd'hui caractérisé par l'*ensemble* auquel il appartient et par le processus qui l'a vu naître. Il caractérise un territoire, retrouve sa place dans une histoire, et ne peut être décontextualisé. Très en lien avec les questions de propriété et d'identité, l'objet de patrimoine a la particularité de ne pas appartenir à son seul propriétaire, mais de faire sens pour toute une communauté. Il est un bien partagé et sa mise en valeur sert d'appui au sentiment d'appartenance à une communauté (Gellereau, 2003).

Concernant le patrimoine scientifique, aujourd'hui le constat est fait : nous avons déjà perdu un certain nombre de savoir-faire, nous ne savons plus nommer ni nous servir des instruments retrouvés au fond des combles, nous ne connaissons plus leur utilisation, leur fonctionnement. Les personnes qui ont peut-être connu ces objets dans leur période d'activité vieillissent et n'ont pas l'occasion de témoigner de leur savoir, qui est irremplaçable. Les instruments scientifiques ont été perdus, volés, vendus, détruits, oubliés, cannibalisés, à cause de l'évolution technologique, des mœurs, ou de l'évolution des pratiques (Atkinson, 2009). Quand ils ont été conservés, c'est parfois sans connaissance des spécificités des nouveaux matériaux et de leurs pathologies, ce qui conduit à une dégradation souvent irrémédiable (Tomsin, 2007).

L'instrument scientifique n'a pas pour fonction première d'être exposé à un public ni d'être esthétique. C'est le témoin d'une époque, d'une pratique, d'un savoir-faire, d'une

technique, d'une démarche. Son message est polysémique. Pour garder toute la richesse de son témoignage, il ne doit pas être séparé de son milieu, de sa documentation et de son histoire. La muséologie utilise le terme de « dossier d'œuvre » pour désigner toute la documentation relative à l'objet. Ce dossier documentaire rassemble les informations nécessaires à la connaissance scientifique de l'objet et est enrichi à chaque événement. C'est à la fois une fiche d'identité, un historique, un constat d'état, une recherche documentaire, un recueil de correspondances, un agenda, une bibliographie, une archive, un recueil photographique. Les dossiers d'œuvres sont le plus souvent sous la responsabilité des chargés de collections (Maigret, 2010). Dans son mémoire pour l'obtention du grade de chef de projet en ingénierie documentaire, Stéphanie Fargier-Demergès le définit ainsi :

« C'est un dossier documentaire considéré comme un outil de travail scientifique et technique qui constitue une archive vivante et évolutive de la vie d'une œuvre » (Fargier-Demergès, 2009).

L'ensemble de ces documents, qui permettent de replacer l'objet dans son contexte et d'en estimer toute la valeur, est à notre sens primordial, surtout en ce qui concerne l'objet scientifique contemporain.

« L'objet constitue la seule trace tangible du passé et, à ce titre, les hommes [...] l'ont parfois conservé, recherché, collectionné. Mais il est ambigu, car il est le plus souvent muet. Aussi la quête de l'objet est-elle suscitée par le texte, lorsqu'un fragment de réalité est identifié à sa description, et c'est également le texte qui fait parler l'objet » (Robert, 2010).

Nous rapprochons cet outil de muséologie (le dossier d'œuvre) à celui de la biographie d'objet et du concept de culture matérielle (Appadurai, 1988 ; Bonnot, 2009 ; Gellereau, 2012 ; Kopytoff, 1986) récemment remise au goût du jour en ethnologie ou en science de l'information et de la communication.

L'objet scientifique contemporain se rapporte à une période, à un groupe social humain qui l'a fabriqué, testé, utilisé, usé, abandonné, retrouvé, sauvegardé, restauré, conservé, valorisé. Les personnes qui sont intervenues au cours des étapes de la vie de l'objet ont une importance cruciale. S'il est répandu dans le milieu de la conservation de s'intéresser aux récits qui concernent l'authenticité et l'usage de l'objet, il l'est beaucoup moins de s'intéresser à toutes les étapes qui ont amenées l'objet là où il est aujourd'hui. La biographie de l'objet scientifique est en fait l'histoire de ses singularisations successives. Chaque étape du parcours de l'objet a donné (ou donne encore) naissance à des récits « qui redonnent vie à des bribes d'histoires locale ou personnelle et les croisent avec l'histoire du territoire ou celle

des conflits internationaux » (Gellereau, 2012). Ces récits sont essentiels dans la construction de sens autour de l'objet. Le discours¹¹⁸ développé dans le cadre de la médiation peut aussi être considéré comme un récit dans le sens où ils permettent aussi de créer la cohérence entre les objets et permettent de les interpréter. C'est pourquoi leur analyse nous semble essentielle, et fera l'objet du chapitre suivant.

¹¹⁸ Voici un autre terme qu'il est nécessaire de préciser. Le *discours* est un énoncé, oral ou écrit, par un énonciateur à l'intention d'un destinataire (situation de communication). Il sera défini plus précisément dans le chapitre suivant.

Chapitre 2 : la valorisation du patrimoine scientifique contemporain dans un musée : cas du Cockcroft-Walton au musée des Confluences dans l'exposition Sociétés : le théâtre des hommes

Introduction du chapitre 2

Nous venons de voir que l'objet scientifique contemporain est un objet polysémique dont le parcours a donné naissance à des récits primaires qui sont aujourd'hui essentiels à la construction de sens et à son interprétation. La reconnaissance de l'objet par la sphère sociale, nécessite une valorisation¹¹⁹ de l'objet, qui passe aussi par la réalisation de récits :

« La médiation se réalise dans une chaîne de récits qui construisent une biographie culturelle des objets, depuis ceux que l'on a reconstitués au moment de la découverte jusqu'à ceux que l'on va partager avec les publics en passant par ceux que l'on a rassemblés pour interpréter l'objet » (Gellereau, 2012).

Cette étude de cas vise en partie à repositionner la question du récit au cœur du processus de patrimonialisation, puisque le récit a le pouvoir de donner vie aux objets en établissant les liens qu'ils ont entretenus avec les hommes. Comme l'expliquait Michelle Gellereau dans le cas des objets de la Seconde Guerre mondiale :

« Le récit qui traite de l'usage des techniques et de leurs effets humanise les objets dans un double sens, de l'objet à l'homme et de l'homme à l'objet » (Gellereau, 2012).

L'analyse du discours développé autour de l'accélérateur de particules CW, auquel nous allons nous attacher dans ce chapitre, est orientée par un certain nombre d'hypothèses.

¹¹⁹ Nous venons de le voir, Davallon utilise surtout le terme de « célébration » de l'objet pour parler de sa présentation au public et de son exposition. Comme nous ne souhaitons pas nous limiter au milieu de l'exposition dans la suite de notre étude, nous choisissons d'utiliser le terme de « valorisation », signifie de manière plus générale : renforcer la lisibilité, offrir une place, donner à voir.

Dans la mesure où les nouvelles expositions du musée des Confluences (MDC), encouragent le dialogue entre les disciplines, il est légitime d'envisager que l'accélérateur de particules soit intégré dans un parcours qui permette au visiteur d'en saisir une interprétation, de se l'approprier.

« Le visiteur déambule entre des pièces issues de cultures et d'époques qui n'auraient jamais pu se rencontrer, mais dont le rapprochement fait sens et éveille la curiosité. La libre circulation laisse place à un temps d'interprétation et d'appropriation permettant à tout un chacun de construire sa visite »
(« Site Internet Musée des Confluences », 2015).

Mais, dans le même temps, les objets scientifiques contemporains, et peut-être plus particulièrement ceux qui sortent des laboratoires de recherches, sont devenus des « boîtes noires » qui peuvent être difficiles à « faire parler » et à légitimer dans les collections patrimoniales ou dans un espace d'exposition.

Le terme d'exposition connaît des définitions multiples mais nous l'envisagerons ici comme un dispositif à la fois sémantique et communicationnel au sens où le définit Marie-Sylvie Poli pour les sciences de l'information et de la communication (Poli, 2010). Autour d'une idée directrice (un fil rouge) se rassemblent des objets, mais aussi des savoirs et des points de vue actifs dans « la sphère pensante » et la société, à un moment donné. Faire une exposition signifie donc faire des choix, parfois des concessions, sélectionner des contenus et en abandonner d'autres. Ils effectuent ce que les travaux d'Éric Triquet (Triquet, 1993) ont défini comme étant une transposition médiatique. La transposition médiatique est aussi un outil de recherche qui analyse la façon dont le contenu d'une connaissance (contenu scientifique, discours scientifique) est traité, dans un projet de communication aux non-spécialistes (exposition scientifique). En cela, elle constituera notre cadre d'interprétation.

Nous faisons ici avec Poli, l'hypothèse que tous ces choix vont se retrouver exprimés, de manière plus ou moins explicite, dans le texte écrit de l'exposition et que le texte nous laissera entrevoir les partis pris méthodologiques et épistémiques des concepteurs de l'exposition (Poli, 2010). Les éléments mis à disposition du public pour le guider dans une interprétation de l'objet, peuvent témoigner de certaines difficultés de formulation ou de sélection du discours. Il importe ici de bien étudier le discours tenu dans les différentes strates

de l'exposition, et de voir quels éléments, au regard de l'étude épistémologique que nous avons menée en première partie, sont donnés au visiteur lors de sa visite.

Dans un premier temps, nous allons décrire la scénographie globale de l'exposition, pour aller plus en détail dans les éléments qui constituent l'environnement de l'accélérateur. Nous poursuivrons par la présentation des outils d'analyse que nous avons choisis ou développés pour cette analyse des mots des récits de l'exposition. Nous identifions des outils d'analyse sémiotiques, qui nous permettent dans un premier temps d'identifier les fonctions du texte qui est présenté au visiteur. Parmi ces fonctions, nous relevons particulièrement les textes relevant de la fonction d'inventaire et de la fonction d'ancrage. Dans un deuxième temps, en repartant des critères réglementaires d'inventaires, nous identifions la nature des informations présentes dans les textes à fonction d'inventaire ou d'ancrage. Enfin, nous évaluerons le degré d'implication de ces informations, avec l'objet exposé au visiteur (singularité). La fin du chapitre sera consacrée à la présentation des résultats et à leur interprétation.

2.1 L'environnement de l'accélérateur de particules dans l'exposition *Sociétés*, description du corpus de l'étude

Il est possible, depuis le 20 décembre 2014, de voir la partie supérieure d'un accélérateur de particules de type Cockcroft-Walton dans l'exposition *Sociétés : le théâtre des hommes*, au musée des Confluences. Grâce aux années passées dans le musée dans le cadre du contrat CIFRE, nous avons pu récolter plusieurs documents qui vont pour nous être pertinents. Tous n'ont pas le même statut : certains sont des documents de travail, d'autres des documents officiels ou encore des transcriptions du contenu disponible au public dans l'exposition.

Les données utilisées dans cette étude sont : le cahier d'objets de l'exposition de synthèse et de référence n°3¹²⁰, le texte du parcours permanent de l'exposition figurant dans

¹²⁰ Dans le cadre de la création du projet « musée des Confluences » les salles d'exposition portent le nom d'ESR (exposition de synthèse et de référence) pour exprimer la volonté des concepteurs de ne pas faire « d'exposition permanente ». En effet, à l'origine, ces ESR devaient être renouvelées tous les 10 ans. Aujourd'hui, même si l'on parle « de parcours permanent » l'institution prévoit de faire évoluer ses vitrines au fil

les notes d'intentions de scénographie, le cartel de l'objet, les transcriptions et notices successives des audioguides le concernant, la fiche inventaire de l'instrument, le support vidéo accompagnant l'accélérateur dans l'exposition. De manière à être le plus claire possible sur l'utilisation que nous faisons de ce corpus, nous proposons un tableau (Tableau 2 :) donnant brièvement les éléments clés de la source et l'utilisation que nous en faisons.

Tableau 2 : explicitation du corpus de cette partie de l'étude

<p>Le cahier d'objets de l'exposition de synthèse et de référence n°3</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Matériel d'étude non disponible pour le public. - Document destiné aux concepteurs et aux scénographes - Utilisé pour la description de l'exposition
<p>Le texte du parcours permanent de l'exposition (figurant aussi dans les notes d'intentions de scénographie)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Mis à disposition du public - Textes écrits à destination du public - Utilisé comme matériel d'étude de base (analyse fonctionnelle et analyse avec les outils épistémologiques)
<p>Le cartel de l'objet</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Mis à disposition du public - Textes courts écrits à la fois pour le public et pour les pairs - Utilisé comme matériel d'étude de base (analyse fonctionnelle)

des années. Durant les années de travail avant l'ouverture, avant que le titre ne soit décidé, l'exposition *Sociétés* était l'ESR n°3.

<p>Les transcriptions et notices successives des audioguides le concernant</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Seule la version finale de l’audioguide sera mise à disposition du public. Le reste est un matériel d’étude. - Texte oral, écrits à destination du public - Utilisé comme matériel d’étude de base (analyse fonctionnelle). Seule la version définitive sera utilisée avec les outils épistémologiques
<p>La fiche inventaire de l’instrument</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Mis à disposition du public dans un temps extérieur à la visite via le site internet - Document destiné aux concepteurs, aux pairs, à l’institution muséale - Utilisée pour identifier les critères d’inventaire dont dispose les concepteurs
<p>Le support vidéo accompagnant l’accélérateur dans l’exposition.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Mis à disposition du public pendant la visite - Support réalisé à destination du public - Utilisé comme matériel d’étude de base (analyse fonctionnelle et analyse avec les outils épistémologiques)

Ces supports ne sont pas tous à proprement parler des « outils de médiation », mais comme les définit Allen, ce sont les éléments à disposition du visiteur lors d’une visite « auto-guidée », l’expérience de visite la plus commune (Allen, 2004). Ces éléments sont cruciaux, car ils sont le moyen d’expressivité de l’exposition (ou du média-exposition). Les autres éléments de notre corpus ne sont pas mis à disposition du public directement dans

l'exposition : les transcriptions et notices successives des audioguides, la fiche inventaire de l'accélérateur¹²¹, le cahier d'objets de l'exposition ou les notes d'intentions des concepteurs.

Dans cette partie de l'étude nous empruntons un outil d'analyse et nous en développons deux autres qui sont complémentaires au premier. Les résultats sont interprétés avec un cadre qui est présent dans notre travail de manière sous-jacente : la transposition médiatique. Nous commencerons donc par définir ce que nous entendons par transpositions médiatique et les éléments qu'elle nous invite à prendre en considération dans nos analyses.

2.1.1 La cadre d'interprétation de nos résultats : L'exposition au cœur du système médiatique

La transposition médiatique (Triquet, 1993) est une adaptation de la transposition didactique définie par Chevallard (Chevallard & Johsua, 1991) au milieu de la communication scientifique.

Créé par Yves Chevallard dans les années 80 en didactique des mathématiques¹²², le concept de transposition didactique occupe toujours une place centrale dans le champ de la didactique des sciences. Tantôt approuvée, tantôt décriée et améliorée, la définition de la transposition didactique a été très discutée au sein de la communauté des didacticiens (Groupement de recherche didactique et acquisition des connaissances scientifiques, 1994). Elle garde cependant un grand potentiel d'adaptabilité, ce qui en fait un outil efficace pour plusieurs domaines de recherche. Partant de la constatation d'une distance entre le savoir produit par les scientifiques et le savoir enseigné en classe, la transposition didactique propose une modélisation des grands mécanismes qui régissent la transmission des connaissances scientifiques. Elle permet de visualiser la descendance d'un savoir scientifique produit dans un milieu qui lui est propre, à la connaissance scientifique enseignée dans le milieu de l'éducation, sans en négliger la dimension sociologique. La transposition repose sur l'hypothèse que le processus de transmission d'une connaissance donnée est soumis à des contraintes particulières. Usuellement, la transposition didactique, permet de distinguer les savoirs savants produits, les savoirs à enseigner qui sont définis pour le système scolaire, le savoir enseigné par le professeur et enfin le savoir appris par les élèves. Chevallard définit sa théorie à partir de trois points :

¹²¹ En revanche, les informations de la fiche d'inventaire de l'objet qui sont communicables, sont disponibles sur le site internet de l'institution.

¹²² Le concept initial de transposition didactique a été créé par le sociologue Michel Verret en 1975.

« Les savoirs naissent et croissent en certains « lieux » déterminés de la société ».

« Les besoins sociaux font que les savoirs produits doivent vivre aussi en d'autres lieux de la société ».

« Afin de pouvoir vivre « loin » de leurs lieux de production, les savoirs subissent des transformations qui les adaptent aux écologies « locales » correspondantes ».

Autrement dit, les connaissances scientifiques naissent et grandissent dans un milieu spécifique, dans certains « lieux » déterminés de la société. Une connaissance scientifique ne reste cependant pas dans ce milieu qui l'a vu naître, mais va être amenée à circuler. Elles ne font pas que « traverser » ces milieux, mais s'en imprègnent et en ressortent modifiées, de manière à ce qu'elles fonctionnent dans des environnements différents. Dans le cas où le nouveau milieu de circulation des connaissances est le système scolaire, il existe un « contenu de savoir » ayant été désigné comme « savoir à enseigner » et ce dernier va devoir s'adapter à son nouveau milieu. Les connaissances scientifiques vont subir un certain nombre de transformations de manière à les rendre aptes à prendre leur place parmi les objets d'enseignement. Cet ensemble de transformations adaptatives qui fait d'un objet de savoir « à enseigner » un « objet d'enseignement » est appelé la transposition didactique (Astolfi, Darot, Ginsburger-Vogel, & Toussaint, 2012b).

De son côté, la transposition médiatique analyse la façon dont le contenu d'une connaissance (contenu scientifique, discours scientifique) est traité, dans un projet de communication aux non-spécialistes (exposition scientifique). L'exposition est au cœur du système médiatique qui met en relation trois acteurs : les destinateurs (ce sont les émetteurs de l'exposition, ceux que nous appelons ici les concepteurs), les destinataires (ce sont récepteurs de l'exposition, les visiteurs) et les référents (les garants du savoir scientifique).

La première phase de la transposition médiatique est celle qui extrait un contenu du savoir savant pour le retraiter et faire un « contenu scientifique exposable » au grand public. Le savoir de référence de l'exposition est le même que celui de l'enseignement, mais peut même parfois être davantage actualisé et innovant (Jacobi & Schiele, 1988). À l'issue de cette première partie, les textes sont plus ou moins rédigés, avec un agencement encore modulable.

La seconde phase est celle qui va mettre en scène ce savoir, conformément aux exigences des scénographes, designers, graphistes... pour en faire un « savoir exposé ». L'instance de production de l'exposition est celle qui prend en charge la transposition du savoir. Cette instance est composée de personnes qui ne vont pas jouer le même rôle ni

assumer les mêmes responsabilités. Elle est souvent composée d'acteurs provenant de mondes totalement différents et dont les attentes respectives sont différentes : le scientifique se fait garant du message scientifique, le conservateur le défenseur de l'intégrité de l'objet, le scénographe de l'esthétique de l'exposition, etc. De cette noosphère très hétérogène en résulte une transposition bien peu paramétrée (Triquet, 1993). L'intervention des acteurs de la mise en scène du savoir a souvent pour conséquence une fragmentation et une dissémination du contenu, dans l'espace de l'exposition. Cette disposition matérielle du savoir devient un élément crucial (Guichard & Martinand, 2000) de la transposition médiatique.

À l'inverse d'une situation de classe où élèves, professeur et savoirs sont actifs au même instant, les acteurs du système médiatique n'ont pas l'occasion de se trouver « ensemble » dans l'exposition. Quand le visiteur découvre l'exposition, les concepteurs en sont absents et il se confronte seul au discours qui lui est proposé. Une alternative à cette situation peut être la présence d'un guide, mais ce ne sera pas le cas dans notre étude. L'élément crucial du système médiatique est donc bien que l'exposition est le point central d'une double mise en relation : celle du destinateur avec le destinataire, et celle du savoir exposé avec le visiteur.

Triquet nous rappelle aussi que le système médiatique est soumis à un certain nombre de contraintes qu'il est bon d'avoir en tête lors de son analyse.

- L'environnement de l'institution médiatique est dépendant de ressources financières extérieures (mécénat, appel à projets, appel d'offres, etc.) imposant aussi à l'institution d'être conforme au message attendu. Le musée, dans notre cas, est dépendant des recettes produites par les entrées et doit répondre aux exigences de satisfaction du public, il est soumis à la concurrence, doit répondre aux attentes d'une « clientèle ».
- La présence du visiteur dans l'exposition n'est pas une obligation ; c'est aux concepteurs de l'exposition de tout mettre en œuvre pour construire leur audience.
- Les contraintes de décontextualisation et recontextualisation de l'objet sont bien sûr très fortes : l'objet prélevé est coupé de tous liens avec son contexte d'origine pour être inséré soit dans un nouveau réseau de signification soit dans une nouvelle « mise en scène ». Une nouvelle contrainte est ici celle de la communication : pour que le visiteur puisse réagencer le savoir qui lui est proposé et produire du sens, l'exposition doit répondre à une stratégie de communication (Davallon, 2000).

Les sciences de l'information et de la communication, considèrent que l'exposition (système plurisémiotique) s'exprime en termes de « registres » dynamiques : le registre des objets, le registre de la mise en place (disposition matérielle du savoir) et le registre du langage verbal (le discours de l'exposition), (Poli, 2002). Il est ainsi possible de placer ce fonctionnement dynamique de l'exposition au cœur du système médiatique (Figure 60):

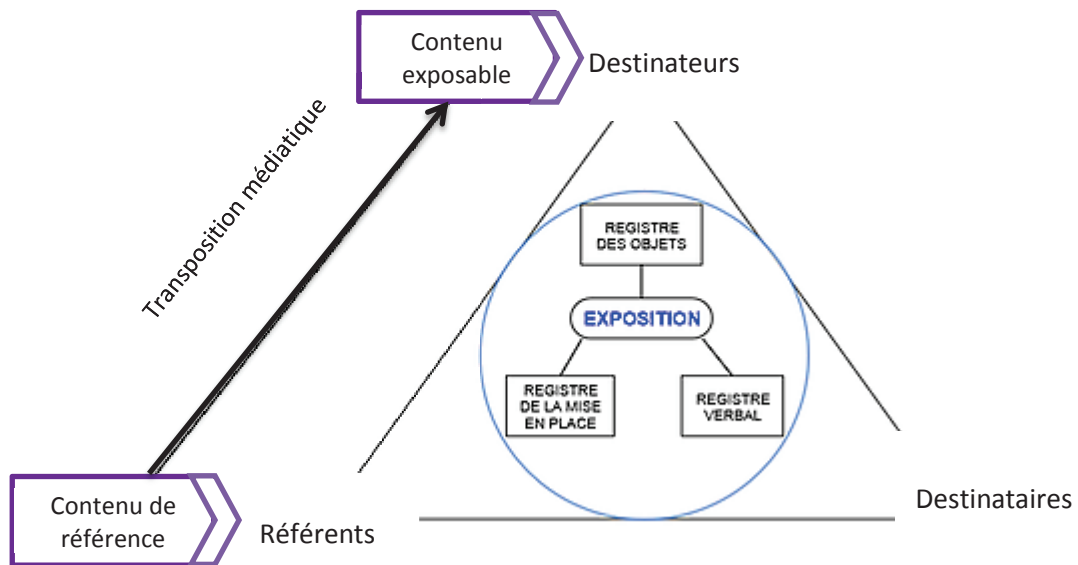


Figure 60 : schéma intégrant le système médiatique et les registres dynamiques de l'exposition.

Ce cadre théorique qui marie la didactique des sciences et les sciences de l'information et de la communication, constituera plus pour nous un socle commun de références et un cadre d'interprétation pour les résultats d'analyse qui vont suivre.

Ce cadre nous permet maintenant de détailler les références qui nous serviront de cadre théorique pour notre analyse. Dans notre analyse, nous aborderons les trois composantes de l'exposition, mais plus particulièrement celle du registre verbal (comme véhicule privilégié du contenu de connaissance). Ce registre s'exprime sous forme de *mots* dans le milieu de l'exposition. Quand ces mots sont perçus comme formant un ensemble cohérent, porteur de sens et qu'ils répondent à une structure langagière (conjugaison, grammaire, etc. propre à une langue) nous dirons qu'ils constituent un *texte*. Si le texte est constitué en une série d'évènements, logiquement organisés dans le temps, fictionnel ou non,

pouvant faire partie d'une intrigue (Ricœur, 1991a), alors ils peuvent être considérés comme des *récits*. D'autre part, quand un texte est écrit par un énonciateur à l'intention d'un destinataire, on peut dire qu'il est un *discours*. Qu'en est-il du registre verbal de l'exposition ?

Sylvie Poli (Poli, 2002) nous invite à regarder l'exposition comme un ensemble de mots. Parmi ces mots nous distinguons :

- Les mots de la signalétique, les mots (écrits) de repérages,
- Les mots qui sont utilisés pour entrainer le visiteur dans l'exposé d'un raisonnement, qui apportent de la connaissance et qui soutiennent le discours de l'exposition. Ces mots constituent *les textes* de l'exposition.

Les travaux de Poli nous permettent donc d'envisager certains mots de l'exposition comme des textes (voir des récits). D'un autre côté, l'étude de Pascale Ancel sur la question de la réception du texte par les publics dans les musées nous montre que les visiteurs ne limitent pas leur représentation du texte dans l'exposition à une dimension strictement informative ou pédagogique. Elle démontre que les visiteurs interprètent les textes de médiation comme un type de *discours* spécifique qui permet aux institutions muséales de défendre leur engagement scientifique, culturel (Ancel, 2010) et politique. Nous pouvons donc aussi considérer que les textes du musée sont dans certains cas des *discours*, qui ont pour objectif de transmettre les idées et opinions de l'institution muséale. C'est une situation de communication directe ou le discours est choisi (aussi) pour convaincre et séduire le visiteur.

Nous considérerons donc que les mots de l'exposition peuvent être des textes, qui soutiennent un discours, et qui seront parfois organisés sous la forme de récits.

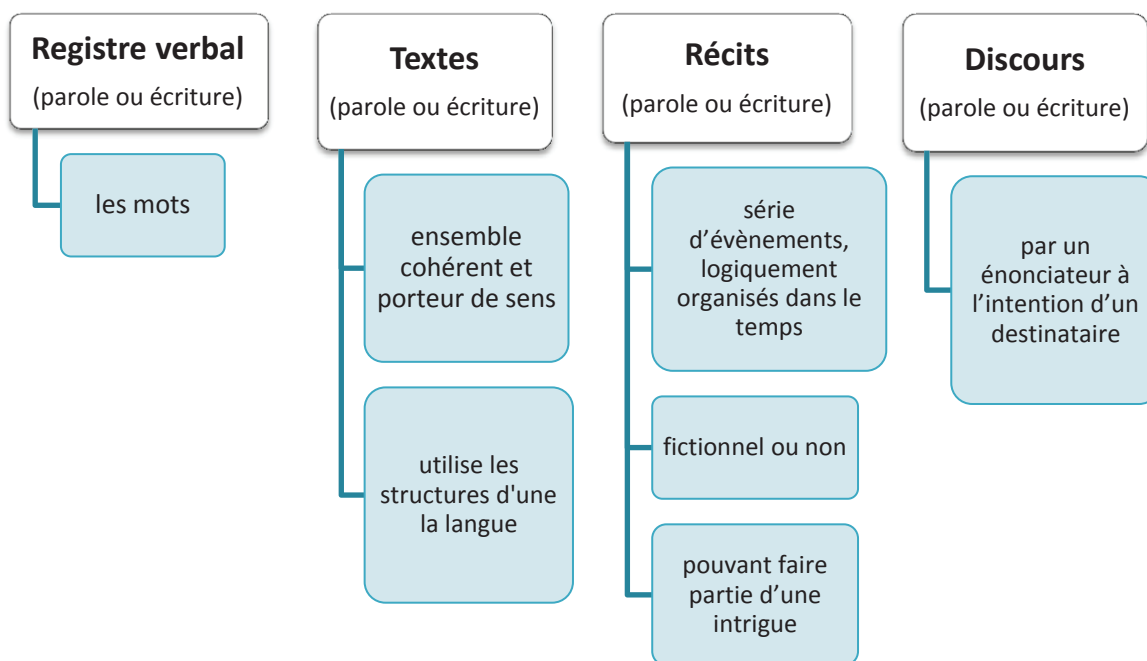


Figure 61 : schématisation des définitions utilisées qui nous permettent de qualifier le registre verbal de l'exposition.

Avant de décrire notre corpus de manière plus précise, il nous semble utile de décrire, de quelle collection fait partie cet objet et la place que celle-ci occupe au sein du projet global du musée des Confluences.

2.1.2 La collection sciences et techniques du musée des Confluences

Malgré son ouverture récente au public, le musée des Confluences de Lyon n'est pas né d'une génération spontanée, comme le disait Michel Côté, directeur jusqu'en 2010 :

« Il est le fruit de l'évolution du Museum d'histoire naturelle qui a vécu lui-même, au cours de son histoire, plusieurs transformations » (Côté, 2011).

Le musée des Confluences rassemble des collections organisées autour de trois grands axes : sciences naturelles, sciences humaines et sciences et techniques. La collection d'objets scientifiques et techniques a été créée en 2005 dans le cadre de la définition du projet scientifique et culturel du musée. Des axes d'acquisition ont été développés de manière à montrer que les sciences et techniques ne sont pas l'apanage de l'Occident et qu'elles peuvent dialoguer avec les autres collections. Les objets de la collection répondent aux thématiques

des expositions : les sciences de l'astronomie et de la mesure du temps, les outils du naturaliste, la médecine et les biotechnologies, l'innovation technique et industrielle. Le musée exprime aussi sa volonté de mettre en valeur des collections locales existantes dans le cadre de partenariats. Cette nouvelle collection reste très modeste au regard des collections historiques du musée : elle comprend 215 objets, dont 66 sont des dépôts et des prêts d'autres institutions qui ont participé à la constitution de cette collection ex nihilo, comme le conservatoire du Groupe SEB, les Hospices civils de Lyon, le Musée d'horlogerie du Locle (Suisse), le Musée du tissand dauphinois, la Fondation Fourvière, l'Université Claude Bernard Lyon 1, etc. Parmi les dépôts, nous comptons un accélérateur de particules de type Cockcroft Walton, dont le propriétaire est la Cité des Sciences et de l'Industrie de la Vilette (Universcience).

Cette collection est donc intégrée dans le parcours permanent du musée, c'est-à-dire dans les expositions pérennes. Celles-ci sont axées autour de « problématiques » et non plus autour de la nature propre des objets d'une collection. Occupant 3 000 m², elles racontent :

« Le grand récit du monde et de l'humanité en quatre expositions distinctes, mais complémentaires. Elles décrivent et présentent la question des origines de l'univers et de la vie sur terre (Origines, les récits du monde), la place des êtres humains dans la chaîne du vivant (Espèces, la maille du vivant), la manière dont les sociétés s'organisent, échangent et créent selon des contextes précis (Sociétés, le théâtre des hommes), mais aussi la place de la mort et des rites funéraires dans différentes civilisations (Eternités, visions de l'au-delà) » (« Site Internet Musée des Confluences », 2015).

2.1.3 Le projet : musée des Confluences

Le musée des Confluences, est un lieu géographique, un projet architectural atypique, une histoire d'un demi-millénaire (du XVIIe au XXIe siècle) et des collections de plus de 2,2 millions d'objets. Situé au confluent du Rhône et de la Saône, le bâtiment a été conçu par l'agence autrichienne CoopHimmelb(l)au et est composé de trois parties : le nuage, le cristal et le socle. Les expositions permanentes sont accessibles au niveau 2 (voir Figure 63) du nuage, tandis que les expositions temporaires occupent le niveau 1 (voir Figure 62).

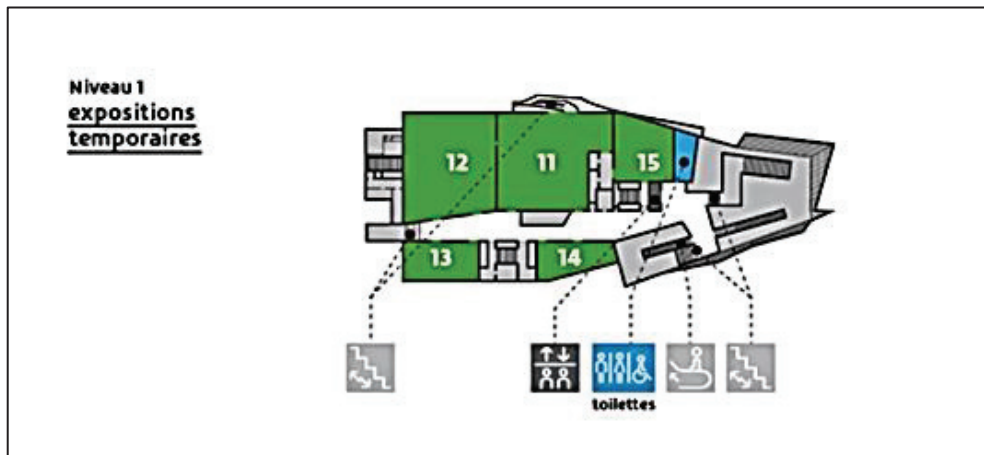


Figure 62 : Plan du niveau 1 du musée des Confluences, extrait du plan du musée donné aux visiteurs lors de leur visite. Musée des Confluences 2015.



Figure 63 : Plan du niveau 2 du musée des Confluences, extrait du plan du musée donné aux visiteurs lors de leur visite. Musée des Confluences 2015.

Le niveau 2 comporte donc les 4 expositions permanentes du musée intitulées :

- Origines, les récits du monde

« Cette exposition explore la question des origines de l'univers et de l'humanité ; le visiteur remonte le temps jusqu'au Big Bang, au fil d'un parcours qui met en regard deux approches d'explication du monde : l'une scientifique et l'autre symbolique. Ainsi, l'histoire scientifique croise les regards des sociétés inuit, aborigène, chinoise et du monde indianisé. Tous ces regards partagent les mêmes interrogations sur l'origine du monde, son commencement, notre relation à l'univers et notre place en celui-ci » (« Site Internet Musée des Confluences », 2015).

- Espèces, la maille du vivant

« L'articulation entre ce qu'on a appelé l'humanité et l'animalité est une préoccupation universelle. L'exposition interroge la façon dont les êtres humains se représentent le monde, s'y intègrent et contribuent à le modifier.

Les êtres vivants, humains et non humains, tissent dans le monde un réseau de liens variés, une maille où tout se tient et se répond. Le parcours est naturellement structuré par cette maille, constituée de 27 km de cordes. Cette scénographie, toute en métaphore, rend ainsi tangible les liens asymétriques qui unissent les différentes espèces du monde.

L'exposition permet de prendre du recul sur la place de l'être humain parmi les millions d'espèces du monde vivant, et d'identifier quelles sont ses caractéristiques. Parmi celles-ci, sa capacité à agir sur son écosystème. » (« Site Internet Musée des Confluences », 2015)

– Sociétés, le théâtre des hommes¹²³

« L'être humain est un migrant qui se rassemble, s'arrête pour un temps et forme sociétés, cultures et civilisations, tour à tour construites et fragilisées entre l'ordre établi et l'émergence d'imprévus, de désordres. L'exposition interroge ces modes de fonctionnements, à partir de trois constantes que sont l'organisation, l'échange et la création.

Le visiteur déambule entre des pièces issues de cultures et d'époques qui n'auraient jamais pu se rencontrer, mais dont le rapprochement fait sens et éveille la curiosité. La libre circulation laisse place à un temps d'interprétation et d'appropriation permettant à tout un chacun de construire sa visite.

La scénographie crée un paysage insolite, déployé comme un éventail, un théâtre d'objets où chacun est porteur d'ingéniosité, symbole et témoin d'une culture » (« Site Internet Musée des Confluences », 2015).

– Eternités, visions de l'au-delà

« L'exposition aborde la question de l'au-delà en mettant en perspectives nos questionnements contemporains au regard de civilisations ou d'époques différentes: Amérindiennes, Africaines, d'Égypte antique, du Pérou ancien, de la culture de l'âge de fer (Koban)...

À la perméabilité du monde des vivants et de l'au-delà répond la transparence de la scénographie, constituée de moucharabiehs : ils sont perforés selon la position des étoiles, des galaxies scintillantes et lointaines, symboles des mondes de l'au-delà.

¹²³ A l'heure où nous finissons d'écrire ce manuscrit, une étude vient d'être menée sur les visiteurs dans l'exposition *Sociétés*, et plus particulièrement devant l'accélérateur CW. Il est intéressant de noter que les visiteurs n'identifient pas cette exposition comme étant celle des sociétés, mais comme étant « la salle de la technique ».

Les rites funéraires expriment en partie le désir de dépasser cette inconcevable fin, ils rendent acceptable la séparation des vivants et des morts, donnent un autre horizon à leur disparition. Le cérémonial, les gestes, les paroles, en apaisant et en attribuant une nouvelle place à chacun, contribuent à rétablir un ordre social bouleversé » (« Site Internet Musée des Confluences », 2015).

L'accélérateur de particules Cockcroft-Walton est présent dans l'exposition *Sociétés, le théâtre des hommes*.

2.1.4 L'exposition : *Sociétés, le théâtre des hommes* (corpus)

Quand on entre dans cette salle de 900m², on rencontre une maille en acier sur laquelle apparaissent plusieurs verbes, qui font écho avec l'exposition (voir Figure 64). L'entrée est conçue comme un point focal dans lequel s'entrelace une composition de plusieurs écrans de vidéos d'activités humaines. Elle propose ensuite trois grands axes : *Organiser, Échanger* et *Créer* (voir Figure 65).

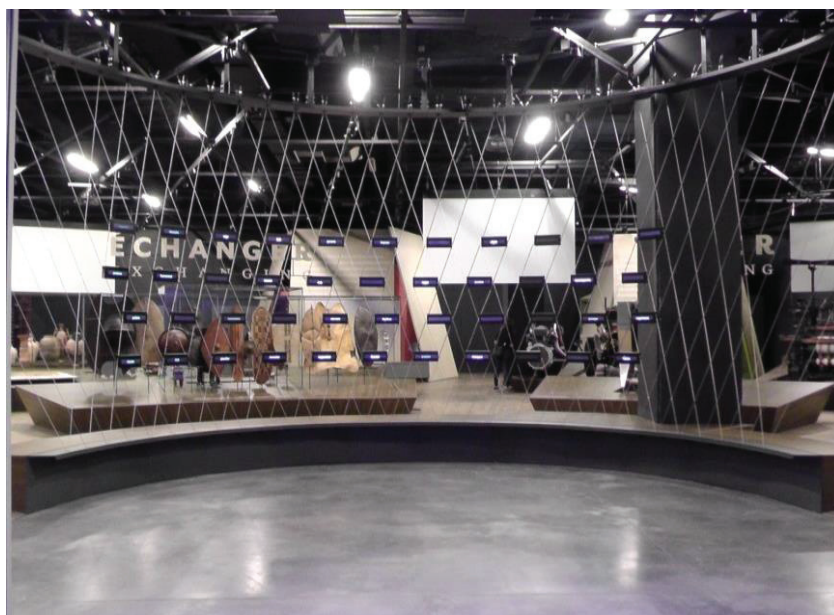


Figure 64 : Photographie de la maille d'acier à l'entrée de la salle de l'exposition *Sociétés, le théâtre des hommes*, condition d'éclairage hors visites, musée des Confluences, 2015.

Crédits photographiques Séverine Derolez.

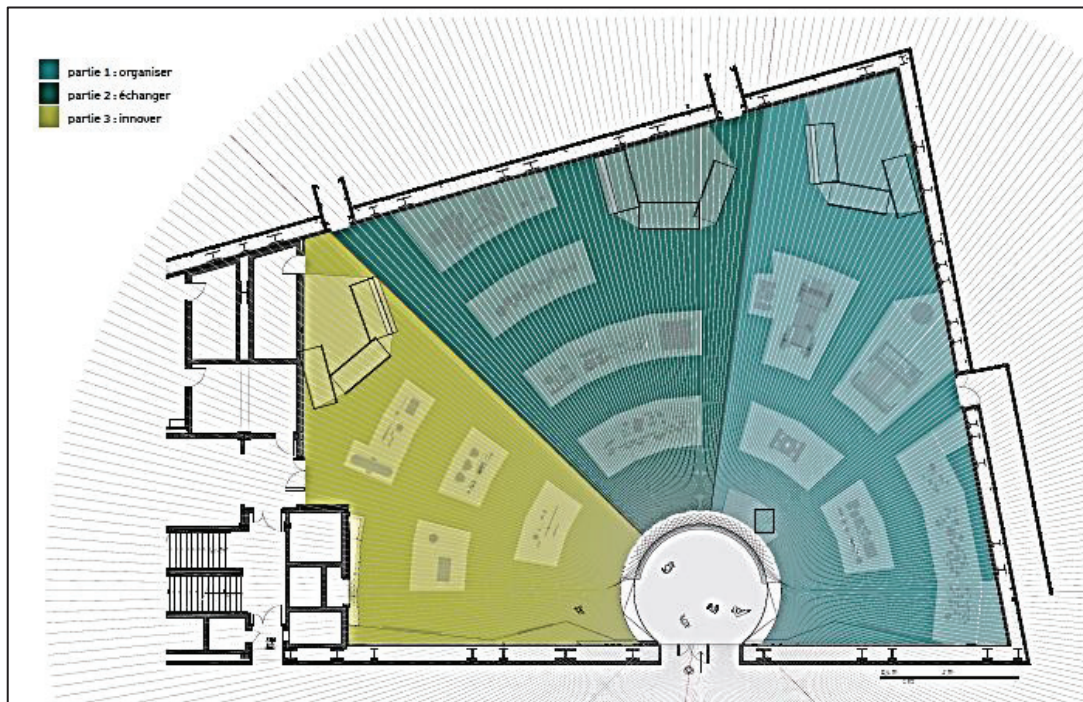


Figure 65 : plan d'organisation de l'exposition *Sociétés, le théâtre des hommes*, réalisé par l'agence de scénographie Du&Ma pour le musée des Confluences, 2015.

L'exposition est conçue comme trois faisceaux partant de ce centre : *Organiser* évoque la vie en communauté (pouvoirs politique, militaire et religieux) et la structuration des territoires et leur appropriation. La partie *Échanger* évoque la construction du social à travers l'identité, les équivalences entre les biens, et la circulation des savoirs. Enfin, *Créer* évoque l'homme dans son environnement quotidien de créateur et d'innovateur. Cette exposition est le fruit d'un long travail s'étendant sur plusieurs années. En nous inspirant d'une représentation faite par une personne chargée de la conception de l'exposition il y a quelques années (pour une ancienne version de l'exposition), nous pouvons aujourd'hui représenter cette exposition comme suit (Figure 66) :

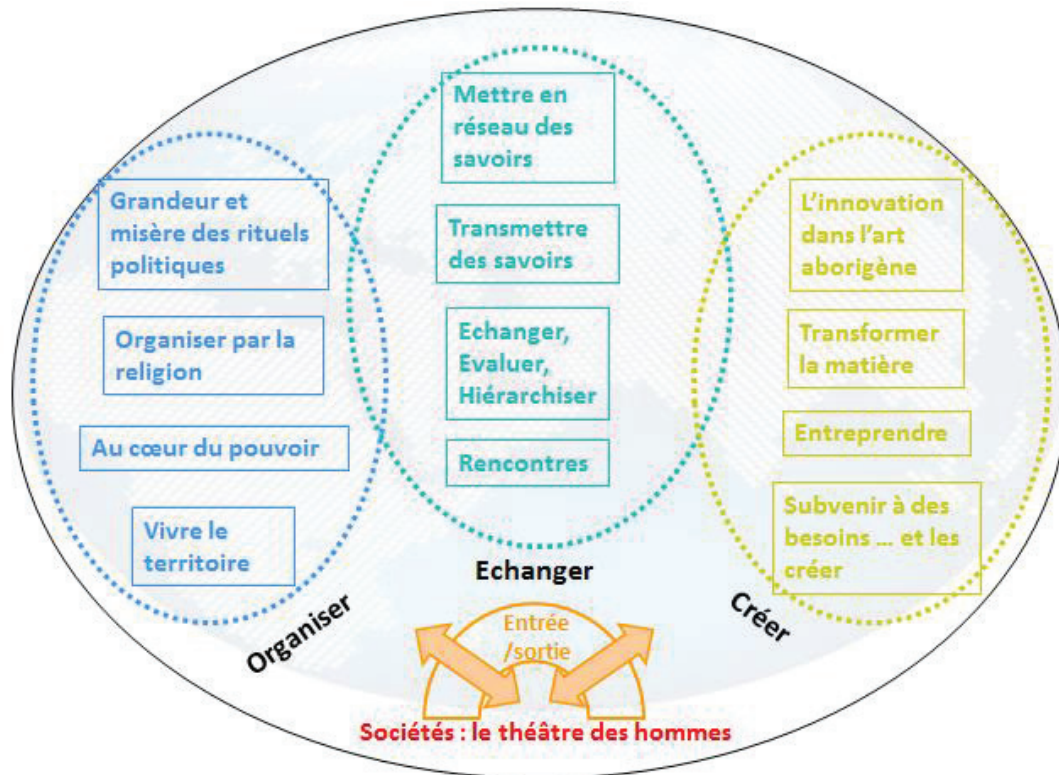


Figure 66 : schématisation de l'exposition *Sociétés, le théâtre des hommes*

L'ensemble de la salle d'exposition est ponctué de dispositifs audiovisuels, 9 suspendus au-dessus des plateaux et 3 dans des petits abris appelés « lanternes ». Une lanterne est un espace confiné entre trois grands panneaux, avec des banquettes pour s'asseoir et un dispositif multimédia (voir Figure 67). Le contenu des 3 lanternes est différent. La lanterne la plus proche de l'accélérateur est la lanterne 2 (voir Figure 78). Elle présente aujourd'hui un jeu qui nécessite la coopération de deux visiteurs pour fonctionner, et prouve la nécessité des échanges. La lanterne 3, qui traite d'innovations, devait comporter une partie sur l'accélérateur, mais le projet n'a pas abouti.

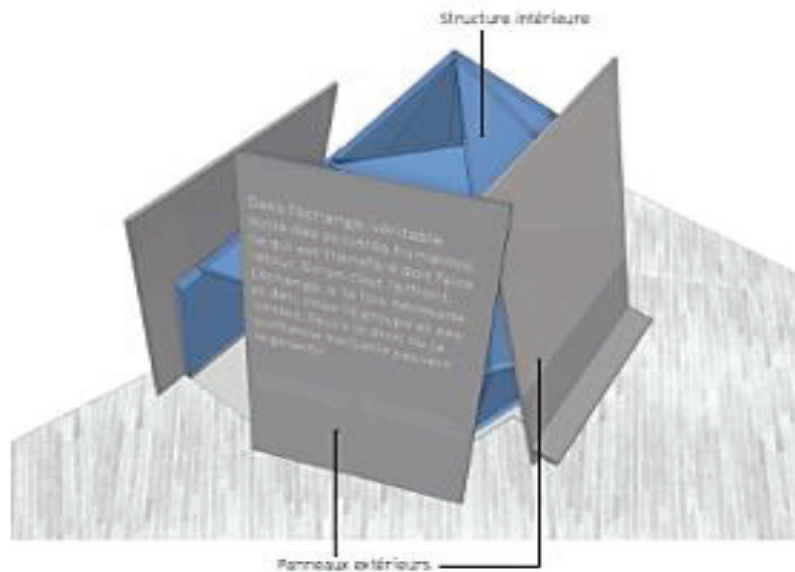


Figure 67 : croquis d'une lanterne de l'exposition *Sociétés, le théâtre des hommes*, réalisé par l'agence de scénographie Du&Ma pour le musée des Confluences, 2015.

Dans la mesure où nous interrogeons le système de valorisation mis en place autour de l'accélérateur Cockcroft Walton, nous allons prendre plus précisément en compte les dispositifs au sein desquels l'objet est présent et qui sont dans sa proximité immédiate. Le contenu de ces dispositifs peut être relevé en direct dans les salles d'exposition, ou, comme dans certains cas, donné par des documents de travail. Même si parfois quelques mots des titres peuvent varier (du singulier ou pluriel le plus souvent), l'essentiel du contenu est identique.

Les sciences de l'information et de la communication nous permettent de mettre un point de vigilance sur la nature hétéroclite de ce corpus. En effet, même si la composition majeure de notre corpus se justifie en étant des éléments « à disposition du public » dans son expérience de visite autonome, ces éléments se distinguent de par leurs statuts, leurs formes, leurs intentions et leurs diffusions. Notre immersion dans le musée nous amène aussi à utiliser des éléments complémentaires, qui ne font pas partie intégrante de notre corpus (puisqu'ils ne sont pas disponibles au public) mais qui permettent d'éclairer notre propos.

Nous allons maintenant détailler ce corpus en clarifiant ces différents points.

- Le cahier d'objets de l'exposition de synthèse et de référence n°3

L'exposition que nous regardons est constituée de plusieurs objets. Pour notre étude, nous souhaitons voir quels sont ces autres objets (leur nature et la collection à laquelle ils appartiennent) aux côtés de l'accélérateur de particules CW. Nous aurions pu relever ces informations directement dans l'exposition, mais grâce à notre travail au sein du musée des Confluences, nous pouvons travailler avec le répertoire officiel des objets constitutifs de cette exposition. Le répertoire des objets de l'exposition est consigné dans ce qu'on appelle le « cahier d'objets ». Les informations sur lesquelles nous travaillons, extraites du cahier d'objets, sont donc identiques à celles que le visiteur peut lire en visitant le musée.

Dans le cas du musée des Confluences, le cahier d'objets concerne les quatre expositions permanentes et il est daté de juillet 2013. Nous ne nous intéresserons ici qu'à l'exposition de référence n°3 appelée *Sociétés*. Il commence par une synthèse de l'exposition sous la forme de titres, sous titres, et principales thématiques de l'exposition (Figure 68).

III Sociétés

Le théâtre des hommes

INTRODUCTION

III 1 ORGANISER

III 1.1 Vivre le territoire (coll.Abo)

- III 1.1.1 Le territoire, un espace multiple
- III 1.1.2 Ce que nous raconte le territoire
- III 1.1.3 Réappropriations territoriales

III 1.2 Au cœur du pouvoir (coll. Chine)

- III 1.2.1 Harmoniser la société et le territoire
- III 1.2.2 Figurer la cohésion

III 1.3 Organiser par la religion (Coll. Bouddhisme)

- III 1.3.1 L'adhésion par la croyance
- III 1.3.2 La séparation de l'Eglise et de l'Etat au Japon

III 1.4 Grandeur et misère des rituels politiques (Coll. Japon)

- III 1.4.1 Symboles du pouvoir et pouvoir des symboles
- III 1.4.2 Confrontation des pouvoirs
- III 1.4.3 Démontrer sa force

III 2 ÉCHANGER

III 2.1 Identités

- III 2.1.1 Se confronter
- III 2.1.2 S'approprier

III 2.2 Échanger, Evaluer

- III 2.2.1 Des monnaies quantifiables
- III 2.2.2 Des monnaies sophistiquées, parures
- III 2.2.3 Des monnaies trésors

III 2.3 Transmettre des savoirs et bien plus encore

- III 2.3.1 La fabrique du social
- III 2.3.2 Entre héritage, emprunt et innovation

III 2.4 Mettre en réseaux les savoirs

- III 2.4.1 Des sphères de savoirs qui interfèrent
- III 2.4.2 Mutualiser les connaissances

III 3 CRÉER

III 3.1 Subvenir à des besoins... et les créer

- III 3.1.1 Innovation et révolution des sociétés ?
- III 3.1.2 Innover pour répondre à des besoins ?

Figure 68 : Extrait du cahier d'objets, exposition permanente, musée des Confluences.

Chacune des parties de l'exposition est subdivisée en plusieurs thèmes et sous-thèmes, chacun étant illustré par un plateau ou une vitrine regroupant un ou plusieurs « groupes » d'objets. L'annexe 5 donne l'extrait du cahier d'objet qui concerne la partie 2 de l'exposition. *Sociétés, le théâtre des hommes* se décline donc en trois parties : *Organiser / Echanger / Créer*, comme le montre la Figure 68.

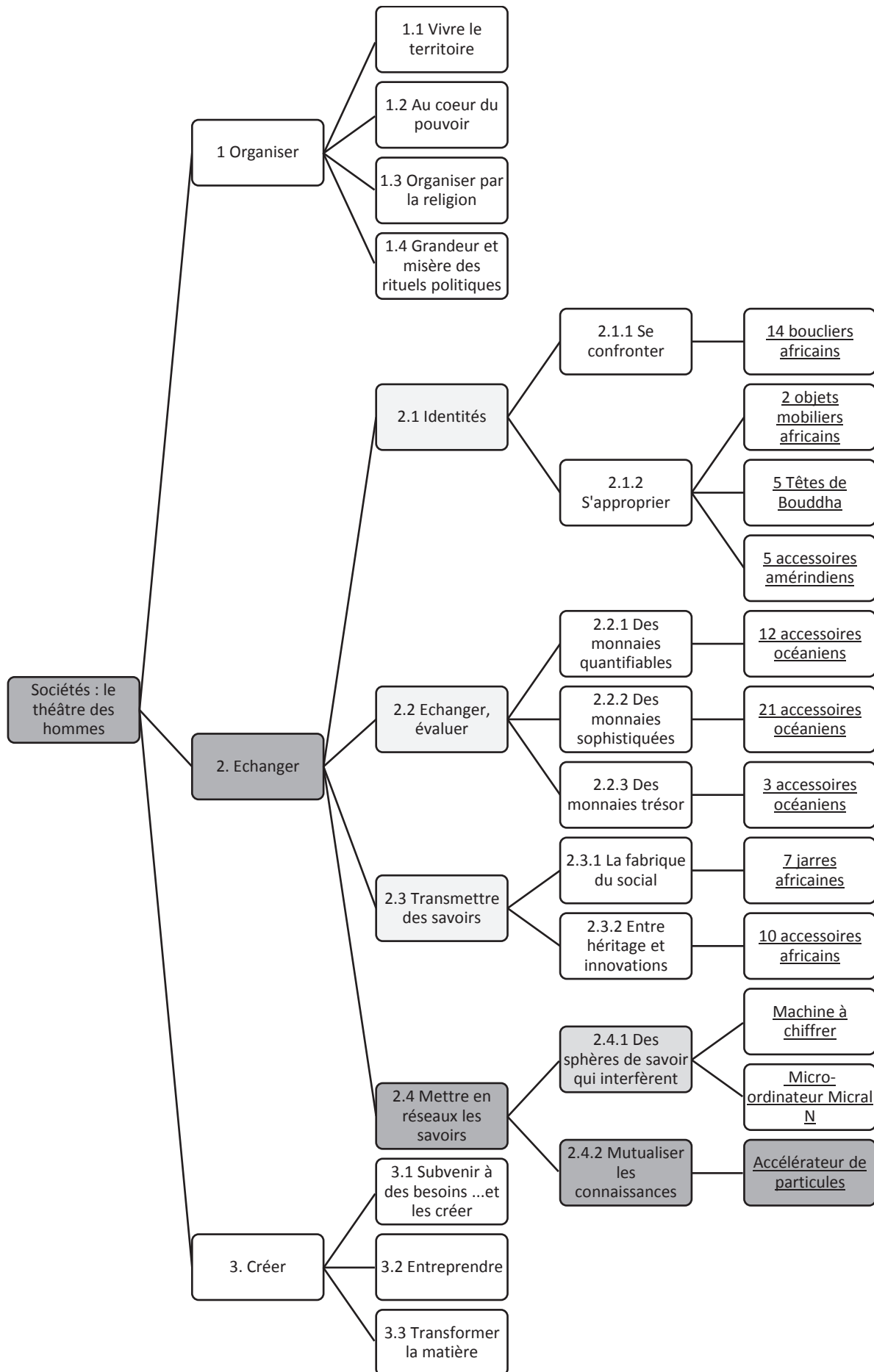
La partie des échanges, dans laquelle se trouve l'accélérateur, est subdivisée en quatre thèmes : *Identités* (26 objets), *Echanger Evaluer* (36 objets), *Transmettre des savoirs et bien plus encore* (17 objets) et *Mettre en réseau les savoirs* (3 objets).

Le thème *Mettre en réseaux les savoirs* est morcelé en deux sous-thèmes : *des sphères de savoirs qui interfèrent* et *mutualiser des connaissances*, tous deux illustrés par le même plateau (plateau 2.4).

Le sous-thème *des sphères de savoirs qui interfèrent* comporte deux objets appartenant à la même collection (collection sciences et techniques) : une machine à chiffrer et un ordinateur micral N. Le sous-thème *partager les connaissances* est illustré par un seul objet de cette même collection : l'accélérateur Cockcroft-Walton.

De manière à illustrer la construction de cette exposition, pour mieux en saisir son propos et plus particulièrement la partie *Echanger*, nous proposons de la représenter sous la forme d'un diagramme (voir Figure 69). Cette schématisation nous permet de mieux visualiser la place qu'occupe l'accélérateur dans le fil de l'exposition. Celui-ci comporte les parties, les thèmes, les sous-thèmes, et le nombre d'objets associés ; centré sur l'accélérateur (c'est-à-dire que ne sont détaillés que les plateaux et vitrines de la partie *Echanger*). Les rectangles en gris sont utilisés dans le diagramme de la Figure 69 pour mettre en valeur la généalogie de l'accélérateur dans la hiérarchie de l'exposition. Les parties directement en lien avec l'accélérateur sont en gris foncé : son sous-thème (*partager les connaissances*), son thème (*mettre en réseau des savoirs*), sa partie (*échanger*), et l'exposition concernée (*Sociétés*). Nous utilisons un camaïeu de gris pour mettre en valeur le sous-thème associé au sien (*des sphères de savoirs qui interfèrent*) et les thèmes associés au sien (*Identités, Echanger, Evaluer et transmettre des savoirs*).

Figure 69 : Représentation simplifiée de la structure logique de l'exposition *Sociétés : le théâtre des hommes*, en fonction des parties / thèmes et sous-thèmes, centrée autour de l'accélérateur de particules Cockcroft-Walton (en gris).



Représenter l'exposition par ce schéma nous permet de faire quelques observations. L'accélérateur de particules est le seul objet représentant le sous-thème *Partager les connaissances*. Le sous-thème *Des sphères de savoir qui interfèrent* est représenté par deux objets (le micro-ordinateur Micral N et la machine à chiffrer). Ces trois objets (qui illustrent donc le thème *Mettre en réseaux des savoirs*) font partie de la même collection (objets scientifiques et techniques). Ce sont les trois seuls objets de cette collection dans la partie *Echanger* (il y en a d'autres dans les deux autres parties).

Le cahier d'objets nous a donc servi à schématiser le propos de l'exposition. Ce document est un outil de travail qui ne retranscrit pas forcément les titres choisis pour la version définitive de l'exposition. Les titres donnés dans les notes d'intentions des concepteurs seront parfois un peu différents.

- Les notes d'intentions des concepteurs
(scénographie, parcours, discours)

Le parcours permanent est décrit avec précision dans un certain nombre de documents de travail auxquels nous avons eu accès. Celui que nous allons utiliser principalement est intitulé « le parcours permanent du musée des Confluences » réalisé par le responsable des expositions et des collections du musée (en collaboration avec tous les acteurs de l'exposition), et dont la dernière mise à jour date d'août 2014 (musée des Confluences, 2014). La partie de ce document qui nous intéresse est celle concernant l'exposition *Sociétés*, qui fut un temps nommée *Sociétés, le théâtre du monde*. Cette première partie donne la composition du comité scientifique, le propos de l'exposition, la scénographie envisagée, les différents dispositifs de l'exposition, et les scénographes impliqués dans cette réalisation. Il est disponible dans son intégralité dans l'annexe 6.

La deuxième partie de ce même document donne une version des textes qui seront mis en place dans le parcours de l'exposition : Introduction, textes de parties, et la description détaillée de la partie *Echanger* (voir Annexe 7). Ces textes sont bien ceux que nous retrouvons dans l'exposition qui est aujourd'hui présentée au public, en français et en anglais. Pour notre étude nous utiliserons plus spécifiquement les textes français suivant :

- le texte de l'introduction (Figure 70),
- le texte de la partie *Echanger* (Figure 71),

- le texte du thème *Mettre en réseau les savoirs* (parfois nommé « mettre en réseaux des savoirs » ou « mise en réseaux des savoirs ») (Figure 73),
- le texte du sous-thème *partager les connaissances* (qui correspond au 2.4.2 mutualiser des connaissances, parfois aussi appelé « partager les connaissances »)¹²⁴ (Figure 74).

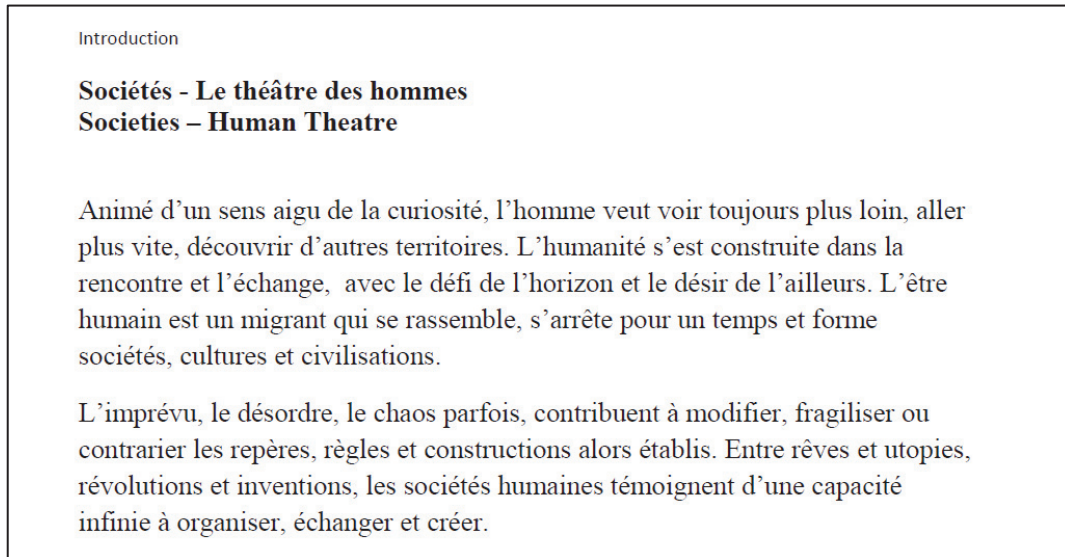


Figure 70 : texte de l'introduction, extrait des notes d'intentions des concepteurs, exposition *Sociétés, le théâtre des hommes*, musées des Confluences.

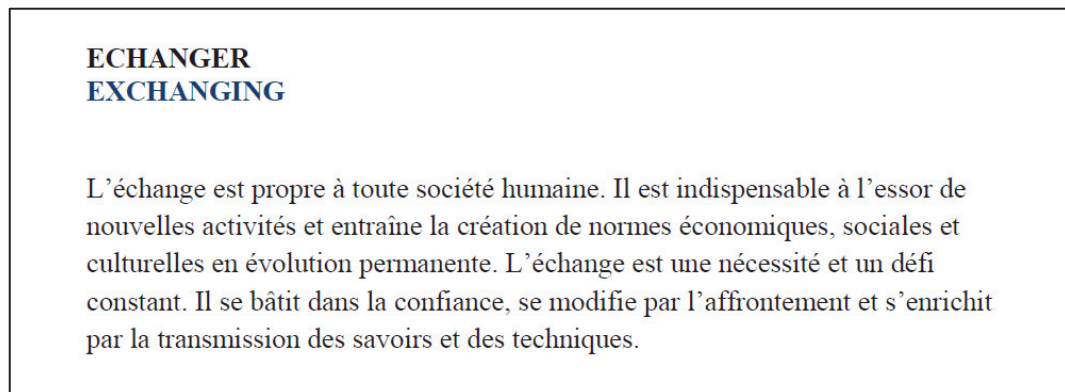


Figure 71 : texte de la partie *Echanger*, extrait des notes d'intentions des concepteurs, exposition *Sociétés, le théâtre des hommes*, musées des Confluences.

¹²⁴ Dans l'exposition, les titres utilisés sont : *mettre en réseau les savoirs* et *partager les connaissances*.

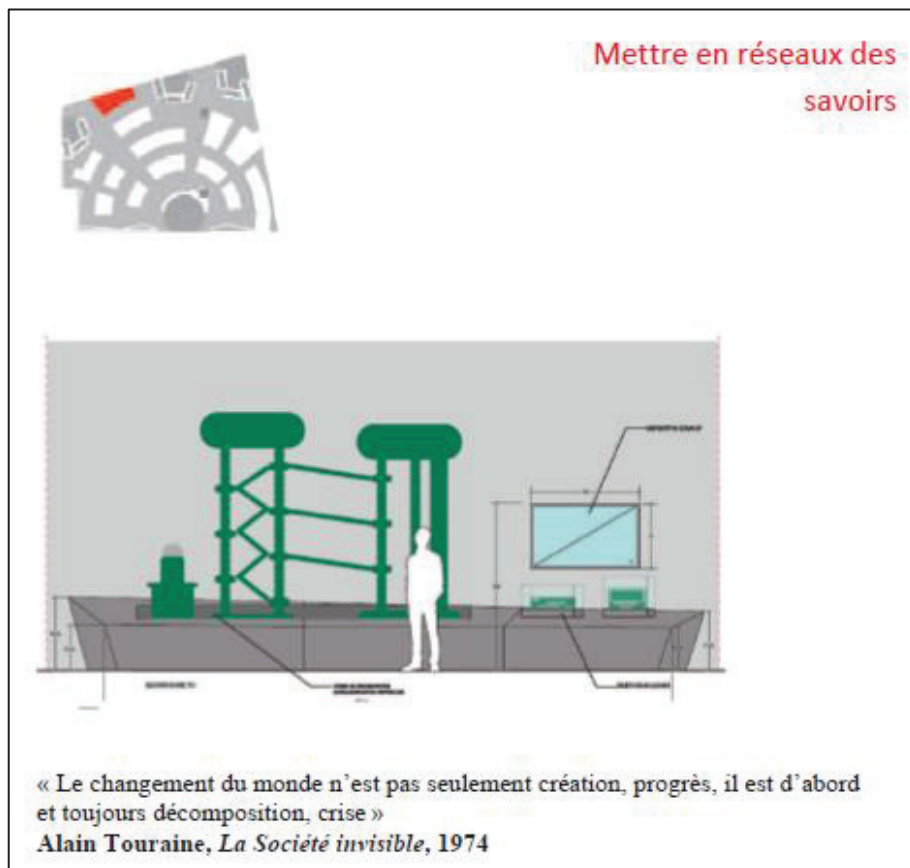


Figure 72 : citation et modélisation du plateau 2.4, extrait des notes d'intentions des concepteurs, exposition *Sociétés, le théâtre des hommes*, musées des Confluences.

Mettre en réseaux les savoirs
Putting knowledge on the network

Dans les sciences et les techniques, idées, instruments, outils et procédés s'inventent, s'influencent et se confrontent dans des réseaux d'échanges, entre secret et partage. Le rythme et la nature de ces échanges dépendent étroitement du contexte de production et de transmission des savoirs.

Avec l'essor de réseaux numériques mondialisés, chercheurs, ingénieurs et techniciens produisent chaque jour davantage de données. Une part de ce savoir encyclopédique est aujourd'hui à la portée de tous, donnant ainsi à chacun l'illusion d'une culture universelle.

Figure 73 : texte du thème *Mettre en réseaux les savoirs*, extrait des notes d'intentions des concepteurs, exposition *Sociétés, le théâtre des hommes*, musées des Confluences.

Partager les connaissances
Sharing knowledge

L'accélérateur de particules a permis, dès 1930, la compréhension de la matière. Ces machines imposantes sont le résultat et l'instrument des fondements d'une coopération scientifique et politique internationale. La physique des particules a ouvert la voie à l'électricité nucléaire, à la radiothérapie mais aussi à la bombe atomique.

Figure 74 : texte du sous-thème *Partager les connaissances*, extrait des notes d'intentions des concepteurs, exposition *Sociétés, le théâtre des hommes*, musées des Confluences.

Ce document donne aussi le cartel de l'objet (voir Figure 75), aussi appelé « étiquette » qui est le texte directement lié à l'objet exposé. Ce cartel est construit à partir des données de la fiche d'inventaire de l'objet. Le plus souvent, la fiche d'inventaire gardera une trace des différents cartels qui auront été construits pour l'objet. Dans la majeure partie des études sur le texte de l'exposition, c'est sur cet élément que les réflexions se basent.

« Que ce soit pour une présentation permanente ou temporaire, l'identification de l'objet, voire son interprétation, constitue un impératif. Mal nécessaire pour certains, éléments de médiation pour d'autres, l'écrit dans l'exposition ne peut être laissé au hasard » (Ministère de la Culture et de la Communication, 1998) .

En règle générale, le cartel ne change pas lors de la création et la conception de l'exposition. C'est ce qui est attaché à l'objet, quelle que soit sa position dans le fil de l'exposition, puisqu'il ne dépend pas de l'interprétation qui en est faite.



Figure 75 : Cartel de l'accélérateur de particules Cockcroft-Walton, extrait des notes d'intentions des concepteurs, exposition *Sociétés, le théâtre des hommes*, musées des Confluences.

L'ensemble de ces textes se retrouve dans la salle de l'exposition, sous différentes formes. Voici comment ils sont présentés :

- le texte d'introduction, est reproduit sur les murs de part et d'autre de l'entrée de la salle (dos au visiteur quand il rentre dans la salle, en caractères beige clair sur fond beige soutenu, en taille moyenne).
- Le texte de la partie (*Echanger*) est sur l'un des pans de 4,60m de la lanterne n°2 (le texte est donc au fond de la salle, en caractères beige clair sur fond beige soutenu, en grande taille) (voir Figure 76),
- le texte du thème (*mettre en réseau les savoirs*) est imprimé sur le plateau, devant la partie gauche de l'accélérateur (caractères beige clair sur fond bois foncé, en taille moyenne) (voir Figure 77),
- Le cartel (voir Figure 80) et le texte du sous-thème (*partager les connaissances*) sont reproduits sur un cadre qui est fixé sur le plateau devant la partie droite de l'accélérateur, ils sont donc en épaisseur par rapport aux autres textes, en petits caractères, blancs sur fond bois foncé (voir Figure 79). À côté du cartel, le visiteur

peut voir une gravure représentant un accélérateur de particules dans sa totalité (voir Figure 81), c'est-à-dire avec la partie inférieure (sur une surépaisseur de bois). La citation est quant à elle visible sur le côté gauche du plateau de l'accélérateur, en beige clair sur fond bois foncé, en grande taille (Figure 72 et Figure 82).

Voici quelques photos de vues générales qui illustrent la position de ces textes, dans le contexte de l'exposition :



Figure 76 : Photographie panoramique de l'exposition *Sociétés, le théâtre des hommes*. À droite de la photographie, on distingue le texte de l'introduction. La maille en acier est en face de l'entrée de la salle. Les titres de parties sont suspendus au-dessus des trois faisceaux de l'exposition. Musée des Confluences, 2015. Crédits photographiques François Potier.



Figure 77 : Photographie du plateau sur lequel est présenté l'accélérateur de particules. On distingue le texte du thème « mise en réseau des savoirs » suivi du texte de sous-thème « *partager les connaissances* » devant le pied gauche de l'accélérateur. La photographie est réalisée avec l'éclairage disponible pour le personnel du musée, en dehors des heures d'ouverture au public. Musée des Confluences, 2015. Crédits photographiques Séverine Derolez.



Figure 78 : photographie panoramique prise du fond de la salle de l'exposition *Sociétés, le théâtre des hommes*, musée des Confluences, 2015. À droite de l'image, on voit l'intérieur de la lanterne n°1, à gauche l'accélérateur de particules. En haut de l'image, on distingue bien les bandeaux multimédias. Crédits photographiques François Potier.



Figure 79 : Photographie de l'accélérateur de particules dans la salle de l'exposition, avec le cartel positionné au pied de la partie droite de l'accélérateur. Sur la droite de la photo on distingue les deux objets du sous-thème « des sphères de savoir qui interfèrent » : le micro-ordinateur Micral N et la machine à chiffrier. Musée des Confluences, 2015. Crédits photographiques Séverine Derolez.

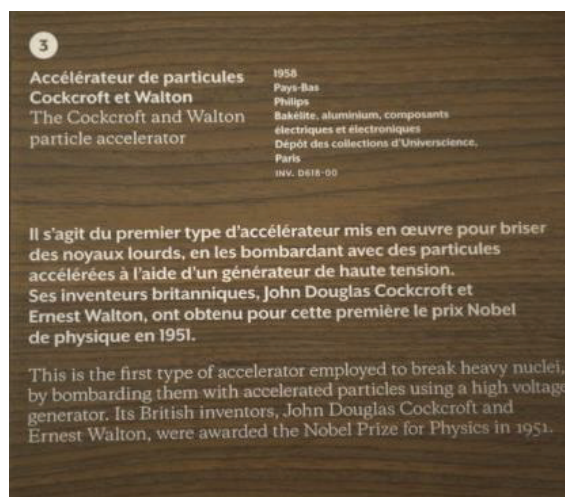


Figure 80 : Cartel de l'accélérateur de particules Cockcroft-Walton, exposition *Sociétés*, musée des Confluences, 2015. Crédits photographiques Séverine Derolez.

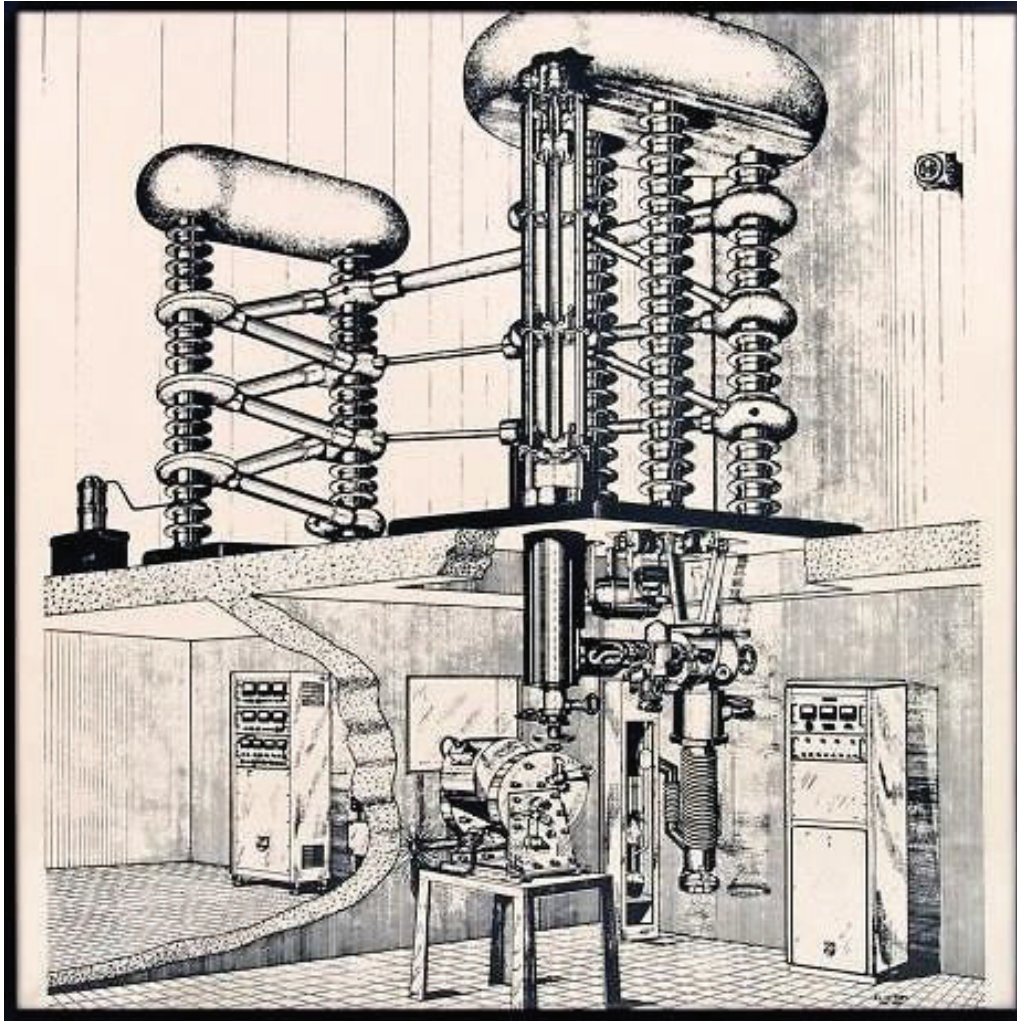


Figure 81 : gravure présentée au public à côté du cartel de l'accélérateur de particules, exposition *Sociétés, le théâtre des hommes*, musée des Confluences, 2015.

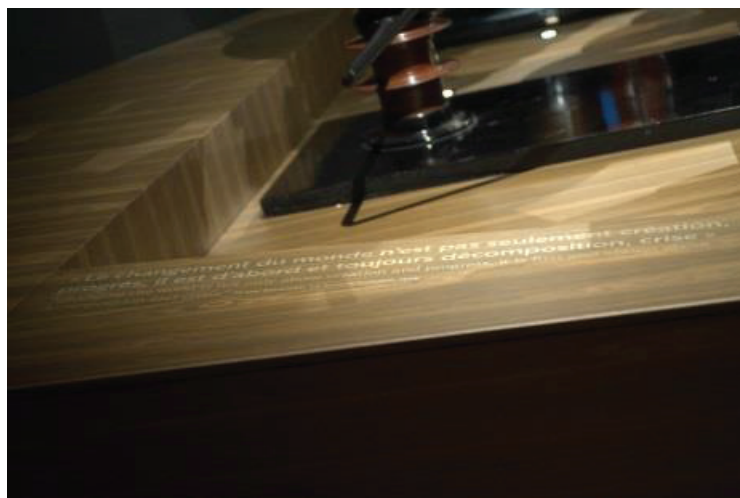


Figure 82 : Photographie de la citation située sur le bord du plateau de l'accélérateur de particules, musée des Confluences, 2015. Crédits photographiques Séverine Derolez.

Pour l'analyse, nous avons dactylographié ces textes, puis avons sectionné les lignes de manière à pouvoir en parler plus facilement dans la discussion. Chaque ligne est numérotée par ordre chronologique, précédé de la première lettre de sa section. Par exemple, la section 4 de l'introduction est appelée I4. Voici les textes tels qu'ils seront utilisés dans la grille d'analyse :

Introduction

- I.1 L'humanité s'est construite dans la rencontre et l'échange,
- I.2 avec le défi de l'horizon et le désir de l'ailleurs.
- I.3 L'être humain est un migrant qui se rassemble,
- I.4 s'arrête pour un temps et forme sociétés, cultures et civilisations.
- I.5 L'imprévu, le désordre, le chaos parfois, contribuent à modifier, fragiliser ou contrarier les repères, règles et constructions alors établis.
- I.6 Entre rêves et utopies, révolutions et inventions,
- I.7 les sociétés humaines témoignent d'une capacité infinie à organiser, échanger et créer.

Partie Echanger

- E.1 L'échange est propre à toute société humaine.
- E.2 Il est indispensable à l'essor de nouvelles activités et entraîne la création de normes économiques, sociales et culturelles en évolution permanente.
- E.3 L'échange est une nécessité et un défi constant.
- E.4 Il se bâtit dans la confiance, se modifie par l'affrontement
- E.5 et s'enrichit par la transmission des savoirs et des techniques.

Thème : mettre en réseau des savoirs

- M.1 « Le changement du monde n'est pas seulement création, progrès, il est d'abord et toujours décomposition, crise » Alain Touraine, La Société invisible, 1974
- M.2 Dans les sciences et les techniques,
- M.3 idées, instruments, outils et procédés s'inventent, s'influencent et se confrontent
- M.4 dans des réseaux d'échanges, entre secret et partage.
- M.5 Le rythme et la nature de ces échanges dépendent étroitement du contexte de production et de transmission des savoirs.

M.6 Avec l'essor de réseaux numériques mondialisés, chercheurs, ingénieurs et techniciens produisent chaque jour davantage de données.

M.7 Une part de ce savoir encyclopédique est aujourd'hui à la portée de tous,

M.8 donnant ainsi à chacun l'illusion d'une culture universelle.

Sous-thème : Partager les connaissances

P.1 L'accélérateur de particules

P.2 a permis, dès 1930, la compréhension de la matière.

P.3 Ces machines imposantes sont le résultat et l'instrument

P.4 des fondements d'une coopération scientifique et politique internationale.

P.5 La physique des particules

P.6 a ouvert la voie à l'électricité nucléaire, à la radiothérapie,

P.7 mais aussi à la bombe atomique.

Cartel

C.1 Accélérateur de particules Cockcroft et Walton

C.2 / 1958

C.3 / Pays-Bas

C.4 / Philips

C.5 / Bakélite, aluminium, composants électriques et électroniques

C.6 / Dépôt des collections d'Universcience, Paris

C.7 / inv. D618-00

C.8 Il s'agit du premier type d'accélérateur mis en œuvre pour briser des noyaux lourds,

C.9 en les bombardant avec des particules accélérées

C.10 à l'aide d'un générateur de haute tension.

C.11 Ses inventeurs britanniques, John Douglas Cockcroft et Ernest Walton,

C.12 ont obtenu pour cette première le prix Nobel de physique en 1951.

- Les différentes versions de l'audioguide

Les conditions de réalisation de la thèse ont permis d'accéder aux différentes versions de l'audioguide réalisées entre 2014 et 2016. La dernière version est aujourd'hui stabilisée, enregistrée, mais n'est pas encore disponible au public.

Tantôt sous la forme « balade sonore », « guide numérique » ou « audioguide », l'aide à la visite ou plutôt ici, l'accompagnement à la visite, a été le sujet de beaucoup de réflexions et de modifications. Différentes personnes se sont beaucoup investies dans ce projet, et même si leurs travaux ne figureront pas dans la version définitive, ils ont contribué à la maturation du projet de manière significative. L'objectif est ici d'avoir un corpus de textes, regroupant les différentes étapes d'écriture du discours. Ces évolutions, que nous appelons transcriptions (transcription d'une source orale en un texte écrit) ou versions successives, pourront éclairer différemment notre analyse en révélant peut-être l'évolution des choix de l'institution, et les difficultés rencontrées. L'ensemble des objets du musée n'a pas fait l'objet d'un support de médiation supplémentaire. Par chance pour notre étude, l'accélérateur de particules a été intégré dès le début dans la sélection des objets concernés par l'audioguide.

La première version enregistrée est une séquence réalisée en 2014 par l'attachée de conservation des collections scientifiques et techniques dans le projet « coup de cœur du conservateur ». Pour cette première version, les conservateurs et attachés de conservation ont l'opportunité de choisir un objet qui pour eux est particulier, et d'expliquer pourquoi ils l'ont choisi. L'attachée de conservation de la collection des sciences et techniques choisit alors l'accélérateur de particules. Une grille avait alors été remplie et validée par l'institution (Annexe 8). Ce projet, est alors d'investir la personnalité du conservateur, et d'apporter une part de subjectif et d'émotion à la visite.

« Proposer une approche sensible de l'objet choisi (ou de l'ensemble d'objets) à travers la parole et l'expérience du professionnel qui en a la charge » Réalisateur de la séquence (Audiovisité)

Cet enregistrement ne sera jamais diffusé au public, pour diverses raisons : inégalités des enregistrements, changement des attentes institutionnelles (source : discussion privée). Nous utilisons donc ici une transcription du texte. L'intégralité de la transcription est disponible dans l'annexe (Annexe 9). Nous avons ici fait le choix de ne pas modifier le texte, de ne pas l'adapter à la lecture. Nous conservons donc toutes les formes d'expressions orales, les syntaxes propres à l'oralité ; mais sans les interventions de la voix off, et les interjections (de type « heu », « ho », « hé », etc.). Nous appellerons cette version « Audioguide version 1 ».

La seconde version de l'audioguide a été réalisée par une entreprise spécialisée dans la réalisation de visite audio (voir Annexe 10). Cette version a été refusée, notamment parce qu'elle n'était pas assez en relation avec les grands axes de l'exposition (source : discussion privée). Les textes sont restés au stade de notices prévisionnelles et n'ont jamais été enregistrés. Nous utiliserons le texte de la notice et la nommerons « Audioguide version 2 ».

Une autre personne a donc été sollicitée pour reprendre ces textes et les façonner d'une autre manière, plus en adéquation avec les attentes du musée. La première version écrite que cette personne propose à vérification (aux conseillers scientifiques et conservateurs¹²⁵) est donnée dans l'annexe 11, et sera nommée « Audioguide version 3 ».

Enfin, après vérifications des scientifiques, des conservateurs et par l'institution en général, les textes sont enregistrés en janvier 2016. Les pistes enregistrées ont été envoyées au musée il y a peu de temps, et par chance nous pouvons intégrer cette version finale dans notre corpus ; avant qu'il ne soit mis à disposition du public. Cette version est la transcription de la version enregistrée, et elle est donnée dans l'annexe 12. Si à l'origine le texte devait être enregistré par un comédien lyonnais connu dont la voix et les intonations auraient caractérisé le contenu, il s'agit ici d'une comédienne féminine non connue, qui emploie un ton particulièrement neutre.

- La fiche d'inventaire de l'accélérateur

Cette fiche est donc la carte d'identité de l'objet, établie à partir de l'inventaire des collections : ce processus d'inventaire constitue l'un des critères obligatoires pour obtenir l'appellation « musée de France » par le ministère chargé de la culture (ministère de la Culture et de la Communication, 2007). Le musée des Confluences a choisi la base de données Flora, de la société Everteam¹²⁶ pour inventorier ses collections. La fiche propre à l'accélérateur de particules Cockcroft-Walton est donnée en intégralité dans l'annexe 13.

- Le support vidéo

¹²⁵ Nous n'avons pas la liste exhaustive des relecteurs de l'audioguide. De source privée, nous savons qu'il y a l'attachée de conservation des sciences et technique, la chargée de projet de l'exposition et l'ancienne attachée de conservation de la collection sciences et techniques. Le texte nous a également été soumis. Ne pouvant refuser cette attente de la part de l'institution, nous avons soumis un certain nombre de points et mis en garde contre d'autres.

¹²⁶ <http://www.everteam.com/fr/logiciel-gestion-des-collections-museographiques/> la société venant d'être rachetée par Decalog.

Quand nous sommes face à l'accélérateur, dans la salle d'exposition, il y a à sa droite (derrière l'ordinateur et la machine à chiffrer) un écran plat qui diffuse en boucle une vidéo illustrant la circulation des savoirs de l'Antiquité à l'époque contemporaine (Figure 83).

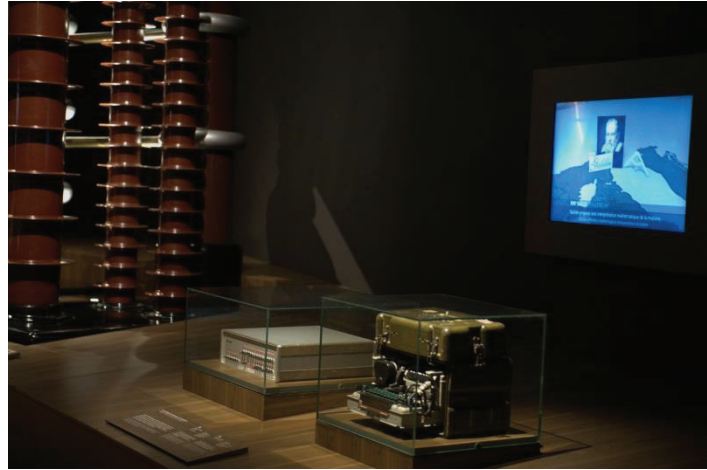


Figure 83 : Vue de l'accélérateur et du support vidéo, Exposition *Sociétés, le théâtre des hommes*, musée des Confluences, 2015. Crédits photographiques Séverine Derolez.

L'accélérateur est présent dans la séquence sur le XX^e siècle. Cette vidéo est construite sous la forme d'un « slide dynamique », ce qui rend la transcription de son contenu par écrit relativement facile. L'Annexe 14 donne les « captures photographiques » des séquences de la vidéo ainsi qu'une transcription plus lisible du texte. Les séquences chronologiques sont numérotées de 1 à 15. Nous nous intéresserons plus particulièrement aux séquences de l'époque contemporaine ; dont celle qui illustre l'accélérateur. L'encadré ci-dessous donne les textes qui apparaissent sur chacune de ces séquences [11 à 15], et qui seront l'objet de notre étude (Figure 84).

11 XIX^e siècle

EINSTEIN ZURICH

Auteur de la théorie de la relativité, Einstein ouvre la voie à la physique des particules élémentaires

12 Cartes des échanges : Au siècle des grands conflits mondiaux, l'atome devient un enjeu politique majeur

13 XX^e siècle

PROJET MANHATTAN WASHINGTON DC

Les États-Unis lancent le projet Manhattan qui aboutit à la bombe atomique

14 XXI^e siècle

CERN GENÈVE

Identifié au CERN en 2012, le boson de Higgs vient confirmer la théorie actuelle de la constitution de la matière

15 Carte des échanges : par une coopération planétaire, les savants du XXI^e siècle perceront-ils les derniers secrets de la matière ?

Figure 84 : texte d'étude du support vidéo.

- Les raisons pour lesquelles nous n'utilisons pas le récit du médiateur

Le récit produit par le médiateur lors d'une visite, donne cohérence corps et vie aux objets. Il permet aux visiteurs de mieux comprendre le point de vue scénographique et apporte des récits ponctuels, des anecdotes, des explications sur les objets mis en regard. Lors de notre étude, nous avons pris le temps de nous entretenir avec les médiateurs. La rencontre a eu lieu le plus tard possible avant notre départ du musée de manière à laisser le temps aux pratiques « de se mettre en place » et aux médiateurs de se familiariser avec les salles, les objets et leurs publics. Elle a donc eu lieu en décembre 2015, soit après une année de fonctionnement (ouverture du musée en décembre 2014). Nous savions déjà que l'accélérateur ne faisait partie d'aucun parcours spécifique et qu'il n'est pas considéré comme « un objet phare » des collections. Les guides ont le choix d'en parler ou non, lors de leur passage dans la salle d'exposition. Ce jour-là, 20 médiateurs ont eu la gentillesse de répondre à notre appel. Sur cet échantillon assez représentatif du nombre de médiateurs au musée, seuls trois s'arrêtent

volontairement devant l'accélérateur lors de leurs visites. Quand ils le font, c'est en une phrase, pour passer des objets représentant les échanges de « savoir-faire » à ceux des échanges de « savoirs ». Pour passer des poteries africaines à l'accélérateur, ils demandent aux visiteurs « de faire un grand écart avec eux ». Ils mentionnent que c'est une partie d'un objet plus gros, mais n'en disent pas beaucoup plus de peur de dire « des bêtises ». Ils disent aussi ne pas avoir les ressources nécessaires pour en parler.

Ceux qui ne s'arrêtent pas volontairement devant sont parfois interpellés par les visiteurs. Nous leur avons demandé de nous décrire les réactions, commentaires, questions des visiteurs devant l'objet. Avant de lire le cartel, le visiteur est interpellé par la taille de l'objet, se demande si c'est « du vrai ou du faux ». En lisant « accélérateur de particules », les visiteurs font référence au LHC (accélérateur actuellement en fonctionnement en CERN). Une fois, un professeur de physique chimie a interrogé un médiateur à propos des matériaux de l'accélérateur. Une autre fois, un visiteur a parlé de science-fiction, de progrès de la société, et a même demandé s'il n'existait pas de visite thématique dans ce sens. Mais le plus souvent, les visiteurs se demandent quel est le lien entre les échanges, et cet objet si étrange : « Pourquoi il est là ? » « C'est quoi le rapport ? »

Les guides ont conscience que les réactions sont très mitigées face à cet objet. Si les gens rapprochent l'accélérateur Cockcroft-Walton du LHC, ils ne savent pas non plus ce qu'ils connaissent réellement de cet accélérateur. On peut se demander « qu'est-ce qu'un accélérateur de particules dans la tête des gens ? » Ils entendent parler de « trou noir qui va tout aspirer », « tous nous faire exploser », « dangerosité », etc. Après avoir lu le cartel, l'information qui ressort le plus souvent dans les discussions c'est le rapport avec la Seconde Guerre mondiale et des questions d'éthique scientifique.

Nous avons essayé de quantifier les réponses données par les guides à la suite de cet entretien, mais aucun ne considère produire un réel discours autour de l'objet. Les guides comme les visiteurs ne se sentent pas très à l'aise avec l'accélérateur. En revanche, ils manifestent une réelle attente en matière de contenu pour se sentir « armés » et pouvoir répondre aux questions des visiteurs.

À la suite de cette enquête, deux événements se sont produits. Les étudiants de la licence professionnelle "guide conférencier" (Université Lyon 2) ont eu un exercice avec les œuvres du musée des Confluences. À la suite du tirage au sort de certaines pièces du musée, les élèves ont eu quelques jours pour produire un commentaire d'une quinzaine de minutes. Le travail a été rendu au service médiation du musée (en plus des professeurs de l'université).

Nous avons eu connaissance de ce projet par l'étudiante qui a reçu l'accélérateur en objet d'étude et avec qui nous avons pu discuter. Nous pouvons supposer que c'est le service de médiation, en accord avec les professeurs, qui a sélectionné les objets sur lesquels ils souhaitaient qu'un travail exploratoire soit fourni. Peut-être que les travaux de l'exercice serviront aux médiateurs par la suite. Le deuxième événement est celui du stage d'un autre étudiant en patrimoine à l'Université Lyon 3 au sein de notre laboratoire de recherche S2HEP, dans le but de réaliser une enquête auprès des publics. Dans notre travail, nous ne pouvions pas prendre le temps de le faire, mais nous savons que ce sont des données qui peuvent être essentielles à notre réflexion.

2.2 Outils d'analyse

L'objectif est ici d'explicitier les outils d'analyse que nous avons choisis pour analyser le discours partagé dans l'espace d'exposition (registre verbal de l'exposition). Ces outils doivent nous permettre de voir comment les objets de différentes disciplines dialoguent entre eux, et plus particulièrement comment l'accélérateur CW est intégré dans la mise en intrigue de l'exposition. Ils nous aideront aussi à mettre le doigt sur certaines difficultés de formulation ou de sélection du discours. Encore une fois, il importe ici de bien étudier le discours tenu dans les différentes strates de l'exposition, et de voir quels éléments, au regard de l'étude épistémologique que nous avons menée en première partie, sont donnés au visiteur lors de sa visite. L'analyse est toujours centrée sur le cas de l'accélérateur de particules.

Notre analyse porte sur les éléments mis à disposition du visiteur, lors de son expérience de visite de l'exposition *Société : le théâtre des hommes*, c'est-à-dire les textes du parcours, la vidéo. Nous souhaitons également analyser le texte de l'audioguide. Nous utilisons les textes et transcriptions successives qui ont été proposés en amont de la réalisation du produit final. Pour entrer dans une analyse de contenu des textes, nous avons choisi de procéder à une analyse fonctionnelle des textes, à travers des traces sémio-linguistiques. Nous emprunterons ici une grille d'analyse aux spécialistes du texte de l'exposition en sciences de l'information et de la communication (Poli, 2002). Cette grille permet d'identifier les différentes fonctions du texte d'exposition, c'est-à-dire l'objectif qu'il tente d'atteindre, l'effet qu'il cherche à produire sur le destinataire. Elles seront ici au nombre de quatre : la fonction d'inventaire et d'appropriation, la fonction d'ancrage et d'interprétation, la fonction rhétorique macro-discursive et la fonction d'énonciation.

Dans un second temps, nous utiliserons une grille d'analyse construite à partir de l'étude à teneur épistémologique de l'accélérateur.

2.2.1 Outils d'analyse fonctionnelle

L'approche que nous empruntons à Sylvie Poli (Poli, 2002) est inspirée des théories sémiotiques et narratives et consiste à envisager l'exposition comme un texte, voire un récit. Mais tous les mots de l'exposition ne sont pas des textes ou des récits. Les mots qui servent à orienter le visiteur dans le parcours, par exemple la signalétique interne de l'exposition, sont les écrits de repérage (les messages). Les mots qui sont utilisés pour entraîner le visiteur dans l'exposé d'un raisonnement, ceux qui soutiennent le discours de l'exposition, sont les écrits de connaissance (les textes) et c'est à ceux-là que nous nous intéressons.

Les textes du parcours de l'exposition peuvent être catégorisés selon des critères de plus-value cognitive. Le but est en quelque sorte d'arriver à distinguer les écrits qui apportent la connaissance, qui permettent au visiteur de « voir l'objet », des écrits qui ne sont dotés d'aucun savoir, tel que le formalise Sylvie Poli (Poli, 2002). Pour ce faire, nous aborderons le texte par son agencement hiérarchique et par son rôle dans l'élaboration du discours d'exposition (ses fonctions). Les formes et fonctions du texte expographique sont d'ailleurs, des thèmes de recherche partagés avec d'autres disciplines (Gottesdiener et al., 1992). L'objectif de la majorité de ces recherches est de créer une grille qui permet de construire « de bons textes » d'exposition, utilisables par tous dans tous les cas. Or les auteurs remarquent souvent qu'il n'existe pas de « formule magique » qui s'applique à tous les objets pour tous les contextes d'exposition. Si l'efficacité du texte pour modifier le rapport du visiteur à l'œuvre ou au musée n'est plus à prouver, le problème reste qu'on ne sait pas construire à coup sûr des textes qui seraient utiles au plus grand nombre (Gottesdiener, 1992). Dans l'exposition, chaque mot a son importance et n'est pas produit de manière anodine. La fonction pour laquelle ce mot a été choisi, pour laquelle le texte a été produit, laisse des traces dans l'énonciation :

« L'analyse de discours révèle des traces de l'acte d'énonciation, preuves tangibles (faute d'être objectives) que le locuteur s'implique toujours dans ses discours tendus sur la science (si brefs soient-ils), [...]. L'intérêt est donc de comprendre quel rôle joue la prise en considération du lecteur dans le développement de ces stratégies d'écriture, puisque cette représentation contamine le texte qui est donné à lire » (Poli, 1992).

A travers les traces sémio-linguistiques du texte, identifiées en partie grâce aux travaux du sémioticien français Roland Barthes (Barthes, 1964a, 1966) Marie Sylvie Poli développe une approche par les fonctions : la fonction d'inventaire et d'appropriation, la fonction d'ancrage et d'interprétation, fonction rhétorique macro-discursive et fonction d'énonciation.

- Fonction d'inventaire et d'appropriation

Ce sont les indices à travers lesquels le visiteur voit la logique de classement, d'inventaire, d'organisation ; le sens donné par celui qui collecte les objets. C'est le nom, la date, la localisation... Ce sont en somme les critères d'inventaire communs, que l'on retrouve dans chacune des bases de données, et qui sont indispensables à « l'identification » d'un objet. Ces données sont communiquées sous la forme d'un langage commun de manière à être reconnues par le professionnel et l'amateur. Le langage utilisé doit répondre à certains critères : être accessible à tous pour ne pas provoquer un sentiment d'indignité culturelle, ne pas être trop vulgarisé non-plus pour ne pas frustrer le visiteur et offrir différents niveaux de lectures et de compréhension (Ancel, 2010).

« Dans l'exposition comme dans tout espace social, recenser revient à proposer un acte d'appropriation ; pas seulement à gérer des contenus en les fragmentant et en les énumérant. [...] En nommant, le scripteur décrit. En nommant, le scripteur désigne. En nommant, le scripteur incite le visiteur à s'approprier les objets en prenant à son compte les dénominations » (Poli, 2002).

Nous entendons ici le terme « d'appropriation »¹²⁷ tel que le définissent les travaux de Fabien Dumais, dans sa réinterprétation des œuvres du philosophe Charles Sanders Peirce (Dumais, 2009). L'appropriation est un effort d'interprétation, qui se crée entre l'expérience personnelle du visiteur (un rapport à soi singulier) et l'expérience d'un objet culturel. C'est le résultat d'une tension plus ou moins grande tension entre :

« être affecté par l'expérience d'un objet culturel et lui attribuer une signification en fonction des différentes habitudes » (Dumais, 2009).

- Fonction d'ancrage et d'interprétation

« Toute image est polysémique, elle implique, sous-jacente à ses signifiants, une « chaîne flottante » de signifiés, dont le lecteur peut choisir certains et ignorer les autres. La polysémie produit une interrogation sur le sens » (Barthes, 1964b).

¹²⁷ Le terme d'appropriation sera de nouveau utilisé dans le chapitre 3 et sa définition sera étoffée en fonction de notre contexte d'étude.

Par le texte que le concepteur choisit, il guide l'interprétation du visiteur, « limite » les interprétations, canalise la profusion du sens et impose sa propre vision du monde.

« En arrêtant une signification choisie, le scripteur détermine une option sémantique. Il sélectionne parmi plusieurs sens, tous pertinents et virtuellement présentables. En cela, il joue le rôle d'un garde-fou contre les interprétations hasardeuses, erronées, qu'un visiteur non spécialiste pourrait esquisser autour de cet objet » (Poli, 2002).

Dans le texte de l'exposition, cette fonction d'ancrage se manifeste par des formes brèves (un énoncé court qui intègre le nom, la provenance, la composition, la date d'entrée en collection) ou des formes plus longues pour « faire comprendre » et « faire connaître ».

Comme le rappelle Dumais, l'effort d'interprétation est au cœur même des pratiques socioculturelles et il peut prendre diverses formes. Il nous invite également à ne pas confondre « la compréhension » qui permet d'identifier, de « l'interprétation » qui est plus une volonté de démêler « face à ce qui est imposé à soi de façon nouvelle ».

« Mais démêler est semble-t-il aussi tributaire d'une certaine sensibilité aux changements de nos manières de penser et d'agir, changements qui peuvent surgir suite à l'expérience de l'objet culturel, et d'une certaine part d'expérimentation. »(Dumais, 2009)

L'interprétation est donc soumise à la volonté du visiteur de s'engager vers l'objet culturel présenté, mais peut aussi être provoquée en réponse à la confrontation (l'expérimentation) avec l'objet lui-même.

- Fonction rhétorique macro-discursive

Il s'agit ici du texte de l'exposition qui donne la cohérence du parcours, qui en assure la structure et la continuité. C'est celui qui relie les expôts entre eux, qui justifie de leur rassemblement dans l'exposition et qui segmente les espaces. La fonction est dite rhétorique macro-discursive parce qu'elle se rapporte aux modes d'organisation du discours (raisonnement) considéré à un niveau élevé de granularité.

« Grâce au réseau textuel organisé selon un plan rhétorique pertinent avec la scénographie et la thématique d'exposition, l'unité du message se fait à un niveau supérieur : celui de l'histoire, du concept, de la thématique (Adam, 1990) » (Poli, 2002).

Pour l'identifier, on relève par exemple l'utilisation de vocabulaire identique à celui du titre ou des répétitions de mots visant à rappeler le sens global de l'exposition.

- Fonction d'énonciation

À travers une analyse de corpus, l'auteure identifie un certain nombre de traces qui traduisent la volonté du concepteur de communiquer ses propres conceptions à son public (marqueurs de subjectivité explicite ou implicite, des références d'auteurs, des théories d'écoles, des critiques). La fonction d'énonciation, c'est la capacité que peut avoir le texte à communiquer un point de vue, une opinion ; donnant au concepteur de l'exposition (le commissaire ?) le rôle d'auteur à part entière. Par exemple, l'utilisation d'une ponctuation marquée « ? » « ! » « ... » peut traduire un enthousiasme, une insurrection, d'un humour ou d'une remise en cause du propos énoncé, tout comme l'utilisation du conditionnel. Les formes poétiques auront pour objectif de susciter une émotion, un trouble, un émoi. L'humour, même sans ponctuation expressive, est un moyen utilisé pour traduire un état d'esprit, mais aussi faire passer un message sans lourdeur. Pour l'auteure, l'utilisation de chiffre, entre dans la fonction d'énonciation, car sans éléments de comparaison ils auront pour effet d'impressionner le lecteur. Pour nous, le chiffre qui est donné seul, a aussi pour effet d'orienter inmanquablement son jugement dans le sens escompté et est à la fois un indice de la fonction d'interprétation que d'énonciation. Il « contrôle la prolifération du sens » tout autant qu'il impressionne.

- Comment identifier les fonctions ? (grille d'analyse)

D'usage, il est plus commun d'identifier les deux premières fonctions dans les cartels et étiquettes, alors que les deux suivantes se retrouveront plus dans les macros textes de l'exposition (voir tableau 3).

Tableau 3 : tableau représentant les fonctions du texte de l'exposition et les indicateurs qui permettent d'identifier leur présence. Celui-ci constitue notre grille d'analyse.

Fonction du texte de l'exposition	Particularités, indicateurs de présence, exemples
Fonction d'inventaire / d'appropriation	Nom, date, lieu, collection
Fonction d'ancrage / d'interprétation	Garde-fou des interprétations Provenance, matériaux, date supplémentaire, information supplémentaire, concept et idées Chiffre sans éléments de comparaison
Fonction rhétorique macro-discursive	Sens global de l'exposition
Fonction d'énonciation	Ponctuation expressive : humour, prise de parti Conditionnel : remise en cause Poétique : émotion Chiffre sans éléments de comparaison

Nous allons appliquer cet outil d'analyse non pas seulement au texte du cartel, mais à l'ensemble du texte qui constitue l'environnement de l'accélérateur. Le tableau ci-dessus devient le squelette de notre grille d'analyse. Nous garderons dans la colonne de gauche les différentes fonctions à identifier, et remplirons la colonne de droite avec les parties du texte correspondantes. Si une section de texte a une fonction ambiguë (double), nous prendrons en compte celle qui est prédominante de notre point de vue. Comme l'ensemble des mots est comptabilisé (et donc limité) dans les textes de scénographie, nous pourrions établir un pourcentage de mots utilisés pour chacune des fonctions. Nous aurons ainsi un résultat nous indiquant quelle fonction du texte est utilisée, dans quelle partie du texte, et en quelle proportion. Nous pourrions utiliser une modélisation graphique des résultats.

2.2.2 Outils d'analyse épistémologiques

Nous venons de définir un premier outil d'analyse qui nous permet d'identifier les fonctions du texte qui est présenté au visiteur. Parmi ces fonctions, nous relevons particulièrement les textes relevant de la fonction d'inventaire et de la fonction d'ancrage. Dans un deuxième temps, en repartant des critères réglementaires d'inventaires, nous souhaitons développer un outil nous permettant d'identifier la nature des informations présentes dans les textes à fonction d'inventaire ou d'ancrage. Notre outil doit donc nous permettre d'identifier quels critères d'inventaire sont utilisés par les concepteurs dans les textes de l'exposition (quelles pratiques ?) et nous permettre de les comparer avec les critères d'inventaire disponibles. Parmi les critères « disponibles » il faut distinguer ceux qui le sont par la fiche d'inventaire de l'objet ou son dossier documentaire (Dossier d'œuvre) de ceux qui le sont par la noosphère¹²⁸.

L'utilisation d'une cadre d'analyse épistémologique est pertinent car il est cohérent avec les pratiques actuelles de conservations/valorisations des objets scientifiques, il permet de clarifier l'objet mentionné et d'avoir une lecture plus précise des informations données et il clarifie les enjeux épistémologiques de liés à son histoire et à son impact sur les pratiques.

- Savoir identifier les critères d'inventaire

Il sera pour nous utile de décrire plus précisément ce que nous considérons comme des critères d'inventaire. Nous prendrons comme base, les termes utilisés par l'arrêté du 25 mai 2004 fixant « les normes techniques relatives à la tenue de l'inventaire, du registre des biens déposés dans un musée de France et au récolement » (Ministère de la Culture et de la Communication, 2004). Ces fiches inventaires, aussi appelées *notices d'inventaires* sont réglementées et leur rédaction est encadrée par un certain nombre de points, que nous détaillerons au fur et à mesure de nos besoins. Pour remplir la notice d'inventaire réglementaire, il faut remplir un certain nombre de rubriques (rubriques réglementaires). Il existe aussi des notices documentaires, qui sont véritablement celles qui remplacent le dossier d'œuvre papier d'un objet. Dans ces notices, il y a plus de critères, mais ils sont facultatifs. À une rubrique réglementaire peut correspondre à plusieurs rubriques documentaires. Là encore,

¹²⁸ Le terme de noosphère est utilisé ici comme dans le cadre de la transposition didactique, sauf qu'il est appliqué à au système médiatique. La noosphère est la sphère humaine pensante (la sphère scientifique), les spécialistes susceptibles de produire le savoir qui nous intéresse. Dans ce cas précis ce peut être des historiens, des fabricants, des politiciens, des conservateurs, des usagers, etc.

le « vocabulaire scientifique » utilisé dans les différents champs est encadré par des lexiques et thésaurus.

De manière générale, l'ensemble des rubriques et champs des fiches d'inventaires sont découpées en quatre parties correspondant à quatre fonctions :

- 1 identifier et décrire l'objet,
- 2 préciser le contexte historique de l'objet,
- 3 indiquer le statut juridique de l'objet et les conditions de son acquisition ou de son dépôt,
- 4 donner accès à de plus amples informations sur l'objet.

Nous proposons de prendre directement comme base, les critères documentaires, qui sont plus nombreux et plus détaillés que les critères réglementaires. Pourquoi avoir fait ce choix ? Parce que même si les travaux réalisés par le service des musées de France sont à destination de toutes les collections, ils correspondent pour la grande majorité à des critères dits « beaux-arts ». En élargissant la gamme des critères, ils sont ainsi plus nombreux à être cohérents avec les collections scientifiques et techniques.

Nous allons détailler les critères documentaires en fonction des collections scientifiques et techniques contemporaines, et ne mentionnerons pas les champs qui n'ont pas sens pour ces collections (les champs école, onomastique¹²⁹, représentation, genèse, géographie historique... ne sont pas listés). Nous détaillons également les champs en fonction de notre expérience au musée des Confluences en insérant des champs propres à la méthodologie et aux choix d'inventaires de l'institution. Les fiches complètes proposées par la base Flora sont complexes et les champs beaucoup plus nombreux. À des fins de clarté, nous ne mentionnons que les champs qui nous seront utiles dans l'exploitation de la fiche d'inventaire de l'accélérateur de particules.

Dans un premier temps, nous pouvons donc identifier les fonctions d'inventaire relatives à l'identification et à la description du bien :

1 identifier et décrire l'objet

- Numéro d'inventaire : l'attribution d'un numéro d'inventaire marque souvent l'entrée d'un objet dans une collection. C'est un repérage individuel, normalisé suivant les institutions ou l'appartenance juridique de l'institution.

¹²⁹ L'onomastique est l'étude des noms propres et spécialement des noms de personnes et de lieux, surtout utilisés pour l'étude des gravures des matériaux persistants comme la pierre, l'argile ou le métal (épigraphie).

- Ancien numéro : l'objet peut également avoir eu une autre vie avant l'institution et posséder un « ancien numéro » d'inventaire donné par un collectionneur, un amateur ou une institution muséale non réglementée.
- Autre numéro : Ce peut être par exemple un numéro dans une publication qui fait référence dans la mémoire de l'objet, un numéro d'inventaire sur le registre d'une entreprise, etc.
- Numéro de dépôt : si l'objet est en dépôt dans l'institution, il aura un numéro qui lui aura été attribué par son institution d'origine. Il permet ainsi de distinguer, au sein du même musée, les biens reçus en dépôt des biens dont il est le propriétaire.
- Domaine : le dictionnaire de l'académie donne pour la définition du domaine « tout ce qui embrasse un art, une science, une faculté de l'esprit... ». Dans le monde des musées on distingue quatre catégories de domaines, qui se recoupent parfois avec les grands départements du musée (les différentes collections) : les domaines liés au support de conservation (peinture, sculpture, etc.), les domaines liés à l'utilisation (vie domestique, croyances et coutumes, etc.) ceux liés à une civilisation/géographie/chronologie (Gallo-romain, Celte, Océanie, etc.) et ceux liés à une discipline (Sciences et techniques, archéologie, paléontologie, etc.). Un objet peut être associé à différents domaines, dont une liste est établie par le service des musées de France. Pour les collections scientifiques, il peut être judicieux d'ajouter des sous-domaines, qui définissent plus précisément à quel type de science ils appartiennent (chimie organique, physique des particules, etc.)
- Dénomination : aussi appelée la désignation, c'est le nom qui est donné à un objet, et qui en exprime la forme et implicitement l'image. La liste des dénominations est illimitée et s'accroît au fur et à mesure de la saisie. Aujourd'hui par exemple (pour les instruments scientifiques) on peut trouver : instruments de mesure du temps, tube, ampoule, bobine, etc.
- Appellation : Elle complète la dénomination et permet de rajouter des aspects moins scientifiques permettant l'identification du bien. Cela peut être une appellation historico-commerciale, un nom vernaculaire ou le terme utilisé par les spécialistes. En sciences et techniques par exemple, on utilise souvent en appellation le nom de l'inventeur (machine de Wimshurst, accélérateur Cockcroft-Walton, bobine de Ruhmkorff, etc.)

- Titre : C'est le nom donné par l'auteur souvent donné entre crochets ou entre parenthèse. Ce critère concerne essentiellement les œuvres d'art ou littéraires, mais un tableau, un dessin, un croquis peuvent également faire partie d'une collection scientifique. Il peut aussi exister un champ « autre titre » où l'institution est libre de mentionner un autre type de nom pour l'objet, par exemple une appellation dans une autre langue.
- Auteur / Exécutant / Collecteur : Ce champ permet de mentionner tous les intervenants en lien avec l'objet.

« Un intervenant peut être une personne physique, un groupe de personnes physiques, une personne morale, une population, une civilisation, etc. Les restaurateurs n'y sont pas indiqués. » (Ministère de la culture et al., 2015)

Cette rubrique se compose de deux parties :

- 1) les noms prénoms des personnes à mentionner (né, née, dit, dite, et le point d'interrogation).
 - 2) les rôles des personnes mentionnées, donnés entre parenthèses. Ainsi c'est dans ce champ que nous pouvons faire figurer : l'inventeur, le fabricant, le collecteur, le constructeur, le commanditaire, un éventuel collaborateur, le concepteur, etc.
- Précision sur l'Auteur / Exécutant / Collecteur : Ce champ permet de donner des informations biographiques complémentaires tels les lieux et dates de naissance et de décès ; les charges et postes officiels obtenus par l'auteur, et éventuellement les dates de nomination à ces postes ou charges ; les dates de création, d'activité, etc. des manufactures ou des fabriques ; ou bien encore une précision sur les lieux cités.
 - Anciennes attributions : C'est un champ qui permet en quelque sorte de prendre en compte les erreurs sur l'identité de l'objet. Il est possible de faire figurer une ancienne attribution (nom de l'auteur supposé à l'époque – personne qui a proposé cette attribution – date à laquelle cette attribution a été faite).
 - Période de Création / Exécution : C'est ici que l'on va pouvoir dater l'objet en siècles ou en millénaires. On renseigne la période pendant laquelle l'objet est né (créé ou fabriqué), mais avec une codification précise, par exemple pour le 20^e siècle :
 - de 1900 à 1999 = 20e siècle

- de 1900 à 1949 = 1^{re} moitié 20^e siècle
 - de 1950 à 1999 = 2^e moitié 20^e siècle
 - de 1950 à 1974 = 3^e quart 20^e siècle
 - de 1975 à 1999 = 4^e quart 20^e siècle
- Millésime de Création / Exécution : Ce champ permet de préciser une ou plusieurs dates correspondant à l'année précise de création ou d'exécution (de fabrication) de l'objet. On peut utiliser des précisions telles que : achevé en, après, avant, commencé en, entre ... et, etc.
 - Époque / Style / Mouvement : Ce champ permet de compléter les précédents, mais ne peut les remplacer. L'époque est utilisée pour définir une période historique caractérisée par des événements qui s'y déroulent, des particularités qui lui sont propres. C'est ici que nous pouvons attribuer notre terme « contemporain ».

Le « mouvement » est plutôt utilisé pour définir une action collective qui tend à produire un changement dans les idées en vogue, les opinions ou les organisations sociales. Même si ce terme est surtout utilisé pour les mouvements artistiques dans le monde de la muséologie, les mouvements scientifiques peuvent prendre toute leur place dans ce champ. Aujourd'hui, aucun mouvement scientifique n'apparaît dans les listes officielles. Le style n'est pas vraiment adapté à la description de l'objet scientifique.

- Période de l'original copié : ce champ n'est utilisé que pour les copies d'objets, et se remplit avec les mêmes normes de vocabulaire que le champ « période de création/exécution ».
- Matériaux / Techniques : Ce champ sert à énumérer les différents matériaux constitutifs d'un objet et les techniques employées pour sa réalisation. Les vocabulaires associés varient beaucoup en fonction des collections concernées et s'enrichissent perpétuellement. Il existe de grandes catégories de matériaux parmi lesquelles nous allons rechercher ce qui nous concerne :
 - Matériau d'origine végétale : les différentes essences de bois, les dérivés du bois (lamellé, contre-plaqué, etc.), caoutchouc, carton, cellulose, liège, coton, latex, ambre, les papiers, etc.

- Matériau d'origine animale : cire, fil d'araignée, crin, ivoire, laine, cuire, etc.
- Matériau d'origine minérale : matières plastiques, matières synthétiques (bakélite), les métaux, les pierres, les verres, etc.
- Matériau d'origine synthétique : ébonite, adhésif, mousse, polycarbonate, etc.

C'est aussi dans ce champ que l'on spécifie la couleur de l'objet. Les techniques sont aussi listées par grandes familles, les techniques du bois et de l'ivoire (biseauté, ajouré, mouluré, cannelé, etc.), les techniques de la céramique, du dessin, de l'estampe, de l'imprimerie, du métal (abrasé, aiguisé, boulonné, damassé, émaillé, frappé, galvanisé, nickelé, usiné, etc.), les techniques du papier/carton/pâte, du papier peint, du cuir, de la peinture, de la photographie, pierre/ciment/plâtre/cire, textile/tissu, techniques locales, techniques d'époques, etc. Il peut exister un champ libre « précisions sur les matériaux et techniques » permettant de rajouter des commentaires ou des précisions non listées.

- Mesures : On peut ici renseigner les mesures et dimensions de l'objet (dimension, poids, valeur). Une mesure se compose du type de mesure, d'une valeur numérique et de l'unité de mesure. Les types de mesure sont indiqués par des abréviations :
 - D. = diamètre (le plus souvent en centimètres)
 - E. = épaisseur (le plus souvent en centimètres)
 - H. = hauteur (le plus souvent en centimètres)
 - l. = largeur (le plus souvent en centimètres)
 - L. = longueur (le plus souvent en centimètres)
 - P. = profondeur (le plus souvent en centimètres)
 - Pds = poids = carats (le plus souvent en grammes)

« Il est intéressant de préciser les mesures qui correspondent aux plus grandes dimensions, c'est-à-dire à l'encombrement maximum de l'objet. Ces données sont nécessaires pour les déplacements d'objet » (Ministère de la Culture et al., 2015).

On prend donc en considération la mesure, du cadre, du socle, de la boîte, des poignées, etc. L'ICOM préconise l'utilisation du centimètre et du gramme, mais c'est également d'utiliser en toute logique, l'unité la plus adaptée à l'objet décrit.

- Inscriptions : On indique ici quelle catégorie d'inscription est présente sur l'objet. La liste officielle permet de choisir le vocabulaire adapté : date, étiquette, initiale, signature, mesure, marque, poinçon, sigle, tampon, numéro, etc.
- Précision sur les inscriptions : C'est la transcription des inscriptions identifiées au-dessus. On note donc l'inscription, mais on peut aussi préciser son auteur, son emplacement sur l'objet, etc.
- Description : cette partie rend compte de la description formelle de l'objet, des précisions concernant les matériaux et techniques, et des précisions concernant l'état de conservation si celui-ci impact l'aspect général de l'objet (partie manquante, partie détachée, etc.). La description est souvent complexe pour un instrument scientifique. Si elle est bien faite, un lecteur doit pouvoir dessiner l'objet sans l'avoir déjà vu auparavant, ou du moins arriver à se le représenter. C'est ici également que l'on peut spécifier, pour un objet scientifique, ce que nous appellerions les techniques de fabrication (artisanale, manufacturée, industrielle, série, prototype, etc.).
- État du bien au moment de l'acquisition ou du dépôt : Ce sont les indications générales portant sur l'aspect général du bien au moment de son entrée dans l'établissement et permettant son identification (par rapport à d'autres).
- État actuel du bien : Ici, on décrit plus précisément l'état de conservation en mentionnant les dégradations visibles sur l'objet portant atteinte à son intégrité (fêlure, cassure, manque, etc.), faisant état d'une déformation, de marque d'usage (oxydation, altération, corrosion, etc.). On peut aussi spécifier si l'objet a été restauré. Pour les collections scientifiques et techniques, il est pertinent de dire de manière systématique en combien de parties est conservé l'objet. Pour le musée des Confluences, ce champ est plus complexe et regroupe plusieurs items :
 - Précisions sur l'état de conservation
 - Préconisations
 - Humidité relative

- Éclairage préconisé
- Conditions de présentations
- Soclage
- Précisions sur le soclage
- Accessoires de présentation

Dans un deuxième temps, nous pouvons identifier les critères qui précisent le contenu historique de l'objet :

2 *préciser le contexte historique de l'objet*

- Objets associés : les autres objets directement en lien, parce qu'ils viennent du même laboratoire par exemple.
- Historique : dans un inventaire, ce champ permet de rédiger avec un vocabulaire plus large, le contexte historique de l'objet, les conditions particulières, les circonstances et les dates de l'exécution, de la provenance, de la destination.
- Lieux de Création / Exécution : c'est le lieu où a été créé ou fabriqué l'objet. De manière générale, on donne le pays, le département, la commune puis des informations complémentaires quand elles sont connues comme : le laboratoire, l'usine, etc.
- Précisions sur le(s) lieu(x) de Création / Exécution : ce sont des critères encore plus précis comme l'adresse exacte, ou des précisions sur l'évolution des noms de lieux, les doutes sur ces données, un nom de région à l'étranger, etc.
- Utilisation / Destination : quand elle est connue, ce critère recouvre la fonction associée à l'objet, ce pour quoi cet objet a été fabriqué, et comment il est utilisé. On peut retrouver ici les utilisations détournées, primaires, secondaires, supposées, etc. Ce sont ici des termes génériques qu'il faut employer : astronomie, armement, enseignement, guerre, instrument de mesure, pratique de la santé
- Précision sur l'Utilisation / Destination : Ces informations décrivent l'utilisation habituelle de l'objet dans un contexte courant, ou bien l'utilisation particulière dans un contexte précis, à un moment donné, mais de manière rédigée.

- Lieux d’Utilisation / Destination : Ce sont le(s) lieu(x) où a été utilisé l’objet. De manière générale, on donne le pays, le département, la commune puis des informations complémentaires quand elles sont connues comme : le laboratoire, l’usine, etc.
- Précisions sur les lieux d’Utilisation / Destination : ce sont les informations supplémentaires sur les lieux d’utilisation, en texte libre (adresse, lieu précis, etc.)
- Période d’Utilisation / Destination : Les informations de ce champ permettent de dater l'utilisation ou la destination des objets en siècle (précision maximum de 25 ans).

« Il est particulièrement important de renseigner ce champ lorsque la période de création / exécution est inconnue. Il peut arriver en effet que la date d'utilisation d'un objet soit connue, sans que l'on connaisse sa période d'exécution. Les informations sur la période d'utilisation permettent de replacer l'objet dans un contexte chronologique » (Ministère de la Culture et al., 2015).

- Millésime d’Utilisation / Destination : c’est l’année précise, les années ou la période d’utilisation.
- Découverte / Collecte / Récolte : ce sont des informations relatives à la découverte des objets archéologiques, à la collecte des objets ethnologiques, à la récolte des objets des collections d'histoire naturelle. Pour l’objet scientifique, cela correspond à une collecte dans un milieu spécifique.
- Lieu de Découverte / Collecte / Récolte : C’est le lieu d’où l’objet est sorti de son contexte d’utilisation, pour un objet scientifique et technique.
- Date de Découverte / Collecte / Récolte

Il existe d’autres critères en rapport avec la découverte / collecte / récolte, mais qui ne seront pas pertinents pour un objet scientifique contemporain. Dans un troisième temps, nous pouvons détailler les critères propres au statut juridique de l’objet et aux conditions de son acquisition, ou de son dépôt.

3 indiquer le statut juridique de l'objet et les conditions de son acquisition ou de son dépôt

- Date d’inscription au registre de l’inventaire quand c’est un objet « musée de France ».

- Type de propriété : identifie le propriétaire de l'objet. Ce peut être une propriété publique (de l'état, du département, de la collectivité, etc. une propriété privée (de l'artiste, d'une personne morale, etc.)
- Mode d'acquisition : c'est la manière dont est entré l'objet dans la collection. Il existe une liste des modes d'acquisition parmi lesquels on retrouve : l'achat, dation, donation, legs, cession.
- Prix d'achat en euros
- Mention des concours publics : ce sont les informations relatives au financement de l'achat de l'objet. Généralement, on porte la mention " AS " pour les acquisitions subventionnées par l'État ou une collectivité publique, ou bien la mention " ANS " pour les acquisitions non subventionnées.
- Institution propriétaire : C'est le nom de la personne morale ou physique propriétaire du bien, par exemple le nom d'une collectivité territoriale, avec la précision, le cas échéant, du nom de l'institution sur l'inventaire de laquelle le bien est inscrit, tel que le nom d'un des musées de cette collectivité territoriale.
- Établissement affectataire : C'est l'établissement qui a la garde de l'objet, même s'il n'en est pas forcément le propriétaire (que ce n'est pas lui qui a fait l'achat).
- Date et Référence de l'acte d'acquisition : La date précise d'achat et les références de l'achat.
- Date d'affectation au musée
- Avis des instances scientifiques compétentes en matière d'acquisition (conseils scientifiques)
- Nom du Donateur / Testateur / Vendeur
- Anciennes appartenances : ce sont les propriétaires successifs de l'objet (héritiers, collectionneur, société d'amis, etc.). Pour l'inventaire réglementaire, cette rubrique a la particularité de n'être remplie que pour les collections scientifiques et techniques.
- Dépôt / Établissement dépositaire :
- Date et référence de l'acte de dépôt

- Date et référence mettant fin à l’acte de dépôt
- Anciens dépôts : le lieu et le nom de l’institution.
- Localisation de l’objet dans l’établissement responsable : cela correspond à l’emplacement précis de l’objet au sein du bâtiment, d’après le lexique interne de l’établissement : salles d’expositions, réserves, vitrines, tiroirs, etc. Dans le cas d’une fiche documentaire comme celle du musée des Confluences, la localisation de l’objet est bien plus qu’un champ et recouvre plusieurs items :
 - L’emplacement de référence
 - Parcours thématique
 - Dernier récolement
 - Mouvement en cours

Enfin, il y a les informations dont le but est de compléter celles qui précèdent et de garder un portrait le plus complet possible de l’objet :

4 *Donner accès à de plus amples informations sur l’objet.*

- Exposition : cela permet de citer les anciennes expositions dont l’objet a fait partie. On peut préciser le titre de l’exposition, la date, le lieu et son numéro dans l’exposition.
- Bibliographie : ce sont les références servant à documenter l’objet.
- Commentaires : pour toutes les informations qui n’ont pas trouvé de places dans l’ensemble des critères. Dans le cas des collections scientifiques en particulier, on retrouver sous ce champ :
 - Utilisateurs ou utilisateurs illustres avec la période correspondant à cette utilisation.
- Crédits photographiques : nom du photographe qui a pris les clichés reproduisant l’objet et (ou) le nom de l’agence gestionnaire.
- Rédacteur de la notice : c’est la personne qui remplit les champs que nous venons de détailler. Dans les faits, il se peut que ce soit une signature électronique, qui ne corresponde pas réellement aux mains qui réalisent l’inventaire. Dans le cas du musée des Confluences, il existe également l’onglet « état d’avancement de la

saisie » ce qui permet de savoir si cette fiche est en cours de réalisation, stabilisée, un brouillon, etc. Il y a également une distinction entre le créateur de la notice (rédacteur) et la dernière personne qui l'a modifié.

Nous venons de lister en tout 57 critères documentaires, qui correspondent en partie aux critères d'inventaire réglementaires.

Ce qui nous intéresse maintenant, c'est mettre cette liste de critères face à la fiche d'inventaire de l'accélérateur de particules du musée des Confluences. Ainsi nous pourrions voir précisément lesquels ont été complétés par les conservateurs successifs responsables de l'objet ; et quelles informations étaient à disposition des réalisateurs de l'exposition.

- Grilles d'analyse des critères d'inventaire

Identifier les critères à disposition des concepteurs

Pour cela, nous allons créer une grille d'analyse. Dans la colonne de gauche, nous allons conserver l'ensemble des critères documentaires décrits ci-dessus. Quand cela est nécessaire, nous ajoutons à ces critères les critères propres à la méthodologie d'inventaire du musée des Confluences ; c'est-à-dire des critères qu'ils utilisent, mais qui ne font pas partie des critères standards. Dans une seconde colonne, nous allons mentionner si ce critère fait partie ou non des critères réglementaires d'inventaires. Si un critère documentaire est aussi un critère d'inventaire, la case est marquée en rouge et le numéro de la colonne correspondante est donnée, conformément aux annexes 15 et 16. Si la case de la seconde colonne est surlignée en rouge, cela signifie que le critère est également un des critères réglementaires, et qu'il correspond à la colonne du numéro indiqué. Ce numéro se retrouve dans les annexes 15 et 16, et donne l'intitulé du critère correspondant.

Si le critère mentionné est un critère qui appartient à la méthodologie d'inventaire du musée des Confluences, il est marqué en bleu. Enfin dans la troisième colonne, nous remplirons, quand la fiche inventaire de l'objet nous le permet, les informations correspondantes pour l'accélérateur de particules exposé au musée des Confluences. Voici la forme générale du tableau que nous obtiendrons (tableau 4):

Tableau 4 : Grille d'analyse permettant de distinguer les rubriques documentaires, les rubriques réglementaires et les rubriques propres à la méthodologie du musée des Confluences utilisées dans la fiche d'inventaire de l'accélérateur de particules.

Rubriques des notices documentaires	Colonne registre inventaire	Rubriques de la fiche d'inventaire de l'accélérateur de particules exposé au musée des Confluences
PARTIE DES CRITÈRES D'INVENTAIRE		
	Surlignage bleu : Critère propre à la méthodologie du musée des Confluences	
	1 Surlignage rouge et numéro : Critère d'inventaire réglementaire et numéro de correspondance avec une fiche réglementaire.	

Ce tableau donnera avec précisions les informations qui étaient à disposition des concepteurs de l'exposition.

Identifier les critères utilisés par les concepteurs

À partir de cette grille, nous allons pouvoir voir quels critères d'inventaire nous retrouvons dans les textes qui sont à disposition du visiteur lors de sa visite.

Pour cela, nous utilisons cette même grille, mais à laquelle nous ajoutons une colonne à droite. Cette colonne est celle des critères d'inventaire identifiables dans les textes du parcours de visite. Rappelons-nous que les textes ayant une fonction d'énonciation traduisent la volonté du concepteur de communiquer ses propres conceptions, ses points de vue ou son opinion à son public. Les textes ayant une fonction rhétorique sont présents pour donner de la cohérence au parcours, et en assurer la structure et la continuité. Ces textes relient les objets entre eux et justifient de leur rassemblement dans l'exposition. Ce n'est généralement pas dans ce type de texte que nous pouvons trouver des critères d'inventaire propres à l'objet que nous étudions.

Nous garderons donc dans la suite de l'analyse, uniquement les textes dans lesquels nous avons identifié les fonctions d'ancrage et d'inventaire. Nous prenons donc les textes classifiés dans les fonctions d'inventaire et d'ancrage du même corpus de base (texte de l'introduction, de la partie *échanger*, du thème *mettre en réseau des savoirs*, du sous-thème *partager les connaissances*, du cartel de l'accélérateur et des différentes versions de l'audioguide). Quand dans ces textes, les informations correspondent à des critères

d'inventaire, nous les mettons dans la grille, dans la ligne correspondante. Voici la forme générale du tableau que nous obtiendrons (Tableau 5) :

Tableau 5 : Grille d'analyse permettant de distinguer les rubriques documentaires, les rubriques réglementaires, les rubriques du musée des Confluences utilisées dans la fiche d'inventaire de l'accélérateur de particules et les informations qu'on retrouve effectivement dans le texte de l'exposition.

Rubriques des notices documentaires	Colonne registre inventaire	Rubriques de la fiche d'inventaire de l'accélérateur de particules exposé au musée des Confluences	Sélection des textes de l'exposition en lien avec l'accélérateur des particules portant une fonction d'inventaire ou d'ancrage.
PARTIE DES CRITÈRES D'INVENTAIRE			
	Surlignage bleu : Critère propre à la méthodologie du musée des Confluences		
	1 Surlignage rouge et numéro : Critère d'inventaire réglementaire et numéro de correspondance avec une fiche réglementaire.		

L'application de cette grille nous permettra de mettre un nom précis sur chacune des informations mentionnées, et de la replacer dans un processus d'inventaire.

Nous voyons à travers l'étude épistémologique de la première partie, que l'accélérateur Cockcroft-Walton est multiple. Encore une fois, l'objet est polysémique. Parler de cet accélérateur entraîne nécessairement des références à d'autres accélérateurs dans des référentiels différents (époque, géographie, fonction). Nous souhaitons désormais définir une grille d'analyse qui nous permettra de préciser le degré d'implication de ces critères d'inventaire, vis-à-vis de l'objet qui est exposé et qui est concrètement devant le visiteur dans l'exposition.

- Mais de quel objet parlons-nous ? (Grille d'analyse)

Nous venons de définir des outils d'analyse qui nous permettent dans un premier temps d'identifier la fonction du texte qui est présenté au visiteur. Parmi ces fonctions, nous nous intéressons particulièrement aux textes relevant de la fonction d'inventaire et de la fonction d'ancrage. Dans un deuxième temps, en repartant des critères réglementaires d'inventaires, nous identifions la nature des informations présentes dans les textes à fonction d'inventaire ou d'ancrage. Désormais, nous souhaitons voir quel est le degré d'implication de ces informations, avec l'objet exposé au visiteur. C'est un cadre d'analyse épistémologique que nous mobilisons afin d'établir une classification des objets, qui serait pensée à la fois en fonction d'une distanciation par rapport à l'objet et en fonction de son individualisation. Cette distance s'établit par rapport à des critères historiques, géographiques, et épistémologiques. Nous entendons donc ce terme d'*implication* du texte comme un degré de cohérence avec l'objet effectivement exposé devant le visiteur.

Le classement effectué est fait en fonction du niveau d'implication du texte avec l'objet : il concerne l'objet exposé précisément, un objet du même genre, un objet de la même famille, un objet du même ordre, de la même famille ou encore concernant le même domaine. Ainsi, à la manière de la classification scientifique des espèces, nous pourrions mettre notre objet scientifique, dans une genèse à la fois scientifique, disciplinaire et épistémologique.

Définissons les caractères de convergence et de consistance de cette classification. Dans notre cas précisément nous pouvons identifier :

- L'accélérateur Cockcroft-Walton Philips qui est présenté dans l'exposition. Cet objet a une histoire qui lui est propre et qui le rend unique. Comme Gilbert Simondon (1924 – 1989) l'explique dans le cas des objets techniques :

« L'unité de l'objet [technique], son individualité, sa spécificité sont les caractères de consistance et de convergence de sa genèse » (Simondon, 1989).

En majeure partie, les informations propres à cet objet sont disponibles sur sa fiche d'inventaire (fiche Flora). Ce sont essentiellement les informations propres à l'identité de l'objet, à sa période de fabrication, d'usage et d'entrée en collection.

- Dans un deuxième temps, nous pouvons identifier les accélérateurs du même genre, c'est-à-dire les autres accélérateurs de particules de type Cockcroft-Walton.

C'est par exemple l'accélérateur Cockcroft-Walton de M. Cockcroft et M. Walton. Celui-ci, mis au point en 1932, est le premier accélérateur « de ce type », le premier « du genre »¹³⁰. Le critère commun à ces objets est le principe de fonctionnement qui permet de définir tel ou tel accélérateur comme étant un accélérateur de type Cockcroft-Walton. Dans cette catégorie, nous trouvons les critères d'inventaire en lien avec la période d'invention de l'objet ; mais ce sont aussi les usages des autres accélérateurs de type Cockcroft-Walton.

- Dans un troisième temps, nous identifierons les informations se rapportant aux objets de la même famille : la famille des accélérateurs de particules. Cette famille regroupe tous les types d'accélérateurs, qui ont des principes de fonctionnement différents, mais le même but en soit, la même destination : l'accélération de particules. Les critères d'inventaire se rapportant à cette catégorie peuvent être en lien avec les usages.
- Nous pourrions ensuite distinguer les éléments se rapportant aux objets de même ordre. Nous les définissons comme étant les objets appartenant à la même discipline : la physique des particules.
- Enfin les objets du même domaine sont les objets de la même collection : les sciences et techniques.

¹³⁰ L'utilisation de ce vocabulaire est une analogie volontaire avec les sciences de la vie et de la terre, pour qui « le type » est un objet (holotype) de référence (voire une méthode), permettant aux chercheurs de décrire et de définir un ensemble. Le type est le spécimen d'origine permettant l'identification des individus suivants, appartenant au même genre.

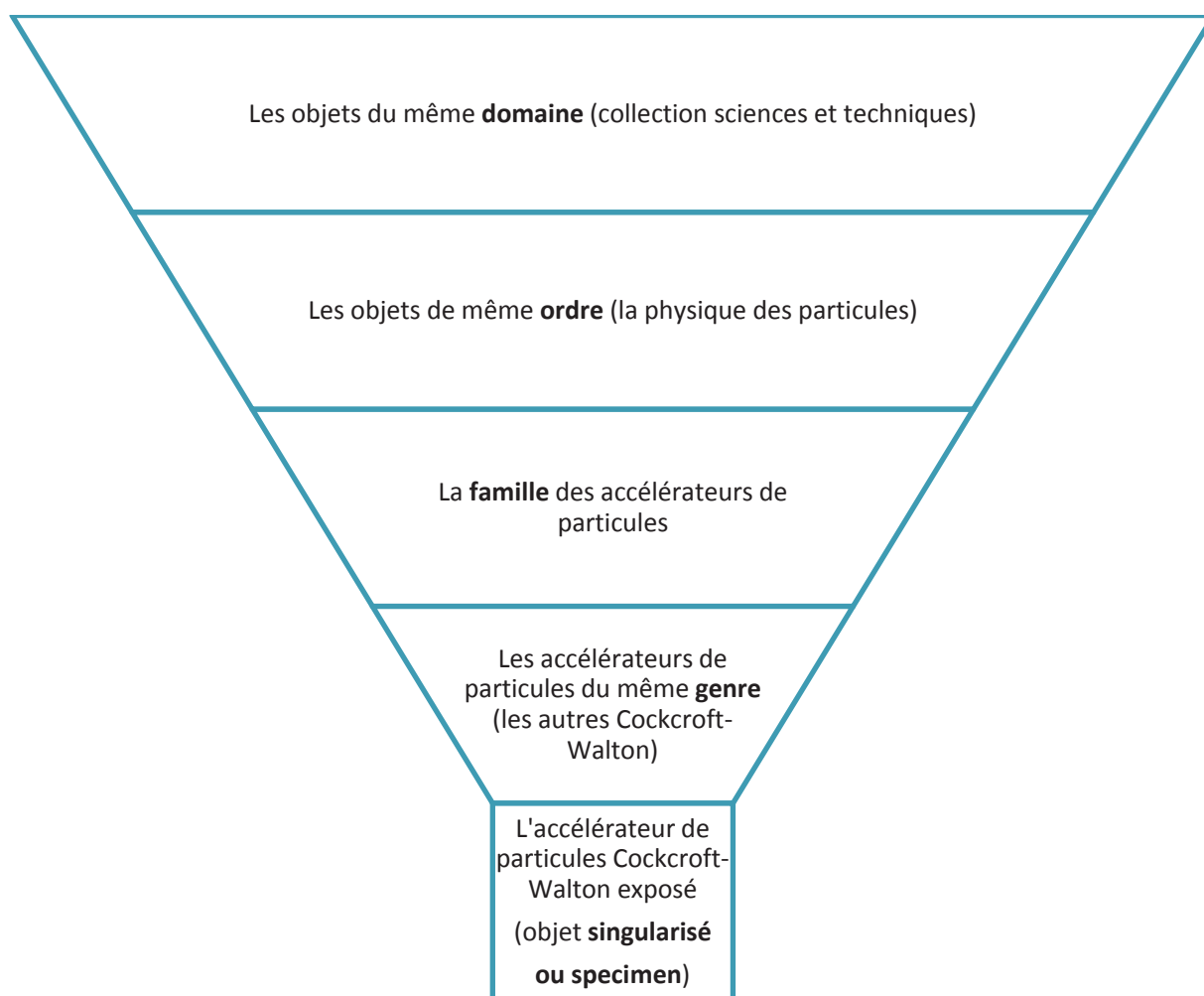


Figure 85 : Schéma représentant une classification des objets, envisagée en fonction d'une distanciation par rapport à l'objet singularisé : l'objet qui est exposé.

Le contenu de la première partie nous permettra de distinguer les textes se rapportant à l'accélérateur de type Cockcroft Walton exposé, ceux se rapportant aux accélérateurs Cockcroft-Walton en général, ceux traitant des accélérateurs de particules en général, ceux traitant du domaine de la physique des particules, ceux touchant la collection des sciences et techniques (voir Figure 85).

Le corpus utilisé est identique : les textes mis à disposition du visiteur lors de sa visite au musée des Confluences, en lien avec l'accélérateur de particules Cockcroft-Walton. C'est-à-dire : le texte de l'introduction, de la partie *Echanger*, du thème *mettre en réseau des savoirs*, du sous-thème *partager les connaissances* et du cartel de l'objet. Mais aussi le texte de la transcription du dernier audioguide, et du support vidéo. Nous nous aidons également de la partie analyse fonctionnelle, pour ne reprendre ici que les textes à fonction d'inventaire ou

d’ancrage ; les textes d’énonciation et de rhétorique, ne devant *a priori* pas comporter les éléments que nous recherchons.

Nous appliquerons un code couleur au tableau issu de la précédente analyse. Ainsi nous garderons une vue de l’ensemble de nos résultats. Nous pourrions également comptabiliser le nombre de mots de manière à donner une représentation visuelle de ces résultats.

2.3 Analyse et résultats

Les résultats dégagés par notre analyse révèlent que le texte expographique incarne différentes fonctions, mais que celles-ci ne sont pas représentées de manière équivalente dans les différentes étapes du discours de l’exposition (tous supports confondus) autour de l’accélérateur de particules CW de l’exposition *Sociétés : le théâtre des hommes* du musée des Confluences. Par ailleurs les informations des textes des outils de visite (discours de l’exposition et support vidéo) sont pour l’essentiel extraites de la fiche d’inventaire de l’objet, mais très peu d’entre elles le concernent réellement. Nous présentons ci-dessous les détails de cette analyse.

2.3.1 Les différentes fonctions des textes des outils de visite

L’analyse des différents textes de l’exposition montre que chacune des fonctions du texte d’exposition est représentée. Toutefois, ces fonctions sont représentées de manière inégale, dans les différentes étapes du parcours de l’exposition.

Sur la Figure 86, nous représentons toutes les fonctions que peut revêtir le texte, et leurs poids au sein des différentes parties du texte d’exposition.

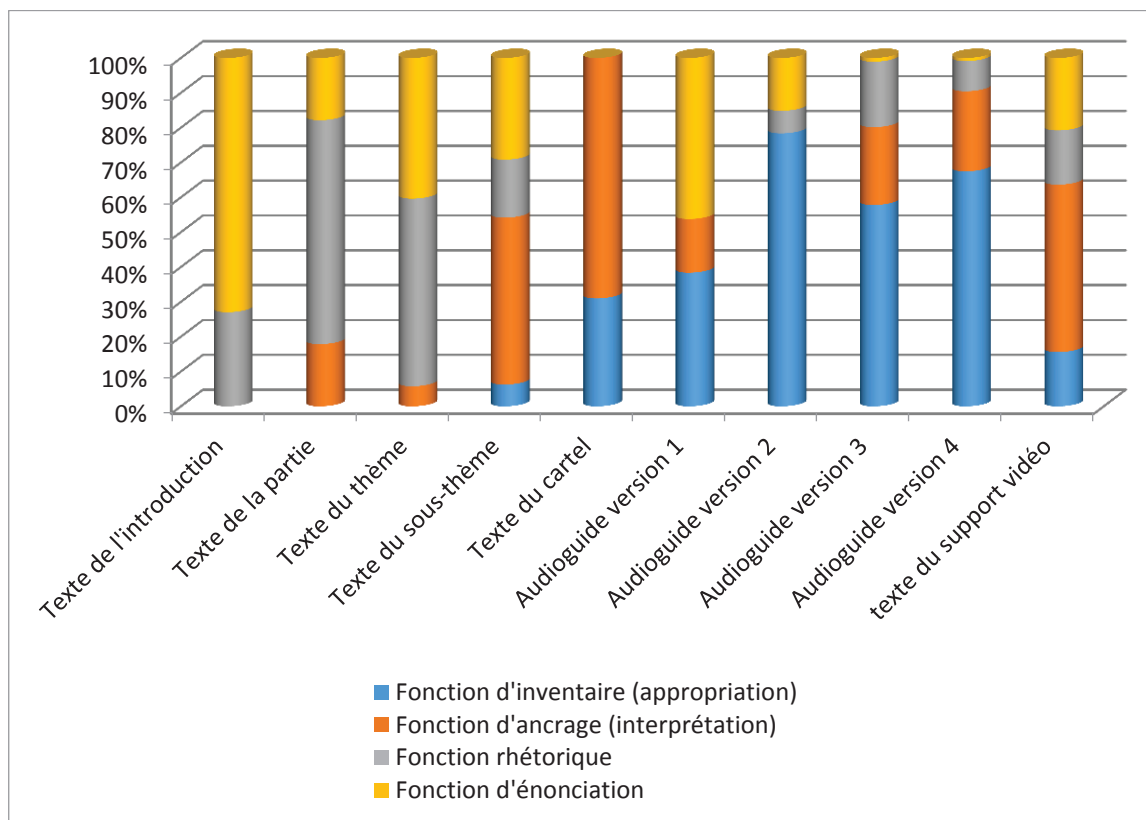


Figure 86 : identification des différentes fonctions du texte pour chaque strates du discours de l'exposition, pour chaque version de l'audioguide, et pour le texte du support vidéo, en lien avec l'accélérateur de particules CW. Exposition *Sociétés : le théâtre des hommes*, musée des Confluences à Lyon.

La première chose qui apparaît est que les différentes fonctions du texte ne sont pas représentées de manière équitable dans chacune des étapes. Chacune s'exprime de manière prédominante dans l'une ou l'autre des sections : la fonction d'énonciation dans le texte d'introduction, la fonction rhétorique pour le texte de la partie *Echanger*, et du thème *mettre en réseau des savoirs*, fonction d'ancrage pour le texte du sous-thème *partager les connaissances*, et pour le cartel de l'accélérateur. Au fur et à mesure de l'évolution des versions de l'audioguide, nous voyons la fonction d'énonciation laisser place à une fonction d'inventaire largement majoritaire. La dernière version retranscrite proposera une nuance des propos et rééquilibrera la fonction d'inventaire avec une fonction rhétorique ou d'ancrage. La fonction d'énonciation deviendra invisible.

- Textes écrits du parcours

L'analyse plus particulière des textes écrits (toujours en lien avec l'accélérateur) du parcours d'exposition est représentée par le schéma ci-dessous (voir Figure 87). Ce sont les mêmes résultats que ceux présentés dans l'histogramme précédent mais proposés sous une forme différente pour rendre plus lisibles les pourcentages.

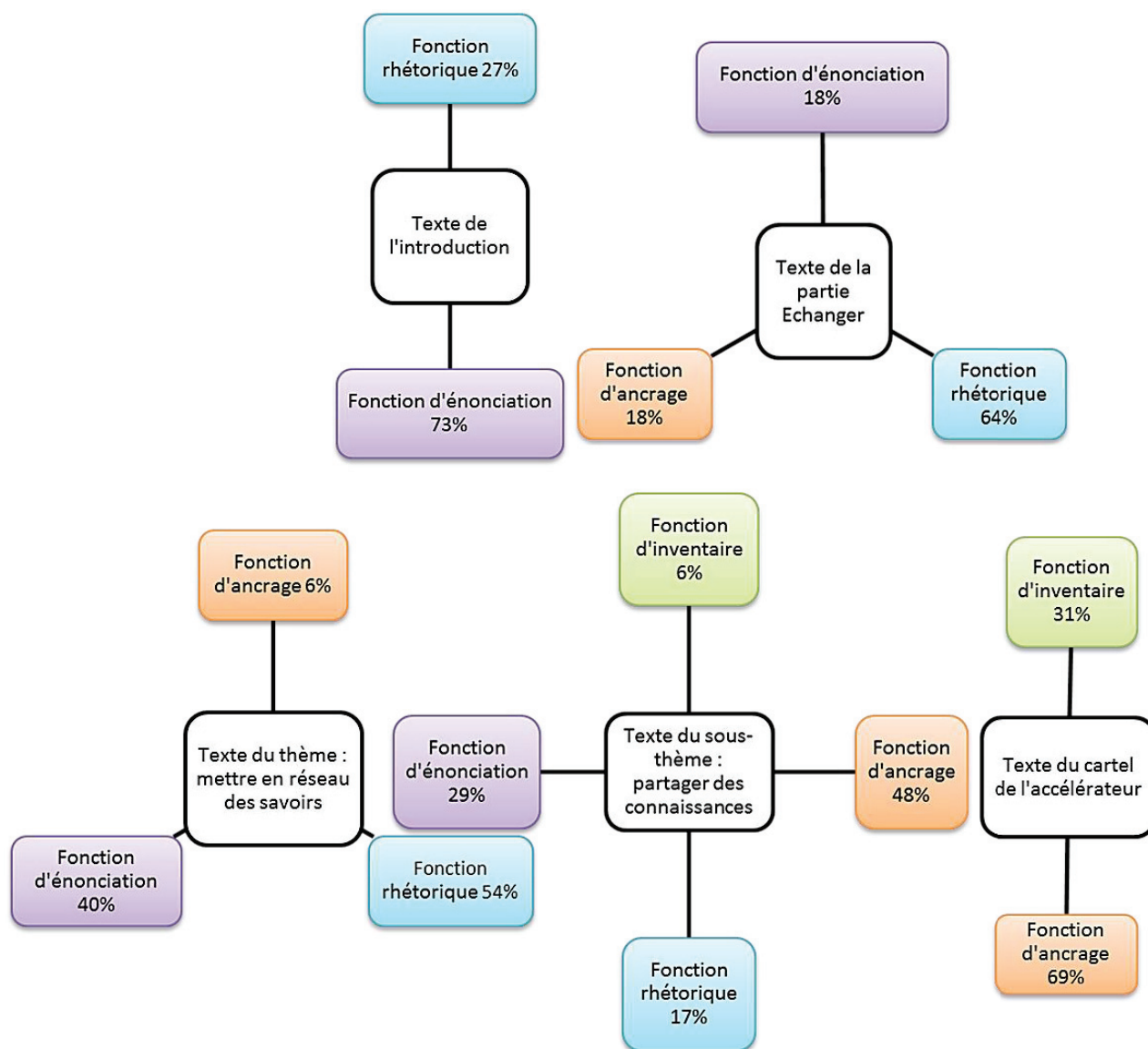


Figure 87 : Les fonctions du texte pour chaque strate du discours de l'exposition, en lien avec l'accélérateur de particules CW. Données exprimées en pourcentage de mots par rapport au nombre total de mots du discours. Exposition *Sociétés : le théâtre des hommes*, musée des Confluences à Lyon.

Comme la première figure nous permettait déjà de le voir, les différentes fonctions du texte ne sont pas représentées de manière équitable dans chacune des étapes. La fonction

d'ancrage, qui représente aussi la fonction d'interprétation de l'objet, est présente essentiellement dans le cartel de l'objet et dans le texte du sous-thème *partager les connaissances*. Elle l'est aussi un petit peu dans le texte de la partie *Echanger*. Rappelons que la fonction d'ancrage est celle par laquelle le concepteur guide l'interprétation du visiteur et limite les interprétations. Cette orientation du texte se fait donc dans les textes les plus proches de l'objet.

La fonction d'inventaire, qui représente aussi la fonction d'appropriation, est présente dans le texte du cartel et du sous-thème. Mais c'est à chaque fois une présence discrète puisqu'elle n'excède pas 31%. Les indices à travers lesquels le visiteur voit la logique de classement, d'inventaire et d'organisation interviennent donc dans les deux dernières strates du discours de l'exposition.

La fonction rhétorique macro-discursive, qui donne la cohérence du parcours est très majoritairement présente dans le texte de la partie *Echanger*. Elle garde une forte proportion dans le texte du sous-thème et se fait plus discrète dans le texte de l'introduction et du sous-thème. En revanche, elle est absente du texte du cartel.

La fonction d'énonciation est aussi absente du cartel de l'objet. La fonction d'énonciation, qui représente la capacité que peut avoir le texte à communiquer le point de vue de l'institution (le parti pris) se lit essentiellement dans le texte de l'introduction et du thème, même si elle est un peu présente dans le texte de la partie ou du sous-thème.

Nous pouvons maintenant voir plus précisément ce qui se joue dans chacune des strates du texte de l'exposition, toujours centré sur notre accélérateur de particules.

Un texte d'introduction majoritairement énonciateur

Le tableau ci-dessous (tableau 6) donne la répartition des sections de phrases de l'introduction dans notre grille d'analyse. Les sections sont celles qui ont été définies lors de la présentation du corpus (I.1 à I.7).

Tableau 6 : Analyse des fonctions du texte de l'introduction. Exposition *Sociétés : le théâtre des hommes*, musée des Confluences à Lyon.

Fonction du texte de l'exposition	Texte de l'introduction
Fonction d'inventaire / d'appropriation	
Fonction d'ancrage / d'interprétation	
Fonction rhétorique macro-discursive	<p>I.1 L'humanité s'est construite dans la rencontre et l'échange (8 mots)</p> <p>I.7 les sociétés humaines témoignent d'une capacité infinie à organiser, échanger et créer. (12 mots)</p>
Fonction d'énonciation	<p>I.2 avec le défi de l'horizon et le désir de l'ailleurs. (10 mots)</p> <p>I.3 L'être humain est un migrant qui se rassemble (8 mots)</p> <p>I.4 s'arrête pour un temps et forme sociétés, cultures et civilisations. (10 mots)</p> <p>I.5 L'imprévu, le désordre, le chaos parfois, contribuent à modifier, fragiliser ou contrarier les repères, règles et constructions alors établis. (19 mots)</p> <p>I.6 Entre rêves et utopies, révolutions et inventions (7 mots)</p>

Dans l'introduction, la fonction la plus représentée est celle de l'énonciation. Nous n'avons pas relevé d'utilisation de chiffre, du conditionnel ou de ponctuation expressive, mais une large part de forme poétique. La forme poétique est ici identifiable à travers l'usage de différents éléments : des rimes, des allitérations, l'utilisation du sens figuré, de métaphores,

d'hyperboles, etc. Les parties I.1 et I.7 donnent des éléments constitutifs de la logique du parcours, avec l'utilisation du vocabulaire « clef » de l'exposition : rencontre, échange, organiser, échanger et créer. Elles annoncent le plan de l'exposition et les trois grands axes à venir. Mais en plus de cela, les formes poétiques sont toujours présentes. Nous avons donc hésité à faire figurer les phrases I.1 et I.7 dans les deux fonctions. Nous avons fait ici le choix de leur attribuer la seule fonction rhétorique. Dans ce texte d'introduction, comme dans tout texte du parcours expographique, le nombre de mots est compté. Ici nous comptons 54 mots relevant de la fonction d'énonciation (73%) contre 20 mots (soit 27%) pour la fonction rhétorique. Les deux autres fonctions du texte ne sont pas représentées dans cette partie.

L'analyse des fonctions du texte de l'introduction de l'exposition nous permet donc de voir qu'elle est essentiellement utilisée pour montrer les points de vue du musée. C'est dans cet espace (l'espace du texte de l'introduction) que le concepteur communique au public ses intentions et se fait « auteur » à part entière, ici en préférant des formes poétiques. L'introduction sert aussi de plan, même on si on peut dire que c'est plus un plan suggestif que clairement annoncé, en utilisant les mots *Organiser*, *Echanger* et *Créer* qui seront les trois grands axes de l'exposition. Le discours de l'introduction ne dévoile rien sur la nature des objets que le visiteur va rencontrer dans son parcours.

Un texte de partie majoritairement rhétorique

Le tableau ci-dessous (tableau 7) donne la répartition des sections de phrases du texte de la partie *Echanger* dans notre grille d'analyse. Les sections sont celles qui ont été définies lors de la présentation du corpus (E.1 à E.5).

Tableau 7 : Analyse des fonctions du texte de la partie *Echanger*. Exposition *Sociétés : le théâtre des hommes*, musée des Confluences à Lyon.

Fonction du texte de l'exposition	Texte de la partie <i>Echanger</i>
Fonction d'inventaire / d'appropriation	
Fonction d'ancrage / d'interprétation	E.5 et s'enrichit par la transmission des savoirs et des techniques. (10 mots)
Fonction rhétorique macro-discursive	E.1 L'échange est propre à toute société humaine. (7 mots) E.2 Il est indispensable à l'essor de nouvelles activités et entraîne la création de normes économiques, sociales et culturelles en évolution permanente. (21 mots) E.3 L'échange est une nécessité et un défi constant. (8 mots)
Fonction d'énonciation	E.4 Il se bâtit dans la confiance, se modifie par l'affrontement (10 mots)

Dans cette partie, trois fonctions du texte sont relevées. La fonction rhétorique est manifestement la plus représentée, à travers plusieurs sections de phrases qui donnent des informations au visiteur, en lien avec le propos général de l'exposition. La phrase E.1 « L'échange est propre à toute société humaine », place la partie dans le thème général de l'exposition : les sociétés humaines. Les phrases E.2 et E.3 amènent de manière subjective sur les quatre thèmes de la partie. La phrase E.2 contient l'expression « normes économiques » qui introduit facilement le thème : *évaluer*. Les expressions « normes culturelles » et « normes sociales » peuvent introduire les thèmes *identités* et *transmission des savoirs*. Le thème qui nous intéresse est de notre point de vue déjà plus difficile à voir dans les phrases du texte de la partie. Il peut se lire en filigrane dans les expressions « essor de nouvelles activités » et « nécessité et un défi constant » mais ceci est moins évident que pour les autres thèmes.

La fonction d'énonciation s'identifie toujours grâce à des formes de phrases poétiques comme ici la section de phrase E.4 « Il se bâtit dans la confiance, se modifie par

l'affrontement ». L'utilisation du mot « affrontement » est certainement utilisé pour illustrer déjà les objets « de guerre » comme les boucliers africains.

La fonction d'ancrage est ici exprimée pour la première fois à travers la section E.5 « et s'enrichit par la transmission des savoirs et des techniques ». Notons qu'ici, nous considérons que cette section possède une fonction d'ancrage parce que notre analyse est ciblée sur l'accélérateur de particules qui est un objet scientifique et technique. Si nous regardions une poterie africaine, la phrase ne serait pas le témoin d'une fonction d'ancrage. D'ailleurs si brièvement on se plaçait du point de vue d'un autre objet de la partie *Echanger*, la fonction d'ancrage ne serait pas représentée dans le texte de cette partie. Peut-être que nous mettons ici au jour une des difficultés de la rédaction du discours de l'exposition. Les objets scientifiques ne rentrant pas pleinement dans le discours qui sert de trame logique à l'exposition (fonction rhétorique) sont introduits différemment, ici de manière moins suggestive et plus abrupte. En effet, en annonçant clairement « la transmission des savoirs et des techniques » le visiteur n'a pas de doute sur ce qu'il va voir dans la suite de l'exposition : des objets de la collection des sciences et techniques.

Le travail de comptabilité des mots donne 10 mots pour la fonction d'ancrage et d'interprétation (18%), 10 mots pour la fonction d'énonciation (18%) et enfin 36 pour la fonction rhétorique (64%). Ce sont ces chiffres qui sont reportés dans les différents schémas présentant les résultats.

Texte du thème : mettre en réseau des savoirs

Le tableau ci-dessous (tableau 8) donne la répartition des sections de phrases du texte du thème *mettre en réseau des savoirs* dans notre grille d'analyse. Les sections sont celles qui ont été définies lors de la présentation du corpus (M.1 à M.8).

Tableau 8 : Analyse des fonctions du texte du thème *Mettre en réseau des savoirs*.
Exposition *Sociétés : le théâtre des hommes*, musée des Confluences à Lyon.

Fonction du texte de l'exposition	Texte du thème : mettre en réseau des savoirs
Fonction d'inventaire / d'appropriation	
Fonction d'ancrage / d'interprétation	M.2 Dans les sciences et les techniques (6 mots)
Fonction rhétorique macro-discursive	<p>M.4 dans des réseaux d'échanges, entre secret et partage. (8 mots)</p> <p>M.5 Le rythme et la nature de ces échanges dépendent étroitement du contexte de production et de transmission des savoirs. (19 mots)</p> <p>M.6 Avec l'essor de réseaux numériques mondialisés, chercheurs, ingénieurs et techniciens produisent chaque jour davantage de données. (16 mots)</p> <p>M.7 Une part de ce savoir encyclopédique est aujourd'hui à la portée de tous (13 mots)</p>
Fonction d'énonciation	<p>M.1 « Le changement du monde n'est pas seulement création, progrès, il est d'abord et toujours décomposition, crise » Alain Touraine, <i>La Société invisible</i>, 1974 (24 mots)</p> <p>M.3 idées, instruments, outils et procédés s'inventent, s'influencent et se confrontent (10 mots)</p> <p>M.8 donnant ainsi à chacun l'illusion d'une culture universelle. (8 mots)</p>

Dans le texte du thème *mettre en réseau des savoirs*, la Fonction d'ancrage est incarnée par 6 mots (6 %), la fonction rhétorique par 56 mots (54%) et la fonction d'énonciation par 42 mots (40%). Nous avons hésité avec le fait de d'interpréter la section M.2 comme une fonction d'ancrage ou d'inventaire. Elle annonce la logique de tri des collections, mais présentée comme en début de phrase comme ici, elle oriente surtout le raisonnement du visiteur en l'incitant à interpréter la phrase sous un certain angle. Le visiteur avait déjà été orienté vers les objets des sciences et techniques grâce au texte de la partie *échanger*. Même si la scénographie de l'exposition a été pensée pour que le visiteur ne suive pas nécessairement le fil du discours de l'exposition, le plateau qui contient les objets scientifiques se trouve au fond de la salle. Nous pouvons donc imaginer deux scénarios, qui sont certainement les plus probables¹³¹. Dans le premier cas, le visiteur découvre le plateau du thème *mettre en réseau des savoirs* en premier (plateau 2.4) alors qu'il arrive du thème *grandeur et misère des rituels politiques* (objets de la collection ethnologique sur le Japon) de la partie *Organiser*. A ce moment-là, il découvre les objets de la collection scientifique et technique sans avoir pu lire le texte de la partie *Echanger*. Dans un second scénario, le visiteur est reparti du centre névralgique de l'exposition et découvre seulement maintenant le lien entre la phrase qui introduisait les sciences et techniques dans le texte de la partie *Echanger* et les objets qu'il découvre. Après avoir vu plusieurs objets de collections ethnologiques, il passera des jarres de la collection africaine, aux objets scientifiques et techniques. Dans les deux cas, on comprend qu'il était nécessaire de resituer le visiteur, qui arrive nécessairement d'une collection d'ethnologie, et qui soit a lu le texte de la partie *Echanger* depuis un moment, soit n'a pas eu l'occasion de le lire du tout.

Comme pour le texte de la partie (*Echanger*), la fonction rhétorique est majoritaire. Le titre du thème est mis en lien avec le titre de la partie grâce à la section de phrase M.4 dans laquelle on trouve les mots « réseaux » et « échange ». Il est mis en lien avec le plateau précédent (thème *transmettre des savoirs*, 2.3) grâce à la phrase M.5 dans laquelle on trouve les mots « échanges » et « transmission des savoirs ». Le thème *mettre en réseau des savoirs* est décliné en deux sous-thèmes : *partager les connaissances* et *des sphères de savoirs qui interfèrent*. La phrase M.6 transforme les « réseaux d'échanges » de la phrase M.4 en « réseaux numériques » et ouvre la voie au champ lexical de l'informatique qui laisse peu de doutes sur une partie des objets à venir (machine à chiffrer et micro-ordinateur). Le champ

¹³¹ Nous n'avons pas pu, dans cette étude, prendre le temps de faire une étude précise du public. Un étudiant de master se charge aujourd'hui de recueillir un certain nombre de données dans le musée qui enrichiront cette analyse ultérieurement. En revanche, nous avançons cette « probabilité de parcours de visite » suite aux heures passées devant l'objet en musée, et après avoir observé le public à plusieurs reprises.

lexical de l'informatique est très présent : réseaux numériques, chercheurs, ingénieurs, techniciens, données, etc. Le « savoir encyclopédique » cité dans la section M.7 « aujourd'hui à la portée de tous » fait écho avec internet et le voyage des données, de la recherche ou autres, sur le réseau numérique. Le sous-thème *des sphères de savoirs qui interfèrent* est donc bien introduit. Ajoutons à cela les deux mots de la section M.4 « secret » et « partage » et le visiteur devine assez facilement les deux objets à suivre : le secret illustré par la machine à chiffrer, le partage illustré par l'ordinateur que nous connaissons tous aujourd'hui. Notons seulement ici que le « secret » de la « transmission de données » rentre en résonance avec le contexte militaire qui devait à l'origine être utilisé pour présenter un certain nombre d'objets, donc l'accélérateur de particules. Comme le détaille la fiche d'inventaire de la machine à chiffrer :

« La nécessité d'assurer la sécurité des échanges dans les milieux diplomatiques et militaires n'a cessé de favoriser le développement de la cryptographie, à l'aide de codes de plus en plus sophistiqués puis de machines spécifiques. Avant et pendant la seconde guerre mondiale, les machines à chiffrer ont joué un rôle stratégique important, notamment lorsque les Alliés ont réussi à casser le code de la machine allemande Enigma, avec l'aide des Polonais. »

Nous remarquons aussi que malgré la forte fonction rhétorique du texte du thème, rien ne laisse penser au visiteur qu'il va découvrir un accélérateur de particules. C'est ici une deuxième raison de penser que l'objet oppose une résistance aux concepteurs pour entrer pleinement dans le discours de l'exposition.

La fonction d'énonciation se lit ici à travers le choix d'une citation (M.1) :

« Le changement du monde n'est pas seulement création, progrès, il est d'abord et toujours décomposition, crise » Alain Touraine, La Société invisible, 1974

Cette citation a été écrite par Alain Touraine, sociologue français dit « de l'action sociale et des nouveaux mouvements sociaux ». La citation provient de son livre « la société invisible », écrit entre 1974 et 1976 qu'il construit autour d'une analyse de plusieurs facettes de la société, en interrogeant les événements politiques, les débats intellectuels et sa propre pratique de sociologue. Il développe un regard permettant de redécouvrir notre société qui reprend forme après « une époque de transformations aveuglantes » (Touraine, 1977). Cette citation est aussi en lien avec le contexte de reconstruction de la France au lendemain des conflits : historiques comme de la Seconde Guerre mondiale ou locaux comme le conflit social de mai 1968 en France. On peut se demander si la citation n'est pas aussi un reste d'une

version antérieure de l'exposition ou l'accélérateur était en lien avec la thématique de « pouvoir militaire ».

Les sections de phrases M.3 et M.8 sont plus de belles tournures poétiques, que porteuses d'un sens qui aide à la compréhension du discours de l'exposition.

Sous-thème : Partager les connaissances

Le tableau ci-dessous (Tableau 9) donne la répartition des sections de phrases du texte du sous-thème *partager les connaissances* (souvent appelé *mutualiser les connaissances* dans les documents de travail) dans notre grille d'analyse. Les sections sont celles qui ont été définies lors de la présentation du corpus (P.1 à P.7).

Tableau 9 : Analyse des fonctions du texte du sous-thème *Partager les connaissances*
Exposition *Sociétés : le théâtre des hommes*, musée des Confluences à Lyon.

Fonction du texte de l'exposition	Texte du sous-thème : <i>partager les connaissances</i>
Fonction d'inventaire / d'appropriation	P.1 L'accélérateur de particules (3 mots)
Fonction d'ancrage / d'interprétation	P.2 a permis, dès 1930, la compréhension de la matière. (9 mots) P.5 La physique des particules (4 mots) P.6 a ouvert la voie à l'électricité nucléaire, à la radiothérapie (10 mots)
Fonction rhétorique macro-discursive	P.4 des fondements d'une coopération scientifique et politique internationale. (8 mots)
Fonction d'énonciation	P.3 Ces machines imposantes sont le résultat et l'instrument (8 mots) P.7 mais aussi à la bombe atomique. (6 mots)

Dans ce texte, la fonction d'inventaire est représentée pour la première fois. La section P.1 donne le nom de l'objet : l'accélérateur de particules. Cette information permet au visiteur d'identifier l'objet qui lui est présenté.

Nous avons ici de nouveau dû faire un choix pour une section de phrase qui représente deux fonctions différentes du texte. Il s'agit de la section P.7 : « mais aussi à la bombe atomique ». Dans un sens premier, elle donne une information qui va guider le visiteur dans son interprétation de l'objet (fonction d'ancrage). Mais l'utilisation de la locution « mais aussi » est une trace d'un parti pris du concepteur, qui est un signe de la fonction d'énonciation. Nous avons choisi de laisser la section P.7 dans la grille correspondant à la fonction d'énonciation pour plusieurs raisons. La première est que cette « information » sur l'objet, est à notre avis un raccourci rapide sur les utilisations de l'objet. En effet, le dispositif de médiation réalisé autour du générateur de haute tension conservé par le science museum (et exposé encore récemment) expliquait :

“As understanding of atomic structure and disintegration grew during the 1930s, it led directly to ideas for the atomic bomb and for atomic power. During the Second World War scientists used this machine to investigate the properties of uranium and plutonium as a contribution to the Manhattan Project which manufactured the first atomic bombs. Source: The Cavendish Laboratory, Cambridge Inv. 1982-1318”

Texte recopié sur le cartel du générateur de haute tension Cockcroft-Walton, Science museum, Londres, 2014.

Le texte de l'exposition explique donc, que dans un contexte de Seconde Guerre mondiale, les scientifiques ont utilisé cet accélérateur pour étudier les propriétés de l'uranium et du plutonium comme une contribution au projet Manhattan. Ici, « cet accélérateur » représente bien celui qui est exposé aux yeux du public. Il a servi à étudier les propriétés des matériaux fissibles, mais « comme une contribution » au projet militaire appelé projet Manhattan. En effet, à cette époque, comme nous l'avons déjà vu, il existait d'autres techniques d'accélération bien plus performantes que celles dont était capable les accélérateurs Cockcroft-Walton. Dans le laboratoire de Los Alamos, un des lieux de recherche du projet Manhattan, Oppenheimer (1904 – 1967) mentionne l'utilisation du cyclotron de l'Université de Harvard, de deux accélérateurs Van de Graaff du Wisconsin et d'un accélérateur Cockcroft-Walton de l'Illinois. Donc oui ces accélérateurs ont bien fait partie du matériel utilisé par les scientifiques qui ont développé la bombe nucléaire, mais c'est lui prêter « trop de puissance » que de l'associer seul à l'image du projet Manhattan.

La seconde raison qui nous pousse à classer la section de phrase P.7 (« mais aussi à la bombe atomique ») comme fonction d'énonciation est le choix de cette information vis-à-vis des autres qui auraient pu être sélectionnées pour parler de cet accélérateur. L'accélérateur représente « le partage des connaissances » dans le discours de l'exposition. Nous aurions pu imaginer des propos illustrant ce partage à travers sa construction (collaboration d'un théoricien et d'un expérimentateur), le partage dans la communauté scientifique (les rencontres qui ont permis son développement). S'il fallait trouver une information « percutante » pour le public, nous aurions pu trouver un lien avec la vérification expérimentale de la théorie de la relativité d'Einstein.

Si cette information pouvait trouver une place dans une exposition mettant en scène l'influence et les interférences des sphères politiques et scientifiques, dans le contexte présent elle nous apparaît comme « tapageuse » et relève donc, aussi pour les raisons que nous venons d'expliquer, de la fonction d'énonciation. L'autre section de phrase qui représente la fonction d'énonciation est la section P.3 qui semble plus donner un jugement esthétique qu'une information permettant l'appropriation ou l'interprétation de l'objet.

Ces remarques ne sont pas sans liens avec le classement de la section P.4 dans la grille, comme fonction rhétorique : « des fondements d'une coopération scientifique et politique internationale ». Le mot « coopération » est à notre avis présent pour resituer le visiteur dans le thème des échanges et du partage. Les accélérateurs de particules d'aujourd'hui sont en effet à la base de grandes collaborations scientifiques et politiques. Rappelons-nous que l'accélérateur CW a été développé dans une période de « course aux particules et aux millions de volts », avant la Seconde Guerre mondiale. Avant de connaître le pouvoir des particules, que les scientifiques sont tous juste en train de découvrir, nous ne pouvons à notre avis pas parler de « collaboration » entre les scientifiques et la politique.

Dans cette partie, la fonction la plus représentée est la fonction d'ancrage et d'appropriation. On découvre un première date que l'on suppose être celle des premières mises en fonctionnement de la machine : « dès 1930 » (P.2). Le concepteur nous dévoile le but de cette machine : « la compréhension de la matière » (P.2), la discipline dans laquelle elle est utilisée « La physique des particules » (P.5), ses usages « l'électricité nucléaire, à la radiothérapie » (P.6)

Dans le sous-thème *partager les connaissances*, la fonction d'inventaire et d'appropriation est représentée par 3 mots (6%), la fonction d'ancrage et d'interprétation par

23 mots (48%), la fonction rhétorique par 8 mots (17%) et la fonction d'énonciation par 14 mots (29%).

Texte du Cartel

Le tableau suivant (tableau 10) donne la répartition des sections de phrases du cartel de l'objet dans notre grille d'analyse. Les sections sont celles qui ont été définies lors de la présentation du corpus (C.1 à C.12).

Tableau 10 : Analyse des fonctions du texte du cartel de l'accélérateur de particules.
Exposition *Sociétés : le théâtre des hommes*, musée des Confluences à Lyon.

Fonction du texte de l'exposition	Texte du cartel
Fonction d'inventaire / d'appropriation	C.1 Accélérateur de particules Cockcroft et Walton (6 mots) C.2 / 1958 (1 mot) C.3 / Pays-Bas (1 mot) C.4 / Philips (1 mot) C.5 / Bakélite, aluminium, composants électriques et électroniques (6 mots) C.6 / Dépôt des collections d'Universcience, Paris (5 mots) C.7 / inv. D618-00 (2 mots)
Fonction d'ancrage / d'interprétation	C.8 Il s'agit du premier type d'accélérateur mis en œuvre pour briser des noyaux lourds (14 mots) C.9 en les bombardant avec des particules accélérées (7 mots) C.10 à l'aide d'un générateur de haute tension. (7 mots) C.11 Ses inventeurs britanniques, John Douglas Cockcroft et Ernest Walton (9 mots)

	C.12 ont obtenu pour cette première le prix Nobel de physique en 1951. (12 mots)
Fonction rhétorique macro-discursive	
Fonction d'énonciation	

Dans le texte du cartel de l'objet, les fonctions de rhétorique et d'énonciation ne sont pas représentées. La fonction d'inventaire est incarnée par 22 mots (31%) et celle d'ancrage par 49 mots (69%). Les sections de phrases C.1 à C.7 présentent les critères d'inventaire classiques et permettant l'appropriation de l'objet. On retrouve son nom, sa date de fabrication, son pays de fabrication, les matériaux qui le composent, son statut juridique (ici le déposant) et son numéro d'inventaire. Les sections de phrases C.8 à C.12 permettent d'interpréter l'objet (fonction d'ancrage) à partir de plusieurs informations en lien avec le premier instrument de ce type : Cockcroft et Walton. Le visiteur apprend donc que le nom de l'instrument vient de ses inventeurs (C.11) et que grâce à cela ils ont obtenu le prix Nobel de physique 1951 (C.12). Le visiteur apprend aussi « ce que fait » cet accélérateur (celui-ci et tous les autres d'ailleurs) « briser des noyaux lourds » (C.8) « en les bombardant avec des particules accélérées » (C.9). La section C.10 nous semble ambiguë dans sa formulation, « à l'aide d'un générateur de haute tension » mais laisse suggérer au visiteur qu'un accélérateur de particules comporte un générateur de haute tension. Mais comme ce n'est pas le générateur de haute tension qui brise les particules, il peut y avoir une incompréhension sur le fonctionnement de l'objet.

- Textes des versions successives de l'audioguide

Il est important de rappeler que ces textes ont été rédigés et stabilisés mais non diffusés au public, à l'inverse des autres éléments de notre corpus. Seule la dernière version de l'audioguide fera prochainement l'objet d'une diffusion.

L'analyse plus particulière des textes des versions successives de l'audioguide (toujours en lien avec l'accélérateur) est représentée par le schéma ci-dessous (Figure 88). Nous rappelons que ce corpus est constitué des différentes versions qui ont été réalisées en amont du produit final appelé « audioguide ». L'audioguide est un dispositif de médiation qui vient compléter le support classique de l'exposition. Au musée des Confluences, l'audioguide ne couvre pas l'ensemble des objets, mais une partie d'entre eux, comme dans la plupart des

musées. Nous ne nous intéressons ici qu'aux différents textes qui ont été réalisés pour l'accélérateur de particules.

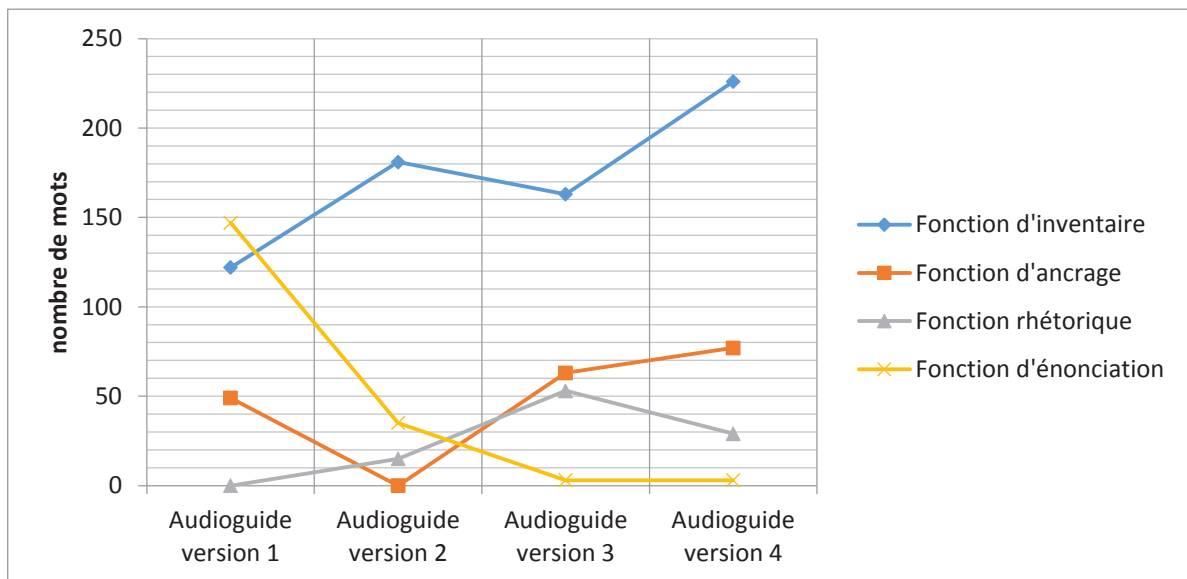


Figure 88 : représentation graphique du nombre de mots représentant les différentes fonctions du texte pour chaque version de l'audioguide, en lien avec l'accélérateur de particules CW. Exposition *Sociétés : le théâtre des hommes*, musée des Confluences à Lyon.

La représentation graphique de ces données montre plusieurs choses, et notamment l'évolution des critères d'attente de l'établissement concernant le contenu. La fonction d'énonciation très présente dans la version 1 est absente de la version finale. La fonction d'inventaire de son côté, malgré quelques fluctuations n'a cessé d'augmenter (en nombre de mots). La fonction d'ancrage, oubliée de la version 2, retrouve une place considérable dans le discours, alors que la fonction rhétorique, malgré son augmentation, reste la fonction la moins représentée.

Le contenu de la version 1 de l'audioguide faisait la part belle à la fonction d'énonciation et à celle d'inventaire, tout en gardant une place pour la fonction d'ancrage.

La version 2 est très majoritairement à fonction d'inventaire, même s'il reste une petite part d'énonciation. La troisième version supprime toute fonction d'énonciation, mais renforcera clairement la fonction rhétorique, alors peu présente dans les versions antérieures. La fonction d'ancrage qui avait disparu de la deuxième version augmente considérablement dans cette troisième version. On peut supposer ici une volonté de la part de l'établissement de renforcer la fonction rhétorique, justifiant la place de l'objet dans

l'exposition et en l'intégrant dans des propos qui dépassent l'objet en lui-même. Dans la version finale de l'audioguide, la fonction d'énonciation est toujours absente (moins de 1%). La fonction rhétorique connaît une légère baisse, alors que les fonctions d'ancrage et d'interprétation sont augmentées et arrivent à leur niveau maximum.

Audioguide version 1

Nous utilisons ici la même grille d'analyse (voir tableau 11). Ce texte est le seul texte oral que nous avons à analyser puisque les autres versions de l'audioguide sont des notices écrites avant enregistrement. Ce texte a fait l'objet de la rédaction d'une notice en amont, et est basé sur le principe d'un « moment de confession », en quelque sorte, avec le conservateur qui a le loisir de choisir un objet qui lui tient à cœur. Nous avons ici fait le choix de ne pas modifier le texte, de ne pas l'adapter à la lecture. Nous conservons donc toutes les formes d'expression orale, les marques d'hésitation. La fonction d'inventaire s'identifiera toujours à travers des critères de classement et d'identification de l'objet ; la fonction d'ancrage avec l'apport d'informations supplémentaires orientant l'interprétation de l'objet. La fonction rhétorique sera les indices d'intégration dans le parcours général de l'exposition, et la fonction d'énonciation, une marque plus personnelle, un avis, une opinion.

Tableau 11 : Analyse des fonctions du texte de la transcription de l'audioguide version 1, « le coup de cœur du conservateur », 2014. Exposition *Sociétés : le théâtre des hommes*, musée des Confluences à Lyon.

Fonction du texte de l'exposition	Transcription de l'audioguide version 1
Fonction d'inventaire / d'appropriation	<p>« Alors cet objet monumental c'est un accélérateur de particules de type Cockcroft et Walton, qui date des années 50 et Cockcroft-Walton c'est deux scientifiques anglais qui ont fait les premières expériences avec ce type d'accélérateur pour bombarder, en fait des noyaux, et commencer l'étude de la matière en fractionnant ces noyaux, en les accélérant et en les dirigeant sur une cible. Pour ça ils ont eu un prix Nobel de physique en 1951. »</p> <p>« ...un objet en fait qui a des propriétés évidemment physiques : le principe, puisqu'on monte une tension très très haute, en fait il faut à la fois des isolants, des conducteurs ; donc la bakélite traditionnellement c'est un matériau isolant... »</p> <p>« ...puisque ça fait partie des objets sciences et techniques » (122 mots)</p>
Fonction d'ancrage / d'interprétation	<p>« C'est une valeur extrêmement importante puisqu'avec ce type d'accélérateur de particules, donc à la fois on a étudié la matière de plus en plus petite des atomes aux particules et aujourd'hui l'héritier c'est l'accélérateur de particules LHC qui est au CERN qui fait plus de 26 km de circonférence » (51 mots)</p>

Fonction rhétorique macro-discursive	
Fonction d'énonciation	<p>« ...et c'est vrai que ça donne un aspect, à cet objet, à la fois, aujourd'hui on dirait vintage un petit peu ancien, assez magique, avec un contraste très très fort entre l'aluminium et la bakélite, et c'est ce pouvoir aussi évocateur de l'objet qui fait un petit peu rêver. »</p> <p>« Alors moi cet objet en fait, bon déjà il m'impressionnait pour sa taille... »</p> <p>« ...qu'on a qu'on rattache à la Big-Science c'est-à-dire tous ces objets un petit peu monumentaux, et plus c'est grand plus on étudie le l'infiniment petit, et ça faisait vraiment rêver en me disant : c'est un vrai objet scientifique, alors qu'en fait on a l'impression d'être dans une BD et typiquement Blake et Mortimer a représenté ce type d'accélérateur dans plusieurs volumes des aventures Blake et Mortimer notamment dans l'onde Septimus, voilà donc il y a un pouvoir imaginaire extrêmement fort, qui me touche particulièrement. » (153 mots)</p>

La fonction la plus représentée dans la version 1 est celle de l'énonciation avec 147 mots (46%). Cela s'explique par le choix de faire ici un audio-guide qui représente « le coup de cœur du conservateur ». C'est donc tout à fait normal que le texte soit ici « plus sensible » et plus émotionnel. Ce texte donne une trame différente autour de l'objet en reliant son esthétique avec ses matériaux de construction, et l'imaginaire qu'il suscite. On retrouve différents champs lexicaux comme celui du monde fantastique (assez magique / pouvoir évocateur / rêver / pouvoir imaginaire / BD), celui de la grandeur (taille / impressionnait /

Big-Science / monumentaux) et celui de l'esthétique (aspect / contraste / vintage / un petit peu ancien). Dans cette version, nous trouvons également des références au monde social et culturel supposé du visiteur.

La deuxième fonction la plus représentative de la version 1 est la fonction d'inventaire, ici représentée par 122 mots (38%). Nous retrouvons le nom de l'objet, sa période de fabrication, une référence aux inventeurs du premier objet de ce type, les raisons de son invention « commencer l'étude de la matière en fractionnant ces noyaux », la récompense qu'ils ont eu pour leur travaux.

La fonction d'ancrage est identifiée grâce à 49 mots (16%) qui place en quelque sorte l'accélérateur dans la lignée des accélérateurs de particules en le définissant comme « héritier » du LHC du CERN.

L'absence de fonction rhétorique montre que ce projet d'audioguide n'était pas à l'origine « une explication de l'exposition » mais bien un complément qui s'exprime sur un registre différent. Ce texte de l'audioguide n'a pas été fait pour fonctionner sans la lecture du discours de l'exposition. Ce n'est pas ici une vision qui permettrait au visiteur de choisir entre la lecture ou l'écoute. L'un fonctionne en complémentarité de l'autre, tout en « humanisant » le choix de cet objet en l'associant à la voix du conservateur.

Audioguide version 2

La seconde version de l'audioguide est celle qui a été réalisée par une entreprise spécialisée dans la réalisation de visite audio. Nous avons ici analysé le texte de la notice prévisionnelle qui n'a jamais fait l'objet d'un enregistrement, ni d'une validation institutionnelle (tableau 12) :

Tableau 12 : Analyse des fonctions du texte de l'audioguide version 2, Audiovisit, 2014.
Exposition *Sociétés : le théâtre des hommes*, musée des Confluences à Lyon.

Fonction du texte de l'exposition	Texte de la notice prévisionnelle de l'audioguide version 2
Fonction d'inventaire / d'appropriation	<p>«... inventé dans les années 1930 par John Cockcroft et Ernest Walton est un accélérateur de particules. »</p> <p>« L'accélérateur de particules est utilisé pour étudier la structure de la matière. Il permet de briser les noyaux des atomes en les bombardant avec des particules accélérées à l'aide d'un générateur de haute tension électrostatique. Le modèle présenté ici a fonctionné jusqu'en 1980, au service de la Défense nationale. L'appareil n'est pas présenté au complet »</p> <p>« La partie gauche contient le transformateur de haute tension. Il est relié à la base du générateur et de l'accélérateur situés à droite. Le principe de fonctionnement est le suivant : une haute tension statique est appliquée entre 2 électrodes, produisant ainsi un champ électrique statique. Le faisceau de particules émises puis accélérées est ensuite guidé et focalisé à l'aide de déflecteurs et de lentilles électrostatiques ou magnétiques. Le faisceau est dirigé sur une cible et les collisions qui se produisent sont analysées par des détecteurs de particules. L'ensemble est commandé et contrôlé à l'aide de 2 pupitres, l'un pour la partie accélérateur et l'autre pour le tube à expérience. »</p> <p>(181 mots)</p>
Fonction d'ancrage / d'interprétation	
Fonction rhétorique macro-discursive	<p>« mais vous pouvez le voir dans sa totalité sur l'écran et le cartel à proximité. » (15 mots)</p>
Fonction d'énonciation	<p>« Cette drôle de machine... »</p> <p>« Si cette machine peut paraître étrange, son esthétique typique des années 1950 a largement inspiré plusieurs auteurs de BD et de films de science-fiction, servant même à communiquer avec les extra-terrestres (!) »</p> <p>(35 mots)</p>

La fonction majoritaire est celle qui permet l'appropriation de l'objet (la fonction d'inventaire) avec 181 mots (78%). Nous retrouvons une référence aux inventeurs et à l'époque de la mise au point du premier accélérateur, son utilisation et son principe de fonctionnement en détail. On relève ici une phrase concernant l'intégrité de l'objet et son parcours propre (individuel) : « Le modèle présenté ici a fonctionné jusqu'en 1980, au service de la Défense nationale. L'appareil n'est pas présenté au complet ».

La fonction d'énonciation est représentée par 35 mots (15%) et condense les informations qui étaient données dans la version 1 de l'audioguide : l'étrangeté, l'esthétique typique, la science-fiction. Notons qu'il y a une référence très singularisée dans ces lignes et qui ouvre aussi le champ de l'imagination à travers : « servant même à communiquer avec les extra-terrestres (!) ». Si pour nous cette référence fait clairement appel à l'accélérateur CW de l'IPNL qui a servi de décors pour la série « Bing » de Nino Monti dans les années 1980, il y a peu de chances que le visiteur le sache ou le reconnaisse. Que lui apporte alors cette phrase ? Que l'objet a en effet inspiré les auteurs de BD et de science-fiction, mais qu'ils se sont essentiellement amusés à détourner l'objet de son utilisation et de son fonctionnement réel (ce qui est, nous le verrons plus tard, relativement vrai).

La fonction rhétorique est ici utilisée pour situer l'objet non pas dans le discours de l'exposition mais physiquement sur son plateau en le référant à la gravure (qui est appelé peut-être maladroitement écran) et au cartel qui l'accompagne. Cette intégration peut apparaître comme une invitation à ne pas se passer des supports écrits de l'exposition qui apportent des informations complémentaires. L'absence de fonction d'ancrage montre que cette version 2 s'attache à parler de « cet objet » et de ne pas rentrer dans des généralités sur les accélérateurs de particules, et sur « ce à quoi il a servi ».

Notons que cette version est aussi la plus courte d'entre toutes avec 231 mots contre 335 pour la version finale. Le propos central de cette version est bien l'objet, épuré de l'émotionnel de la version précédente, mais aussi détaché des objets auxquels on l'assimile. Cette version apporte des détails supplémentaires, peut-être plus scientifiques et plus techniques, mais qui ne sauraient remplacer le texte écrit de la visite. Comme la version 1, l'audioguide est ici un complément destiné au visiteur « qui veut en savoir plus sur l'objet ». Si la version précédente offrait un complément « social » à l'objet, c'est ici un complément « technique » qui a été développé.

Audioguide version 3

La troisième version de l'audioguide est celle qui a été réalisée par une nouvelle personne¹³² sollicitée pour reprendre les textes laissés par la société, et les remodeler en fonction des nouvelles attentes de l'institution (voir Tableau 13) :

Tableau 13 : Analyse des fonctions du texte de l'audioguide version 3, communication privée, 2015. Exposition *Sociétés : le théâtre des hommes*, musée des Confluences à Lyon.

Fonction du texte de l'exposition	Texte de la notice prévisionnelle de l'audioguide version 3
Fonction d'inventaire / d'appropriation	<p>« ... est un accélérateur de particules. »</p> <p>« Et pourtant, vous n'en voyez que la partie supérieure. L'ensemble,... est en réalité deux fois plus haut et pèse plus de trois tonnes.»</p> <p>« Son principe de fonctionnement est simple : une haute tension statique est appliquée entre deux électrodes de façon à produire un champ électrique. Le faisceau de particules obtenu est dirigé sur une cible pendant que les collisions produites sont analysées par des détecteurs. Grâce à cet appareil révolutionnaire inventé dans les années 30 par John Cockcroft et Ernest Walton, il a été possible de briser des atomes et de connaître la composition des plus petites particules de la matière. Les deux chercheurs ont d'ailleurs reçu le prix Nobel de physique en 1951 pour leurs travaux qui ouvraient la voie à l'électricité nucléaire et à la radiothérapie. Au sein du projet Manhattan, longtemps tenu secret, leur accélérateur a également permis d'étudier les noyaux d'uranium et de plutonium, ce qui a débouché sur l'invention de la bombe atomique. »</p> <p>(163mots)</p>
Fonction d'ancrage / d'interprétation	<p>« Il est représentatif de la Big Science, née après la Seconde Guerre mondiale, et caractérisée par des programmes de recherche menés à grande échelle. »</p>

¹³² Nous ne connaissons pas les raisons qui ont motivé le choix de cette personne pour la finalisation de l'audioguide, ni sa formation initiale.

Fonction d'ancrage / d'interprétation (suite)	<p>« En effet, cette science des particules, comme celle menée au CERN à Genève, réclame aujourd'hui des instruments tellement puissants... »</p> <p>« ... les États et les grands groupes industriels mettent en commun des infrastructures, des moyens financiers considérables et d'indispensables compétences humaines. »</p> <p>(63 mots)</p>
Fonction rhétorique macro-discursive	<p>« ...dont le schéma est visible sur le panneau devant vous... »</p> <p>« L'accélérateur de particules de Cockcroft et Walton est présenté dans cette salle parce qu'il suggère que l'avancée des sciences et techniques se fonde sur les échanges. »</p> <p>« Dans le cadre de ces échanges,... »</p> <p>«... qu'elle ne peut être réalisée qu'en s'appuyant sur des échanges internationaux. »</p> <p>(53 mots)</p>
Fonction d'énonciation	« Cet énorme instrument... » (3 mots)

La fonction d'inventaire est encore la fonction majoritaire avec 163 mots (58%). Nous retrouvons le nom de l'objet, l'information sur l'intégrité et sur la taille et le poids de l'objet entier, son principe de fonctionnement, la référence aux inventeurs, les conséquences de l'invention de cet objet, la reconnaissance des travaux des inventeurs, les domaines de recherche qui ont découlés de cette invention. La phrase suivante nous a longtemps questionné : « Au sein du projet Manhattan, longtemps tenu secret, leur accélérateur a également permis d'étudier les noyaux d'uranium et de plutonium, ce qui a débouché sur l'invention de la bombe atomique. » A la fois le terme « leur » fait que le visiteur associe directement cette phrase à l'objet qui lui est présenté (donc à une fonction d'inventaire) et nous pensons aussi qu'ici la référence au projet Manhattan est utilisée pour faire référence au contenu du support vidéo qui est à côté de l'accélérateur. En effet, dans celui-ci, le projet Manhattan est directement illustré par un morceau d'accélérateur Cockcroft-Walton. Notre choix a été motivé par le fait que cette information est supprimée du support final. Si

l'institution avait réellement montré la volonté de faire un lien aussi explicite avec le support vidéo voisin, l'information n'aurait pas été éliminée.

La fonction d'ancrage est ici représentée par 63 mots (22%) alors qu'elle était absente de la version 2. Nous retrouvons le lien avec le LHC du CERN, la Big-Science et avec la réalité de ce que sont les recherches en physique des particules aujourd'hui : « ... les États et les grands groupes industriels mettent en commun des infrastructures, des moyens financiers considérables et d'indispensables compétences humaines ».

Fonction rhétorique atteint ici son plus gros pourcentage avec 53 mots (19%). L'objet est situé physiquement avec ses supports dans l'exposition de manière directe : le schéma, le panneau devant vous, l'accélérateur dans la salle, etc. Pour son lien avec la thématique le mot « échange » est utilisé trois fois. L'objectif est ici très clair : « l'accélérateur est dans la salle parce que ... ». La fonction rhétorique est donc assumée et est même ici à notre avis le point majeur de l'audioguide. Ici l'audioguide complète le discours écrit de l'exposition, non pas sur le point de vue social ou technique, mais en justifiant la place de l'objet dans cette exposition. Il est important de relever qu'ici, cette version a été réalisée après l'ouverture du musée ; donc après les premières réactions des visiteurs face à l'exposition. A l'inverse, les versions 1 et 2 ont été réalisées avant l'ouverture. La fonction d'énonciation est présente de manière anecdotique à travers le mot « énorme » qui commence le discours de l'audioguide version 3. Notons tout de même que dans cette version il persiste une faute d'orthographe sur le nom de l'inventeur de l'objet (Cockcroft et non Crockcroft).

Audioguide version 4

Nous utilisons toujours la même grille d'analyse mais ici avec la transcription du texte de la version finale de l'audioguide (tableau 14). Ce texte est donc celui qui a été enregistré à partir de la notice faite par la personne commissionnée pour reprendre les supports (audioguide version 3). C'est une transcription du texte oral mais dont la forme a été très travaillée et ne laisse aucune place à des formes de langage propres à l'oralité.

Tableau 14 : Analyse des fonctions du texte de la transcription de l'audioguide version 4, support officiel, 2016. Exposition *Sociétés : le théâtre des hommes*, musée des Confluences à Lyon.

Fonction du texte de l'exposition	Texte de la transcription de l'audioguide version 4
Fonction d'inventaire / d'appropriation	<p>« ...est un accélérateur de particules »</p> <p>« Grâce à cet appareil, mis au point dans les années 1930 par John Cockcroft et Ernest Walton, il est devenu possible de briser des atomes et de modifier ainsi la structure interne de leurs noyaux. C'est ce qu'on appelle la transmutation artificielle. Une technique qui a ouvert la voie à la radiothérapie et à l'électricité d'origine nucléaire. »</p> <p>« Pour ces travaux, Cockcroft et Walton ont reçu le prix Nobel de physique en 1951. Cet accélérateur a été utilisé par les services de la Défense Nationale à Paris jusqu'en 1980. Il se compose de plusieurs éléments :</p> <ul style="list-style-type: none"> - La partie gauche est un générateur de haute tension. Il permet l'accélération des particules par phénomène électrostatique. - La partie droite comprend la source de particules chargées, en général une cathode, qui permet d'émettre un faisceau de particules envoyé au centre d'un tube à vide. <p>Ce tube accélérateur est constitué de cylindres métalliques dans lesquels les particules voyagent pour en ressortir à grande vitesse. Le faisceau est alors dirigé sur une cible fixe, provoquant des collisions qui viennent modifier la matière et qui sont analysées par des détecteurs. La partie inférieure de l'instrument n'est pas exposée ici. »</p> <p>« ...elle comprend deux pupitres de commande, les cibles et le matériel de détection. »</p> <p>« Il sert à provoquer des collisions de particules élémentaires à grande vitesse afin de mieux connaître la matière. »</p> <p>(226 mots)</p>

Fonction d'ancrage / d'interprétation	« Il est représentatif des débuts de ce qu'on appelle la Big Science caractérisée par des programmes de recherche de grande envergure lancés après la Seconde Guerre mondiale. Aujourd'hui, cette science des particules réclame des instruments tellement puissants et onéreux qu'elle ne peut s'appuyer que sur des collaborations internationales : c'est le cas par exemple au CERN à Genève où fonctionne un accélérateur d'une circonférence de 27 km, qui est - à ce jour - le plus grand au monde. » (77 mots)
Fonction rhétorique macro-discursive	« Dans l'exposition « Sociétés », l'accélérateur Cockcroft-Walton rappelle que l'avancée des sciences et techniques se fonde sur les échanges entre les sphères scientifique, politique et militaire. » « Comme le montre le schéma,... » (29 mots)
Fonction d'énonciation	« Ce gigantesque instrument... » (3 mots)

La fonction d'inventaire restera définitivement la plus exprimée dans le texte de l'audioguide. Elle est représentée par 226 mots (67%) et donne : le nom de l'objet, la date d'invention, les inventeurs, l'utilisation, l'évolution sur les pratiques, la récompense institutionnelle des inventeurs, le lieu d'utilisation de l'objet présenté, le principe de fonctionnement, l'intégrité de l'objet et la mention des parties manquantes. La nouveauté tient essentiellement dans une description plus précise de l'appareil, partie par partie.

La fonction d'ancrage a continué d'augmenter très légèrement pour atteindre 77 mots (23%). Nous retrouvons les informations sur la Bis-Science, la physique des particules aujourd'hui, et le CERN.

Fonction rhétorique connaît de nouveau une baisse pour atteindre 29 mots (9%). Si il est toujours rappelé clairement au visiteur que « Dans l'exposition « Sociétés », l'accélérateur Cockcroft-Walton rappelle que l'avancée des sciences et techniques se fonde sur les échanges entre les sphères scientifique, politique et militaire », l'utilisation du mot « échange », rappelant le titre de la partie, n'est plus récurrente. L'audio-guide invite aussi le visiteur à se référer au schéma qui l'accompagne. La fonction d'énonciation est toujours aussi peu existante mais existe toujours selon nous à travers cet adjectif qui qualifie l'accélérateur en

début de de texte : « Ce gigantesque instrument... ». La version 4 de l'audio guide le stabilise donc sous une forme que nous qualifierons d'intermédiaire. Celle-ci a été influencée par les attentes de l'institution, les versions précédentes qui n'avaient pas satisfaits complètement, et par les personnes « en charge » de l'objet de manière officielle et officieuse¹³³.

- Textes du support vidéo

La classification des textes du support vidéo est ici un peu plus délicate et nécessite une connaissance en amont de l'exposition et des objets qui s'y rapportent. Cette vidéo n'a pas de titre, mais porte sur la diffusion des savoirs scientifiques à travers le temps et le monde. Il y a trois types d'images : celles avec un personnage illustre de la science, celles avec un objet remarquable et celles avec une carte évolutive des chemins parcourus par ce que l'on suppose être les savoirs. Les images 1 à 5 ; 7 et 8 ; 10 et 11 (voir Annexe 14) sont consacrées à de grands noms de la science : Démocrite, Aristote, Copernic, Galilée, Newton, Priestley, Lavoisier, Curie et Einstein. L'image 6 montre la première carte de diffusion des savoirs à travers le continent Européen essentiellement : Grèce, Espagne, Italie, France, Angleterre, Norvège, Lettonie, Russie, Allemagne, etc. La seconde carte montre un premier élargissement des chemins d'échange avec le nord du continent américain, le nord du continent africain, l'Islande. L'image 12 montre surtout une densification des échanges, bien que les chemins s'élargissent encore à l'Australie, l'Asie, l'Amérique du Sud, l'Afrique du Sud. Les diapositives 11 à 15 seront plus précisément l'objet de notre étude, et leur texte est analysé d'après notre grille fonctionnelle (voir tableau 15 et figure 89). Mais l'image qui accompagne le texte est une aide pour l'analyse du texte et peut justifier de certains choix.

¹³³ J'entends par là que cette dernière version, avant d'être enregistrée, a bénéficié des commentaires de beaucoup de personnes, dont des relecteurs scientifiques, des conservateurs ; mais aussi grâce aux remarques ponctuelles du public face à l'objet à exposition (bien que toutes ces remarques soient remontées de manière tout à fait informelle).

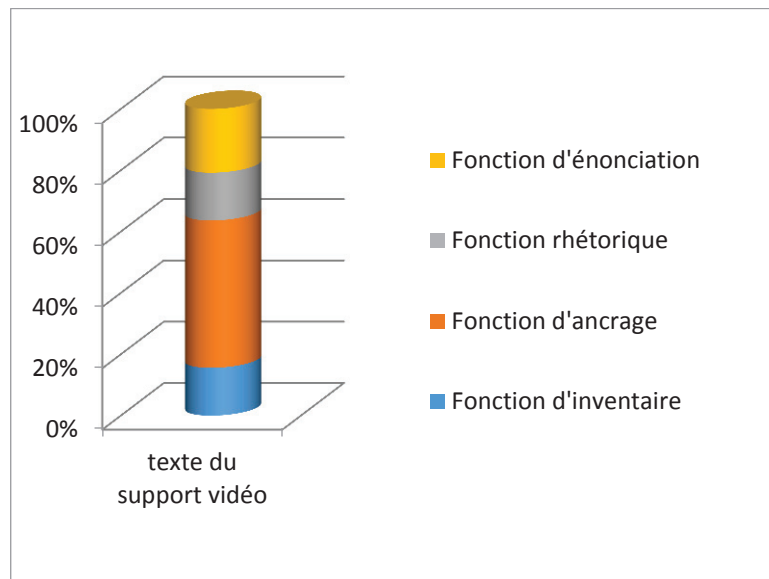


Figure 89 : Représentation graphique de la répartition des fonctions du texte du support vidéo. Exposition *Sociétés : le théâtre des hommes*, musée des Confluences à Lyon.

Tableau 15 : Analyse des fonctions du texte de la transcription du texte du support vidéo. Exposition *Sociétés : le théâtre des hommes*, musée des Confluences à Lyon.

Fonction du texte de l'exposition	Texte du support vidéo
Fonction d'inventaire / d'appropriation	13 « Les États-Unis lancent le projet Manhattan qui aboutit à la bombe atomique » (12 mots)
Fonction d'ancrage / d'interprétation	11 « Auteur de la théorie de la relativité, Einstein ouvre la voie à la physique des particules élémentaires » 14 « Identifié au CERN en 2012, le boson de Higgs vient confirmer la théorie actuelle de la constitution de la matière » (37 mots)
Fonction rhétorique macro-discursive	12 « Au siècle des grands conflits mondiaux, l'atome devient un enjeu politique majeur » (12 mots)
Fonction d'énonciation	15 « par une coopération planétaire, les savants du XXI ^e siècle perceront-ils les derniers secrets de la matière ? » (16 mots)

À travers les diapositives 11 à 15 nous pouvons identifier chacune des trois fonctions du texte. La première diapositive qui est mise directement en lien avec notre objet est la n°13, puisque sur celle-ci est représenté un appareil (ou un morceau d'appareil) qui ressemble très fortement à l'accélérateur présenté sur le plateau d'exposition. De ce fait, le commentaire de cette diapositive est directement mis en lien avec l'objet, et entre dans une fonction d'inventaire.

La fonction d'ancrage est identifiée dans les diapositives 11 et 14. La diapositive 11 nous indique qu'Einstein nous ouvre la voie « à la physique des particules élémentaires ». L'interprétation du lecteur est donc orientée vers la physique des particules, et non vers la radiothérapie par exemple qui aurait pu faire suite à la diapositive sur Marie Curie. La diapositive 14 évoque une découverte récente : le boson de Higgs, et est illustrée par des images représentant le CERN. On distingue notamment un anneau, censé évoquer chez le

lecteur, un accélérateur de particules « d’aujourd’hui ». Le concepteur invite ici à faire un lien entre l’accélérateur qu’il voit, et les découvertes actuelles dans les laboratoires de recherche.

La fonction rhétorique est représentée dans la diapositive 12. À la première lecture, il n’est pas évident de choisir cette fonction plutôt qu’une autre. Mais ici, le but est bien de montrer que la physique des particules, la science même, est au cœur des questions politiques. « Au siècle des grands conflits mondiaux, l’atome devient un enjeu politique majeur », nous prouve que nous sommes bien dans une thématique de l’échange (dans la partie *Echanger* de l’exposition) en montrant que l’atome (la science) et la politique interfèrent. Prise dans sa globalité, cette phrase signifie : la course aux armements nucléaires de la période de la guerre froide, qui fait suite à la Seconde Guerre mondiale. Ce qui illustre beaucoup moins la notion d’échanges.

La fonction d’énonciation, repérable ici par une ponctuation marquée d’un point d’interrogation, est identifiable dans la diapositive n°5. Cette diapositive est la dernière de la séquence vidéo et fait à la fois office de conclusion et d’ouverture. Elle interroge, peut-être faussement d’ailleurs, le lecteur de l’exposition. Le propos que le concepteur défend est clair : ce sont les coopérations scientifiques qui seront à l’origine des futures grandes découvertes. De là à savoir s’ils perceront « les derniers secrets de la matière »...

Nous touchons du doigt ici, de notre point de vue, un point de friction entre deux conceptions de l’exposition. Il faut savoir qu’avant d’avoir la forme qui a été décrite dans le corpus, cette exposition n’était pas pensée de la même manière. Son titre était d’ailleurs différent puisque c’était : « Que faisons-nous ? » Nous ne savons pas exactement de quel plateau faisait partie l’accélérateur, mais nous savons qu’il était en lien avec l’influence du militaire, et les interférences politiques, militaire et scientifique. À ce moment-là, l’exposition était représentée comme suit (voir Figure 90) :

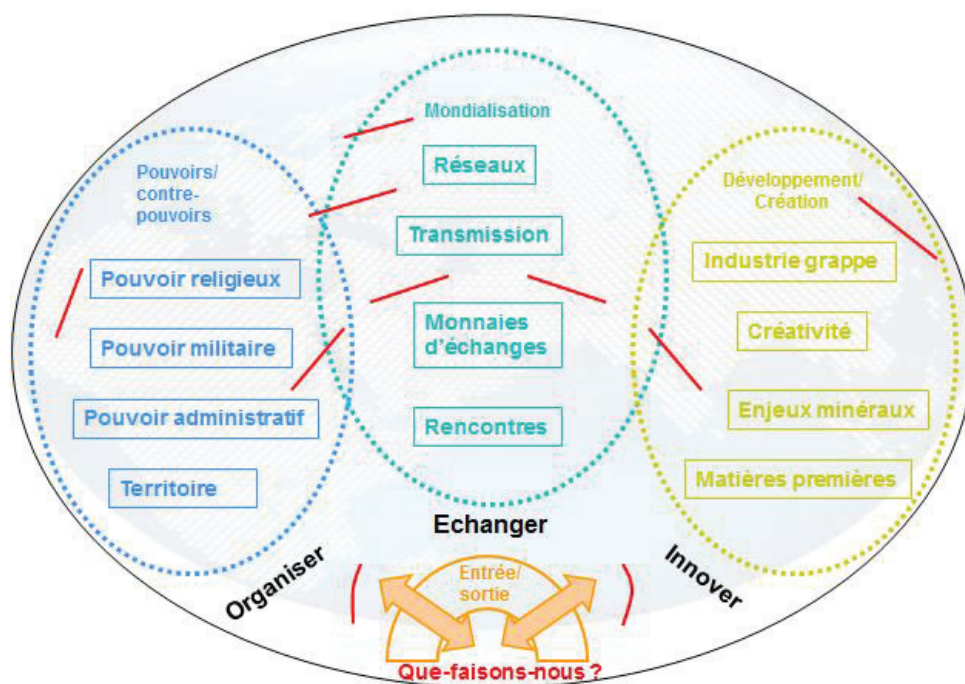


Figure 90 : schématisation de l'exposition Sociétés, dans sa forme non définitive (2012).
Extrait d'un document de travail, musée des Confluences.

Nous n'avons malheureusement pas eu de réponse de la part de la personne qui était responsable des objets scientifiques de l'exposition, dans sa forme primitive.

Nous venons d'analyser nos textes grâce à notre premier outil d'analyse que nous avons appelé « outil d'analyse fonctionnelle » du texte. Utilisons maintenant les outils d'analyse épistémologiques que nous avons développés.

2.3.2 Nature des informations des textes des outils de visite

- Les critères d'inventaire à disposition des concepteurs

Nous allons ici utiliser la grille d'analyse des critères d'inventaire, décrite précédemment. Dans la colonne de gauche, nous conservons l'ensemble des critères documentaires. Dans la seconde colonne, sont mentionnés : les critères qui font partie des critères réglementaires d'inventaire (surlignage rouge et son numéro de correspondance) et les critères qui appartiennent à la méthodologie d'inventaire du musée des Confluences (surlignage bleu). Enfin dans la troisième colonne, nous remplissons, quand la fiche inventaire de l'objet nous le

permet, les informations correspondantes pour l'accélérateur de particules exposé au musée des Confluences. Nous obtenons les résultats suivant (Tableau 16):

Tableau 16 : Grille d'analyse complétée, permettant de distinguer les rubriques documentaires (colonne gauche), les rubriques réglementaires (rouge) et les rubriques propres à la méthodologie du musée des Confluences (bleu) utilisées dans la fiche d'inventaire de l'accélérateur de particules.

Rubriques des notices documentaires	Colonne registre inventaire	Rubriques de la fiche d'inventaire de l'accélérateur de particules exposé au musée des Confluences
IDENTIFICATION DESCRIPTION		
ENTRÉE		déposé par Cité des sciences et de l'industrie , Paris , n° D2009.41 . Dépôt Universcience – Collections muséologiques, Musée des Confluences (Lyon, France)
NUMÉRO D'ORIGINE		618
N° INVENTAIRE	1	
ANCIEN(S) NUMÉRO(S)	18	
AUTRE(S) NUMÉRO(S)	18	DEPÔT.D2009.41.8 (N° de dépôt)
N° DE DÉPÔT	-	D618-00
DOMAINE (CATÉGORIE DU BIEN)	8	Sciences et Techniques Physique des particules
DÉNOMINATION	8	
APPELLATION	8	Accélérateur de particules Cockcroft et Walton
TITRE	8	
AUTRE TITRE		Cockcroft and Walton particle accelerator
AUTEUR / EXÉCUTANT / COLLECTEUR	14	
PRÉCISIONS SUR L'AUTEUR / EXÉCUTANT / COLLECTEUR	-	Philips
ANCIENNES ATTRIBUTIONS	-	
PÉRIODE DE CRÉATION / EXÉCUTION	15	
MILLÉSIME DE CRÉATION / EXÉCUTION	15	1958
ÉPOQUE / STYLE / MOUVEMENT	15	
PÉRIODE DE L'ORIGINAL COPIE	-	

MATÉRIAUX ET TECHNIQUES	10 + 11	acier aluminium plastique bakélite
PRÉCISIONS SUR LES MATÉRIAUX ET TECHNIQUES		Composants électriques et électroniques
MESURES	12	<i>Hors tout</i> : H. 290 cm ; l. 390-400 cm ; P.200 cm ; Pds 2000 kg
PRÉCISIONS SUR LES MESURES		La hauteur, la largeur et le poids indiqués incluent le remontage du générateur et de la partie supérieure de l'accélérateur, ainsi que le transformateur de haute tension monté à gauche du générateur. Si l'on ne remonte pas le transformateur, il faut ôter 89 cm à la largeur (74 cm + 15 cm de distance au générateur). La dimension des platines sont les suivantes : 80x190 cm pour celle du générateur à gauche, 115x175 cm pour celle de l'accélérateur à droite. La distance entre les bords intérieurs des platines est de 113 cm. Pour un remontage complet sur 2 étages, il faut compter une hauteur de 4.80 m et un poids d'environ 3500 kg. L'emprise au sol et les dimensions hors tout sont encore plus importantes si l'on inclut les pupitres de commandes et d'autres éléments en partie inférieure (pompe à vide et système de refroidissement notamment).
INSCRIPTIONS	9	
PRÉCISIONS SUR LES INSCRIPTIONS	9	
DESCRIPTION	-	L'accélérateur de particules Cockroft et Walton Philips 600 est un accélérateur linéaire électrostatique. Il est composé de 2 parties principales : le générateur et l'accélérateur proprement dit. Le générateur est lui-même composé d'un transformateur de haute tension relié à la base du générateur ; ce dernier comprend une série de condensateurs et de redresseurs montés en cascade afin de multiplier la tension. Le principe de fonctionnement de ce multiplicateur a été découvert en 1919 par Heinrich Greinacher, un physicien suisse : c'est pourquoi il est également nommé cascade de Greinacher. L'accélérateur a besoin pour fonctionner de plusieurs éléments : une source de particules chargées (en général une cathode), un tube cylindrique où le vide poussé permet aux particules de ne pas être ralenties par des collisions avec d'autres particules, et des champs électriques et magnétiques pour les accélérer. Le principe de fonctionnement est le suivant : une haute tension statique est appliquée entre 2 électrodes, produisant ainsi un champ électrique statique ; le faisceau de particules émises puis accélérées est ensuite guidé et focalisé à l'aide de déflecteurs et de lentilles électrostatiques ou magnétiques ; le faisceau est dirigé sur une cible, et les collisions qui se sont produites sont ensuite analysées par des détecteurs de particules. L'ensemble est commandé et contrôlé à l'aide de 2 pupitres, l'un pour la partie accélérateur et l'autre pour le tube à expérience.
ÉTAT DU BIEN AU MOMENT DE L'ACQUISITION OU DU DÉPÔT	13	

ÉTAT ACTUEL	-	En pièces détachées. À remonter entièrement dans l'exposition. Peut-être à restaurer.
PRÉCONISATIONS		0-25°C
HUMIDITÉ RELATIVE		< 40 %
ÉCLAIRAGE PRÉCONISE		200 lux
CONDITIONS DE PRÉSENTATIONS		Objet avec mise à distance.
SOCLAGE		3
PRÉCISIONS SUR LE SOCLAGE		Objet à remonter, fragile et très lourd, posé sur une plaque de répartition (lot agencement), car 2000 kg environ sur 5 m ² au lieu de 600 kg
ACCESSOIRES DE PRÉSENTATION		Transformateur à gauche du générateur.
CONTEXTE HISTORIQUE DE L'OBJET		
GENESE (STADE DE CREATION)	-	
OBJET(S) ASSOCIE(S)	-	
HISTORIQUE	-	
LIEU(X) DE CRÉATION / D'EXÉCUTION	17	
PRÉCISIONS SUR LE(S) LIEU(X) DE CRÉATION, D'EXÉCUTION	17	
GÉOGRAPHIE HISTORIQUE	17	
UTILISATION, DESTINATION	16	
PRÉCISIONS SUR L'UTILISATION, DESTINATION	16	L'accélérateur, qui a fonctionné jusqu'en 1980, a été utilisé par les services de la Défense nationale au Fort de Montrouge pour étalonner ses appareils de dosimétrie et de radioprotection. Ce type d'accélérateur a été mis en œuvre pour briser des noyaux lourds, en les bombardant avec des particules accélérées à l'aide d'un générateur de haute tension électrostatique. Douglas Cockcroft et Ernest Thomas Sinton Walton ont obtenu le prix Nobel de physique en 1951 en brisant pour la première fois un noyau : c'était en 1932 à partir d'un accélérateur alimenté par un générateur de haute tension électrostatique tout à fait similaire à celui-ci. Leur accélérateur a également permis d'étudier les noyaux d'uranium et de plutonium au sein du projet Manhattan, qui a abouti à la bombe atomique. L'instrument est typique de ce qu'on a appelé après la Seconde Guerre mondiale la "Big Science", qui caractérise les programmes de recherche à grande échelle : ces programmes sont soutenus par des États, des scientifiques et des industriels, qui mettent en commun moyens financiers, personnels (chercheurs, ingénieurs, techniciens) et infrastructures. Ils peuvent être conduits dans le plus secret comme le projet Manhattan, ou au contraire être rendus publics comme les travaux du CERN.

LIEU(X) D'UTILISATION, DESTINATION	17	
PRÉCISIONS SUR LES LIEU(X) D'UTILISATION, DESTINATION	17	
PÉRIODE D'UTILISATION, DESTINATION	15	
MILLÉSIME D'UTILISATION, DESTINATION	15	
LIEU DE DÉCOUVERTE, DE COLLECTE OU DE RÉCOLTE	17	GÉOGRAPHIE / Europe / Pays-Bas
TYPE DE SITE DE DÉCOUVERTE, DE COLLECTE OU DE RÉCOLTE	-	
MÉTHODE DE COLLECTE / RÉCOLTE	-	
DATE DE DÉCOUVERTE, DE COLLECTE OU DE RÉCOLTE	15	
DÉCOUVREUR	-	
PRÉCISIONS SUR LA DÉCOUVERTE / COLLECTE	-	
NUMÉRO DE SITE SDA	-	
STATUT JURIDIQUE / CONDITIONS DE SON ACQUISITION/DÉPÔT		
DATE D'INSCRIPTION AU REGISTRE D'INVENTAIRE	7	
DATE D'INSCRIPTION AU REGISTRE DES BIENS REÇUS EN DÉPÔT	-	
TYPE DE PROPRIÉTÉ	-	
MODE D'ACQUISITION	2	
PRIX D'ACHAT (EN EUROS)	6	
ESTIMATION		Assurance : par Delattre Anne Marie le 15/01/2010 (valeur confidentielle)
MENTION DES CONCOURS PUBLICS	6	
INSTITUTION PROPRIÉTAIRE	-	Propriété de la Cité des Sciences et de l'Industrie de la Villette
ÉTABLISSEMENT AFFECTATAIRE	-	
DATE ET RÉFÉRENCES DE L'ACTE D'ACQUISITION	4	
DATE D'AFFECTATION AU MUSÉE	4	
AVIS DES INSTANCES SCIENTIFIQUES COMPÉTENTES EN MATIÈRE D'ACQUISITION	5	

NOM DU DONATEUR, TESTATEUR OU VENDEUR	3	
ANCIENNES APPARTENANCES	18	
DÉPÔT / ÉTABLISSEMENT DÉPOSITAIRE	-	
DATE ET RÉFÉRENCES DE L'ACTE DE DÉPÔT (OU DATE DE PRISE EN CHARGE DU BIEN)	-	Dépôt validé par délibération de la commission permanente du Conseil général du Rhône le 10 décembre 2007
DATE ET RÉFÉRENCES DE L'ACTE METTANT FIN AU DÉPÔT (ET/OU DATE DE RESTITUTION DU BIEN)	-	
ANCIENS DÉPÔTS	-	
LOCALISATION DE L'OBJET DANS L'ÉTABLISSEMENT RESPONSABLE (L'EMPLACEMENT DE RÉFÉRENCE)	-	Pays : France / Région : Rhône-Alpes / Commune : Lyon / Musée des Confluences / MDC / niveau 2 / expo_23 /
PARCOURS THÉMATIQUE		Musée des Confluences / III Sociétés / III 2 Echanger / III 2.4 Mettre en réseaux les savoirs / III 2.4.2 Mutualiser les connaissances [Réseaux plateau 2.4]
DERNIER RÉCOLEMENT		récolé : emplacement confirmé - sans suite : le 05/06/2014 par Renard Anne-Sophie : M1A Atrium
MOUVEMENT EN COURS		<i>Mouvement</i> : sortie
INFORMATIONS SUPPLÉMENTAIRES		
EXPOSITION	-	Exposition : Observer : Lyon (France) - du 12 février 2010 au 28 février 2010 Exposition : Évènement collection 2009 : Lyon
BIBLIOGRAPHIE		REV5_2009_. Suivre à la trace l'éphémère Ramunni Girolamo - 2009
CARTEL		L'accélérateur de particules a permis, dès 1930, la compréhension de la matière. Ces machines imposantes sont le résultat et l'instrument des fondements d'une coopération scientifique et politique internationale. La physique des particules a ouvert la voie à l'électricité nucléaire, à la radiothérapie, mais aussi à la bombe atomique. Il s'agit du premier type d'accélérateur mis en oeuvre pour briser des noyaux lourds, en les bombardant avec des particules accélérées à l'aide d'un générateur de haute tension. Ses inventeurs britanniques, John Douglas Cockcroft et Ernest Walton, ont obtenu pour cette première le prix Nobel de physique en 1951.
COMMENTAIRES	18	
CRÉDITS PHOTOGRAPHIQUES	-	
RÉDACTEUR	-	Saisie par : yakouta.medjdoub (4/10/2007) Modifié par : Christelle.Lottin(22/12/2014)

Ce tableau donne avec précision les informations qui étaient à disposition des concepteurs de l'exposition. Il nous montre aussi quelles sont les informations que possède le musée sur cet objet, de quelle nature elles sont, et si elles sont nombreuses ou pas vis-à-vis de toutes les informations que nous pouvons récolter pour un objet de ce genre.

Nous remarquons qu'un certain nombre de critères de la fiche d'inventaire de l'objet exposé au musée des Confluences pourraient être remplis après quelques petites recherches ou par déduction. Par exemple nous savons que l'objet a été fabriqué par la société Philips en 1958. De ces deux informations, nous pouvons en déduire la période de fabrication et le lieu de fabrication en retrouvant où se situaient les usines Philips à cette époque.

De la même manière, les paragraphes « description » et « utilisation » donnent un certain nombre d'informations qui ne sont pas reportées dans les champs qui leur correspondent :

- Accélérateur linéaire électrostatique (dénomination)
- 1980 (date de collecte)¹³⁴
- Les services de la défense nationale (anciennes appartenances)
- Fort Montrouge (lieu d'utilisation)
- 1932 (date d'invention)
- John Douglas Cockcroft et Ernest Thomas Sinton Walton (inventeurs)

- Les critères d'inventaire utilisés par les concepteurs

Nous allons ici utiliser la grille d'analyse qui nous permet d'identifier les critères d'inventaire utilisés par les concepteurs de l'exposition. Il s'agit de la grille utilisée ci-dessus, mais à laquelle est ajoutée une colonne à droite. Cette colonne est celle des critères d'inventaire identifiables dans les textes du parcours de visite, en lien avec l'accélérateur de particules. Les textes utilisés proviennent du même corpus de base : texte de l'introduction, de la partie *échanger*, du thème *mettre en réseau des savoirs*, du sous-thème *partager les connaissances*, du cartel de l'accélérateur. Nous utiliserons aussi le texte du support vidéo

¹³⁴ On admet ici que la date de fin de fonctionnement de l'appareil soit confondue avec la date de collecte de l'appareil. Or cette confusion est due aux manques de certains critères pour la description des objets scientifiques.

accompagnant notre objet. Comme il y a peu de chance de trouver des critères d'inventaire dans les textes de cohésion du parcours ou d'opinion (fonction de rhétorique, fonction d'énonciation) nous ne prendrons que les textes à fonction d'inventaire ou d'ancrage. La dernière version de l'audioguide étant arrivée trop tardivement dans sa forme stable, nous avons fait le choix de ne pas l'intégrer à cette partie de l'analyse.

Textes écrits du parcours

Nous allons commencer par reprendre les textes écrits du parcours de visite, en lien avec l'accélérateur de particules. Le premier texte est celui de l'introduction générale de l'exposition. Conformément au tableau 6 qui donne l'analyse des fonctions du texte de l'introduction de l'exposition, il n'y a aucun élément à fonction d'inventaire ou d'ancrage. Le tableau 7 donne cette même analyse pour le texte de la partie *Echanger*. La fonction d'ancrage est portée par la phrase E.5 « et s'enrichit par la transmission des savoirs et des techniques ». Mais cette information n'est pas un critère d'inventaire. Le tableau 8 donne quant à lui une analyse des fonctions du texte du thème *mettre en réseau des savoirs*, dans lequel apparaît la fonction d'inventaire avec la section de phrase M.2 « Dans les sciences et les techniques ». Ici cette information correspond au champ appelé « domaine », qui donne le département du musée auquel l'objet correspond. Ici, il s'agit de la collection des sciences et des techniques.

Les fonctions d'inventaire et d'ancrage, identifiées dans le texte du sous-thème *partager les connaissances*, grâce au Tableau 9 sont plus nombreuses. La section de phrase P.1 donne l'appellation : « L'accélérateur de particules », la section P.2 rentre dans le champ « précisions sur l'utilisation / description ». La section de phrase P.5 : « La physique des particules » vient compléter le champ dénomination. La section de phrase P.6 : « a ouvert la voie à l'électricité nucléaire, à la radiothérapie » et P.7 : « mais aussi à la bombe atomique » sont des critères d'inventaire du champ des précisions sur l'utilisation et la description. Il est cependant intéressant de relever que nulle part dans ce champ, il n'est fait mention d'électricité nucléaire ou de radiothérapie.

Regardons maintenant le texte du cartel de l'accélérateur, dont les fonctions d'inventaire et d'ancrage sont les seules représentées. Nous retrouvons le critère d'appellation avec la section C.1 « Accélérateur de particules Cockcroft et Walton », mais avec en plus le champ Millésime de création / exécution C.2 : « 1958 » et le champ Lieu de découverte C.3 : « Pays-Bas ». Nous notons qu'ici le champ Pays-Bas ne correspond pas vraiment au lieu de

découverte (qui serait Paris, France), mais le lieu de création/exécution. Le champ C.4 donne le nom du fabricant de l'objet « Philips ». Avec la section C.5 nous avons des indications sur les matériaux et techniques : « Bakélite, aluminium, composants électriques et électroniques ». Le nom de l'établissement dépositaire est donné dans la section C.6 « Dépôt des collections d'Universcience, Paris ». Nous avons également grâce à la section C.7 le numéro d'inventaire de l'objet (même si celui-ci est présent sous le nom de numéro de dépôt dans la fiche de l'objet du musée). En réalité, nous pensons que l'établissement fait le choix de remplir le numéro d'inventaire de l'objet, soit dans le champ « numéro d'inventaire » s'il en est le propriétaire, soit dans le champ « numéro de dépôt » s'il est en dépôt chez lui. Le numéro du dépôt est alors indiqué dans le champ « autre numéro » en spécifiant entre parenthèses que c'est bien celui-ci le numéro de dépôt. Ici, nous voyons bien le petit indicatif qui précède le numéro, indiquant que c'est son numéro d'inventaire. La lettre D au début du numéro, indique le dépôt : « inv. D618-00 ». Les autres sections de phrase du cartel de l'accélérateur (C.8, C.9, C.10, C.11, C.12) sont issues des précisions sur l'utilisation/destination.

La totalité de ce tableau est donnée dans l'annexe n°17 ; nous présentons ici les champs qui ont été utilisés (voir Tableau 17), conformément à la description de la grille d'analyse.

Tableau 17 : extraits de la grille d'analyse donnant les rubriques documentaires (colonne de gauche), les rubriques réglementaires (rouge), les rubriques du musée des Confluences (bleu) utilisées dans la fiche d'inventaire de l'accélérateur de particules en lien avec les informations que l'on retrouve effectivement dans le texte de l'exposition. Exposition *Sociétés : le théâtre des hommes*, musée des Confluences à Lyon.

Rubriques des notices documentaires	Colonne registre inventaire	Rubriques de la fiche d'inventaire de l'accélérateur de particules exposé au musée des Confluences	Sélection des textes de l'exposition en lien avec l'accélérateur des particules portant une fonction d'inventaire ou d'ancrage.
IDENTIFICATION DESCRIPTION			
ENTRÉE		déposé par Cité des sciences et de l'industrie, Paris, n° D2009.41. Dépôt Universcience – Collections muséologiques, Musée des Confluences (Lyon, France)	C.6 / Dépôt des collections d'Universcience, Paris
N° DE DÉPÔT	-	D618-00	C.7 / inv. D618-00

DOMAINE (CATÉGORIE DU BIEN)	8	Sciences et Techniques Physique des particules	M.2 Dans les sciences et les techniques P.5 La physique des particules
APPELLATION	8	Accélérateur de particules Cockcroft et Walton	P.1 L'accélérateur de particules C.1 Accélérateur de particules Cockcroft et Walton
PRÉCISIONS SUR L'AUTEUR / EXÉCUTANT / COLLECTEUR	-	Philips	C.4 / Philips
MILLÉSIME DE CRÉATION / EXÉCUTION	15	1958	C.2 / 1958
MATÉRIAUX ET TECHNIQUES	10 + 11	acier aluminium plastique bakélite	C.5 : Bakélite, aluminium
PRÉCISIONS SUR LES MATÉRIAUX ET TECHNIQUES		Composants électriques et électroniques	C.5 suite : composants électriques et électroniques
CONTEXTE HISTORIQUE DE L'OBJET			

PRÉCISIONS SUR L'UTILISATION, DESTINATION	16	<p>L'accélérateur, qui a fonctionné jusqu'en 1980, a été utilisé par les services de la Défense nationale au Fort de Montrouge pour étalonner ses appareils de dosimétrie et de radioprotection. Ce type d'accélérateur a été mis en œuvre pour briser des noyaux lourds, en les bombardant avec des particules accélérées à l'aide d'un générateur de haute tension électrostatique. Douglas Cockcroft et Ernest Thomas Sinton Walton ont obtenu le prix Nobel de physique en 1951 en brisant pour la première fois un noyau : c'était en 1932 à partir d'un accélérateur alimenté par un générateur de haute tension électrostatique tout à fait similaire à celui-ci. Leur accélérateur a également permis d'étudier les noyaux d'uranium et de plutonium au sein du projet Manhattan, qui a abouti à la bombe atomique. L'instrument est typique de ce qu'on a appelé après la Seconde Guerre mondiale la "Big Science", qui caractérise les programmes de recherche à grande échelle : ces programmes sont soutenus par des États, des scientifiques et des industriels, qui mettent en commun moyens financiers, personnels (chercheurs, ingénieurs, techniciens) et infrastructures. Ils peuvent être conduits dans le plus secret comme le projet Manhattan, ou au contraire être rendus publics comme les travaux du CERN.</p>	<p>P.2 a permis, dès 1930, la compréhension de la matière. P.6 a ouvert la voie à l'électricité nucléaire, à la radiothérapie P.7 mais aussi à la bombe atomique. C.8 Il s'agit du premier type d'accélérateur mis en œuvre pour briser des noyaux lourds C.9 en les bombardant avec des particules accélérées C.10 à l'aide d'un générateur de haute tension. C.11 Ses inventeurs britanniques, John Douglas Cockcroft et Ernest Walton C.12 ont obtenu pour cette première le prix Nobel de physique en 1951.</p>
LIEU DE DÉCOUVERTE, DE COLLECTE OU DE RÉCOLTE	17	GÉOGRAPHIE / Europe / Pays-Bas (spécifié : provenance géographique par le MDC)	C.3 / Pays-Bas
STATUT JURIDIQUE / CONDITIONS DE SON ACQUISITION/DÉPÔT			
DÉPÔT / ÉTABLISSEMENT-DÉPOSITAIRE			C.6 / Dépôt des collections d'Universcience, Paris

La première chose que nous constatons est le peu d'informations données sur l'objet par rapport à tout ce que nous pourrions, avec une fiche vraiment complète, avoir à son

propos. Dans la partie des critères consacrés à l'identification et à la description de l'objet nous retrouvons : son numéro d'entrée (critère propre au musée) et son numéro de dépôt, mais il nous semble que les informations codées et chiffrées ne font pas partie des informations «qui parlent» au visiteur ou à l'amateur. Nous trouvons également le domaine et l'appellation (critères réglementaires), une précision sur l'auteur (le fabricant), millésime de création exécution, matériaux et techniques et précisions sur les matériaux et techniques (critères réglementaires). Dans la partie des critères consacrés au contexte historique de l'objet, nous retrouvons des éléments qui appartiennent au champ des précisions sur l'utilisation, destination (critère réglementaire). Enfin, il y a également une information sur le statut juridique de l'objet.

Textes du support vidéo

Comme nous le donne le tableau 15, ce sont les phrases 13, 11 et 14 qui présentent les fonctions d'inventaire ou d'ancrage. Ce sont donc elles que nous allons identifier grâce à notre grille d'analyse des critères d'inventaire étendus. La phrase n° 11 « Auteur de la théorie de la relativité, Einstein ouvre la voie à la physique des particules élémentaires » nous donne un critère de dénomination de l'objet. Lorsque vient la séquence vidéo avec une représentation d'un des accélérateurs Cockcroft Walton, la phrase 13 nous donne un des critères présents dans les précisions sur l'utilisation/destination « Les États-Unis lancent le projet Manhattan qui aboutit à la bombe atomique ». Enfin, la phrase de la séquence 14 fait référence aux travaux du CERN, également mentionné dans la rubrique sur les précisions d'utilisation. « Identifié au CERN en 2012, le boson de Higgs vient confirmer la théorie actuelle de la constitution de la matière », mais dont le propos ne constitue pas réellement une précision pour notre objet. Le tableau suivant (tableau 18) place ces critères d'inventaire identifiés, dans la grille d'analyse :

Tableau 18 : extraits de la grille d'analyse donnant les rubriques documentaires, les rubriques réglementaires, les rubriques du musée des Confluences utilisées dans la fiche d'inventaire de l'accélérateur de particules en lien avec les informations que l'on retrouve effectivement dans le texte du support vidéo. Exposition *Sociétés : le théâtre des hommes*, musée des Confluences à Lyon.

Rubriques des notices documentaires	Colonne registre inventaire	Rubriques de la fiche d'inventaire de l'accélérateur de particules exposé au musée des Confluences	Texte du support vidéo
IDENTIFICATION DESCRIPTION			
DOMAINE (CATÉGORIE DU BIEN)	8	Sciences et Techniques Physique des particules	11 : la physique des particules élémentaires
CONTEXTE HISTORIQUE DE L'OBJET			
PRÉCISIONS SUR L'UTILISATION, DESTINATION	16	L'accélérateur, qui a fonctionné jusqu'en 1980, a été utilisé par les services de la Défense nationale au Fort de Montrouge pour étalonner ses appareils de dosimétrie et de radioprotection. Ce type d'accélérateur a été mis en œuvre pour briser des noyaux lourds, en les bombardant avec des particules accélérées à l'aide d'un générateur de haute tension électrostatique. Douglas Cockcroft et Ernest Thomas Sinton Walton ont obtenu le prix Nobel de physique en 1951 en brisant pour la première fois un noyau : c'était en 1932 à partir d'un accélérateur alimenté par un générateur de haute tension électrostatique tout à fait similaire à celui-ci. Leur accélérateur a également permis d'étudier les noyaux d'uranium et de plutonium au sein du projet Manhattan, qui a abouti à la bombe atomique. L'instrument est typique de ce qu'on a appelé après la Seconde Guerre mondiale la "Big Science", qui caractérise les programmes de recherche à grande échelle : ces programmes sont soutenus par des États, des scientifiques et des industriels, qui mettent en commun moyens financiers, personnels (chercheurs, ingénieurs, techniciens) et infrastructures. Ils peuvent être conduits dans le plus secret comme le projet Manhattan, ou au contraire être rendus publics comme les travaux du CERN.	13 : Les États-Unis lancent le projet Manhattan qui aboutit à la bombe atomique

Nous observons ici deux phrases qui coïncident avec le contenu de la fiche d'inventaire de l'objet. Une sur le domaine, l'autre sur l'utilisation et la destination. C'est donc très peu. Il semble alors plus probable que le support vidéo soit présent pour une autre raison que pour compléter les informations en lien avec l'accélérateur.

Conclusion de cette partie de l'analyse

De manière à voir ce qu'a réellement le visiteur comme informations s'il prend connaissance de tous les textes mis à sa disposition, nous allons rassembler ces informations dans un seul et même tableau (Tableau 19) :

Tableau 19 : tableau regroupant les résultats de l'analyse des critères d'inventaire utilisés par les concepteurs dans les textes écrits du parcours expographique et dans le support vidéo accompagnant le plateau de l'accélérateur de particules CW. Exposition *Sociétés : le théâtre des hommes*, musée des Confluences à Lyon.

Rubriques des notices documentaires (critères documentaires)	Sélection des textes de l'exposition en lien avec l'accélérateur des particules portant une fonction d'inventaire ou d'ancrage (textes écrits et texte du support vidéo)
IDENTIFICATION DESCRIPTION	
ENTRÉE	C.6 / Dépôt des collections d'Universcience, Paris
N° DE DÉPÔT	C.7 / inv. D618-00
DOMAINE (CATÉGORIE DU BIEN)	M.2 Dans les sciences et les techniques P.5 La physique des particules
APPELLATION	P.1 L'accélérateur de particules C.1 Accélérateur de particules Cockcroft et Walton
PRÉCISIONS SUR L'AUTEUR / EXÉCUTANT / COLLECTEUR	C.4 / Philips
MILLÉSIME DE CRÉATION / EXÉCUTION	C.2 / 1958
MATÉRIAUX ET TECHNIQUES	C.5 : Bakélite, aluminium
PRÉCISIONS SUR LES MATÉRIAUX ET TECHNIQUES	C.5 suite : composants électriques et électroniques
CONTEXTE HISTORIQUE DE L'OBJET	
PRÉCISIONS SUR L'UTILISATION, DESTINATION	P.2 a permis, dès 1930, la compréhension de la matière.

	<p>P.6 a ouvert la voie à l'électricité nucléaire, à la radiothérapie</p> <p>P.7 mais aussi à la bombe atomique.</p> <p>C.8 Il s'agit du premier type d'accélérateur mis en œuvre pour briser des noyaux lourds</p> <p>C.9 en les bombardant avec des particules accélérées</p> <p>C.10 à l'aide d'un générateur de haute tension.</p> <p>C.11 Ses inventeurs britanniques, John Douglas Cockcroft et Ernest Walton</p> <p>C.12 ont obtenu pour cette première le prix Nobel de physique en 1951.</p>
LIEU DE DÉCOUVERTE, DE COLLECTE OU DE RÉCOLTE	C.3 / Pays-Bas
STATUT JURIDIQUE / CONDITIONS DE SON ACQUISITION / DÉPÔT	
DÉPÔT / ÉTABLISSEMENT DÉPOSITAIRE	C.6 / Dépôt des collections d'Universcience, Paris

Ce tableau montre que les informations sur l'objet sont assez succinctes. Nous remarquons également que toutes les informations n'ont pas le même poids vis-à-vis de l'objet présenté. Pour cela nous allons confronter ces informations à notre troisième point d'analyse : le niveau d'implication du texte avec l'objet présenté au visiteur.

2.3.3 Niveau d'implication du texte avec l'objet exposé

Nous venons de définir des outils d'analyse qui nous permettent dans un premier temps d'identifier la fonction du texte qui est présenté au visiteur. Parmi ces fonctions, nous relevons particulièrement les textes relevant de la fonction d'inventaire et de la fonction d'ancrage. Dans un deuxième temps, en repartant des critères réglementaires d'inventaire, nous identifions la nature des informations présentes dans les textes à fonction d'inventaire ou d'ancrage. Désormais, nous souhaitons voir quel est le degré d'implication de ces informations, avec l'objet exposé au le visiteur.

Le classement effectué est fait en fonction du niveau d'implication du texte avec l'objet : les textes se rapportant à l'accélérateur de type Cockcroft Walton exposé, celui se rapportant aux accélérateurs Cockcroft-Walton en général, celui traitant des accélérateurs de particules en général, celui traitant du domaine de la physique des particules, celui touchant la collection des sciences et techniques.

- Textes écrits du parcours

Comme dans l'application de la grille d'analyse précédente, le texte de l'introduction générale de l'exposition et le texte de la partie *Echanger* ne présentent pas d'informations qui sont directement liées à l'accélérateur de particules Cockcroft-Walton. Nous ne pouvons donc pas utiliser cette partie du corpus. Les éléments du discours qui vont être pertinents pour la suite de cette analyse, sont encore une fois ceux qui témoignent de la fonction d'ancrage ou d'inventaire du texte. L'identification des critères d'inventaire est déjà une aide dans l'identification de l'objet auquel se rapporte l'information.

Dans le discours du thème *Mettre en réseau des savoirs*, seule la section de phrase M.2 reste dans notre corpus affiné : « M.2 Dans les sciences et les techniques » Et celle-ci parle des objets de type scientifique et techniques, dont des objets de la même collection, que nous appelons dans notre grille « objet du même domaine ».

Dans le discours du sous-thème *partager les connaissances*, il nous reste plusieurs sections de phrases. Les sections P.1 et P.2 : « L'accélérateur de particules a permis, dès 1930, la compréhension de la matière » se rapportent aux accélérateurs de particules en général, puisque l'accélérateur CW n'est pas le seul à voir le jour à cette époque, comme notre étude du contexte historique préliminaire nous permet de l'affirmer. Cette phrase se rapporte donc à la famille des accélérateurs de particules. Les sections de phrases P.5, P.6 et P.7 se rapportent quant à elles au domaine de la physique des particules, comme le suggère explicitement la phrase : « La physique des particules a ouvert la voie à l'électricité nucléaire, à la radiothérapie mais aussi à la bombe atomique. »

Regardons maintenant le contenu du cartel de l'objet. Les sections de phrase C.1 à C.7 concernent bien l'objet qui est exposé au visiteur dans l'exposition. On retrouve son nom générique : « Accélérateur de particules Cockcroft et Walton », sa date de fabrication « 1958 », son pays de fabrication « Pays-Bas », son fabricant « Philips », ses matériaux « Bakélite, aluminium, composants électriques et électroniques », son statut juridique « Dépôt des collections d'Universcience, Paris » et son numéro d'inventaire « inv. D618-00 ». Les informations C.7 à C.12 concernent un appareil du même genre puisque les informations sont relatives à l'appareil conçu par Cockcroft et Walton : « Il s'agit du premier type d'accélérateur mis en œuvre pour briser des noyaux lourds, en les bombardant avec des particules accélérées à l'aide d'un générateur de haute tension. Ses inventeurs britanniques, John Douglas Cockcroft et Ernest Walton, ont obtenu pour cette première le prix Nobel de physique en 1951. »

Ces résultats peuvent être synthétisés de la manière suivante (voir Figure 91), en reprenant la forme triangulaire utilisée pour définir notre outil d'analyse.

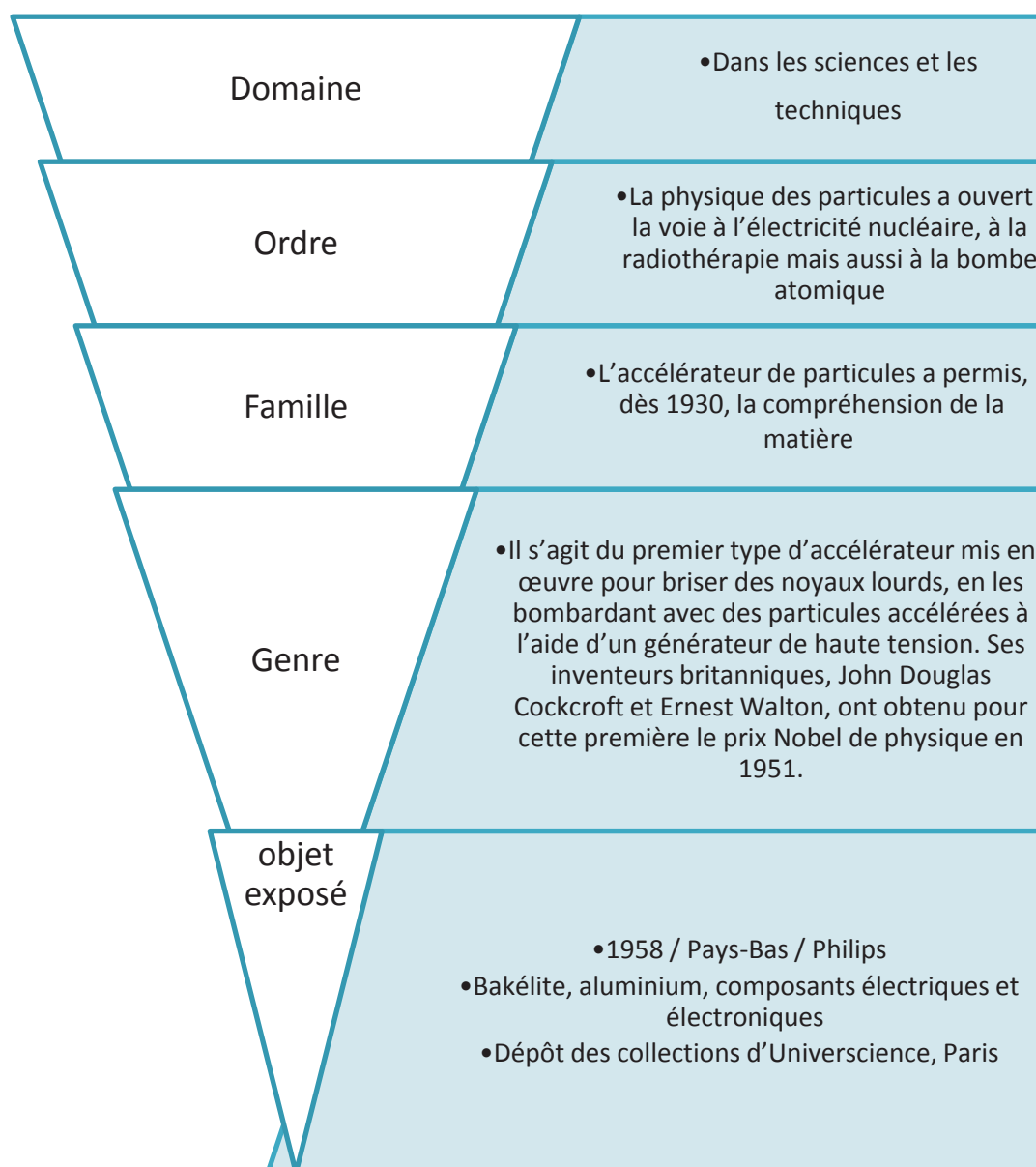


Figure 91 : Représentation graphique de l'analyse des niveaux d'implication du texte du parcours écrit de l'exposition avec l'objet exposé.

On remarque alors plus facilement que la majorité des informations qui environnent l'objet dans l'exposition ne le concernent pas directement. Le cartel est le seul support du discours à contenir ces informations, qui sont des critères d'inventaire (et représentant la fonction d'inventaire). Ces données sont communiquées avec un langage commun compréhensible à la fois par le professionnel et le visiteur. En identifiant de la sorte l'objet,

les concepteurs incitent le visiteur à s'approprier l'objet en prenant à leur compte les dénominations qui lui sont présentées. Nous nous demandons ici dans quelle limite, le visiteur à qui l'on demande de s'approprier l'objet, peut ensuite faire la distinction entre les informations « propres à l'objet exposé » des informations générales. Le visiteur est-il en mesure de percevoir toutes les strates d'implication du texte avec l'objet qui lui est présenté ? Il nous semble plus probable de dire que non, et que l'objet exposé (ici l'accélérateur CW Philips de 1958) se retrouve confondu avec l'accélérateur de Cockcroft et Walton, l'attribution du prix Nobel, l'électricité nucléaire, la radiothérapie et la bombe atomique. Alors que l'objet exposé n'est pas celui qui a servi à l'élaboration de la bombe atomique, ni à la découverte de l'énergie nucléaire.

Regardons maintenant l'implication du texte avec l'objet exposé qui est proposé dans le contenu de l'audioguide de la version 4.

- Textes de la transcription de la dernière version de l'audioguide

Il semble ici particulièrement pertinent de voir si les informations contenues dans l'audioguide permettent une appropriation différente de l'objet. La première grille d'analyse nous avait déjà permis de voir que les fonctions d'ancrage et d'inventaire étaient plus importantes que dans les textes de l'exposition. La densité des informations nous force ici à ne pas utiliser la forme triangulaire, pour des questions de lisibilité. Nous proposons donc une présentation des résultats dans un tableau (Tableau 20) :

Tableau 20 : Représentation graphique de l'analyse des niveaux d'implication du texte de la transcription de l'audioguide avec l'objet exposé.

Domaine	
Ordre	Aujourd'hui, cette science des particules réclame des instruments tellement puissants et onéreux qu'elle ne peut s'appuyer que sur des collaborations internationales
Famille	c'est le cas par exemple au CERN à Genève où fonctionne un accélérateur d'une circonférence de 27 km, qui est - à ce jour - le plus grand au monde.

Genre	<p>Grâce à cet appareil, mis au point dans les années 1930 par John Cockcroft et Ernest Walton, il est devenu possible de briser des atomes et de modifier ainsi la structure interne de leurs noyaux. C'est ce qu'on appelle la transmutation artificielle. Une technique qui a ouvert la voie à la radiothérapie et à l'électricité d'origine nucléaire. Pour ces travaux, Cockcroft et Walton ont reçu le prix Nobel de physique en 1951.</p> <p>Il est représentatif des débuts de ce qu'on appelle la Big Science caractérisée par des programmes de recherche de grande envergure lancés après la Seconde Guerre mondiale.</p>
Objet exposé	<p>...est un accélérateur de particules</p> <p>Cet accélérateur a été utilisé par les services de la Défense Nationale à Paris jusqu'en 1980.</p> <p>Il se compose de plusieurs éléments :</p> <ul style="list-style-type: none"> - La partie gauche est un générateur de haute tension. Il permet l'accélération des particules par phénomène électrostatique. - La partie droite comprend la source de particules chargées, en général une cathode, qui permet d'émettre un faisceau de particules envoyé au centre d'un tube à vide. <p>Ce tube accélérateur est constitué de cylindres métalliques dans lesquels les particules voyagent pour en ressortir à grande vitesse. Le faisceau est alors dirigé sur une cible fixe, provoquant des collisions qui viennent modifier la matière et qui sont analysées par des détecteurs. La partie inférieure de l'instrument n'est pas exposée ici, elle comprend deux pupitres de commande, les cibles et le matériel de détection. Il sert à provoquer des collisions de particules élémentaires à grande vitesse afin de mieux connaître la matière.</p>

Les informations propres à l'objet exposé sont en effet plus nombreuses. La majeure partie d'entre elles appartient au critère d'inventaire documentaire appelé « Description ». Comme nous l'avons vu en définissant les critères d'inventaire, la description est souvent complexe pour un instrument scientifique. Au sein de l'audioguide, elle aide le visiteur à

identifier les différentes parties de l'accélérateur présenté devant lui. C'est aussi un support à l'explication du fonctionnement de l'objet. Nous pouvons aisément représenter la correspondance de ces informations en les plaçant dans un tableau (Tableau 21) représentant l'élément qui est décrit et sa fonction.

Tableau 21 : tableau donnant la correspondance entre l'élément de l'accélérateur décrit et sa fonction, dans le discours de l'audioguide version 4.

Élément décrit	Fonction
Accélérateur de particules	Il sert à provoquer des collisions de particules élémentaires à grande vitesse afin de mieux connaître la matière.
La partie gauche est un générateur de haute tension.	Il permet l'accélération des particules par phénomène électrostatique.
La partie droite comprend la source de particules chargées, en général une cathode,	qui permet d'émettre un faisceau de particules envoyé au centre d'un tube à vide.
Ce tube accélérateur est constitué de cylindres métalliques	dans lesquels les particules voyagent pour en ressortir à grande vitesse.
La partie inférieure de l'instrument n'est pas exposée ici, elle comprend deux pupitres de commande, les cibles et le matériel de détection.	Le faisceau est alors dirigé sur une cible fixe, provoquant des collisions qui viennent modifier la matière et qui sont analysées par des détecteurs.

Une seule information, propre à l'accélérateur ne rentre pas dans cette logique forme/fonction. Il s'agit de la phrase :

« a été utilisé par les services de la Défense Nationale à Paris jusqu'en 1980. »

Cette petite phrase nous apporte d'autres critères documentaires intéressants. Nous apprenons « par qui a été utilisé l'objet » (utilisateur), « où il a été utilisé » (lieu d'utilisation), et la date que nous supposons être celle de la fin de son fonctionnement (date de collecte). L'accélérateur a donc été utilisé pendant 22 ans à Paris, par les services de la défense

nationale¹³⁵. Notons quand même que le fort de Montrouge se situe sur la commune d’Arcueil, dans le département du Val de Marne. Elle fait partie actuellement de la métropole du grand Paris, n’est pas réellement sur la commune de Paris. Cette information a son importance, notamment pour entreprendre des recherches historiques. Mais ces informations ont le mérite de représenter réellement la vie de l’objet, un peu de sa trajectoire sociale. Le visiteur peut alors se demander dans quel but les services de la défense nationale utilisaient un accélérateur de particules.

- Textes du support vidéo

Comme pour les textes précédents, nous reprenons ici les parties du texte qui présentent les fonctions d’inventaire et d’ancrage. Nous pouvons placer les trois phrases concernées dans notre grille d’analyse (voir Figure 92). Comme pour l’analyse des fonctions du texte, la classification des textes du support vidéo nécessite une connaissance en amont de l’exposition et des objets qui s’y rapportent. Elle nécessite aussi d’intégrer le visuel de la vidéo, même s’il ne fait pas partie d’une analyse spécifique. Par exemple, prise individuellement la phrase « Les États-Unis lancent le projet Manhattan qui aboutit à la bombe atomique » ne traduit en rien un lien avec un accélérateur de particules. Mais comme la phrase est illustrée par un dessin d’accélérateur CW, la complémentarité des deux suggère que l’accélérateur de particules CW est l’image du projet Manhattan. Cette phrase ne concerne pas directement l’objet exposé, mais implique de fait les objets de même genre : les accélérateurs de particules de type Cockcroft-Walton.

¹³⁵ Nous avons retrouvé très peu d’informations sur l’activité du fort de Montrouge entre les années 1945 et 1980. Nous avons seulement lu qu’en 1953, un laboratoire de la Direction générale de l’Armement s’y installe et accueille le premier ordinateur français (construit par la Société d’électronique et d’automatisme), la calculatrice universelle binaire de l’Armement (CUBA) et un laboratoire de traduction automatique avec l’aide du CNRS.

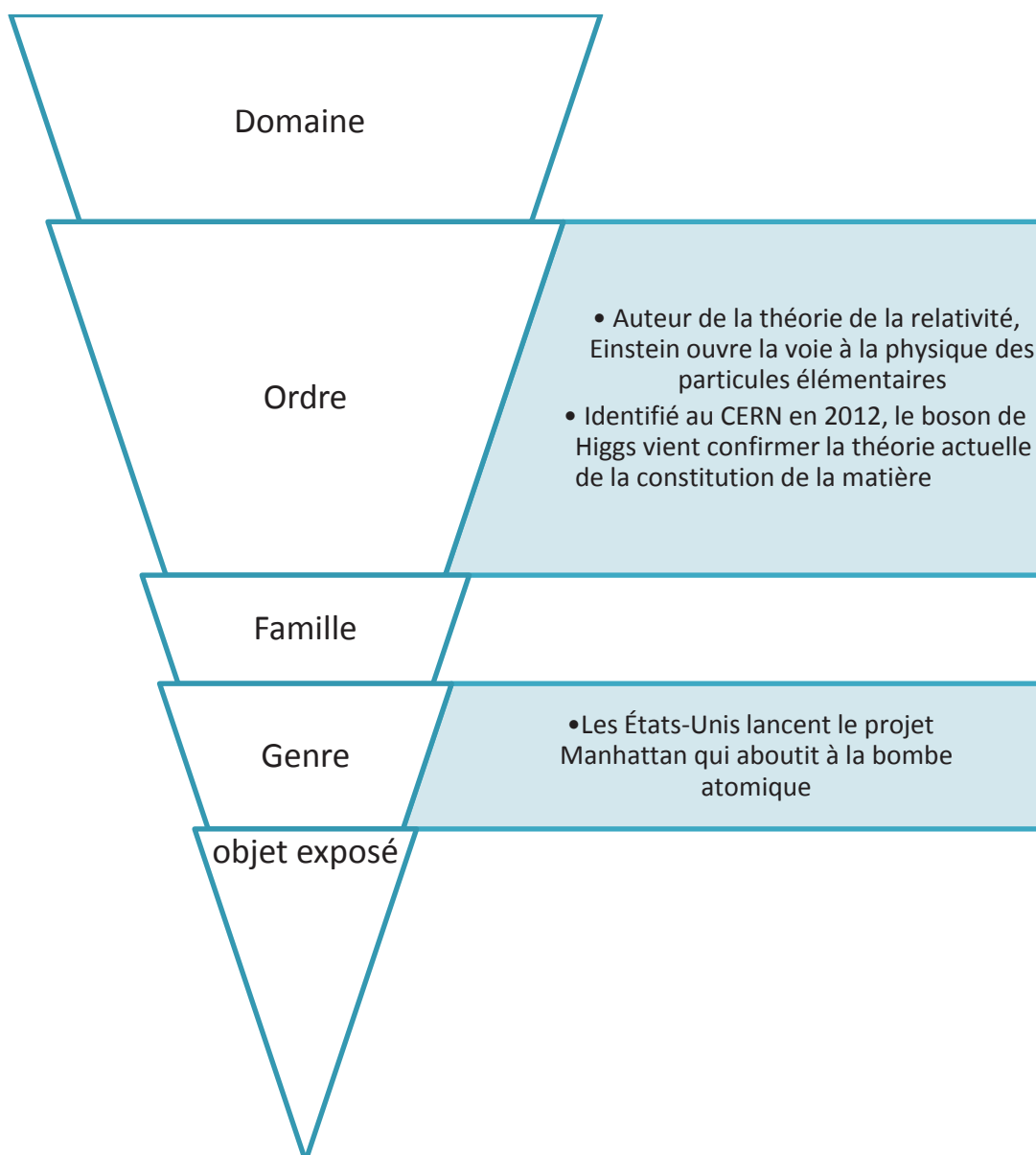


Figure 92 : Représentation graphique de l'analyse des niveaux d'implication du texte du support vidéo avec l'objet exposé.

On remarque alors qu'aucune information ne concerne vraiment l'objet exposé. Sur la circulation des savoirs à travers le monde et les âges, l'accélérateur de particules CW est utilisé pour illustrer le projet Manhattan et la bombe atomique. Si la confusion dans le discours écrit de l'exposition était déjà de notre point de vue un problème dans l'interprétation de l'objet, ce rapprochement ne fait que le confirmer.

- Conclusion cette partie de l'analyse

Toujours de manière à avoir une vue globale des résultats nous souhaitons proposer un tableau récapitulatif (voir Tableau 22). Ce tableau utilise les textes de l'exposition, en lien

avec l'accélérateur de particules CW, dont la fonction est de donner une certaine interprétation de l'objet et de permettre son appropriation. Il montre si l'information relevée se rapporte réellement à l'objet que l'on montre, ou à des objets du même genre, de la même famille, du même ordre, ou seulement du même domaine. Nous ne distinguons plus ici la provenance du texte (de l'introduction, du thème, de l'audioguide, etc.) volontairement pour dresser en quelque sorte le portrait global de l'objet qui est proposé dans l'exposition. Rappelons qu'à ce jour l'audioguide n'est toujours pas disponible au public même s'il devrait l'être très prochainement. Pour cette raison, nous faisons le choix de griser le texte qui n'est pas encore disponible au public.

Tableau 22 : Tableau donnant les textes de l'exposition en lien avec l'accélérateur de particules CW (a fonction d'ancrage ou d'inventaire) en fonction de leur niveau d'implication avec l'objet exposé. Le texte grisé n'est pas encore disponible pour le visiteur.

Domaine	Dans les sciences et les techniques
Ordre	<p>La physique des particules a ouvert la voie à l'électricité nucléaire, à la radiothérapie mais aussi à la bombe atomique.</p> <p>Aujourd'hui, cette science des particules réclame des instruments tellement puissants et onéreux qu'elle ne peut s'appuyer que sur des collaborations internationales.</p> <p>Auteur de la théorie de la relativité, Einstein ouvre la voie à la physique des particules élémentaires.</p> <p>Identifié au CERN en 2012, le boson de Higgs vient confirmer la théorie actuelle de la constitution de la matière.</p>
Famille	<p>L'accélérateur de particules a permis, dès 1930, la compréhension de la matière.</p> <p>c'est le cas par exemple au CERN à Genève où fonctionne un accélérateur d'une circonférence de 27 km, qui est - à ce jour - le plus grand au monde.</p>
Genre	<p>Il s'agit du premier type d'accélérateur mis en œuvre pour briser des noyaux lourds, en les bombardant avec des particules accélérées à l'aide d'un générateur de haute tension. Ses inventeurs britanniques,</p>

	<p>John Douglas Cockcroft et Ernest Walton, ont obtenu pour cette première le prix Nobel de physique en 1951.</p> <p>Grâce à cet appareil, mis au point dans les années 1930 par John Cockcroft et Ernest Walton, il est devenu possible de briser des atomes et de modifier ainsi la structure interne de leurs noyaux. C'est ce qu'on appelle la transmutation artificielle. Une technique qui a ouvert la voie à la radiothérapie et à l'électricité d'origine nucléaire. Pour ces travaux, Cockcroft et Walton ont reçu le prix Nobel de physique en 1951.</p> <p>Il est représentatif des débuts de ce qu'on appelle la Big Science caractérisée par des programmes de recherche de grande envergure lancés après la Seconde Guerre mondiale.</p> <p>Les États-Unis lancent le projet Manhattan qui aboutit à la bombe atomique.</p>
Objet exposé	<p>1958 / Pays-Bas / Philips</p> <p>Bakélite, aluminium, composants électriques et électroniques</p> <p>Dépôt des collections d'Universcience, Paris.</p> <p>...est un accélérateur de particules</p> <p>Cet accélérateur a été utilisé par les services de la Défense Nationale à Paris jusqu'en 1980.</p> <p>Il se compose de plusieurs éléments :</p> <ul style="list-style-type: none"> - La partie gauche est un générateur de haute tension. Il permet l'accélération des particules par phénomène électrostatique. - La partie droite comprend la source de particules chargées, en général une cathode, qui permet d'émettre un faisceau de particules envoyé au centre d'un tube à vide. <p>Ce tube accélérateur est constitué de cylindres métalliques dans lesquels les particules voyagent pour en ressortir à grande vitesse. Le faisceau est alors dirigé sur une cible fixe, provoquant des collisions qui viennent modifier la matière et qui sont analysées par des détecteurs. La partie inférieure de l'instrument n'est pas exposée</p>

	ici, elle comprend deux pupitres de commande, les cibles et le matériel de détection. Il sert à provoquer des collisions de particules élémentaires à grande vitesse afin de mieux connaître la matière.
--	--

Ce tableau met en valeur l'importance que pourra avoir l'audioguide pour le visiteur pour s'approprier l'objet. Les textes de l'exposition disponibles aujourd'hui parlent très peu de lui. Quand le texte parle des objets qui lui ressemblent, les accélérateurs de même genre, il fait référence à ses inventeurs ou à une utilisation : celui de la bombe atomique et du projet Manhattan. Quand le texte parle des objets de la même famille ou du même ordre, c'est pour dire (en tirant de gros traits) que la physique des particules permet la compréhension de la matière et qu'elle a donné naissance au nucléaire, à la radiothérapie et encore une fois à la bombe atomique. Le portrait de l'objet proposé par l'exposition appuie donc sur certains points de son histoire pour en omettre d'autres. On comprend que l'objet est ici un prétexte pour parler de l'intrication entre la science et militaires et que c'est le texte de l'audioguide qui aura pour fonction d'éclairer la place de cet instrument dans le discours de l'exposition.

Conclusion du chapitre 2

La cohérence à donner pour la mise en public d'un objet est complexe. Un lieu d'exposition comme le musée des Confluences est en tension entre l'offre d'expériences, le contenu pédagogique, le développement de point de vue critique et l'implication du public à travers des dispositifs participatifs. Le texte de l'exposition a pour fonction d'informer et de communiquer mais aussi d'éclairer le public des positionnements et questionnements des concepteurs de l'établissement. Afin de travailler cette question, nous avons considéré l'ensemble des textes de l'exposition comme un corpus sur lequel nous pouvons nous livrer à une analyse de discours. Notre analyse est toujours centrée autour du cas particulier d'un objet scientifique contemporain : l'accélérateur de particules CW qui est montré dans l'exposition *Sociétés : le théâtre des hommes*.

Nous avons fait l'hypothèse que les choix des concepteurs et les difficultés de formulations du discours liés à l'accélérateur CW, pourraient se retrouver exprimés, de manière plus ou moins explicite, dans le texte écrit de l'exposition et que le texte nous laissera entrevoir les partis pris méthodologiques et épistémiques des concepteurs de l'exposition. Nous pensions aussi que la recontextualisation de l'objet, passait en partie par une mise en intrigue, jouant directement sur la compréhension de l'objet et le partage de ses significations.

Pour mettre à l'épreuve ces hypothèses, nous avons développé des outils nous permettant d'identifier quatre fonctions du texte de l'exposition :

- Fonction d'inventaire et d'appropriation
- Fonction d'ancrage et d'interprétation
- Fonction rhétorique macro-discursive
- Fonction d'énonciation

L'analyse des textes de l'ensemble des supports de l'exposition dédiés à l'accélérateur de particules CW a révélé que chacune des fonctions du texte est représentée mais de manière inégale, dans les différentes étapes du parcours de l'exposition.

Elle nous permet de voir que l'introduction, marquée par de nombreuses formes poétiques, est essentiellement présente pour marquer le point de vue de l'institution à son public, se faisant « auteur » à part entière. La partie *Echanger* est caractérisée par un texte à forte tendance rhétorique. Il est présent pour montrer la cohérence du discours de l'exposition, tout comme le texte du thème. La fonction d'ancrage, majoritaire dans le texte du sous-thème

et du cartel de l'objet, est un peu comme une fonction rhétorique mais de valeur cognitive : elle s'inscrit dans le tracé rhétorique de l'exposition mais tout en limitant les dérives possibles d'interprétations. La présence de la vidéo contribue à cette fonction. Ce sont des textes qui n'apportent pas d'informations ou de connaissances supplémentaires sur l'objet, mais qui indiquent dans quelle direction l'interprétation du visiteur est orientée. Ces textes peuvent être un support à l'interprétation de l'objet mais pas à son appropriation. La fonction d'inventaire, permettant au visiteur l'appropriation de l'objet qui est effectivement présenté, apparaît de manière peu représentative. Elle n'apparaît que dans la dernière strate du discours relatif à l'objet.

Pour qu'il y ait appropriation de l'objet par le visiteur, il faut que les deux puissent répondre d'une expérience ; expérience qui peut être vécue dans l'espace de l'exposition. Mais pour que l'objet « entre en communication » avec son spectateur, il faut qu'il puisse parler « de lui-même ». C'est la raison pour laquelle les résultats donnés par l'utilisation des outils d'analyse épistémologiques sont importants, bien que s'appliquant à un texte peu volumineux. L'analyse des textes à fonction d'ancrage et d'inventaire nous a permis de mettre en évidence que les informations sélectionnées pour permettre l'interprétation et l'appropriation de l'objet sont assez succinctes au regard de tous les critères que peut comporter une fiche d'inventaire. Cette analyse a aussi mis en évidence que les fiches d'inventaire, qu'elles soient recommandées par la législation française ou utilisées par les institutions muséales, ne correspondent pas à la réalité des objets scientifiques contemporains. Si les critères qui répondent à la fiche d'inventaire ne sont pas suffisants pour satisfaire toutes les facettes de l'objet, il est normal que nous ne puissions pas les retrouver dans le texte de l'exposition.

Nous avons ensuite recherché dans quelle mesure le texte qui accompagne l'objet dans l'exposition, parle :

- De l'objet exposé : l'accélérateur CW Phillips fabriqué en 1958, utilisé en Région Parisienne dans un fort militaire
- D'un objet du même genre : un accélérateur de type Cockcroft-Walton
- D'un objet de la même famille : un accélérateur de particules
- D'un objet du même ordre : un outil de la physique des particules
- Ou un objet du même domaine : les sciences et techniques

Cette analyse sur le niveau d'implication du texte avec l'objet présenté, montre que le concepteur de l'exposition a majoritairement choisi des propos qui traitent « des accélérateurs de ce genre » dans le parcours écrit, des informations sur les « objets de même ordre » pour le support vidéo qui accompagne l'objet. Seul l'audioguide donnera des informations qui traiteront véritablement de l'objet qui est présenté aux yeux du public. Ces résultats nous amènent à soulever deux points :

- L'exposition parle très peu de l'objet qui est réellement présenté
- L'exposition ne permet pas de distinguer les différents niveaux d'implication du texte avec l'objet.

Il nous semble que ces observations peuvent avoir plusieurs conséquences sur la transmission du message dans l'exposition :

Dans les définitions que nous avançons en même temps que la présentation de nos outils d'analyse, nous disions que l'interprétation était vue comme un « effort d'interprétation » distincte de la compréhension de l'objet, de par la volonté de « démêler » les significations de l'objet qui est présenté à soi. Pour que le visiteur s'engage dans cette action il faut qu'il y soit invité par le discours de l'exposition ou par l'objet en lui-même.

Nous supposons ici, et ce pourra faire l'objet d'une étude ultérieure, que l'objet, de par sa taille et son esthétique, attire l'œil de certains visiteurs et invite naturellement à s'interroger sur ce qu'il est ou sur la place qu'il occupe au sein de l'exposition. Seulement le fait que les informations ne parlent pas de l'objet exposé ne permettra pas au visiteur « de communiquer avec lui » et de rentrer dans une phase d'appropriation.

Qu'en est-il de l'interprétation ? Tous les éléments semblent présents pour que le visiteur « cherche à se confronter » à l'objet. Il ne sera cependant pas en moyen de faire la distinction entre les informations qui concernent l'objet devant lui, et les autres niveaux dont il n'aura probablement pas conscience. Nous pouvons alors facilement supposer que le visiteur fera une interprétation syncrétique de l'objet. Nous supposons qu'il voit l'accélérateur devant lui comme étant tout à la fois : celui qui a été inventé par Cockcroft et Walton qui a permis d'ouvrir la voie à la radiothérapie, à l'électricité nucléaire, à la bombe atomique, qu'il a été utilisé par le projet Manhattan pour faire la bombe atomique, qu'il est une des causes des grands conflits mondiaux. L'interprétation possible que peut faire le visiteur est alors très orientée et très limitée et ne permet au aucun cas la « compréhension » de l'objet (son fonctionnement par exemple). L'interprétation est plus subjective que la compréhension. Si le visiteur sera attiré par l'objet dans un premier temps, il se séparera de lui avec une

interprétation basée sur des mots dont l'emprise sociale est aujourd'hui très forte et colorée (bombe, atomique, nucléaire, conflits, etc.). Les récits construits lors de sa patrimonialisation, essentiels à la construction de sens et à son interprétation, sont aussi absents du texte de l'exposition. Les textes étudiés relèvent très peu des relations qu'a pu entretenir l'objet avec les hommes qui l'ont inventé, utilisé ou sauvé. Le discours de l'institution ne permet pas « d'humaniser » l'objet, c'est peut-être là l'une des raisons pour laquelle l'objet « ne parle pas » au public.

Il nous semblera alors naturel que le visiteur ne rentre pas dans une démarche d'appropriation et passera son chemin à la rencontre d'un autre objet de l'exposition. A l'issue d'une journée de rencontre avec d'autres objets, un objet non approprié ou interprété négativement, sera oublié.

Nous pouvons cependant nuancer notre propos en intégrant les analyses relatives à l'audioguide qui sera prochainement mis à disposition du visiteur dans l'exposition. Celui-ci se révèle en effet être un élément riche en informations sur l'objet qui est réellement présenté et permet une compréhension de l'appareil par le détail de son fonctionnement. Il ne comporte cependant qu'une phrase relative à l'objet présenté « utilisé par les services de la défense jusqu'en 1980 ». Nous supposons donc qu'il permettra au visiteur de rentrer dans un processus d'interprétation, mais probablement pas d'appropriation de l'objet.

L'analyse des versions nous renseigne sur l'évolution des attentes de l'institution face au discours à tenir face au public. Au cours de son élaboration, l'audioguide a beaucoup évolué et consacré des parts très différentes aux différentes fonctions du texte pour arriver à un produit fini dont l'objectif est de constituer en théorie une aide à l'appropriation (suivant notre grille d'analyse) de l'objet. Ces résultats sont plus des indicateurs qui nous permettent de donner de l'épaisseur à notre analyse du texte. Deux traits caractéristiques ressortent :

- la volonté de l'institution de ne plus laisser de place pour une représentation de l'objet qui diffère du point de vue de l'exposition. Les éléments qui faisaient référence à la présence d'un objet similaire à Lyon à l'IPNL, le fait qu'il ait servi de décors pour un film de science-fiction, son apparition dans des bandes dessinées, ou son pouvoir évocateur sont absents de la version finale.

- La volonté de l'institution d'augmenter très nettement la fonction d'ancrage du texte, qui traduit à notre sens une volonté de justifier/défendre la présence de cet objet dans cette exposition.

Nous avons brièvement mentionné dans la description de l'exposition, que l'accélérateur CW devait l'origine être intégré dans l'un des dispositifs « lanternes ». Le projet a été abandonné car les personnes en charge n'ont pas pu s'approprier l'objet (ou le contenu qu'on leur a donné sur lui) et ne sont donc pas arrivés à l'intégrer dans le dispositif de jeu qu'ils ont inventé pour l'exposition. Cette remarque est un indice supplémentaire sur la difficulté que pose la mise en exposition de cet objet.

Notre analyse utilise les textes donnés aux visiteurs, nos résultats concernent donc le « savoir exposé ». Ces derniers nous montrent que les marques laissés dans le registre verbal de l'exposition, traduisent effectivement de difficultés qu'ont pu rencontrer les concepteurs de l'exposition en amont de sa réalisation, lors de la transposition médiatique. Les dysfonctionnements perçus dans le discours proposé par les destinataires sont probablement le signe d'un dysfonctionnement entre la transformation d'un contenu de savoir de référence à un contenu exposable. Ces difficultés seraient selon nous causées par un savoir de référence complexe qui n'a pas permis au destinataires de s'en saisir, de l'interpréter et de se l'approprier. Il nous semble pertinent de dire que pour transmettre un message, surtout si on a la charge de le reformuler, ce qui est le cas dans les registres de l'exposition (registre des objets, registre de la mise en scène, registre verbal) il faut déjà pouvoir l'interpréter soi-même. Les concepteurs ont-ils eu l'occasion d'interpréter cet objet qu'ils devaient mettre en scène ? Ont-ils pu se l'approprier ?

Si on ne partage pas les significations de l'objet et qu'on ne le comprend, il semble en effet difficile de pouvoir le re-contextualiser dans l'exposition sans difficultés.

Chapitre 3 : les autres supports de valorisation de l'accélérateur

Introduction du chapitre 3

Marianne Chouteau et Céline Nguyen (Chouteau & Nguyen, 2011) nous rappellent que nous pouvons entendre l'appropriation (d'un objet technique) comme une construction sociale qui varie en fonction de l'identité de ses usagers mais qui peut aussi devenir elle-même productrice d'identité. S'approprier un objet dépasse le cadre de la manipulation pour devenir une confrontation cognitive avec l'objet et ses représentations et qui dans le cadre d'une exposition passe aussi par une confrontation physique avec l'objet. S'approprier s'est faire sien et être affecté par une expérience. D'après une définition donnée par Breton & Proulx (2002), Chouteau et Nguyen expliquent qu'il y a appropriation d'un objet technique lorsque trois « conditions sociales » sont réunies :

« La première est la connaissance : celle du fonctionnement général de l'appareil et de ses fonctionnalités. La seconde est l'intégration quotidienne et créative de l'objet technique. La dernière condition est celle d'un possible détournement d'usage ou d'une réinvention pouvant faire de l'utilisateur un acteur créatif » (Chouteau & Nguyen, 2011).

Nous pouvons ici recouper cette définition de l'appropriation avec celle exploitée dans le chapitre précédent, en considérant que l'appropriation n'est possible que si le visiteur peut prendre, même de manière minimale, connaissance des critères d'inventaire de l'objet (connaissance de l'objet). L'intégration quotidienne d'un accélérateur de particules se fait en second lieu par la conscience de la portée de ses usages et utilisations sur notre vie quotidienne. Retrouver des médias artistiques dans lequel l'usage de l'objet est détourné est donc aussi une partie intégrante de son appropriation.

Le visiteur de l'exposition a la capacité d'attribuer une signification aux objets culturels et de s'en construire une interprétation en rapport avec son identité propre. Cette forme d'appropriation est au cœur de l'interprétation de l'expérience vécue avec cet objet (à la fois physique et cognitive par le biais du récit), par l'acte même d'interpréter. L'école de pensée émergente au Québec appelée *les nouvelles théories de la lecture et de la spectature* (Dumais, 2009) décrit l'appropriation comme un effort d'interprétation qui résulte d'une

tension entre : être affecté par l'expérience d'un objet et lui attribuer une signification. Mais s'approprier un objet c'est aussi le concevoir de manière personnelle et subjective, avec une orientation qui guide vers une part personnelle de « croyances auxquelles on adhère » (Dumais, 2009).

Ces « croyances auxquelles on adhère » que nous avons envie d'appeler « représentations¹³⁶ » font agir et réagir en fonction de l'imagination, de l'esprit critique, des sentiments, des habitudes et des conceptions culturelles établies. Comme l'explique Dumais :

« Tous les signes¹³⁷ ne nous fascinent pas, et même s'ils s'imposent à nous, on peut très bien leur porter une attention nonchalante ou empreinte d'indifférence, n'ayant pas l'impression qu'ils sont pour nous des énigmes, au mieux ils sont des anomalies qui ne peuvent tout simplement pas être comprises dans le paradigme qui dirige l'interprétation » (Dumais, 2009).

« L'appropriation n'en demeure pas moins surtout un effort d'interprétation, c'est du moins en ce moment que l'on peut réellement en prendre conscience, quand la figure [l'objet] se pose en énigme et que l'on [le visiteur] s'engage dans l'enquête, dans la quête de sens. Un aller-retour de l'interprétation à la compréhension assure une certaine sécurité, un repos, une pause pour redoubler d'effort, produire quelques errances contemplatives et conjectures à valider » (Dumais, 2009)

Les analyses conduites dans le chapitre précédent ont révélé que dans le cas de l'accélérateur CW exposé au musée des Confluences, il y avait peu d'éléments du discours narratif de l'exposition qui permettaient réellement au visiteur de le contextualiser, de l'interpréter et de se l'approprier. Par ailleurs, nous avons vu apparaître dans les différentes versions proposées de l'audioguide, des phrases rapprochant l'accélérateur de la science-fiction et des bandes dessinées. Ces éléments ne figurent pas dans la version finale de l'audioguide, cependant ils sont inscrits dans la fiche d'inventaire de l'accélérateur. Nous avons également vu que l'accélérateur CW de l'IPNL a servi de décor pour un film de

¹³⁶ En didactique, le concept de « représentation » est l'objet de beaucoup de recherches. Dans le cadre de la théorie des situations didactiques de Brousseau, il désigne l'action de « rendre présent à nouveau » et son résultat (Brousseau, 2011). Dans cette définition on admet qu'une représentation comporte trois objets : un objet représenté (qui appartient à un univers), un objet représentant (qui appartient à un autre univers) qui est souvent appelé « représentation » et une certaine relation qui relie le représentant au représenté. Cette relation entre les deux univers différents est aussi appelée « représentation » (Brousseau, 2011). Pour d'autres didacticiens (Astolfi, Darot, Ginsburger-Vogel, & Toussaint, 2012a), il désigne aussi les « conceptions » d'un sujet, déjà-là au moment de l'enseignement (ou de la médiation) d'une notion, susceptible d'influencer l'apprentissage ou dans notre cas l'appropriation et l'interprétation. Car ce « déjà connu » - même s'il est faux - est organisé chez l'élève ou le visiteur, en un système explicatif, personnel et fonctionnel, qui n'est pas nécessairement exprimé... (Astolfi et al., 2012a).

¹³⁷ Dumais travaille sur une réappropriation des travaux de Peirce. En ce sens, le terme *signe* signifie ici : « tout ce qui détermine quelque chose d'autre (son interprétant) à renvoyer à un objet auquel lui-même renvoie (son objet) de la même manière, l'interprétant devenant à son tour un signe et ainsi de suite » (Deledalle & Peirce, 1978).

science-fiction dans les années 1980. Dans le film, le générateur de haute tension permet de traduire un message envoyé par les extra-terrestres. D'autre part, l'étude scientifique de l'objet nous montre aussi qu'il a servi à vérifier expérimentalement la théorie de l'effet tunnel de Gamow (1928) et l'équivalence entre la masse et l'énergie formalisée par Einstein (1905).

Or depuis 2011, ces notions de physique contemporaine apparaissent dans les programmes d'enseignement :

« La longueur des précisions relatives à chacun des thèmes de cette partie n'est pas indicative de la durée à consacrer à leur enseignement, mais vise à apporter des précisions supplémentaires sur les notions les plus nouvelles de physique contemporaine (relativité, physique quantique) » (Ministère de l'Education nationale, 2011, sect. Annexe).

Dès lors, nous nous sommes demandés quels pourraient être les autres contextes de valorisation (ou d'utilisation de l'image) de l'accélérateur CW qui pourraient jouer un rôle dans l'appropriation et l'interprétation de l'objet, par exemple lors d'une visite dans un musée. Quelle image de l'objet est véhiculée à travers les médias artistiques ou l'éducation nationale ? En quoi ces images données de l'objet peuvent interférer avec la perception réelle de cet objet ?

L'objectif de cette partie est donc d'observer dans ces autres contextes comment l'accélérateur Cockcroft-Walton est montré, analyser comment il est valorisé et si cette monstration peut avoir une influence sur l'interprétation et l'appropriation de l'objet (dans un contexte de références culturelles francophones) par exemple, lorsque le visiteur le rencontre au musée. Nous adoptons un angle d'analyse nouveau qui souligne la dimension iconique¹³⁸ et graphique dans les représentations de l'accélérateur CW, par rapport à la présentation physique et symbolique¹³⁹ de l'objet.

Appartenant à un laboratoire de didactique, nous nous sommes tournés naturellement vers les manuels scolaires, puis vers les médias artistiques. La nature différente de ces supports nous a amené à utiliser des approches d'analyses distinctes. Mais dans les deux cas,

¹³⁸ Nous entendons ici le terme d'icône comme le définit le philosophe Charles Sanders Peirce (1839 – 1914). Les travaux de Peirce nous aident ici à définir les différents types de rapports que le signe entretient avec la "chose dont il est le signe"(Peirce, 1931). En ce sens, un *icône* est un signe qui renvoie à son objet (réel ou non) parce qu'il lui ressemble (analogie), (Everaert-Desmedt, 1990).

¹³⁹ Toujours grâce aux travaux de Peirce mais en s'aidant des travaux des sémiologues francophones, nous définissons le *symbole* comme un signe qui renvoie à son objet en vertu d'une règle, d'une loi ou d'une association d'idées générales. Si nous reprenons l'exemple donné par Everaert-Desmedt (1990), un ticket d'entrée, un mot de passe, un billet de 20 euros... sont des symboles.

ces analyses nous permettent de souligner l'importance des dimensions iconique et graphique dans les représentations de l'appareil.

La partie consacrée à la valorisation de l'accélérateur CW dans un manuel de Terminale scientifique fait partie d'une étude plus large qui a fait l'objet d'une communication et d'une publication (Derolez, Lautesse, & Khantine-Langlois, 2014). Celle-ci a été menée sur l'ensemble des cinq manuels scolaires de Terminale scientifique (enseignement de physique-chimie, programme 2012) et permet de déterminer la place qui est donnée aux objets de patrimoine dans les lignes de ces supports d'enseignement. Nous analysons les dispositifs de mise en page, les formats de représentation graphique et les postures de commentaires des images¹⁴⁰, et envisageons la « place » qui est donnée aux objets de patrimoine, anciens ou contemporains, dans les cinq manuels scolaires de physique disponibles chez les éditeurs. Nous menons ensuite une analyse de cas pour deux objets caractéristiques : le miroir tournant à turbine de Foucault (représentant les objets de patrimoine anciens) et l'accélérateur de particules de type Cockcroft-Walton (représentant les objets de patrimoine contemporain).

Pour les médias artistiques, l'approche proposée utilise des outils et cadres relativement nouveaux dans la recherche en didactique des sciences : l'approche par les « Mondes possibles ». Nous utiliserons cette théorie empruntée à la philosophie (Lewis, 1978) pour questionner la capacité des récits de fiction de ces médias à interférer avec l'interprétation qui peut être faite d'un accélérateur de particules de type Cockcroft-Walton. David Lewis propose en effet de donner un statut d'existence concrète aux « mondes possibles » dont notre monde réel fait partie, mais s'en distingue par le fait qu'on est dedans et que nous pouvons « l'actualiser ».

¹⁴⁰ Quand nous parlons ici d'images, ce sont essentiellement des photographies des outils de la science. Mais comme nous le suggère les lectures analytiques des travaux du philosophe Charles Sanders Peirce (Esquenazi, 1997), il faudrait arriver à dépasser ce concept flou et fourre-tout d'image, puisqu'une même image peut avoir des significations différentes pour la personne qui la regarde et être elle-même de nature bien différente. En ce sens, nos images sont plus des icônes de l'accélérateur CW.

3.1 L'image des outils de la science dans les manuels scolaires en classe de Terminale scientifique

Lors d'une première étude qui portait sur la mise en contexte des objets du patrimoine scientifique dans les manuels scolaires de Terminale scientifique (programmes 2012) nous avons rencontré un accélérateur de type Cockcroft-Walton chez un des éditeurs (Belin). Engagée au début du travail de thèse, cette réflexion portait plus généralement sur l'apport du patrimoine scientifique pour l'enseignement et sa contextualisation. L'ensemble de l'étude a fait l'objet d'une communication dans un colloque et d'un article dans les actes de la rencontre (Derolez et al., 2014). Nous présentons ici la contextualisation de cette étude et plus particulièrement les résultats obtenus pour l'accélérateur de particules Cockcroft-Walton.

3.1.1 Contextualisation et perspectives du bulletin officiel

Comme le disent Ferriot et Lourenço, nos universités, lycées, collèges détiennent une grande part de notre patrimoine scientifique.

« Toutefois, pour plusieurs raisons, cet héritage important et appréciable n'a pas bénéficié de l'attention et de la reconnaissance qu'il mérite, et en outre, il est resté inaccessible au grand public pour une large part. » (Ferriot & Lourenço, 2004)

En parcourant un manuel scolaire de physique de Terminale, on s'aperçoit rapidement, comme le constataient déjà les auteurs du livre « Enseigner la physique » (Viennot & Aubert, 2002) que les images utilisées sont de natures différentes et représentent parfois des objets mal identifiés. L'évolution du rôle des images dans la communication scientifique d'une discipline, qui comme la physique, a changé ses objets et ses méthodes, en fait un sujet d'actualité.

A partir de l'analyse des dispositifs de mise en page, des formats de représentation graphique et des postures de commentaire des images, notions explicitées dans les travaux de Mendibil (Mendibil, 2008) en iconographie géographique, nous envisageons la « place » qu'occupent les objets de patrimoine, anciens ou contemporains, dans cinq manuels scolaires de physique. Nous proposons ensuite une étude spécifique autour de deux exemples caractéristiques issus de «Belin» (programme 2012) : le miroir tournant à turbine de Foucault,

objet que l'on peut trouver dans un musée ou dans les collections historiques des lycées ; et un accélérateur de particules de type Cockcroft-Walton, appareil de la recherche en physique nucléaire. Cette étude s'appuie à la fois sur une réflexion propre à l'aspect patrimoine dans les ressources pour l'enseignement, mais aussi sur le processus de patrimonialisation d'objets scientifiques.

Dans le préambule du cycle de Terminale en physique-chimie de la série scientifique (2010), sont mentionnés dans les modalités de mise en œuvre de l'enseignement : la démarche scientifique, l'approche expérimentale, la mise en perspective historique et le lien avec les autres disciplines. Dans la continuité des classes de seconde et de première, cette perspective historique invite :

« L'enseignant [...] à l'utiliser comme démarche didactique destinée à mettre la science en contexte et en culture. Faire connaître à l'élève l'histoire de la construction de la connaissance scientifique est source d'inspiration pour la liberté intellectuelle, l'esprit critique et la volonté de persévérer. Elle est également une école d'humilité et de patience dans la mesure où cette histoire s'est accompagnée d'un impressionnant cortège d'hypothèses fausses, de notions erronées autant que de controverses passionnées. » (Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, 2010b)

Les ressources dont l'enseignant dispose, pour mettre en œuvre une telle approche historique ne se limitent pas à des ressources manuscrites comme le soulignent Fatet (2005) et Karim (2011). Utilisé par exemple dans le cadre de répliques d'expériences historiques, l'instrument scientifique est le témoin d'une pratique, de la matérialité d'une mesure, de l'évolution de la technique, mais aussi d'une méthode de fabrication, d'entretien des matériaux, ou encore d'un mouvement artistique. L'objet de patrimoine scientifique semble commencer à être l'objet d'une attention particulière, mais comme une notion toujours vague et sans trop savoir ce qu'il est possible d'en faire. Paolo Brenni, dans le cas des instruments anciens en donne un exemple d'utilisation :

« Enfin des recherches sur les instruments de démonstration du XVIII^e et du XIX^e siècle peuvent contribuer à améliorer la didactique scientifique, aujourd'hui trop souvent dépendante des boîtes noires électroniques. Enfin l'étude de collections scientifiques du passé nous permet de mieux percevoir le rôle joué par les instruments non seulement dans la transmission des pratiques scientifiques et dans le développement des sciences expérimentales mais aussi dans la diffusion des théories. » (Brenni, 1997)

L'objet de patrimoine scientifique interroge aussi les pratiques de conservation et de restauration, bien plus communes pour les objets d'art. Le Bulletin officiel donne d'ailleurs une piste d'interdisciplinarité entre sciences physiques et arts :

« les sciences physiques et chimiques apportent également leur contribution à l'enseignement de l'histoire des arts en soulignant les relations entre l'art, la science et la technique, notamment dans les rapports de l'art avec l'innovation et la démarche scientifiques, l'analyse et la restauration des œuvres ou dans le discours tenu par l'art sur les sciences et les techniques. En retour, les arts peuvent fournir des objets d'étude motivants pour les élèves. » (Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, 2010b)

Présentées de la sorte, nous comprenons bien que les sciences physiques nourrissent la réflexion des artistes, apportent de nouveaux instruments, de nouveaux sujets, de nouveaux outils d'expertises, ou encore de nouvelles méthodes ou techniques. Les arts sont présentés ici comme « pouvant être un objet d'étude (plus ?) motivant pour les élèves », sans penser que l'objet de patrimoine scientifique peut être assimilé à une œuvre motivante¹⁴¹.

Dans la première partie de ce chapitre, notre recherche sur les manuels scolaires constitue une étude exploratoire des illustrations des outils de la science dans ces cinq manuels de physique de Terminale scientifique (programme 2012). Notre questionnement vise à comprendre comment les objets scientifiques sont traités dans ces manuels. Sachant que, comme le soulignent Pasho et Kisi :

« l'image a été toujours considérée comme un instrument privilégié du codage de l'information figurative se plaçant au centre des stratégies cognitives pour optimiser les conditions de réception et de mémorisation de cette information » (Pasho & Kisi, 2012)

Nous allons analyser la place physique qu'occupent les outils de la science et nous étudierons la fonction de ces objets de patrimoine.

Le corpus utilisé pour cette étude est constitué d'une part de manuels de physique de la filière scientifique, pour les élèves de Terminale chez les cinq éditeurs: Éditions Belin (2012), Éditions Bordas (2012), Éditions Hatier (2012), Éditions Hachette (2012), Éditions Nathan (2012). D'autre part, les ressources dont nous disposons sur le plan patrimonial

¹⁴¹ L'école de dessin lyonnaise Emile Cohl a par ailleurs manifesté un intérêt certain pour les objets scientifiques sauvegardés et référencés par la responsable des collections de physique de l'Université Lyon 1. Les dessins réalisés à l'occasion de plusieurs rencontres feront l'objet d'une publication artistique et d'une valorisation pérenne dans le cursus de formation de l'école.

comprennent la base d'inventaire du Musée des Confluences (Flora) et les fiches d'inventaire du Musée des Arts et Métiers du CNAM.

3.1.2 Méthodologie d'analyse

Dans cette étude, nous nous attacherons aux outils de la science¹⁴² que nous distinguons comme étant des objets qui peuvent être utiles dans une expérimentation¹⁴³ et que l'on est susceptible de retrouver dans un laboratoire de recherche (en dehors du petit matériel commun type résistance, multimètres, etc.). Nous considérons que ces outils de la science font partie du patrimoine scientifique. Il est intéressant d'estimer la place qu'occupent les images correspondant aux outils de la science dans les différents manuels pour voir plus précisément si elles sont là pour représenter quelque chose et/ou pour faire comprendre quelque chose.

Nous faisons ici le choix de ne considérer que les formes qui mettent en scène l'objet de patrimoine comme sujet principal : photographies, images de synthèse ou gravures (représentations iconiques de l'objet). Nous ne prendrons donc pas en compte les schémas de fonctionnement, les dessins et les objets qui figurent en arrière-plan dans une illustration. Nous n'envisagerons que les chapitres communs entre les manuels réservés à la physique (Éditions Belin, 2012) et les manuels de physique-chimie (les quatre autres éditions). La grille d'analyse proposée est construite à partir du recensement systématique des critères relevant du système iconographique¹⁴⁴ de Mendibil (2008) pour les grilles n°1 et n°3 ; et de Seguin (1989) pour la grille n°2. Dans ce système, nous considérons comme premier critère la disposition des images dans les différents espaces de mise en page (grille n°1, Tableau 23). Comme Mendibil l'explique, la répétition ou la variation de plusieurs dispositifs de mise en page dans l'espace d'un livre résultent d'une stratégie illustrative globale. Le terme anglophone « *imagement* » désigne ces procédures visant à sélectionner, trier, classer et

¹⁴² Comme définis par Paolo Brenni dans le chapitre 1 de cette partie.

¹⁴³ Nous entendons par là un objet matériel qui fait quelque chose qui devient un outil « pour faire de la science », pour expérimenter la science. Comme « l'objet » d'une connaissance scientifique, l'objet scientifique que nous voulons appeler « outils de la science » pour plus de clarté, est le fruit d'une construction complexe et évolutive. Par exemple, un objet qui porte le même nom peut être construit différemment en fonction de l'époque à laquelle on le regarde. Rappelons-nous que Gaston Bachelard (1882 – 1962) a mis en évidence que la science « réalise ses objets sans jamais les trouver tout à fait, elle ne correspond pas à un monde à décrire, mais à un monde à construire » (Bachelard, 1983) et que Georges Canguilhem (1904 – 1995) spécifia que « la nature n'est pas elle-même découpée et répartie en objet et phénomènes scientifiques. C'est la science qui constitue son objet » (Canguilhem, 1983).

¹⁴⁴ Mendibil définit le terme de *système iconographique* dans sa thèse. Il le désigne comme « une manière particulière - durable et devenue cohérente par l'usage, sa répétition et son institutionnalisation - de faire la série des choix contribuant à la production et à la diffusion des images mobilisées par une discipline scientifique dans l'exercice de sa fonction sociale » (Mendibil, 1997).

mettre en ordre des images selon des logiques narratives et des finalités plus ou moins explicites. Chaque maison d'édition a son propre vocabulaire, mais de manière générale nous distinguons :

Tableau 23 : Critères iconographiques, grille n°1, les dispositifs de mise en page.

Dispositif de mise en page	Les pages d'introduction de partie ou de chapitre
	L'activité documentaire ou expérimentale ou de modélisation
	Le cours
	Les exercices d'application ou de synthèse ou d'entraînement ou type BAC
	La partie science & société ou métier ou actualité

Ici, l'étude de « l'imagement » apporte une donnée quantitative sur la proportion des différents emplacements dédiés à l'image dans le manuel. Le deuxième critère porte sur le format de l'illustration (grille n°2, Tableau 24). Comme le précise Seguin :

« Les illustrations doivent dépendre fidèlement et expliquer ce que le texte décrit. Elles doivent être claires et précises et ne pas donner lieu à des ambiguïtés dans leur lecture » (Seguin, 1989)

Nous porterons attention à l'explicitation du sujet, au format choisi, à l'échelle, et à la netteté. Nous regarderons également si la photographie présentée reste plaisante à regarder (agréable, singulière, humoristique, etc.), en dehors de la beauté de l'objet lui-même ; ceci se manifeste ici par une prise de vue originale, ou un traitement original de l'image.

Tableau 24 : Critères iconographiques, grille n°2, le format.

Format	L'objet concerné est-il facilement identifiable ?
	L'objet représenté est-il entier?
	Une information sur l'échelle est-elle présente?
	L'illustration est-elle nette?
	L'image est-elle plaisante à regarder?

Tableau 25 : Critères iconographiques, grille n°3, les modalités d'association.

Modalités d'association	Légende
	Titre
	Schéma(s)
	Question(s)
	Texte(s)
	Source(s)

Le troisième critère porte sur les modalités d'association des images (grille n°3, tableau 25). Nous évaluerons la présence ou non d'une légende, d'un titre, d'un schéma, de questions ou d'un texte. L'objectif de cette partie de la grille est d'apprécier le contexte de l'objet et d'obtenir des premiers éléments sur le(s) lien(s) qu'établit l'objet avec le contenu. Enfin, l'analyse des caractéristiques patrimoniales s'inspire pour la majeure partie des critères d'inventaire réglementaires en muséologie (grille n°4, Tableau 26). Les critères sélectionnés sont les plus incontournables et les plus pertinents pour le patrimoine scientifique (fiche d'inventaire Flora du musée des Confluences et fiche d'inventaire du Musée des Arts et Métiers).

Tableau 26 : Critères patrimoniaux, grille n°4, les principaux critères patrimoniaux.

Critères patrimoniaux	Nom de l'objet	Nom du fabricant	Localisation
	Domaine d'utilisation	Date de fabrication	Utilisation
	Nom de l'inventeur	Période d'utilisation	Description
	Date d'invention	Utilisateur(s)	

Le but de cette grille est de noter la présence ou non de ces informations dans les différentes parties qui forment l'environnement de l'image. Ces différentes grilles d'analyses nous permettront ensuite de nous intéresser à l'identification des interactions entre l'image et le contenu en nous attachant notamment à la cohérence du contenu. Ce travail est rendu possible par l'approche purement disciplinaire de l'objet, historique et épistémologique que nous avons mené en amont.

3.1.3 Recueil des données et discussions

Dans un premier temps nous avons comptabilisé les outils de la science, suivant les critères explicités plus haut. Les résultats sont donnés dans le tableau suivant (Tableau 27) :

Tableau 27 : recensement du nombre d'illustrations dans les manuels, pour chacun des éditeurs.

Editeurs	Belin	Bordas	Hachette	Hatier	Nathan
Nombre d'illustrations (photo, gravure, image de synthèse)	254	317	256	247	351
Nombre d'illustrations des outils de la science	27	34	27	31	27

Le nombre d'illustrations dans les chapitres de physique, correspondant aux outils de la science, est relativement faible par rapport au nombre total, tous types confondus (voir Tableau 27). Globalement, on comptabilise environ 10% d'illustrations patrimoniales pour chacune des cinq éditions. L'utilisation de la grille n°1 permet de présenter de manière quantitative la place physique qu'occupent ces objets dans le manuel concerné (voir Figure 93). La partie « *science et société* ou *métier* ou *actualité* » ne figure que lorsqu'elle fait l'objet d'une partie qui est véritablement distincte des autres dans le manuel. C'est le cas pour « Belin » et « Hatier » ; pour les autres éditions, les encarts réservés aux sciences et sociétés ou histoire des sciences sont indistincts du reste du contenu. Notons que « Belin » et « Hatier » ont également un contenu explicitement titré *histoire des sciences et/ou de culture scientifique*.

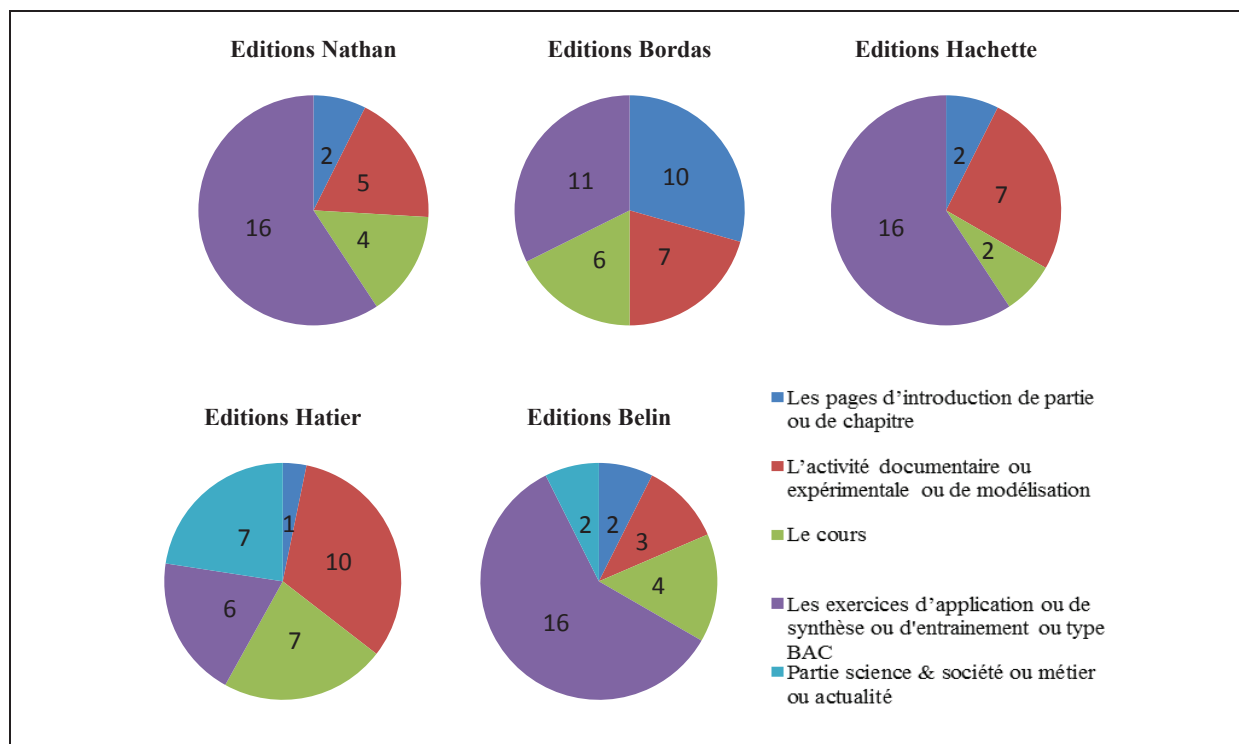


Figure 93 : Restitution sous forme de graphique des données produites par la grille n°1, pour chacun des éditeurs.

Cette première lecture des grilles nous montre que la plupart des objets sont utilisés pour illustrer la partie « exercices » des manuels. Cela se voit très nettement chez « Nathan » et « Belin » pour qui les quatre autres items se répartissent en proportions pratiquement égales et faibles par rapport à l’item majoritaire. Cette tendance est moins forte chez « Bordas » pour qui les utilisations sont presque identiques ; et inversée chez « Hatier » pour qui la majorité des objets se retrouve dans les activités. Dans tous les cas, les objets qui nous intéressent sont montrés dans des parties où l’élève est susceptible d’utiliser ses connaissances, d’être en activité. Pour la suite de l’étude, nous focaliserons notre analyse sur le manuel des Éditions Belin (2012), qui a des caractéristiques analogues aux autres, mais utilise un outil de la science qui nous intéresse tout particulièrement : le Cockcroft-Walton. L’utilisation de la deuxième grille d’analyse, pour le « Belin », conduit aux résultats suivants donnés dans le Tableau 28 :

Tableau 28 : Restitution des résultats de la grille 2 des critères iconographiques, appliquée aux 27 objets sélectionnés dans le manuel Belin (Éditions Belin, 2012).

L'objet concerné est-il facilement identifiable?	L'objet représenté est-il entier?	Une information sur l'échelle est-elle présente?	L'illustration est-elle nette?	L'image est-elle plaisante à regarder?
22 Oui (81%) 5 Non	24 Oui <i>a priori</i> (89%) 3 Non	7 Oui 20 Non (74%)	26 Oui (96%) 1 Non	6 Oui (22%) 17 Oui plutôt (63%) 4 Pas tellement

De manière générale, l'objet est facilement identifiable (81% des cas), les illustrations sont nettes (96% des cas), de bonne qualité et plaisantes à regarder (85% des cas). Parmi ces 85%, il y a 35% d'images très plaisantes, qui semblent être sélectionnées pour leur point de vue artistique (colorisation, perspective, temps de pose). La qualité esthétique semble un critère important pour les concepteurs du manuel. Nous notons aussi que si seulement 3 objets ne sont pas complets, seule une étude plus approfondie des 21 autres permettrait de savoir s'ils le sont véritablement. La principale information manquante est celle de l'échelle dans 74% des cas. Sur sept cas, l'échelle est toujours le fait d'un élément extérieur qui donne une information approximative, mais jamais une véritable échelle numérique. L'utilisation de la troisième grille d'analyse nous montre (voir Figure 94) que les objets sont majoritairement accompagnés d'un texte, mais très peu accompagnés d'un schéma explicatif qui permette de décrypter l'image.

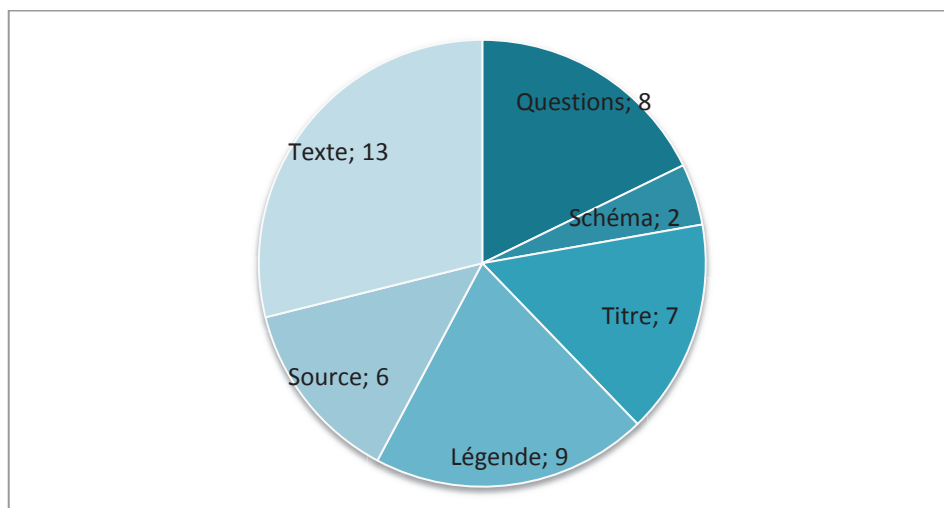


Figure 94 : Restitution des résultats de la grille 3 des critères iconographiques, appliquée aux 27 objets sélectionnés dans le manuel Belin (Éditions Belin, 2012).

Ces résultats ne sont pas exclusifs et produisent un certain nombre de recouvrements intéressants. Par exemple, 11 images sur les 27, n'ont ni titre, ni légende, soit 40%. Dans 44% des cas, il n'y a que l'un des modules d'association (titre, texte, schéma, légende, source, ou question) dans 29% des cas, deux d'entre eux, dans 18% des cas, trois ou quatre et dans 7% des cas, aucun. Aucune tendance ne se dégage au niveau des associations de modules (13 différentes). Notons seulement que 3 objets n'ont que des questions, et trois autres que des textes. L'analyse de ces premières grilles nous montre que les outils de science sont peu présents dans les illustrations et que les critères esthétiques sont majoritairement représentés. L'éditeur paraît être sensible au cadrage, à la netteté, à la prise de vue ; mais beaucoup moins aux données qui permettent de mettre l'image en contexte : l'échelle, le titre, la légende, les sources, etc. De manière à poursuivre plus précisément cette analyse, nous nous sommes attachés plus particulièrement aux cas de deux objets, incarnant deux situations différentes du manuel :

- Le premier objet représente le cas majoritaire des illustrations d'exercices. Il n'est environné que de questions. La photographie est nette, mais le filtre antireflet qui semble avoir été utilisé, lui confère une qualité moyenne et il n'y a pas d'échelle : il s'agit cette fois-ci du miroir tournant à turbine de Foucault (Éditions Belin, 2012, p. 194, Figure 3). Le miroir tournant à turbine de Foucault est un appareil de paillasse du XIXe, donc un objet transportable, ancien. C'est typiquement un objet de musée, qui est conservé au Musée des Arts et Métiers de Paris ou à l'Observatoire de Paris. On pourrait également le trouver dans les armoires des lycées, puisqu'il était vendu par la maison Ducretet dans le catalogue de

1905 (Ducretet, 1905). Les expériences faites avec cet instrument peuvent être reproduites en classe ou en laboratoire avec un matériel plus récent, mais la réplique d'expérience n'est pas exclue.

- Le second représente le cas minoritaire des illustrations pour les activités documentaires. En revanche, il est accompagné d'un texte, d'un schéma, de deux questions et d'un titre ; la photographie est d'une qualité esthétique incontestable, avec un personnage donnant l'échelle : il s'agit de l'accélérateur de particules de Cockcroft et Walton (Éditions Belin, 2012, p. 137, Figure 5). L'autre objet est un grand instrument (7m de hauteur) du XX^e siècle utilisé en physique des particules, donc plus récent et d'une technologie différente. Présent essentiellement dans les laboratoires de recherche, il ne peut bien entendu pas être utilisé en classe¹⁴⁵.

Ces deux objets incarnent une physique complexe : la mesure de la vitesse de la lumière pour l'un, introduisant le chapitre de la relativité ; la génération d'une haute tension pour l'autre, pour l'étude des interactions fondamentales, grâce à des collisions de particules. Nous présentons ici les résultats obtenus pour l'objet qui est au cœur de notre travail : l'accélérateur de particules Cockcroft-Walton.

Suite de l'analyse : étude de cas

Notre attention se porte donc sur l'image de l'accélérateur de particules CW présenté page 137 du manuel scolaire des éditions Belin (voir Figure 95), pour l'enseignement de la physique en Terminale scientifique (Éditions Belin, 2012). Nous commençons par regarder uniquement l'image et son environnement proche dans la page (titre de la photographie et légende).

¹⁴⁵ Notons cependant que lors des ateliers de physique présentés par Françoise Langlois et Gérard Panczer (juin 2016) à la bibliothèque universitaire scientifique du site de la Doua, une réplique d'expérience a été réalisée à partir du principe du générateur de haute tension Cockcroft-Walton. Un montage électrique reprenant exactement le principe de la montée en tension de CW a pu être fait avec des composants électroniques récents. Le générateur de haute tension, de la taille d'une règle de 40 cm, a pu transformer une tension alternative de 120 V en une tension continue de 4600 V.



Figure 95 : Image de l'accélérateur de particules donnée dans le manuel scolaire Belin pour l'enseignement de la physique en Terminale scientifique, Document 5, p137 (Éditions Belin, 2012).

La photo est titrée « le premier accélérateur haute-tension » et légendée « générateur haute-tension de type Cockcroft et Walton ». Ces deux éléments donnent donc le nom de l'objet (bien qu'il ne soit pas évident de savoir *a priori* si c'est un accélérateur ou un générateur et si il y a une différence entre les deux) et ses inventeurs. Dans la première utilisation de la grille, nous avons hésité à considérer le critère « utilisation » comme étant présent, à travers le nom de l'objet « générateur haute-tension ». Mais aujourd'hui il nous semble évident que le nom donné ici ne permet pas de savoir si c'est un générateur qui fonctionne avec des hautes tensions ou qui produit des hautes tensions. D'autre part la photographie ne représente pas uniquement le générateur de hautes tensions mais bien une partie de l'accélérateur de particules qui est plus complète que juste une cascade de haute tension.

En appliquant la grille d'analyse présentée précédemment (grille n°4) nous obtenons les résultats répertoriés dans le Tableau 29 :

Tableau 29 : restitution des résultats de l'application de la grille d'analyse n°4 pour l'accélérateur de particules Cockcroft-Walton présenté dans le manuel scolaire Belin (Éditions Belin, 2012).

Critères Patrimoniaux	Nom de l'objet	Oui	
	Domaine d'utilisation		Non
	Nom de l'inventeur	Oui	
	Date d'invention		Non
	Nom du fabricant		Non
	Date de fabrication		Non
	Période d'utilisation		Non
	Utilisateur(s)		Non
	Localisation		Non
	Utilisation		Non
	Description		Non

La lecture de cette grille nous montre que la plupart des critères patrimoniaux que nous recherchons sont manquants. Au final, il y a relativement peu de détails relatifs à l'objet présenté. Le titre et la légende donnent des informations qui peuvent porter à confusion sur le nom et l'identification de l'objet.

Nous pouvons profiter de cette analyse portant uniquement sur l'environnement de l'image pour regarder plus précisément ce qu'elle nous montre (contenu). L'objet principal est un instrument qui semble être composé de deux parties principales, une à droite et une à gauche. Une personne avec un casque touche une sphère de la partie de droite. La photographie est très colorée avec des tons de vert de rose et de bleu. Bien que le titre laisserait penser que cette photographie représente le premier accélérateur de particules de type Cockcroft-Walton, il s'agit ici d'un instrument beaucoup plus contemporain. C'est en

effet un accélérateur de type Cockcroft-Walton installé dans le Fermi National Accelerator Laboratory (Fermi Lab) situé à Batavia, près de Chicago, dans l'État de Illinois aux États-Unis. Il fait partie des instruments que nous avons référencés dans la première partie. Celui-ci a été construit bien après 1932 et fut arrêté en 2012. L'instrument des expériences originelles n'était pas fait dans les mêmes matériaux et n'avait pas cette configuration. Si notre regard d'enseignant nous fait vite penser à une photographie teintée volontairement, l'étudiant qui n'a certainement jamais vu cet instrument peut penser que la génération d'une haute tension, l'accélération des particules ou la collision de particules, produit un effluve coloré. Les problèmes de colorisation des images fournies par les appareils scientifiques ont déjà été explicités, notamment en didactique des sciences de la vie et de la terre par les travaux de thèse de Véronique Maffeo (1999). Les études concluent que l'utilisation de couleurs peut provoquer des obstacles à la compréhension et à l'interprétation des phénomènes scientifiques. Cette photographie se retrouve facilement sur internet. C'est de loin la plus esthétique des vues d'accélérateurs de particules et celle-ci se trouve sur la banque d'images d'un laboratoire américain¹⁴⁶.



Figure 96 : Photographie du même générateur de haute tension Cockcroft-Walton, 01/26/1993, photographe : Reidar Hahn. Fermilab, États-Unis.

⁷ Fermilab <http://www.fnal.gov/>

L'appareil sous sa lumière naturelle est peut-être moins séduisant (voir Figure 96 : Photographie du même générateur de haute tension Cockcroft-Walton, 01/26/1993, photographe : Reidar Hahn. Fermilab, États-Unis.), quoique celui-ci, de par ses colonnes bleues et son lustrage soit l'un des plus « beaux » accélérateurs de type Cockcroft-Walton dont on puisse retrouver l'image. En général, les colonnes sont noires et les sphères grises. La photographie non teintée permet également de remarquer beaucoup plus nettement que c'est une femme qui pose à côté de l'objet. Elle porte un casque et des gants, mais n'est pas dans une attitude de « manipulatrice » de l'instrument. Si la présence d'une personne donne une échelle approximative de l'instrument, l'observateur n'a pas d'éléments lui permettant de voir que l'objet n'est pas entier et qu'il s'agit en fait que d'une partie de l'accélérateur. En effet, derrière la partie carrée (source de protons) on devine la suite de l'instrument, qui traverse le mur et donne dans une autre salle, puisque cette partie est en fait au tout début (préinjecteur) d'un accélérateur beaucoup plus conséquent (Tévatron) (Piergrossi, 2012).

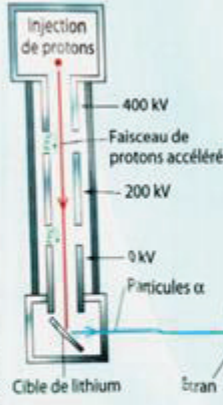
Dans la suite de l'analyse nous allons maintenant nous attacher plus précisément au contenu de la page du manuel qui environne l'image. Dans cette partie de l'analyse nous utilisons des données issues de l'analyse contextuelle et historique de l'accélérateur de particules de type CW, présentée en première partie du travail. Nous souhaitons évaluer la pertinence des informations liées à l'objet présenté sur la photographie.

De manière générale, les illustrations d'un manuel scolaire doivent remplir deux fonctions : correspondre aux objectifs d'apprentissage et/ou donner une information originale (F.-M. Gérard & Roegiers, 2009). Nous allons nous attacher non seulement à voir laquelle des deux fonctions l'illustration incarne, mais aussi le contenu textuel ou schématique : est-il bien en lien avec l'objet concerné ? Comporte-t-il des erreurs ? Des omissions ? Des approximations ? Les différents documents sont-ils bien définis les uns par rapport aux autres ? N'entraînent-ils pas de confusions ? De fausses conclusions ?


Voici l'activité documentaire complète (voir Figure 97) qui introduit le chapitre de l'énergie, page 137 du manuel des éditions Belin :

A Le premier accélérateur haute-tension

« Les réactions nucléaires provoquées par des protons ne peuvent avoir lieu que s'ils arrivent sur les noyaux avec une vitesse suffisante. En effet, les charges de ces entités étant de même signe, elles se repoussent. Or, le seul moyen d'accélérer les protons est de les soumettre à une force électrique. À Cambridge, J.D. Cockcroft et E.T.S. Walton mirent au point un générateur délivrant une tension atteignant 700 kV (doc. 4 et 5). Le faisceau de protons accélérés par cette tension dans un tube à vide atteignait une cible de lithium. Le 14 avril 1932, avec une tension de 400 kV (et un champ électrique de l'ordre de $300 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$), les deux chercheurs observèrent sur les écrans de sulfure de zinc le scintillement provoqué par des particules α , résultant de la désintégration des noyaux de lithium. Ils venaient d'effectuer la première réaction nucléaire avec des protons accélérés artificiellement. »



4 L'expérience de Cockcroft et Walton [1932].



5 Générateur haute-tension de type Cockcroft et Walton.

Données - Masse du proton $m = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
et charge élémentaire $e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

1. Pourquoi les protons sont-ils accélérés dans un tube à vide ?
2. Comparer la valeur du poids d'un proton à celle de la force électrique dans l'accélérateur. Que conclure ?

Figure 97 : Extrait de l'activité 2/A page 137, activité documentaire : les accélérateurs de particules - le premier accélérateur haute-tension, manuel scolaire Belin pour l'enseignement de la physique en Terminale scientifique (Éditions Belin, 2012).

Cette partie de l'activité documentaire est composée d'une photographie, d'un texte entre guillemets, d'un schéma, de données numériques et de deux questions. Le texte mis entre guillemets n'est pas référencé. Nous ne pouvons savoir s'il s'agit réellement d'une citation ou alors seulement ici d'un effet de mise en page qui met en valeur le texte sur son fond vert. Il nous semble ici plus probable que ce soit la seconde raison. Voici une version plus lisible de ce texte :

« Les réactions nucléaires provoquées par des protons ne peuvent avoir lieu que s'ils arrivent sur les noyaux avec une vitesse suffisante. En effet, les charges de ces entités étant de même signe, elles se repoussent. Or, le seul moyen d'accélérer les protons est de les soumettre à une force électrique. À Cambridge, J.D. Cockcroft et E.T.S. Walton mirent au point un générateur délivrant une tension atteignant 700 kV (doc. 4 et 5). Le faisceau de protons accélérés par cette tension dans un tube à vide atteignait une cible de lithium. Le 14 avril 1932, avec une tension de 400 kV (et un champ électrique de l'ordre de $300 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$), les deux chercheurs observent sur les écrans de sulfure de zinc le scintillement provoqué par des particules α , résultant de la désintégration des noyaux de lithium. Ils venaient d'effectuer la première réaction nucléaire avec des protons accélérés artificiellement. »

Plusieurs points sont à relever dans le texte. Le premier concerne la densité d'informations contenues dans ces quelques lignes. En 7 lignes, l'élève est invité à se rappeler¹⁴⁷ que les protons et noyaux sont de même charge, deux entités de même charge se repoussent, la force électrique est le seul moyen pour donner une vitesse au proton, et que deux entités ne peuvent donc collisionner que si le proton est suffisamment accéléré vers la cible. Le second point concerne la description de l'accélérateur de Cockcroft et Walton. Ici nous avons bien une description du premier prototype utilisé en 1932. Le texte commence par expliquer que Cockcroft et Walton ont mis au point un générateur de tension atteignant 700 kV, et cette phrase se réfère directement aux documents 4 (voir Figure 98) et 5 (voir Figure 95). Or le schéma 4 ne représente pas un générateur de haute tension, et la photographie du document 5 ne représente pas le générateur de haute tension décrit par le texte (celui de Cockcroft et Walton). On se demande aussi, à la lecture du texte, pourquoi Cockcroft et Walton auraient développé un instrument pouvant générer 700 kV s'il n'en utilise que 400 kV ? N'ont-ils pas fait de calcul préalable ? Se sont-ils trompés dans leurs estimations ? Il n'est pas expliqué que l'expérience a été menée jusqu'à 700 kV et que ce sont les premières manifestations qui se sont produites à 400 kV.

Entre le texte et l'image, se trouve un schéma (voir Figure 98) intitulé « l'expérience de Cockcroft et Walton (1932) ». Regardons-le de plus près :

¹⁴⁷ Ces connaissances font en effet partie du programme d'enseignement commun de physique chimie en classe de seconde générale et technologique et de première de la série scientifique (Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, 2010a, 2010b.)

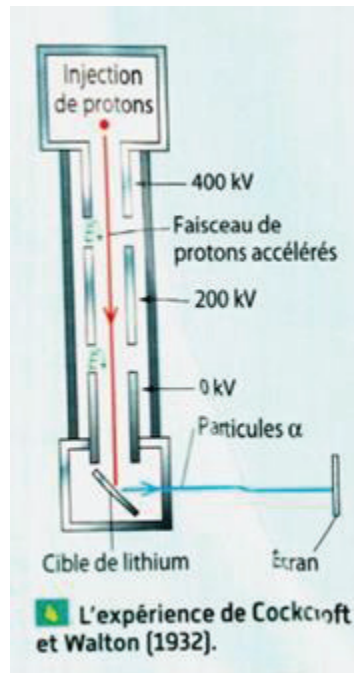


Figure 98 : Document 4 extrait de l'activité 2/A page 137, activité documentaire : les accélérateurs de particules - le premier accélérateur haute tension, manuel scolaire Belin (Éditions Belin, 2012).

Ce schéma nous montre la partie qui concerne l'accélération des particules et non le générateur de haute-tension comme le dit le texte de l'activité. Les éléments légendés sont : l'injection de protons, le faisceau de protons accélérés, la cible de lithium, l'écran et les particules alpha. En trois points de la colonne d'accélération, il y a des indications de tension. Si on suit le schéma, les protons sont accélérés par les 400 kV (qui doivent correspondre aux 400 kV mentionnés dans le texte) en haut de la colonne. Le champ électrique E est symbolisé également. Lors du passage du faisceau dans le deuxième cylindre, la tension indiquée est de 200 kV, et de 0 kV après le troisième cylindre (ce qui correspond à la masse). Il n'y a pas d'indications concernant le lien entre le tube accélérateur schématisé et le générateur haute-tension mentionné dans le texte. Les flèches qui indiquent les tensions n'indiquent pas clairement que c'est le générateur qui permet d'obtenir ces tensions en ces différents points. Comment un élève peut-il faire le lien entre l'expérience des années 30 qui est décrite et insiste sur le générateur de haute tension, un schéma qui ne montre pas le générateur de haute tension mais la colonne accélératrice, et une photographie contemporaine qui montre un générateur de haute tension bien différent ?

Cette ambiguïté dans les différents documents de l'activité rend les réponses aux questions posées sous la figure très subjectives : « pourquoi les protons sont-ils accélérés dans

le tube à vide ? » La question porte-t-elle sur le fait que ce sont les protons qui sont accélérés ? Ou bien pourquoi est-ce qu'il faut les accélérer ? Ou encore pourquoi utiliser un tube à vide ? La seconde question demande de comparer la valeur du poids d'un proton à celle de la force électrique dans l'accélérateur. La force électrique dans l'accélérateur est donnée dans le texte : 300 kV/m. L'élève possède la masse du proton ($1,67 \cdot 10^{-27}$ kg) et la charge élémentaire ($1,60 \cdot 10^{-19}$ C). L'élève est ici invité à rechercher dans ses connaissances de première scientifique pour retrouver la formule donnant la force électrique (F en newtons) en fonction de la charge (q en coulombs) et du champ électrique (E en newtons par coulombs) :
$$F = q.E$$

D'autre part, il faut utiliser la formule $P = m.g$ (utilisée dès le collège) qui permet de lier le poids (P en newtons), la masse (m en kilogrammes) et la valeur moyenne de l'intensité de la pesanteur terrestre (g en newtons par kilogrammes). Grâce à ces formules l'élève peut comparer deux valeurs de même unité (la force électrique et le poids) et constater que l'une est beaucoup plus importante que l'autre. Il semble que l'objectif de cette question est ici de mobiliser les savoirs déjà abordés dans les classes précédentes, plus que de l'inviter à raisonner sur ce que les valeurs calculées grâce aux formules traduisent.

3.1.4 Conclusion sur le contenu représentationnel dans le manuel scolaire

Nous nous attendions à exploiter une source dans laquelle l'accélérateur de particules de type Cockcroft-Walton serait utilisé de manière à coïncider avec les objectifs d'apprentissage ou alors à véhiculer une information originale (à faire comprendre quelque chose). Or il apparaît ici dans une activité documentaire dans laquelle nous avons soulevé un bon nombre d'ambiguïtés. La qualité technique des images utilisées, souvent assimilées à une qualité esthétique, semble être le premier critère de sélection des illustrations. Le plus souvent, les illustrations ne sont pas contextualisées et n'aident pas à la compréhension du phénomène physique mis en jeu, n'apportent pas d'information supplémentaire et n'encouragent pas non plus à la curiosité patrimoniale. Ceci nous montre qu'aujourd'hui encore, la sélection des images est à la charge du responsable artistique dont la mission est de « rendre particulièrement attractif le contenu »¹⁴⁸. Ce résultat réactualise une étude menée en 1998 par l'Inspection Générale de l'Éducation nationale qui avait montré que :

¹⁴⁸ Ressource en ligne : <http://www.savoirlivre.com/richeesse-metiers/metiers-visuel.php> donnée en référence par le site Eduscol.

« la cohabitation d'images récréatives ou décoratives avec des images qui mériteraient analyse n'est guère propice à un apprentissage raisonné. Dans les disciplines scientifiques certaines images sont de vrais documents, d'autres sont de pseudo documents scientifiques, dont le mode d'obtention n'est pas indiqué et sans lien avec le contexte de l'étude. » (Borne, 1998)

Un travail de sensibilisation pourrait être nécessaire, envers les concepteurs de manuels, pour qu'ils puissent prendre en compte la richesse de contenu que peut incarner un objet de patrimoine, ne serait-ce qu'en intégrant de manière systématique des critères plus fonctionnels. Cela dépend aussi du temps qui est donné aux concepteurs pour faire les manuels. En ce moment par exemple, nous savons qu'ils ont moins d'un an pour fournir les nouveaux ouvrages pour toutes les classes de collège ; et que ce temps est déjà plus long que celui qu'ils ont eu lors des dernières réformes de programmes.

Fort de ces constats et des différents points d'analyse de l'image de l'accélérateur dans ce manuel, nous aimerions étendre notre réflexion en se questionnant sur la représentation de l'objet donnée par cette image. Les observations extraites des grilles d'analyse nous amènent à mettre en évidence trois points relatifs à l'étude image :

- Ce que l'image veut montrer : ce que nous pourrions nommer la référence de l'image ou l'objet de la représentation (une haute tension de type Cockcroft-Walton en fonctionnement, en présence de son manipulateur). L'image est une construction dans laquelle l'objet est montré sous une certaine perspective, qui n'est ni neutre ni transparente. La mise en scène décrite par l'image « imite » l'objet sur un registre de représentation qui le fait voir autrement.
- Ce que l'image montre réellement : c'est-à-dire l'objet de l'image ou ce qui est représenté concrètement dans l'image (le générateur de haute tension de type Cockcroft-Walton installé dans le Fermi National Accelerator Laboratory)
- Le message que cette image transmet : c'est-à-dire le contenu de l'image ou ce qui est donné à voir dans la représentation de l'image (ce que l'élève va potentiellement interpréter de cette image). Ce sont les éléments que nous ne voyons pas dans l'image mais qui contribuent à son intelligibilité. Les indices contenus dans l'image et la recherche de leur signification pour la compréhension de l'objet deviennent alors importants.

Nous constatons que le choix de cette photographie est avant tout fait parce que l'image présente un objet qui « ressemble » à la représentation générale qu'on se fait d'une haute

tension Cockcroft-Walton, et non pour sa cohérence avec le contenu ou l'objet représenté dans l'image.

Ces trois points nous permettent de conclure que la représentation de l'accélérateur dans ce contexte d'étude est avant tout iconique (elle montre un objet qui lui ressemble) et graphique (sélection avant tout esthétique de l'image) au détriment d'une fonction symbolique ou physique (scientifique) que l'objet serait légitimement capable de porter.

Nous nous demandions si dans les manuels scolaires les images des outils de la science étaient utilisées de manière à coïncider avec des objectifs de l'éducation nationale. Or cette étude nous montre bien que même pour un support d'enseignement, supposé participer à la transmission des connaissances et à l'apprentissage, l'utilisation de l'image des outils de la science est essentiellement esthétique et non scientifique, épistémologique ou pour l'intérêt de l'aspect patrimonial.

A la différence de ce que nous montrent les manuels, nous allons maintenant nous intéresser à des supports qui n'ont pas pour vocation de diffuser des connaissances scientifiques. Il ne s'agit pas non plus de supports à visée didactique exploitant des récits détaillés et pédagogiques des pratiques scientifiques. Ce sont avant tout des produits culturels et qui peuvent parfois être rapprochés de l'industrie du divertissement. En revanche, ils puisent un certain nombre d'éléments de notre monde réel pour narrer des aventures qui séduiront le plus grand nombre (Chouteau & Nguyen, 2014). De par leur audience (ou popularité) et leur « forme » particulière, nous faisons l'hypothèse que leur rôle dans la manière dont le public se représente une machine comme l'accélérateur de particules CW, n'est pas à négliger. Les supports que nous allons étudier revêtent différentes formes : bande dessinée (BD), film ou série télévisée. Ces objets ont plusieurs atouts : ils permettent de mettre en perspective la question de la médiation des sciences avec celle d'une médiation plus divertissante et à visée commerciale. Ils permettent aussi d'aborder un objet scientifique et technique par le biais de l'interdisciplinarité (la fiction, les arts, etc.). Cette partie consistera à montrer que ces supports « parlent » du monde scientifique (Triquet, Nguyen, Chouteau, Khantine-Langlois, & Bruguière, 2013) et l'évoquent à travers l'utilisation d'instruments scientifiques, dans des récits fictionnels ; et qu'il ne faut pas négliger ces potentialités narratives dans les représentations d'un objet de patrimoine. En effet, les mécanismes de perception d'un objet, sont liés à ce qu'une culture emmagasine volontairement ou non (Geindreau, 2014).

Dans chacun des cas relevés, nous ferons une petite présentation du support de manière à bien définir et comprendre les enjeux liés à notre questionnement. Nous développerons ensuite une analyse autour de l'objet afin d'étudier comment et dans quel but les récits proposés convoquent et mettent en scène l'accélérateur de particules. Nous pourrions ainsi dresser un portrait de la représentation qui est donnée de cet objet à travers ces différents supports.

3.2 Les médias artistiques

Utilisés en didactique des sciences, les médias artistiques comme outils pour l'apprentissage et la communication de la science sont l'objet d'une thématique de recherche encore récente. Quelques travaux voient le jour (Bordenave, 2012 ; Bruguière & Triquet, 2012 ; Dias & Heraud, 2009 ; Hosson, Bordenave, Decamp, & Hache, 2014; Soudani, Héraud, Soudani-Bani, & Bruguière, 2015; Triquet & Bruguière, 2013) alors que beaucoup de projets de communications scientifiques utilisent et font la promotion de ces supports de plus en plus variés. D'autre part, on s'intéresse de plus en plus aux rapports entre récits de fiction et science, à travers des études qui tendent à montrer que l'engagement de l'imagination offre une contextualisation des sciences relativement fertile (Soudani et al., 2015) et constitue un levier intéressant pour susciter l'envie de s'intéresser à la science (Triquet et al., 2013). Dans cette partie de l'analyse nous cherchons, à estimer l'aptitude du monde de la fiction, à fournir un cadre de références pour questionner les objets de notre monde actuel. Plus spécifiquement, nous regardons comment des supports de fiction peuvent servir de cadre de référence pour l'interprétation d'un objet comme l'accélérateur de particules Cockcroft-Walton.

3.2.1 Des récits de fiction à la théorie des « Mondes possibles »

Le cadre d'interprétation des « mondes possibles » n'est pas directement rattaché à la question de la fonction symbolique du récit. Nous avons recours à la notion de « mondes » pour désigner ces espaces dans lesquels le lecteur (ou le visiteur) semble invité à pénétrer, et qui semblent fonctionner avec leurs propres lois. Nous utilisons, pour définir notre cadre d'interprétation, les travaux du philosophe anglais David Lewis (1941 – 2001) et notamment

sa théorie des « mondes possibles », telle qu'elle est avancée dans l'article « Truth in the fiction » (Lewis, 1978) qui propose une articulation entre la sémantique des « mondes possibles », conceptualisée par Leibniz (1646 – 1716) et la théorie de la fiction.

Avant de rentrer plus en détail dans l'utilisation que nous faisons de ce cadre d'interprétation, nous avons besoin de clarifier (ou de re-calrifier) quelques définitions. Pour les notions de récit, de fonction du récit et de fiction, nous avons recours essentiellement aux travaux de Paul Ricœur (1913 – 2005) philosophe français dont l'œuvre s'est axée sur la fonction heuristique de la fiction, notamment dans la littérature et l'histoire. Nous éclairons nos propos par d'autres auteurs comme Gérard Genette (né en 1930), critique littéraire et théoricien français de la littérature, et Jérôme Bruner (1915 – 2016) professeur américain en psychologie de l'éducation.

Dans son sens le plus large, le terme de récit est entendu comme « le signifiant, l'énoncé, le discours ou le texte narratif » (Genette, 2007) donc comme un texte littéraire pris en lui-même. Le récit peut même être pris dans son acception la plus large et englober tout acte de parole ou d'écriture organisés dans le temps, fictionnel ou non. Il peut contenir le roman, le théâtre, la poésie, le film, mais aussi l'histoire et les conversations (Ricœur, 1991a). A partir de ces définitions, nous considérerons qu'un récit est une série d'évènements, logiquement organisés dans le temps, pouvant faire partie d'une intrigue. La reconstitution sur le plan de la narration des faits empiriques sous la forme d'une histoire, constitue la mise en intrigue du récit.

La fonction principale du récit, proposée par Ricœur, est sa capacité à faire appréhender une expérience vécue par le sujet : la configuration d'une expérience temporelle par la mise en intrigue (Ricoeur, 1991a), notamment en se référant métaphoriquement au monde (Ricoeur, 1975). Le récit contribue donc directement à la confrontation de l'objet avec le visiteur, à cette expérience avec l'objet qui est constitutive du processus d'appropriation. Le récit, permet ainsi d'ordonner et de donner un sens à cet événement insaisissable qu'est l'organisation du temps du récit par le sujet percevant (lecteur, visiteur, etc.). Il organise une suite d'évènements pour les donner à lire, en cela on dit qu'il constitue un « acte de synthèse de l'hétérogène » (une mise en intrigue). Le but étant que l'expérience décrite soit différente de celle vécue par le lecteur (Ricoeur, 1991b). Cette vision coïncide avec celle de Genette, pour qui le récit garde avant tout une fonction structurante : organiser les rapports entre l'histoire (la vraie) et la narration (celle qui est produite). C'est donc l'action de transformer,

sur le plan de la représentation par le langage, une histoire en un récit particulier, prenant place dans un genre particulier.

Le terme de *fiction* est aujourd'hui utilisé dans des sens très différents qu'il importe de clarifier pour mieux comprendre comment la théorie des « mondes possibles » s'applique à cette notion. Selon Ricoeur, la fiction est considérée comme un agencement de faits, un temps configuré (le temps fictionnel), souvent en opposition avec le temps réel (Ricoeur, 1991a). Il introduit le concept de « monde de la fiction », en le distinguant du monde du lecteur, le monde réel.

La fiction n'est cependant pas nécessairement opposée au réel, mais peut entretenir des liens étroits et être en permanence en tension avec lui. Elle constitue une expérience temporelle alternative, qui permet au lecteur, de repenser sa propre expérience du temps grâce au récit. Selon Bruner, la fiction a la capacité « de nous entraîner dans le domaine « de ce qui pourrait être, de ce qui aurait pu être, de ce qui sera peut-être un jour » (Bruner, 2002). Réalité et fiction sont donc ici complémentaires, en ce qu'elles constituent toutes deux un aspect spécifique du temps. Est fiction un récit littéraire qui décrit ou représente un monde autonome par rapport au nôtre, plus ou moins éloigné de notre monde, avec deux questions centrales : Comment un monde de fiction est-il construit ? Et comment fonctionne-t-il ? Découle de cette question d'ordre ontologique un grand nombre de conséquences d'ordre épistémologique : comment ce qui n'existe pas pourrait avoir une valeur de vérité ? Qu'est ce qui permet au lecteur de la fiction de faire une distinction entre les éléments qui font partie d'un monde de la fiction, du monde réel ou d'un monde possible ? Comment concevoir la correspondance entre le monde imaginaire de la fiction et le monde réel ? Les travaux de Lewis sur ces questions permettent de mettre en évidence la question des rapports entre fiction et réalité.

La théorie des « mondes possibles » propose une réponse en trois temps, qui est la suivante : il coexiste un ensemble de « mondes possibles », entre lesquels se crée une relation d'accessibilité et de proximité, à l'intérieur desquels des propositions peuvent se voir accorder des valeurs de vérité. Nous allons maintenant développer ces trois temps en nous aidant des travaux de Lewis mais aussi, quand cela est nécessaire, à d'autres auteurs nous permettant d'éclairer autrement le propos. Nous faisons par exemple appel aux travaux de Nancy Murzelli, docteur en philosophie à l'Université Aix-Marseille, Saul Kripke philosophe et logicien américain ou Nelson Goodman (1906 – 1998) philosophe américain.

- Notre propre monde parmi les « mondes possibles »

Un « monde possible » est un univers « logiquement possible », une variante concevable de notre monde réel. Les « mondes possibles » sont en quelque sorte des façons différentes de voir le monde, des façons dont le monde existant aurait pu être si les événements n'avaient pas été ce qu'ils sont aujourd'hui. Les « mondes possibles » diffèrent du nôtre par une modification contrefactuelle, c'est-à-dire contraire aux faits de notre monde :

« Nous nous éloignons de l'actualité autant que nous le devons pour atteindre un monde possible où la supposition contrefactuelle devient vraie (et cela peut aller assez loin si la supposition est très imaginaire). Mais nous ne faisons pas de modifications gratuites. Nous maintenons fixes les caractéristiques de l'actualité qui n'ont pas à être changées en tant que moyens les moins perturbateurs de rendre vraie la supposition. Nous pouvons raisonner en toute sûreté à partir de l'arrière-plan factuel qui reste ainsi fixé. » (Lewis, 2012)

Pour le logicien Saul Kripke, il existe une pluralité de « mondes possibles » dont *un* est le monde actuel (Kripke, 1963) alors que Lewis défend l'idée que « les mondes possibles » sont tous aussi réels que le nôtre. Au sein de ce débat, Lewis est amené à distinguer les notions de réalité et d'actualité, de monde réel et de monde actualisé. Notre monde réel, est défini comme étant un monde possible actualisé, un monde que nous pouvons éprouver. On dit que notre monde, que nous appelons réel, est « actualisé pour nous » alors que les autres ne le sont pas. Comme les mondes existent indépendamment dans l'imagination d'un membre du monde actuel, tous les « mondes possibles » sont susceptibles d'être réels. En revanche, un seul monde peut être actuel :

« Chaque monde est actuel pour lui-même et par conséquent tous les mondes le sont à égalité. Ce qui ne veut pas dire que tous les mondes soient actuels – il n'y a aucun monde où cela est vrai, pas plus qu'il ne saurait y avoir un temps où tous les temps sont présents. » (Lewis, 2007)

- La vérité fictionnelle à travers les « mondes possibles »

Le second point de réponse qu'apporte la théorie des « mondes possibles », est celui relatif à la valeur de vérité de ce monde possible : ce qui est faux dans notre monde peut être vrai dans un autre monde qui conserve tous les autres caractères ou propriétés. Dépassant la dichotomie entre réalité et fiction, Lewis propose de considérer une entité fictionnelle (un objet, un récit, etc.) non pas comme un objet inexistant, mais comme un objet existant dans un

monde possible. Dans son article sur « l'usage des mondes possibles en théorie de la fiction », Nancy Murzilli précise que :

« La vérité fictionnelle est une vérité modale, possible. Si une proposition fictionnelle n'a pas de références dans notre monde réel, elle peut en avoir une dans un monde possible, car un monde fictionnel peut toujours trouver « à se réaliser » dans un monde possible. » (Murzilli, 2012)

- Accessibilité entre les mondes par un arrière-plan connu

Les fictions nécessitent généralement de faire quelques écarts par rapport au monde actuel. Plus ces écarts seront grands, plus la fiction sera fantastique. Lewis nous permet d'envisager la fiction comme l'acte de raconter une histoire comme s'il s'agissait d'un fait connu plutôt que d'une fiction (Lewis, 1983). La fiction est racontée du point de vue d'un monde possible que les lecteurs font semblant de considérer comme le monde actuel. Il est donc entendu que la fiction est un acte intentionnel dont l'auteur a parfaitement conscience. Si la fiction ne se produit pas dans le monde actuel, la lecture s'effectue souvent avec un arrière-plan de faits connus. C'est le contraste et la tension entre les différents mondes qui deviennent intéressants. La médiation d'un monde possible, décrit dans un récit de fiction, permet alors de comparer celui-ci au monde existant et de reconstruire la configuration de notre monde.

Il y a bien une distinction à faire entre les fictions qui sont rattachées à un monde possible que le lecteur fait semblant de considérer comme un monde actuel (on pourrait dire qu'il y adhère), et entre les contrefactuels (les fictions réalistes que nous définirons plus loin) qui décrivent un monde possible, du point de vue du monde actuel (que nous appelons souvent « notre propre monde »). Murzilli donne un exemple où le monde contrefactuel serait par exemple celui où :

« François Hollande aurait perdu l'élection présidentielle de 2012 -, auquel on accède grâce à des marqueurs hypothétiques de la forme « si... alors... » ou à l'emploi du conditionnel » (Murzilli, 2012).

D'autre part, si on modifie un élément dans un des mondes, ce changement aura une portée plus ou moins grande, en fonction de la relation qui existe avec les autres mondes (relation d'accessibilité). Les « mondes possibles » s'influencent donc mutuellement, le monde réel étant l'un des « mondes possibles » (suivant la vision de Kripke). Le monde actuel interfère donc sur les mondes fictionnels, tout comme les mondes fictionnels vont intervenir sur la perception du monde actuel (suivant la vision de Lewis). La vision selon laquelle un

monde possible se construit et se reconstruit, correspond à l'apport du philosophe Goodman avec « la manière de faire des mondes » (Goodman, 2006). Cet auteur insiste sur la pluralité des mondes et la difficulté de « faire monde ». Il peut exister différentes versions, qui seront éclairantes pour une réalité du monde considéré. Par exemple, une œuvre d'art, un livre, sont une « version » de monde qui contribue à la construction d'un monde. Ces versions peuvent être ou devenir obsolètes et permettront à d'autres de se reconstruire. Comme le disent Dias et Héraud :

« On ne peut penser un monde que par rapport à un autre, car ils sont interdépendants : le monde possible sert à reconstruire la vérité du monde réel d'un autre point de vue et sous une autre perspective. » (Dias & Héraud, 2009)

Il existe peu de manière de représenter cette théorie. La schématisation entraîne forcément des approximations et une réduction de la pensée de l'auteur. Cependant, en corrélation avec l'usage que nous faisons de la théorie de Lewis, nous pourrions la représenter ainsi (Figure 99):

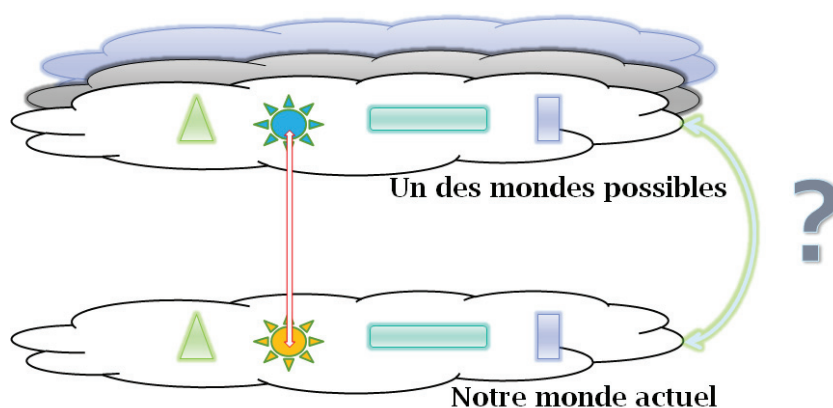


Figure 99 : Schématisation simplifiée de la théorie des « mondes possibles » de Lewis, montrant un arrière-plan de faits connus entre deux « mondes possibles » (un des « mondes possibles » et notre monde actuel), une variation contrefactuelle (le changement de couleur du soleil) et une flèche symbolisant l'accessibilité entre ces mondes.

3.2.2 Les usages de la théorie des mondes possibles en didactique des sciences

De cette manière la théorie des « mondes possibles » nous permet de rapprocher le monde de la fiction de celui d'un monde réel alternatif. De ce fait, on peut soutenir que la fiction construit un monde possible qui est obtenu - contrefactuellement - par une variation opérée sur notre monde existant, une alternative cohérente de celui-ci ; qui permet en retour d'interroger notre propre monde sur ce qu'il est ou n'est pas, ou sur ce qu'il serait étant donnée la structure qu'impliquerait un tel monde.

A ce stade de réflexion il est possible d'identifier deux manières d'exploiter le fonctionnement de la théorie des « mondes possibles » pour les travaux de didactique des sciences : comme un outil permettant l'évaluation de la distance entre les lois physique du monde fictionnel et le nôtre, pour interroger notre propre monde ou pour donner une signification à des propriétés inaccessibles dans notre expérience quotidienne, par les récits de fiction, toujours pour interroger notre propre monde.

La première utilisation, développée récemment par une équipe de notre laboratoire (Soudani et al., 2015) à partir d'une relecture de « Truth in the fiction » (Lewis, 1978) est qu'un récit de fiction réaliste ne décrit pas un monde purement imaginaire. Il existe de vraies interactions entre les individus et le milieu qui sont mis en scène. Ce monde a une existence propre pour les acteurs de ce monde, même s'il nous apparaît, à nous, fictionnel. Il est fait d'individus et de choses qui vont interagir entre elles, selon des lois qui seront plus ou moins proches de celles de notre propre monde (Lewis, 2007). L'évaluation de la distance proposée entre les lois physiques du monde fictionnel et le nôtre que nous « connaissons » devient pertinente. Ce cadre d'interprétation devient particulièrement intéressant car :

« il établit une consistance épistémologique forte là où la notion de fiction pourrait nous laisser croire que nous sommes dans la subjectivité arbitraire ou dans l'invention pure de l'auteur » (Soudani et al., 2015).

La seconde utilisation se base essentiellement sur le fait que la fiction construit un monde possible qui est obtenu par une variation d'un fait de notre monde actuel. Il permet ainsi de construire et de comprendre de nouveaux phénomènes et d'autre part d'étendre cette corrélation à la connaissance de notre propre monde. Cet usage, développé dans les

recherches d'une autre équipe de notre laboratoire avec laquelle nous avons eu l'occasion de travailler (Heraud & Lautesse, à paraître; Triquet, Derolez, Heraud, & Lautesse, 2014), a amené les auteurs à définir le terme de fictions réalistes. Elles sont définies ainsi car leurs récits ont montré une capacité à décrire de nouveaux mondes, mais qui ne sont ni arbitraires ni subjectifs. Ils concluent ainsi que la fiction possède une double nature « intriquée » :

« elle est littéraire, au sens où elle propose dans des récits de voyages une représentation possible d'un monde impossible pour la réalité empirique ; elle a aussi un caractère épistémologique, car elle manifeste une puissance d'anticipation des connaissances scientifiques possibles. » (Triquet et al., 2014)

Cette utilisation soulève aussi le fait que la modification contrefactuelle entre deux « mondes possibles », peut d'ailleurs provenir des sciences nouvelles (en physique quantique, le tigre quantique (G. Gamow, Stannard, & Edward, 2012) et le chat de Dali (Halsman, P. *Dali atomicus*, 1948) et figurer fictivement ce que notre propre monde est en réalité (Heraud & Lautesse, à paraître). Mais comme nous ne pouvons pas raconter ces événements dans un récit décrivant notre propre monde nous ne pouvons montrer ces phénomènes de fiction que dans un registre de fiction. Et paradoxalement c'est ce monde possible que nous ne pouvons atteindre et décrire que par la fiction qui nous permet d'appréhender notre propre monde. Le monde possible, atteint par la fiction va alors permettre de décrire à son tour notre propre monde.

« Le récit permet ainsi d'imaginer des mondes invisibles, des effets non encore observés de tel ou tel phénomène biologique ou physique. » (Triquet et al., 2014)

Dans ce cas précis, on ne peut donner une image scientifique de notre propre monde, que dans le registre de la fiction, par le biais d'un monde possible tout aussi viable et se superposant au nôtre. Il y a donc un intérêt épistémologique certain dans cette double construction en miroir : construire un récit (ou une image) de fiction correspondant à la structure inaccessible de notre monde par les moyens habituels de notre représentation, et inversement, reconstruire notre monde à la lumière d'un monde possible qui lui corresponde de façon à faire voir la double structure de notre monde.

« On admet aujourd'hui qu'un grand nombre d'objets construits par les scientifiques (les quarks, les atomes, le gène) sont en fait des entités purement théoriques qui n'ont pas plus d'existence dans la réalité spatio-temporelle de notre monde que les personnages les plus célèbres de la fiction. » (Triquet et al., 2014)

- Identifier les registres ontologiques de l'objet pour interroger son identité

Les capacités offertes par la théorie des mondes possibles sont grandes, mais nécessitent pour notre objet de définir des éléments concrets d'analyse et de lecture. Nous proposons d'exploiter une troisième potentialité offerte par ce cadre en l'utilisant de manière à s'interroger plus précisément sur le changement ontologique qui s'opère autour d'un objet à travers les différents mondes :

« La fiction artistique adresse un questionnement épistémologique au monde réel, interrogeant nos connaissances sur le monde réel, et interrogeant celui-ci pour savoir ce qu'il est. » (Dias & Heraud, 2009)

L'analyse contextuelle développée dans la première partie met en évidence la multiplicité des facettes de l'accélérateur Cockcroft-Walton, pris dans différents milieux. C'est grâce aux contextes d'études variés que nous avons décliné autour de ce même objet que nous pouvons plus clairement voir quelle variation ontologique s'opère autour de lui, dans quels registres ontologiques il s'exprime.

Qu'entendons-nous par registres ontologiques de l'objet ? C'est, de notre point de vue, l'ensemble des propriétés des différents milieux où l'objet prend vie (où il s'exprime), mettant en jeu les différentes facettes de son identité (ses différents usages). Étymologiquement ontologie vient de *onthos* (être) et *logos* (mots) remontant à la philosophie aristotélicienne qui a pour objet l'étude des propriétés les plus générales de l'être, telles que l'existence, la possibilité, la durée, le devenir (Brentano, 1862). Dans un sens très simple, ontologie veut dire : doctrine ou théorie de l'être (Ricœur, 1992). Le terme, parfois utilisé comme synonyme de métaphysique, trouve aussi une définition dans un contexte scientifique où il signifie « ce qui fait le monde » (Pestre, 2013).

« La question de l'être pour la science, c'est la question de savoir ce qui, pour elle, est tenu pour réel, au sens de non conventionnel, non produit par l'activité théorique et pratique du savant. C'est donc de l'épistémologie elle-même, ou théorie du savoir scientifique, qu'il faut désimpliquer une problématique de caractère ontologique » (Ricœur, 1992).

Cette vision de l'objet dans ses multiples acceptations a une tendance à nous amener à envisager l'objet comme un « être » à la fois matériel et social¹⁴⁹.

À ce stade, nous avons identifié quatre registres ontologiques : le registre socio-politique, le registre socio-scientifique, le registre socio-technique et le registre socio-esthétique. L'aspect social résulte de l'incidence de l'objet par rapport à ses différents usages selon les publics considérés (lecteur, visiteur, artiste, ingénieur, élève, etc.). Les registres développés ne sont pas cumulatifs, mais en tension les uns par rapport aux autres et avec des interactions éventuelles. Nous allons maintenant les définir.

- Le Registre socio-technique (la machine)

Aujourd'hui, l'objet technique est envisagé comme un outil qui prolonge non seulement nos mains, nos jambes, nos muscles, mais aussi nos sens, nos organes de communication et dans une certaine mesure notre cerveau (Jacomy, 1990). Dépassant une technique utilisée dans son sens concret (la mécanique), la technique s'envisage désormais au prisme de la multiplication des domaines du savoir, de la dématérialisation offerte par les nouvelles technologies, et de l'imbrication forte entre sciences et techniques :

« L'histoire des techniques [...] est culturelle. Elle fait apparaître les liens qui, depuis les silex taillés par les premiers hommes jusqu'aux plus récents outils, souvent immatériels, que la société actuelle met entre nos mains, unissent les techniques aux pratiques sociales, les savoir-faire aux arts, les innovations aux modes de vie, etc. » (Jacomy, 1990)

L'identité technique de l'objet ne saurait donc être dissociée de son statut épistémologique. Si notre objet fonctionne dans un « système d'utilisation » que serait ce contexte socio-technique, nous pourrions alors l'appeler machine. Ce sera par exemple le cas lorsque nous décrivons les parties constituantes de l'accélérateur Cockcroft-Walton, en expliquant comment il fonctionne et ce qu'il fait concrètement. Le registre socio-technique, s'il est mobilisé, permet d'accéder à la compréhension de la machine et donne à voir un contenu représentationnel interne à l'objet lui-même.

- Registre socio-scientifique (l'outil)

Ce deuxième registre est identifié quand l'objet est utilisé comme objet appartenant et fonctionnant dans le monde scientifique. Nous ne le regardons plus du point de vue des

¹⁴⁹ Il est intéressant de voir qu'à l'inverse, la philosophie (discipline originelle du terme ontologie) a dans son histoire montré une tendance forte à penser l'être comme un objet aboutissant à une révolution conceptuelle chez ceux qui, tentant de penser la relation entre l'être matériel et l'être spirituel ont proposé de considérer l'ontologie comme une théorie de l'objet en général (Nef, 2006).

procédés et des méthodes, mais comme le représentant de pratiques et de conceptions scientifiques. Cet objet devient un outil qui fonctionne dans un paradigme scientifique, soit parce qu'il le conforte soit parce qu'il le met en défaut. C'est par exemple le cas lorsque l'objet est associé à la fission du lithium ou à la théorie de la relativité d'Einstein.

- Registre socio-politique (l'arme de guerre)

Il se reconnaît à l'usage essentiellement politique de l'objet, pris dans un fonctionnement historique classique qui ne saurait s'éloigner du fonctionnement en société. C'est par exemple le cas lorsque l'accélérateur de particules est rapproché du projet Manhattan, de l'impact des recherches militaires, des réglementations politiques de l'usage du nucléaire. Le contenu représentationnel mobilisé par ce registre est plus superficiel et externe à l'objet que ne l'est le registre socio-scientifique.

- Registre socio-esthétique (l'œuvre d'art / le média-artistique)

Ce registre s'identifie, de notre point de vue, lorsque les trois autres sont en défaut et que l'objet est montré et décrit uniquement pour son image esthétique. L'objet est assimilé à une œuvre d'art dont le sens est avant tout subjectif et interne au récepteur (lecteur, visiteur) plus qu'à l'objet. C'est la prise de parti où il est exposé (ou montré) comme objet artistique, ayant une valeur pour lui-même.

L'objectif de l'analyse de cette seconde partie de chapitre est donc d'utiliser les rapports fructueux entre fiction et science, pour contextualiser notre monde actuel, et plus particulièrement les usages qui sont faits de l'accélérateur Cockcroft-Walton. Ou comment les mondes décrits par la fiction et qui satisfont la théorie des « mondes possibles » de Lewis interfèrent-ils dans l'interprétation qui peut être faite d'un accélérateur de particules CW?

3.2.3 Définition d'une grille de lecture permettant l'identification des registres ontologiques de l'objet (méthodologie d'analyse)

Notre projet est toujours de saisir comment la fiction, à travers la théorie des « mondes possibles », éclaire les enjeux épistémologiques et scientifiques liés à l'accélérateur de

particules Cockcroft-Walton, et de saisir en quoi la mobilisation de certains registres ontologiques peuvent influencer son interprétation.

L'utilisation des statuts et registres ontologiques de l'objet, nous permet d'identifier quel contenu représentationnel est donné à voir, dans les supports de fiction. L'identification des registres passe par un certain nombre de questionnement autour de l'image et du récit de fiction qui mobilisent notre objet. Pour cela nous utilisons une grille de lecture qui s'intéresse d'abord au contexte général du récit de fiction (l'ensemble du récit de fiction). Nous porterons attention aux personnages et au cadre spatio-temporel du récit.

Dans un second temps nous nous attacherons au contexte du récit développé quand l'objet est montré (une analyse de la séquence dans laquelle intervient l'accélérateur de particules Cockcroft-Walton, ou l'objet lui ressemblant). Ici nous regardons plus précisément les phénomènes scientifiques ainsi que la part ou l'évocation du réel.

Ensuite nous porterons intérêt aux liens entre l'image de l'objet et ce récit (rapport texte-image) et à la part d'implicite ou d'explicite que suggère la situation. Ces informations nous permettent de voir ensuite ce que l'image et le récit nous apprennent sur l'objet précisément, comment il est utilisé dans la fiction et éventuellement d'identifier les premiers registres ontologiques exprimés.

Dans certains cas, il sera nécessaire de s'intéresser aux auteurs des fictions et de tenter d'identifier les liens qu'ils entretiennent ou non avec la science et le monde scientifique. Nous pourrions ainsi voir comment ils s'emparent de l'accélérateur de particules CW dans les fictions.

- Sélection et présentation du corpus de médias artistiques

Ces quelques propriétés d'interactions entre les « mondes possibles », comme le suggère la réflexion théorique développée ci-dessus, renvoient d'une certaine façon à la capacité des médias artistiques (pour rester le plus large possible) à explorer de multiples « mondes possibles », explorations de mondes permises par les instruments techniques ci-dessus. Notre questionnement de recherche s'est orienté vers des supports rencontrés, de manière intuitive ou par suggestion, lors de ces années de thèse. Dans notre étude, nous avons fait le choix de nous intéresser aux médias artistiques destinés au grand public (public non spécialiste), accessibles par le plus grand nombre (sans entrer dans une démarche de recherche sur l'objet), et dont la vocation n'est pas la vulgarisation du savoir scientifique. Nos sources n'ont pas

pour vocation de vulgariser le savoir, ou de le documenter avec des faits historiques. Elles mettent en scènes des personnages fictifs, dans un monde qui présente le plus souvent des similitudes avec le nôtre. Nous nous sommes tout naturellement tournés vers des supports donnant une image de l'objet, un contenu représentationnel figuratif. Nous prenons en effet le parti de dire que c'est la dimension visuelle de l'objet en fiction qui viendra se superposer et se confronter avec la présence visuelle physique de l'accélérateur CW.

Notre corpus est composé de médias artistiques de nature différente et se répartit en deux catégories : les bandes dessinées et des supports audiovisuels.

Par sa double nature artistique et médiatique, la bande dessinée constitue un support efficace de transmission (Tatalovic, 2009). Sa lecture, qu'elle se fasse pour le plaisir personnel ou dans le cadre plus formel de l'École, est un outil bien connu dans le monde éducatif, en milieu scolaire ou associatif. Nous avons donc choisi de sélectionner quelques extraits de bandes dessinées dans lesquelles il y a un appareil ressemblant à l'accélérateur de particules Cockcroft-Walton.

Le second type de supports que nous avons choisi, sont des extraits de série télévisée, présentant cette même caractéristique : un objet identifié comme étant l'accélérateur Cockcroft-Walton, ou lui ressemblant.

Nous ne nous sommes pas donné comme objectif de recenser l'intégralité des médias artistiques pouvant faire référence à l'accélérateur Cockcroft-Walton, mais de regarder en quoi, ceux que nous avons rencontrés lors de notre étude, peuvent jouer sur l'interprétation de l'objet, compte tenu du cadre utilisé. Notre corpus est composé de trois extraits de volumes de bandes dessinées :

- Les aventures de Tintin - Objectif Lune (Hergé, 1953),
- Blake et Mortimer - L'onde septimus (Dufaux, Aubin, & Schröder, 2013)
- Blake et Mortimer - Le secret de l'espadon (Jacobs, 1950).

L'extrait audiovisuel est tiré de la série télévisée Bing (Monti, 1991) diffusée sur la télévision française dans les années 1990.

Nous utiliserons également quelques ressources complémentaires, mais sur lesquelles nous ne pourrions fournir la même analyse, soit parce que nous en possédons trop peu d'informations, soient parce qu'elles sont trop éloignées de nos conditions de départ. Nous appelons cette partie du corpus « les ressources complémentaires ».

- Les limites de l'approche par la théorie des « mondes possibles »

Les limites de notre approche prennent en compte à la fois celles qui sont imposées par notre cadre d'interprétation (développées parfois par d'autres théoriciens)¹⁵⁰ et celle de notre méthodologie. Nous en identifions trois : la limite imposée par la pluralité des références culturelles, celle de la pluralité des mondes « actualisés », et enfin celle qui intègre l'identification de l'objet et sa référence par le nom.

Nous sommes tentés de dresser, à travers une analyse épistémologique, un paysage des « mondes possibles » susceptibles d'intervenir dans la perception de l'objet par le lecteur. Mais comme l'a montré le philosophe finlandais Jaakko Hintikka (1929 – 2015) même avec des propriétés identiques, on peut construire des « mondes possibles » très différents (Hintikka, 1973). Umberto Eco (1932 – 2016) le souligne également en rappelant qu'un monde possible reste avant tout une construction sociale et culturelle (Eco, 1985). En ce sens, nous déclinons deux types de mondes possibles, selon le statut des sujets qui en font l'expérience :

- Le premier est celui que le « lecteur » de la fiction (*lector in fabula* pour Eco) va construire en interprétant la fiction avec des références qui lui sont propres, avec son « encyclopédie personnelle ». Car même avec les mêmes références, on peut donner d'innombrables interprétations d'un même texte, d'une même image.
- Le second est celui que chaque visiteur apportera dans l'exposition, ou dans sa rencontre avec l'objet, ses références culturelles (ses interprétations de la fiction), son « encyclopédie personnelle », et les mobilisera dans le processus d'interprétation (et de compréhension) de l'objet.

On utilise les récits de fiction pour mettre en tension les connaissances que nous avons sur notre propre monde physique, celui que nous pouvons « actualiser ». Mais même si un objet comme l'accélérateur de particules Cockcroft-Walton, fait partie de notre monde ; par quels moyens peut-il être « actualisé » « vécu » « éprouvé » par le plus grand nombre ? Nous nous demandons dans quelle mesure un récit fictionnel, peut être perçu comme tel par le lecteur, quand le monde physique auquel il fait référence, est (comme dans notre exemple) le monde de la recherche de pointe ? Et notre hypothèse ici, est que quand un individu ne peut pas se

¹⁵⁰ Les travaux de Lewis ont fait et font encore l'objet d'études par les philosophes. De manière générale, nous partons des propos originaux de l'auteur, mais ne nous y limitons pas si d'autres articles, signés par d'autres auteurs, sont pertinents pour nos explications.

référer à la réalité/actualité de son propre monde, la part de fiction du monde possible est potentiellement tout aussi réelle.

Dans notre méthodologie, nous identifions les objets qui « peuvent ressembler » aux accélérateurs de particules Cockcroft-Walton. Puisqu'à aucun moment l'objet est nommé (en tant qu'accélérateur de particules Cockcroft-Walton) son identification peut être subjective. Peut-être que l'objet décrit dans la fiction coïncide avec l'esthétique d'un accélérateur de particules par hasard. De la même manière, il est possible que l'auteur place l'objet dans la fiction pour utiliser un des registres ontologiques associés à l'accélérateur pour les besoins de sa narration. Nous avons pris ici le parti d'étudier les objets « qui se ressemblent », mais nous aurions pu par exemple prendre celui de regarder les objets « qui portent le même nom »¹⁵¹ (par exemple « accélérateur »).

3.2.4 Résultats et analyse des résultats

Les résultats et l'analyse des éléments de notre corpus sont présentés de manière successive dans les paragraphes qui suivent. Nous présentons si dessous les détails de cette analyse pour les extraits des aventures de Tintin - Objectif Lune (Hergé, 1953), Blake et Mortimer – L'onde septimus (Dufaux et al., 2013) et Blake et Mortimer – Le secret de l'espadon (Jacobs, 1950). Nous présentons ensuite la bande dessinée des aventures de Surhomme dans l'opus *Désintégration atomique* (Schwartz, Siegel, & Shuster, 1947) en tant que ressource complémentaire car nous n'avons pas pu nous procurer l'intégralité de l'histoire. Nous présentons ensuite l'extrait audiovisuel de la série télévisée *Bing* (Monti, 1991), pour laquelle nous appliquons les critères de notre grille de lecture, suivi des ressources complémentaires audiovisuelles qui sont des extraits de *L'apprenti Sorcier* (Turteltaub, 2010) et du film *Le prestige* (Nolan, 2006). Quand nous traitons les ressources complémentaires, nous n'appliquons que partiellement les critères de notre grille de lecture.

¹⁵¹ La question de la persistance du nom est sujet de discussion autour de la théorie des « mondes possibles » de Lewis. Un des points marquant soulevé par Kripke par exemple, est une théorie selon laquelle un nom réfère à un objet par une connexion causale avec l'objet. Le nom se réfère à un objet dans tous les « mondes possibles », c'est-à-dire dans toutes les « situations contrefactuelles imaginables » où l'objet nommé existe.

3.2.4.1 Les Bandes dessinées

- *Les aventures de Tintin et Milou, objectif Lune, 1953*

Le premier point que nous dicte notre grille de lecture concerne le contexte général du récit étudié. Nous nous intéressons ici à l'opus *Objectif Lune*, qui est le seizième album de bande dessinée des aventures de Tintin (Hergé, 1953). Dans cette aventure Tintin et le capitaine Haddock partent en Syldavie (pays imaginaire de l'Europe de l'Est) pour rejoindre le professeur Tournesol. Après plusieurs heures de route dans les montagnes désertiques des Balkans, ils se retrouvent bientôt dans une base secrète, le centre de recherches atomiques de Sbrodj. Là, ils retrouvent le professeur Tournesol qui les informe qu'il a été engagé pour conduire la réalisation d'une fusée lunaire dont il a conçu le moteur atomique, et qu'il s'apprête à utiliser pour se diriger vers la Lune. Mais un événement anormal se produit : deux hommes pénètrent dans la « zone interdite », et de mystérieux concurrents tentent de saboter le projet... Dupont et Dupond sont alors envoyés sur les lieux pour résoudre l'enquête. Les aspects scientifiques utilisés dans cet opus sont nombreux : l'alunissage, l'apesanteur, le centre de recherche, la fusée lunaire, le voyage dans l'espace, le contrôle de vol, etc. Il y a également un certain nombre d'objets techniques, comptabilisés par Pierre Fresnault-Deruelle en 1970 dans un article qui s'intéressait à l'analyse des images dans l'œuvre d'Hergé et plus particulièrement au verbal dans les bandes dessinées (Fresnault-Deruelle, 1970). Il mentionne 24 occurrences d'appareils de communications tels que les télégrammes, téléphones, haut-parleur, talkie-walkie, et émetteur-récepteur. Pour lui, la présence de ces appareils participe à la description d'un monde technique et sont des éléments directs du dialogue entre l'image et le texte (les ballons).

Les personnages de cette bande dessinée : Tintin, Milou, le capitaine Haddock, le professeur Tournesol, Dupont et Dupont, etc. sont des personnages de fiction créés par Hergé à partir de 1929, dont la plupart sont inspirés par des personnes réelles. Tintin incarne un jeune reporter grand voyageur, intelligent, imaginatif, rusé et dont l'esprit de déduction l'amène à résoudre un certain nombre de problèmes. Il est accompagné par son chien Milou (Fox-Terrier aux traits de caractères très humanisés), et le Capitaine Haddock (son meilleur ami impulsif et colérique). Le personnage du professeur Tournesol est l'image populaire du « savant fou » : intelligent, un peu asocial, incompréhensible parfois. Dupont et Dupond sont deux policiers sosies caractérisés par leur maladresse, leur naïveté et leur indiscrétion. Ils ont la capacité de ne jamais trouver ce qu'ils cherchent, en utilisant des méthodes faussement

réfléchies et ingénieuses. Ils sont en revanche assez fouineurs et soulève malgré eux des éléments qui ont une importance pour l'intrigue des récits de Hergé.

L'intrigue se déroule dans un pays inventé par Hergé qui se situe aux confins des Balkans. Dans ses œuvres, l'auteur se réfère régulièrement à ce pays et lui construit une histoire, une géographie, une politique, une économie des plus réelles. Le centre atomique de Sbrodj se situe dans le massif montagneux des Zmyhlpathes, riche en gisements d'uranium. Beaucoup de parallèles peuvent être fait entre le nom des pays, des villes et des territoires décrits par Hergé et notre monde actuel. Le nom des montagnes ressemble à celui des Carpates, celui du pays à un savant mélange entre Slovénie, Transylvanie et Moldavie. C'est comme si plus qu'un monde apparemment imaginaire, Hergé protégeait l'anonymat des éléments auxquels il se réfère.

Voici l'extrait sur lequel nous pouvons identifier¹⁵² un accélérateur de particules Cockcroft-Walton (Figure 100):

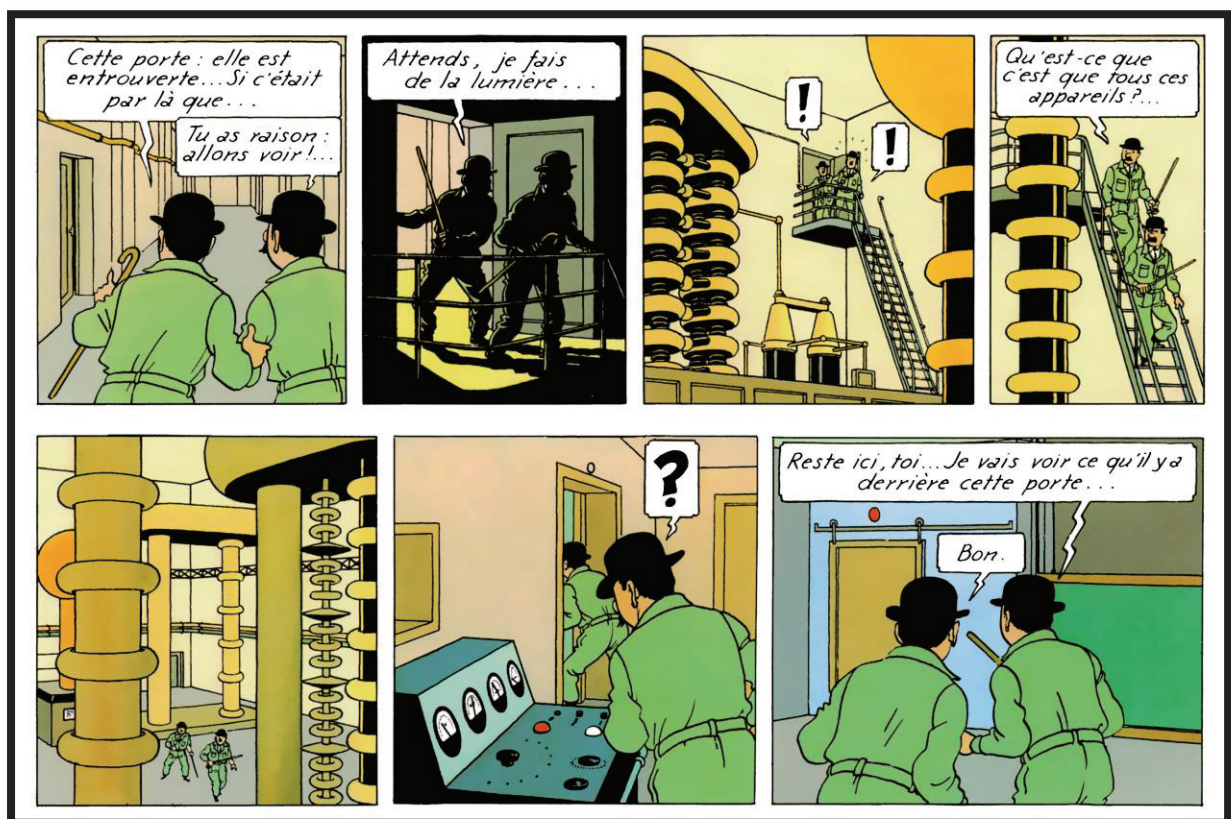


Figure 100 : Extrait des aventures de Tintin, *Objectif Lune*, page 23 vignettes B1 à B4 et C1 à C3 (Hergé, 1953) © Hergé/Moulinsart 2016

¹⁵² Comme notre partie théorique le suggérait, ce n'est pas le nom de l'objet qui nous permet d'identifier l'accélérateur CW. Nous devons ici nous rapporter à la forme globale de l'objet. De manière générale, on l'identifie grâce à sa taille, ses colonnes entrecoupées de « donut », ses grosses sphères ou ses éclateurs.

Intéressons-nous maintenant au contexte local du récit. Les détectives Dupont et Dupond sont envoyés sur les lieux (pour résoudre une enquête) et explorent à leur tour les installations du laboratoire. Attirés par une porte entre-ouverte par laquelle le suspect s'est probablement échappé, ils entrent dans une pièce sombre puis découvrent une salle avec des appareils gigantesques ressemblant très fortement à un générateur de haute tension Cockcroft-Walton (voir Figure 100). Un des frères Dupont s'interroge devant un pupitre de commandes, puis passe son chemin. Les appareils de ces quelques vignettes ne réapparaissent nul part ailleurs dans la bande dessinée et n'auront pas d'autres liens avec l'intrigue.

Dans la planche sur laquelle est représenté l'appareil, le passage de Dupont et Dupond dans la salle est très court. Il n'y a d'ailleurs que peu de récit en lien avec les trois images concernées (Figure 100). Comme les détectives « font la lumière » en entrant dans la salle, le lecteur suppose que les appareils sont éteints. Et en effet il n'y a pas de phénomènes scientifiques particuliers associés à un éventuel fonctionnement. Les personnages s'interrogent sur la nature de ces instruments, mais leur question restera sans réponse pour eux et pour le lecteur. L'accent est mis sur le côté gigantesque et surprenant de ces objets : l'arrivée par le haut de la salle, la taille des inspecteurs face aux appareils et les bulles comportant des points d'exclamation ou d'interrogation. Nous relevons aussi la présence de la vignette qui présente le pupitre de commande des appareils car c'est un élément qui est rarement représenté. On peut se demander pourquoi l'auteur au style d'écriture habituellement assez chargé, a utilisé quatre vignettes pour montrer des appareils qui ne rentrent pas particulièrement dans son intrigue.

Pour tenter de le découvrir, nous pouvons maintenant voir quelles seraient les affinités de l'auteur avec la science. Hergé est connu pour avoir écrit des aventures fictionnelles basées sur une recherche documentaire scientifique comme le montrent Lehoucq & Mochkovitch (2003) dans le livre « Mais où est le Temple du soleil ? ». L'aventure *Objectif Lune* est publiée quinze ans avant la mission Apollo 11 (1969) et avant même l'envoi du premier satellite : Spoutnik (1957). Pour cet ouvrage, Hergé s'inspire de films existants (*Destination... Lune !* Irving Pichel 1950), consulte ses amis, dont Bernard Heuvelmans (1916 – 2001) qui sera son conseiller scientifique pour plusieurs opus. Il s'intéresse aux programmes de recherches des physiciens de l'époque qui projetaient, dès avant-guerre, de provoquer un impact sur la Lune avec une fusée. Dans une interview qu'il a donnée en 1971 Hergé explique que :

« Pour moi cette aventure qui se passe [...] c'est une chose vraie. Je raconte cette histoire, et je voudrais qu'on y croie. Je voudrais y croire moi-même. Et alors pour qu'on y croie, je fais en sorte que les avions soient des avions, une maison soit une maison, [...] qu'un arbre soit un arbre ; pour que les personnages bougent dans notre univers à nous de tous les jours. Ce n'est pas un univers féérique, ni poétique, c'est un univers de tous les jours, notre monde à nous. » (Hergé, 1971)

Parmi nos recherches documentaires, nous n'avons pas trouvé de lien direct entre les affinités d'Hergé avec la science et l'accélérateur de particules. Mais notre exploration nous a amené à découvrir d'autres éléments qui peuvent devenir des indices.

L'extérieur du centre de recherche dans lequel se déroule l'action (planche page 19 de la bande dessinée) est ressemblant au centre de séparation de l'uranium d'Oak Ridge, qui fut un lieu servant à l'exécution du projet Manhattan dans les années 1940 aux États-Unis. La localisation du centre de recherche caché dans les montagnes, fait lui fortement penser au laboratoire américain de Los Alamos.

C'est sans doute par ce souci du détail réaliste qu'Hergé décide de faire traverser cette salle par les policiers. A travers ses ressources documentaires, a-t-il été séduit par l'esthétique de ces machines ? Ou est-ce une référence volontaire à l'histoire politique de notre monde ? En tout cas Hergé nous montre clairement son souhait de faire adhérer son lecteur à un monde possible le plus proche possible du nôtre. En ce sens, la bande dessinée *Objectif Lune* satisfait les critères de la théorie des « mondes possibles » de Lewis et nous permet de faire émerger les registres ontologiques mobilisés autour de l'objet.

L'appareil évoque à la fois le gigantisme des instruments scientifiques et leur côté incompréhensif et hermétique. Le fait qu'il soit caché dans un laboratoire secret, met aussi en avant l'aspect clandestin et exceptionnel de la possession d'un tel appareil. Le rôle de cet accélérateur est ici de permettre au lecteur d'identifier le monde des projets de recherches secrets, de la physique à la fois puissance et dangereuse. Les références¹⁵³ avec le projet Manhattan et l'enquête de Dupond et Dupont¹⁵⁴ nous font également penser que l'objet contribue à l'identification du monde de la Seconde Guerre mondiale. C'est donc probablement pour ses identités d'objet socio-politique que l'accélérateur de particules CW est convoqué dans ce volume des aventures de Tintin. Malgré son affinité pour les sciences,

¹⁵³ Nous en comptons au moins trois : la similitude avec la base d'Oak Ridge, la salle des accélérateurs de particules, et le nom du projet X (projet Lune) qui a la même codification que la bombe H.

¹⁵⁴ Les personnages Dupont et Dupond sont décrits comme carriéristes. Dans les aventures de Tintin ils sont prêts à arrêter un de leurs amis parce que leur travail le nécessite, sans mauvaise conscience. Ils mettent en quelque sorte leur humanité au second plan, tout comme l'ont fait un bon nombre de personnes sous couverts d'obéissance lors des événements de la Seconde Guerre mondiale.

l'auteur ne permet pas à son lecteur d'identifier clairement les appareils qu'il dessine ni ce qu'ils font. En ce sens, malgré la présence du pupitre de commande (qui reste à nos yeux un indice scientifique notable) nous concluons sur le fait que c'est aussi pour son registre d'objet socio-esthétique que l'objet est dessiné. Le monde de la fiction décrit par Hergé à travers le cas précis de l'image de l'accélérateur est fait pour coïncider avec notre monde actuel. Il nous semble même ici, que l'appareil est précisément un des éléments qui nous permettent de faire le pont entre nos deux mondes. Mais quelle image donne l'accélérateur pour la fiction ? Et quelle image la fiction donne-t-elle de l'accélérateur ?

Nous retrouvons ici la construction en miroir de la théorie des « mondes possibles » de Lewis : Hergé construit une image de fiction correspondant à une structure de notre monde et inversement, l'image du monde possible décrit par Hergé nous permet de reconstruire une image différente de l'accélérateur dans notre monde. Il sert à la fois à plonger le lecteur dans une fiction réaliste au cœur d'un laboratoire de recherche en physique des années 1930-1950, avec tout ce que cela implique tant au niveau politique qu'esthétique. Cette utilisation de l'accélérateur en fiction renforce les liens de l'accélérateur avec son passé politique et le marque de manière plus formelle aux yeux du lecteur. Ainsi l'image de l'accélérateur CW est superposée avec celle des laboratoires qui ont développés la bombe atomique. Nous pourrions représenter ces relations et cette construction en miroir avec le schéma suivant (Figure 101) :

Laboratoire de physique atomique des années 1930-1950
ESTHETIQUE et POLITIQUE

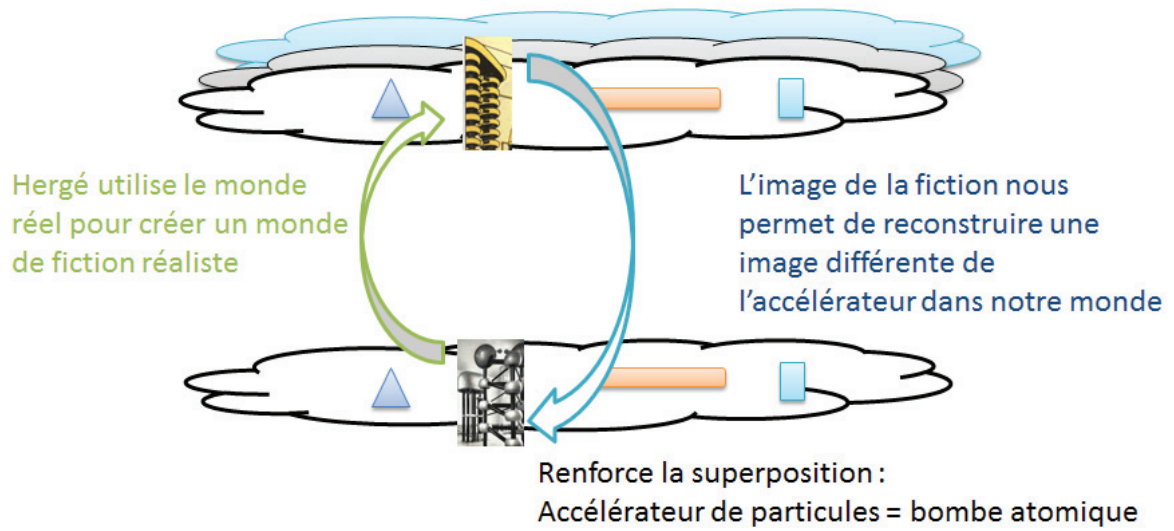


Figure 101 : Schématisation simplifiée de la théorie des « mondes possibles » de Lewis appliquée à l'exemple de l'identification de l'accélérateur CW dans le monde actuel (nuage du bas) et dans le monde de la fiction décrit par Hergé dans Objectif Lune.

Regardons maintenant un autre extrait.

- *Blake et Mortimer, L'onde septimus, 2013*

Ce volume est le 22^{ème} album de la série, et fait office de suite à l'affaire de la Marque jaune. Le professeur Philip Mortimer tente de recréer une machine qui permet de prendre le contrôle d'une personne à distance (le télécéphaloscope). Mais il n'est pas le seul, et l'appareil de ses concurrents sera utilisé avant le sien. Le capitaine Francis Blake enquête sur une affaire qui implique deux hommes inexplicablement atteints de folie. Au cours de ses recherches il découvre un vaisseau spatial enfoui sous un bâtiment. Les interférences produites entre ce vaisseau et autres machines en construction provoquent l'apparition de milliers de clones du professeur Septimus qu'il faut maîtriser au plus vite.

Les personnages de fiction de l'œuvre sont essentiellement des savants (comme Mortimer), des guerriers (plutôt comme Blake) ou des traîtres (comme Olrik). Philip Mortimer est un homme de science (physique nucléaire plus spécifiquement) fêré d'aventures, à la fois imaginatif, loyal et intransigeant. Son comparse, Francis Blake est un militaire de carrière mis à la disposition des services secrets britanniques.

Le monde de base utilisé est similaire au nôtre, dans une Angleterre qui semble avoir quelques décennies de moins. Les noms de villes ou de pays sont les mêmes que dans notre monde actuel. Plusieurs images représentent l'appareil que nous cherchons. Voici un extrait que nous avons sélectionné (Figure 102):

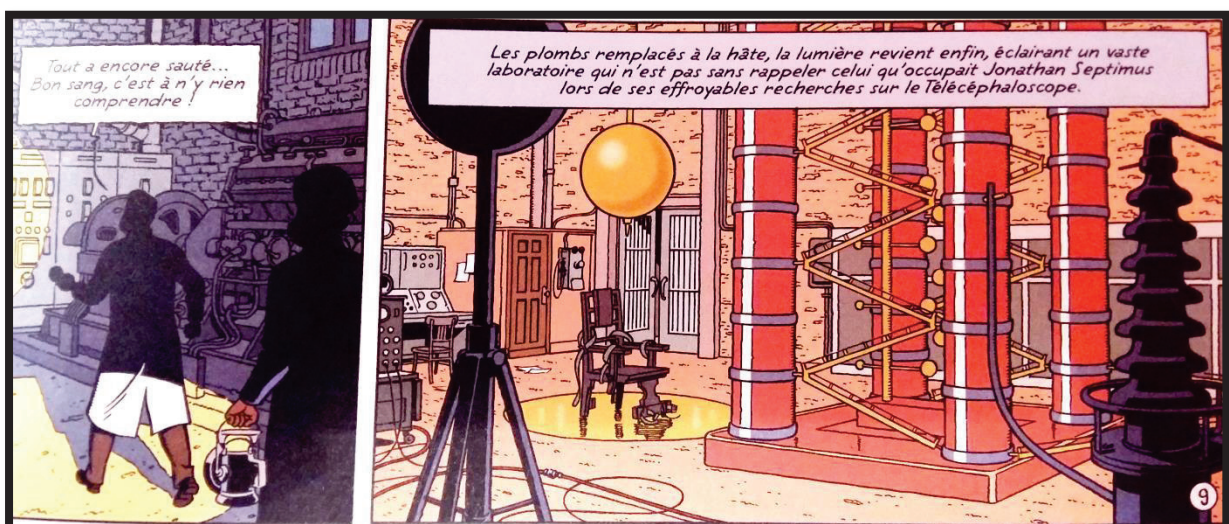


Figure 102 : Extrait des aventures de Blake et Mortimer, volume 22, *l'onde septimus*, cases 7 et 8 page 13 (Dufaux et al., 2013) © Editions Blake & Mortimer/Studio Jacobs (Dargaud – Lombard s.a.), 2016

Cette vignette apparaît tôt dans le récit et donne la vue la plus générale de l'objet. En arrière-plan, l'appareil est visible tout au long de l'intrigue et sur la couverture de l'opus. Le contexte local du récit autour de l'objet représente peu d'intérêt tant sa présence est générale dans le récit.

Les affinités de l'auteur des premières aventures de Blake et Mortimer pour la science ont aujourd'hui fait l'objet de plusieurs publications (« Blake et Mortimer face aux démons de la science », 2004, « Blake et Mortimer face aux grands mystères de l'humanité », 2015). Dans la lignée de Jacobs, les nouveaux auteurs respectent les marques laissés par l'auteur original pour faire évoluer les personnages. Nous parlerons donc ici de Jacobs, comme l'auteur du monde qu'il nous donne à voir dans sa fiction. Jacobs utilise des faits scientifiques de son époque (du monde de la physique ou de la médecine le plus souvent) pour créer son histoire. Comme le montrent Van Kerckhove & Le Gallo (2004) dans le livre « Le monde de Edgar P. Jacobs » ou l'article « Blake et Mortimer face aux démons de la science » (2004) de l'édition spéciale de Science et Vie, il passe même de longues heures à s'entretenir avec des scientifiques pour extraire « du fait scientifique réel » de ces entretiens, mais se donne toute la liberté d'extrapoler ce que cette réalité donne de fructueux. Au besoin il invente ses propres théories, aussi insolites soient-elles. Dans ce volume précisément, rien ne paraît être « fictionnel » jusqu'à ce qu'une décharge électrique foudroie un homme qui s'évapore alors dans une pluie d'étincelles.

« Physique nucléaire, énergies nouvelles, électronique... Jacobs s'est nourri de cette période faste de l'histoire de la physique pour rendre crédibles son univers et ses intrigues. Mais il ne borne pas son emprunt aux seules applications de la physique. Au besoin, il invente volontiers des théories de son cru, totalement farfelues, pour achever de convaincre son lecteur. » (« Blake et Mortimer face aux démons de la science », 2004)

Regardons maintenant les phénomènes scientifiques liés à la machine ressemblant à l'accélérateur de particules Cockcroft-Walton. Le télécéphaloscope est une machine fictive imaginée par l'auteur de la bande-dessinée (mais qui aura donné lieu à de véritable recherche en neurosciences). Son principe de fonctionnement est décrit précisément dans des aventures antérieures à celles-ci (*La marque jaune*). Son but est de permettre à son utilisateur d'accéder à l'esprit d'un cobaye pour le dominer et le manipuler. Dans le principe, le cerveau humain produirait et recevrait une onde appelée l'onde Méga. En la captant et en la modifiant judicieusement à l'aide de l'incroyable machine, il est alors possible de « téléguider » le

cobaye. Les différentes parties de la machine ne sont pas détaillées, mais les explications tiennent dans le fait qu'elle isole, capte et mesure cette onde cérébrale :

« L'onde Méga fut l'objet d'un long et minutieux travail de recherche. En effet, après la lecture, souvent rebutante, d'une quantité de revues spécialisées, après avoir décortiqué des tableaux anatomiques, établi des schémas, j'ai enfin élaboré une hypothèse qui devait servir de support scientifique au récit. Tout cela est déjà bien loin et j'ai oublié pas mal des choses » (Van Kerckhove & Le Gallo, 2004).

La machine mise en scène dans la fiction n'est pas unique. Le récit permet d'en identifier au moins quatre : la machine d'origine de Septimus, la réplique de Mortimer, la réplique d'Evangelyn et celle qui est utilisée sur la scène du théâtre. L'extrait que nous avons sélectionné (Figure 102) montre la machine du professeur Mortimer, dissimulée dans son laboratoire secret. Le « vaste laboratoire » du professeur Mortimer est caché dans la banlieue de Londres et « n'est pas sans rappeler celui qu'occupait Jonathan Septimus lors de ses effroyables recherches sur le télécéphaloscope. » (Dufaux et al., 2013). Celui de son ennemi, Evangelyn, est également un laboratoire caché dans « un quartier lugubre » de Londres, « lieux qui lui en rappellent d'autres de bien sinistre mémoire ! » (Dufaux et al., 2013). La lecture de ce volume nous apprend plusieurs points sur la machine¹⁵⁵ : lors de la première mise en tension de celle de Mortimer, elle fait sauter les plombs de la bâtisse dans laquelle elle se trouve, elle est contrôlée grâce à un pupitre de commande (de marque Heathhit UK), est composée d'au moins un générateur et une dérivation, elle est sujette aux interférences « qui semblent brouiller à chaque fois la trajectoire de l'onde » (Dufaux et al., 2013). L'élément le plus représenté de la machine est la sphère de cuivre, située au-dessus de la chaise du cobaye, et qui produit des éclairs (voir Figure 103). Elle est explicitement appelée « éclateur » (p28, 47, 48) et permet de « déchaîner la foudre » et de la diriger, quand l'expérience fonctionne, dans une direction précise.

¹⁵⁵ Nous parlons ici de la machine en général mais dans l'intrigue il en existe quatre fonctionnant sur le même principe : la première, celle de l'ennemi Septimus, la seconde celle des traîtres, et la troisième celle mise au point par Mortimer et la quatrième celle qui est utilisée sur la scène du théâtre. Dans ce volume précisément, nous avons vu deux laboratoires (relativement similaires).

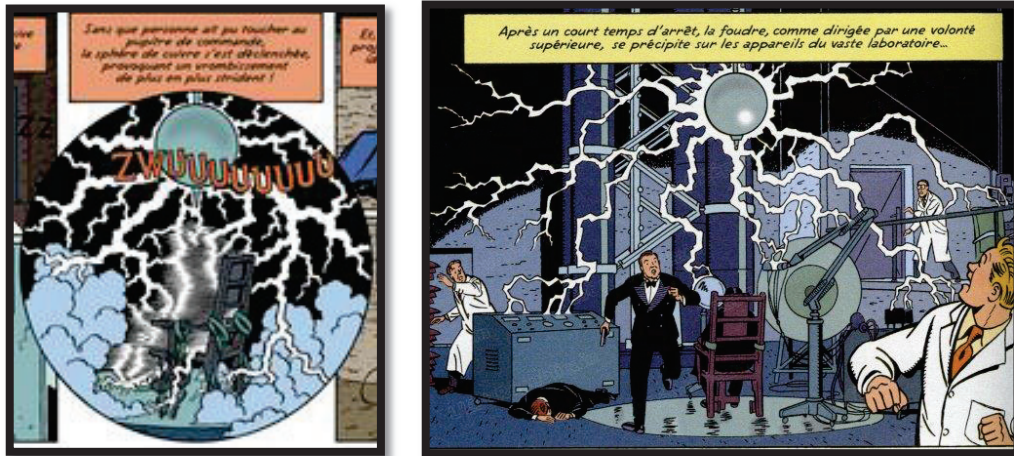


Figure 103 : Extrait des aventures de Blake et Mortimer, volume 22, l'onde septimus, case 6 et 10 page 15 (Dufaux et al., 2013) © Editions Blake & Mortimer/Studio Jacobs (Dargaud – Lombard s.a.), 2016

Quand les machines sont dessinées, on distingue un éclateur, des colonnes d'isolants, un pupitre de commande, une parabole en cuivre, et un générateur de tension (même si il n'est pas nommé explicitement) représenté par quatre grosses colonnes reliées par des composants transversaux, posé sur une plaque isolante. L'analogie peut facilement être faite entre ces colonnes et des condensateurs en bakélite et les éléments transversaux avec des diodes, similaires à celle du CW. Ce sont ces éléments qui nous permettent de l'identifier (voir Figure 104).

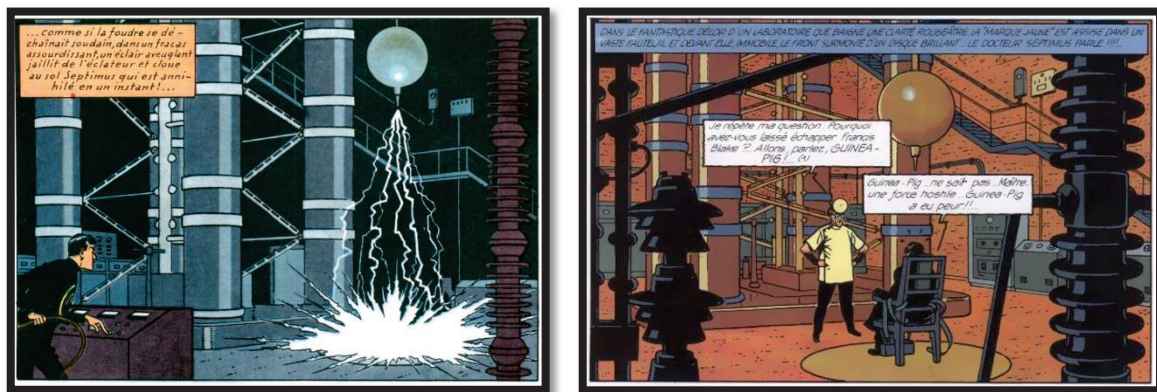


Figure 104 : Extraits des aventures de Blake et Mortimer, volume 6, la marque jaune, case 7 page 50 et case 4 page 69 (Dufaux et al., 2013) © Editions Blake & Mortimer/Studio Jacobs (Dargaud – Lombard s.a.), 2016

Dans cette bande dessinée, il n'est pas question d'accélération de particules, mais le générateur qui sert à alimenter la machine fictionnelle de Jacobs a de nombreux points communs avec les générateurs de haute tension de type Cockcroft-Walton.

Elle est associée à l'image d'une science puissante et dangereuse, cachée dans des laboratoires secrets ou exposé sur une scène de théâtre. L'histoire, les personnages et l'intrigue sont fictionnels mais évoluent dans un monde où la réalité et la fiction sont intimement mêlées. Les références au monde scientifique sont nombreuses.

La difficulté est ici d'arriver à dissocier la partie « réelle » de la machine, de la partie « fictive ». Si le générateur de haute tension qui alimente le télécéphaloscope n'a rien d'imaginaire, l'éclateur qui produit une onde qui modifie les agissements du cerveau le sont probablement. Le rôle de l'objet est donc de permettre au lecteur d'identifier ce monde de la science puissant et dangereux, mais qui fait aussi rêver, à travers une utilisation socio-esthétique de l'objet. En se référant de nouveau à la théorie des « mondes possibles », nous remarquons qu'ici l'image de l'accélérateur sert à plonger le lecteur dans un récit de fiction (ou de science-fiction) où l'instrumentation scientifique est importante et très inspirée du monde actuel. Il est difficile de dire si ce récit satisfait ou non la théorie des « mondes possibles » et la définition de la fiction réaliste. Il est certain que plusieurs éléments du récit apparaissent comme fantastiques, mais l'univers reste en coïncidence avec le nôtre sur de nombreux autres points. Nous pourrions dire que le monde possible décrit ici par l'imagination de Jacobs est seulement un peu plus distant du monde actuel. Mais cette distance rend encore plus difficile pour le lecteur, d'identifier les éléments qui coïncident avec notre monde de ceux qui sont contrefactuels. Etant déconnecté de son usage scientifique ou technique réel, c'est dans un registre ici socio-esthétique que l'accélérateur est utilisé. Cette utilisation de l'accélérateur en fiction crée cependant des liens entre son fonctionnement réel et son fonctionnement fictionnel, et pourra représenter une interférence dans l'interprétation de l'objet dans notre monde actuel, en laissant par exemple penser que l'appareil en fonctionnement produit des éclairs.

Regardons maintenant un autre extrait du monde de Jacobs.

- *Blake et Mortimer, Le secret de l'espadon, tome 3, 1950*

Reprenons le premier point de notre grille de lecture : le contexte général du récit. Dans cette aventure, qui se passe avant celle de l'onde Septimus précédemment décrite, les héros anglais sont engagés dans une guerre contre Bassam Damdu et ses alliés, et travaillent à la mise au point d'une nouvelle arme. Blake et Mortimer travaillent dans une base militaire

construite au-dessus d'une mine d'uranium, et par laquelle on accède en traversant une grotte qui cache un train circulant sous le détroit d'Ormuz (au sud de l'Iran). Comme dans l'opus précédent, les personnages sont principalement des militaires (voir Figure 105), des scientifiques et des ennemis (grand empire mondial jaune). Les opérations sont supervisées par les deux héros, le professeur Mortimer et le capitaine Blake. L'aventure se déroule dans un monde qui se veut être décrit comme le nôtre, sans événements fantastiques apparents à l'inverse du tome de *l'onde septimus* dans lequel ils apparaissent rapidement (étincelles et disparitions).

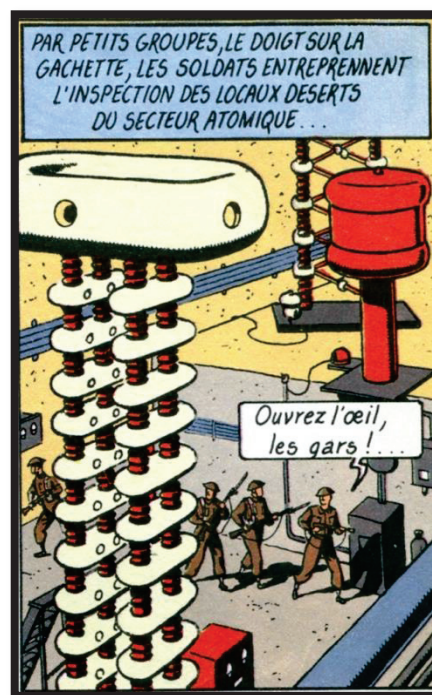


Figure 105 : Extrait des aventures de Blake et Mortimer, volume 14 tome 3, *le secret de l'épéon*, case 4 page 31 (Jacobs, 1950) © Editions Blake & Mortimer/Studio Jacobs (Dargaud – Lombard s.a.), 2016

Quand la vignette que nous avons sélectionnée apparaît (voir Figure 105), nous suivons d'autres personnages (non identifiés), affectés à la sûreté du bâtiment, dans les méandres de la base militaire secrète et de haute sécurité. C'est lors de l'inspection du secteur atomique qu'une vignette comporte un appareil ressemblant fortement à une haute tension de type Cockcroft-Walton. L'appareil est monumental, surmonté d'une pièce de forme typique des appareils de hautes tensions. Les colonnes ressemblent à des pièces de bakélite superposées et entrecoupées de pièces plus volumineuse et de la même matière que le chapeau. En arrière-plan de l'image, sur une plaque qui l'isole du sol, deux autres colonnes reliées par

des traverses semblent monter aussi haut que l'appareil au premier plan. Les personnages ne font que traverser cette pièce et aucun d'entre eux ne fait mention de ce qui les entoure. L'appareil est là pour nourrir le décor du secteur atomique dont le but est de mettre au point des fusées atomiques qui équiperont les espadons (des avions de guerre).

Avant d'arriver dans cette salle, le lecteur a déjà pu se familiariser avec un vocabulaire qui fait référence aux systèmes de sécurités mis en place autour des appareils : écran de plomb, compteur Geiger, combinaison en térylène et plomb, etc. Le lecteur est invité à découvrir un cyclotron de 1 millions d'électronvolts, des turbo-alternateurs, un oscillographe à écran fluorescent, la présence nocive des rayons-gamma. Ce sont toutes des références au vocabulaire du monde scientifique « connu », ce qui crée des ponts entre cette aventure de fiction et le réel.

Le récit ne permet pas d'identifier le fonctionnement de l'objet, sa constitution ou son usage. Il est seulement rattaché à l'instrumentation du secteur atomique. Jacobs semble toujours s'inspirer de ses lectures scientifiques pour enrichir son aventure d'un vocabulaire scientifique et agrémenter ses décors d'un esthétisme scientifique réel. Nous relevons aussi toujours le champ lexical scientifique lié aux laboratoires de physique cachés pendant la seconde guerre mondiale : secteur atomique, laboratoire secret, zone de haute sécurité, base militaire, arme atomique, mine d'uranium. L'accélérateur de particules CW représente le gigantisme des instruments scientifiques, toujours tenus dans des bases secrètes et de haute sûreté. Cela a pour conséquence de replacer l'objet dans son registre d'appareil socio-politique.

Le rôle de l'objet est toujours de permettre au lecteur d'identifier un monde de la science associé à la puissance de l'énergie nucléaire. L'objet est présent pour permettre au lecteur d'identifier ce même monde de la science que dans nos deux premiers extraits. L'usage de l'image de l'accélérateur met toujours en tension le registre socio-politique avec un registre socio-esthétique. La mobilisation de ces registres nous rapproche de nouveau de la construction en miroir de la théorie des « mondes possibles » de Lewis : Jacobs construit une image de fiction correspondant à une structure de notre monde et inversement, l'image du monde possible décrit par Jacobs nous permet de reconstruire une image différente de l'accélérateur dans notre monde. Il sert à plonger le lecteur dans une fiction réaliste au cœur d'un laboratoire de physique atomique des années 1930-1950, avec tout ce que cela implique tant au niveau politique qu'esthétique. Cette utilisation de l'accélérateur en fiction renforce les liens de l'accélérateur avec son passé politique et le marque de manière plus formelle aux

yeux du lecteur. Ainsi l'image de l'accélérateur CW est de nouveau superposée avec celle des laboratoires qui ont développés la bombe atomique.

- *Une ressource complémentaire : Désintégration atomique, collection supplément Tarzan, 1947.*

Lors de ces années de travail, nous avons croisé d'autres supports de fiction qui évoquent cet accélérateur de particules, ou du moins la haute tension de type Cockcroft-Walton. C'est par exemple le cas du périodique des aventures de Superman (*Désintégration Atomique*, 1947), dont nous avons obtenu des extraits grâce à des sites internet de passionnés (Ferragatti, 2014) et dont les images auront certainement marqué toute une génération de jeunes lecteurs. Malheureusement, nous ne sommes pas parvenu à retrouver l'intégralité de cette bande-dessinée, et c'est pour cette raison que nous la distinguons des autres. Nous allons tout de même, dans la mesure du possible, utiliser les critères de notre grille de lecture et d'autres critères qui semblent ici avoir une réelle importance (comme le contexte de publication et de diffusion).

Ce périodique est le 15^{ème} numéro de la collection supplément Tarzan, publié en septembre 1947 en France (voir Figure 106). Il s'agit d'une traduction des aventures de Superman qui s'appelle alors Surhomme ou Superhomme. Le personnage de Superman a été créé par Jerome Siegel et Joseph Shuster, mais nous devons ce scénario à Alvin Schwartz. Il s'agit apparemment de la traduction d'un épisode américain publié en 1945, l'épisode 34 du Daily Comic Strip de Superman intitulé aux Etats-Unis *The Science of Superman*.

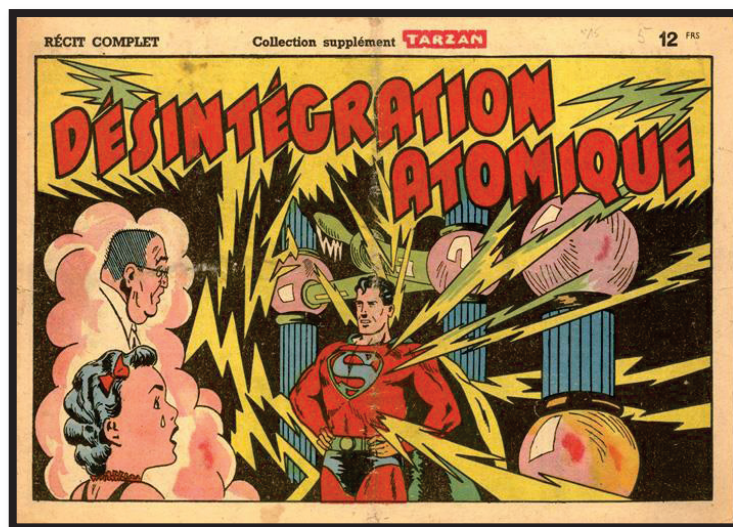


Figure 106 : Couverture des aventures de Superman, Désintégration atomique (Schwartz et al., 1947)

Dans cette histoire, le jeune étudiant Gilmore est en conflit avec son professeur de physique à propos de l'invulnérabilité de Superman. Pour mettre le super-héros à l'épreuve, le professeur feint de vouloir le soumettre au rayonnement du cyclotron de l'université. Bien que Superman accepte, le professeur ne mettra pas la machine en fonctionnement, ne voulant pas tuer cet imposteur inconscient du danger que cela représente. Mais Superman se placera tout seul dans la machine, et restera bien sûr insensible au bombardement d'électrons. Le professeur en déduira que la machine est en panne et n'acceptera pas son erreur et l'invulnérabilité du Héros (voir Figure 107). La suite de l'aventure est étrange : Superman devient entraîneur de l'équipe de baseball tandis que le professeur Duste et le cyclotron sont oubliés sans aucune explication :

« Ce que le lecteur francophone de l'époque, et sans doute vous-même, ne pouvait se douter c'est qu'il lisait deux ans après une histoire de comics qui avait été jugé comme mettant en péril la sécurité de l'Etat aux Etats-Unis. En effet, en avril 1945 une opération militaire vitale pour la victoire des Etats-Unis dans le pacifique se préparait. Il s'agit bien entendu de l'opération Trinity, c'est-à-dire la réalisation d'une bombe atomique qui conduira aux bombardements sur le Japon qui auront lieu début août de la même année. Les autorités américaines, et notamment le Federal Bureau of Investigation (FBI), surveillait toutes les publications américaines pour repérer d'éventuelles fuites ou messages de possibles espions étrangers sur le territoire. [...] Bien que l'histoire soit créditée officiellement à Jerry Siegel, le scénariste est Alvin Schwartz qui lors de son interrogatoire par les agents du bureau expliquera qu'il s'est inspiré d'un numéro de Popular Mechanics (magazine de vulgarisation scientifique) de 1935. Les agents du FBI se contentèrent de cette explication et demandèrent juste à National Publications de changer son scénario de manière à ne plus faire allusion à l'énergie atomique, ce qui explique le changement soudain du scénario qui s'appuie malgré tout sur le personnage de l'entraîneur de baseball qui existait déjà. Whitney Ellsworth (le responsable de la ligne éditoriale Superman chez National Publications) fera ensuite référence à l'affaire dans la livraison du magazine interne à Independent News (le distributeur de National Publications qui était également une filiale du groupe) de septembre – octobre 1945 en s'appuyant sur des articles d'août de Times & Newsweek évoquant l'intervention du bureau de la censure. Les lecteurs francophones de septembre 1947 ne pouvaient se douter de toutes ces interventions et lisèrent donc leur récit complet du Surhomme sans savoir que la petite histoire des comics avait rencontré la grande Histoire. »
(Ferragatti, 2014)

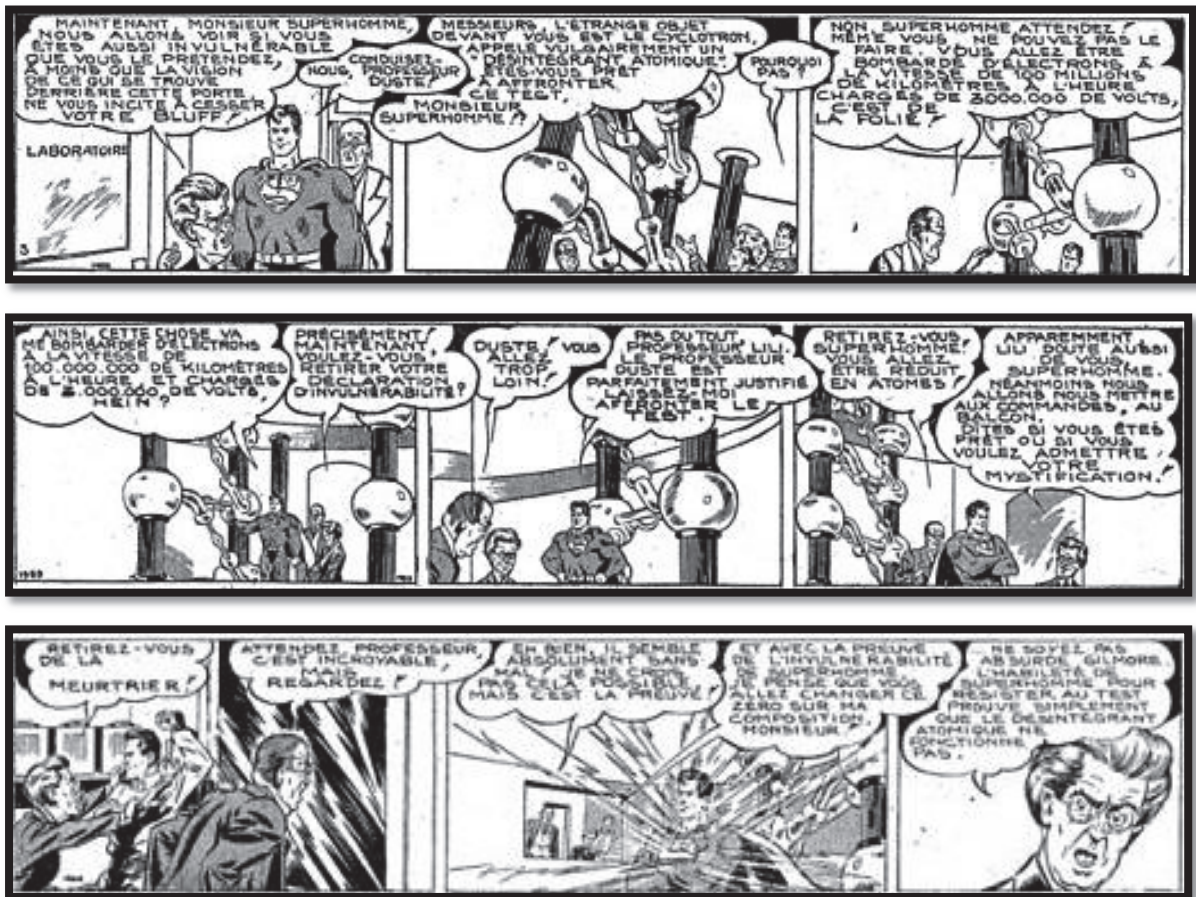


Figure 107 : Extraits des aventures de Superman, Désintégration atomique, (Schwartz et al., 1947)

Dans ce récit (Figure 107), les personnages sont fictionnels. La majorité sont des humains normaux, mais le personnage principal, appelé Superman, est un extraterrestre avec, dans un référentiel de compétences humaines, des superpouvoirs (les cinq sens surdéveloppés, une vision infra-rouge, une force musculaire extraordinaire, etc.). Les extraits que nous avons trouvés nous permettent d'identifier quelques caractéristiques de la machine : c'est un « cyclotron » mais son nom vulgaire est « désintégrant atomique », elle bombarde l'objet ciblé avec des électrons « à la vitesse de 100 millions de kilomètres à l'heure, chargés de 3000.000 de volts », et quand elle fonctionne elle produit de gros éclairs.

Publiée en 1947 après les événements de la fin de la seconde guerre mondiale, les mentions aux énergies atomiques sont inévitablement liées à la bombe H et aux recherches du projet Manhattan. Il est fait mention d'un cyclotron, or le cœur d'un cyclotron ne ressemble pas à un générateur de tension de type Cockroft-Walton. Il peut tout au plus être alimenté par

une haute tension de ce type¹⁵⁶. Le rôle de l'objet est de représenter un véritable laboratoire de science « à la pointe de la technologie », tel qu'on se le représente à la fin des années 1940. Il représente toujours la puissance et la dangerosité de la science, mais aussi ici l'homme (le héros américain) qui affronte cette science malgré les mises en garde des spécialistes. Superman, qui incarne cet homme américain est prêt à « dompter » la puissance électrique de la machine pour prouver sa force et son courage.

Nous n'avons pas retrouvé d'informations concernant les liens qu'entretenait Alvin Schwartz (le scénariste) avec la science, ni les sources de son inspiration pour écrire les aventures de Superman. En revanche, le succès de ses personnages l'a amené à s'interroger sur la force de l'imaginaire. Ainsi dans son autobiographie publiée en la première fois 1997, il écrit :

« *Superman had attained the status of a tulpa¹⁵⁷, an entity that according to Buddhist beliefs attains reality solely by the act of imagination* » (Schwartz, 2006).

L'inventeur du héros pense donc que Superman a atteint le statut d'un « tulpa », c'est-à-dire une entité qui est devenue réelle grâce à la force de l'imagination. Dans la suite de son livre, Schwartz dit qu'en réalité, il a rencontré le super-héros dans un taxi de New York. On voit bien ici que le discours mêle largement fiction croyance et réalité et que l'ensemble vient à tellement se mélanger que l'on ne distingue plus les mondes d'origines de chacun des éléments du récit.

Il semble probable qu'initialement l'auteur ait utilisé le registre socio-scientifique de l'objet. Mais l'intervention de la censure et la suppression de certains éléments font qu'au final c'est pour son statut d'objet socio-politique que l'objet est présent.

3.2.4.2 Série télévisée

- *Bing*

Bing est une série télévisée française de science-fiction, qui se présente sous la forme de 4 épisodes, réalisée par Nino Monti et scénarisée par Henri Slotine d'après le roman de Bob Ottum, *Pardon vous n'avez pas vu ma planète ?* (Ottum, 1974). Elle a été diffusée sur FR3 en

¹⁵⁶ D'ailleurs au cours de nos recherches dans les magazines Popular Mechanics de 1935, nous avons bien trouvé un article faisant référence à un générateur de haute tension, mais il s'agit du Van De Graff de l'institut Carnegie à Washington, qui ressemble plus à un gros œuf sur pilotis qu'à l'atome dessiné dans les aventures de Superman.

¹⁵⁷ L'encyclopédie collaborative nous apprend qu'un *Tulpa* est une entité spirituelle issue du Bouddhisme tibétain et pourrait être définie comme une forme de conscience autonome et indépendante, modelée à partir de la simple volonté psychique. Elle posséderait les mêmes capacités intellectuelles que son créateur, ainsi que les mêmes possibilités à penser, raisonner, croire, espérer et percevoir le monde... que lui (« Tulpa », 2016).

juin 1991 et septembre 1992. L'épisode 1 commence dans l'espace, à bord d'un vaisseau extraterrestre de la planète Héring, en orbite géostationnaire sur la face cachée de la Lune et présente assez bien le contexte général de la fiction:

"Ils ont traversé les espaces sidéraux, ils sont venus des tréfonds du cosmos [...], à travers les fenêtres secrètes de l'espace-temps. Ils ont voyagé à des vitesses que l'esprit humain est incapable de concevoir. Leur gigantesque vaisseau spatial se balance à présent dans le silence glacé de la face cachée de la Lune ... et depuis 3 jours, inlassablement, ils envoient un messages à la planète bleue"
(Monti, 1991)

Ces extraterrestres essaient désespérément d'entrer en contact avec les terriens qui n'ont pas encore développé les connaissances nécessaires pour déchiffrer leur message. La race humaine est décrite avec humour comme étant assez arriérée et très en retard sur son évolution. Les premières vues de la planète terre sont celles de grandes paraboles semblant recevoir les messages du ciel, puis une vue descendante sur une haute tension Cockcroft-Walton (voir Figure 108).



Figure 108 : Capture d'écran de la série Bing (Monti, 1991). L'image montre une partie de l'appareil permettant de recevoir les messages extraterrestre dans la station de radiotélescope. L'objet ayant servi de décor est en réalité l'accélérateur CW de l'IPNL.

C'est grâce à cet appareil que le savant semble détecter des voix venant de l'Univers, mais personne ne semble croire à son interprétation. Les extra-terrestres décident d'envoyer un des leurs, nommé Bing, sous forme humaine pour aider les terriens à déchiffrer leur message. Bing a trois jours pour réussir sa mission sinon le vaisseau poursuivra sa route.

Les personnages de cette série sont des humains classiques : Charles-Albert Dieudonné est l'humain enlevé par les extraterrestres et c'est sous cette forme là qu'interviendra le personnage de Bing. Dieudonné incarne le stéréotype du personnage masculin macho, dragueur, un peu mal élevé et imbu de sa personne. Il travaille dans une chaîne de télévision aux côtés de Joseph Fiddle, un chroniqueur désuet et féru de science, incarnant l'image du bon copain ayant le cœur sur la main, assez naïf. Fiddle est ami avec le professeur Jolibois, directeur d'une « station de radiotélescope ». Les extraterrestres sont représentés avec un corps de forme humanoïde, une grosse tête qui ressemble plus à celle d'un bœuf avec de gros yeux et une peau lisse. Ils parlent leur propre langue, ne connaissent pas encore beaucoup de choses à propos des humains, mais sont plus avancés technologiquement et scientifiquement parlant.

Le récit est bien sûr de fiction puisque même s'il se déroule dans un environnement quotidien avec des tracas lié à la vie professionnelle, amoureuse et personnelle, il met en scène des extraterrestres. L'intrigue se déroule dans les années 1980-1990, en France. Ce qui va nous intéresser plus particulièrement ici, ce sont les vues du laboratoire du professeur Jolibois, puisqu'elles contiennent des plans sur un accélérateur Cockcroft-Walton. Et en effet, il se trouve qu'elles ont été tournées dans l'Institut de physique Nucléaire de Lyon (voir Figure 108). La haute tension qui apparaît dans les premières images de la planète terre, est bien celle qui était alors montée dans le Dôme, avec le reste des équipements de l'accélérateur de particules. Dans le récit, on ne parle pas explicitement de son rôle ou de son fonctionnement. Mais l'enchaînement des images suggère explicitement que c'est la partie qui se trouve entre les paraboles et l'ordinateur qui décrypte les messages (Gloria). Le laboratoire du professeur est décrit comme étant de « radiotélescope ». Ce terme n'existe pas vraiment, mais un radiotélescope est une machine utilisée en radioastronomie pour capter les ondes radioélectriques émises par les astres. Il n'y a pas de phénomènes physiques visibles (comme des éclairs ou des effluves colorés) associés au fonctionnement de la machine. L'accélérateur joue le rôle d'un circuit de traitement complexe situé derrière les antennes placées à l'extérieur.



Figure 109 : Différentes captures d'écran extraites de la série Bing (Monti, 1991) sur lesquelles l'accélérateur CW de l'IPNL figure en arrière-plan.

Dans les différents plans où l'objet apparaît (voir Figure 109), il sert de décor au laboratoire de recherche. Les personnages ne parlent pas de lui et ne le mentionne pas. Seul l'ordinateur (Gloria), supposé être à la fin de la chaîne de détection « interprété » par l'accélérateur CW, est en lien avec les personnages.

Dans le cas présent, la haute tension de l'accélérateur de particules Cockcroft-Walton est une machine qui permet de recevoir les messages des extraterrestres. Nous sommes bien loin de son fonctionnement réel, et c'est bien son esthétique qui a été utilisée par le réalisateur pour les besoins de la fiction. Le registre socio-esthétique est le seul qui est convoqué par ce support.

- *Ressources complémentaires*

Au cours de ces années de recherche et d'interrogation autour de l'accélérateur de particules Cockcroft-Walton, il nous a souvent été demandé le rapport entre cette machine et les machines de Tesla (plus inscrites dans l'imaginaire collectif peut-être). Il nous apparaît alors complémentaire de faire référence à quelques sources, média artistiques présentant des récits de fiction, qui font appel à ce même imaginaire. Dans les cas que nous avons relevés, ou qui nous ont été suggérés, les machines ne sont pas des hautes tensions Cockcroft-Walton. Ce sont des machines dont l'esthétique les rappelle, de par leur taille, leur forme ou leur milieu d'application.

L'Apprenti sorcier (The Sorcerer's Apprentice), Jon Turteltaub, 2010.

L'apprenti sorcier est un film américain de chez Disney sorti en 2010 dans les salles françaises. Sur fond d'une histoire de sorciers, un étudiant en physique propose un cours de « physique pour les littéraires » dans son université. Quand il n'enseigne pas, il travaille sur son expérience « un peu dangereuse » dans son laboratoire hébergé dans une ancienne plateforme de métro (voir Figure 110). Cet étudiant « physicien fou » un peu incompris, pas très inséré socialement, sait réparer en deux minutes les émetteurs radio qui prennent la foudre, et comme il le dit « moi c'est la physique, c'est mon truc ! ». L'étudiant doit finir son projet d'étude sur des bobines Tesla. A l'image de l'héroïne dont la musique est la passion et la raison de vivre, lui ce sont ses bobines. Il développe une expérience permettant de créer de la musique à partir des arcs électriques produits par les décharges des bobines. L'étudiant doué en physique apprend qu'il a un don (la sorcellerie) et qu'il doit apprendre à le contrôler, le destin du monde dépendant certainement de lui.



Figure 110 : Capture d'écran du film *L'Apprenti sorcier*, (Turteltaub, 2010).

Les personnages de fiction de ce film sont des sorciers (Baltazar, Horvath et Morgane), des étudiants normaux ou des apprenti-sorciers étudiants (Dave Stutler). L'intrigue se déroule aux Etats-Unis à Manhattan, dans un contexte actuel. Le contraste est fait entre le monde réel et les événements produits par les interventions des sorciers, qui apparaissent alors comme improbables pour les personnages « normaux » (des loups gris dans Manhattan ou une personne qui sort d'une urne). La sorcellerie est un élément de fiction pour nous, mais aussi pour les personnages non-sorciers du film. Il y a dans le film une confrontation entre ces deux « mondes possibles ». Le monde de la sorcellerie doit d'ailleurs rester secret pour le commun des mortels. Le personnage principal Dave, est un étudiant apparemment normal, mais qui développe des compétences particulières pour la physique. En apprenant son don de sorcier, le spectateur est invité à se demander si son don pour la physique et le fonctionnement de ces

machines, ne serait pas aussi lié à la sorcellerie. De là à laisser penser que le fonctionnement de ces instruments, ou qu'une personne passionnée de physique relève de la magie ou de la fiction, il n'y a qu'un pas :

« - Tu sais que tout le monde utilise seulement 10 pourcent du cerveau. Un sorcier peut manipuler la matière parce qu'il possède la capacité d'utiliser la totalité du pouvoir de son cerveau ; ce qui explique aussi pourquoi la physique moléculaire n'a pas de secret pour toi.

- Alors la sorcellerie c'est de la science ou de la magie ?

- Oui et oui [...] » (Turteltaub, 2010)

Les phénomènes scientifiques relatifs à la mise en fonctionnement de la machine qui ressemble à la haute tension Cockcroft-Walton, sont en lien avec à la maîtrise d'arcs électriques grâce aux bobines : il les branche avec de gros cables, derrière un petit module d'ordinateur et elles produisent « du plasma ». Les arcs électriques produisent des sons ressemblant à des gros grésillements, et à des fréquences sonores ; il les utilise d'ailleurs pour faire de la musique.

« les bobines produisent un courant à très haute fréquence, ce qui provoque des arcs électriques qui jaillissent dans toutes les directions en créant des ondes sonores. Un truc de geek ! » (Turteltaub, 2010)

Elles peuvent présenter un problème « d'auto-allumage » (mise en fonctionnement spontanée), d'électrocution si on ne reste pas dans la cage centrale (cage de Faraday). En revanche, il n'y a pas de temps de charge et elles peuvent produire des arcs à la demande, donc des sons, pendant tout le temps où elles restent sous tension.

Même si ici ce n'est pas un générateur de haute tension de type Cockcroft-Walton, ces bobines Tesla ont des points communs esthétiques qui les rendent assimilables : leur taille, les matériaux de construction (bakélite, aluminium), les formes sphériques, les colonnes, etc.

Les phénomènes physiques de fiction associés aux bobines et tout l'environnement magique lié à leur fonctionnement font un monde qui interfère avec l'interprétation faite de la haute tension Cockcroft-Walton.

Le prestige, Christopher Nolan, 2006

Ce film américano-britannique de Christopher Nolan est sorti en 2006 et est inspiré du roman éponyme de Christopher Priest publié en 1995. L'histoire, suit une structure de narration non linéaire, et présente la rivalité entre deux prestidigitateurs britanniques de la fin

du XIXe. L'histoire se déroule entre Londres (Angleterre) et Colorado Springs aux Etats-Unis durant l'ère victorienne. Le magicien Alfred Borden (appelé le professeur), est accusé du meurtre de son rival et ex-ami Robert Angier (appelé le grand Danton), apparemment mort au cours d'un tour de magie. Cherchant en permanence l'un et l'autre à s'espionner se piéger et s'humilier en public, l'intrigue tourne autour de la résolution du tour de « l'homme transporté ». Angier part à la rencontre de Nikola Tesla et découvre ce qui semble être le secret de Borden : une machine permettant de dédoubler une personne ou un objet à quelques dizaines de mètres du modèle (voir Figure 111). Grâce à cette machine à cloner, qui présente quelques ressemblances avec une haute tension de type Cockcroft-Walton, même la mort des personnages principaux devient une incertitude.

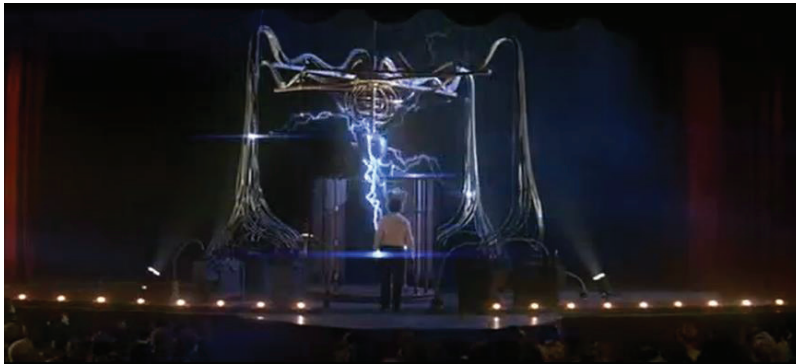


Figure 111 : Capture d'écran extraite du film Le Prestige, (Nolan, 2006)

Les personnages principaux sont de fiction, bien que ce type de querelles ait réellement existé entre les scènes Londoniennes. Nikola Tesla (1856 – 1943) est un scientifique réel, mais le personnage joué par David Bowie (1947 – 2016), tient sans doute plus de la fiction que de la réalité de ce qu'a été cet ingénieur : c'est « un personnage historique librement adapté ». La rivalité développée entre les deux prestidigitateurs n'est pas sans rappeler celle de Tesla et Thomas Edison (1847 – 1931). La mention à ce personnage crée un pont indéniable avec le monde réel, puisqu'il a existé, mais crée aussi un pont avec un imaginaire collectif déjà bien nourri. De son vivant, Tesla se produisait déjà sur des scènes et montrait ses expériences en public. Depuis les années 1990 ses travaux connaissent un regain d'intérêt donnant lieu à des interprétations parfois sans fondement. Il incarne lui aussi cet archétype du scientifique fou, entouré de mystères et de secrets, inventeur maudit à la fois visionnaire et idéaliste. Il nous semble qu'aujourd'hui le personnage de Tesla existe entre deux mondes : un réel et un fantasmé, qui se superposent, et créent ainsi des ponts entre ces deux univers. La représentation de Tesla la plus connue est d'ailleurs celle où il semble lire devant sont générateur de hautes tensions en fonctionnement. Il est alors entouré d'éclairs et

reste paisible sur sa chaise ; ce qui est impossible vu la description qu'il fait de sa propre expérience.

« The coil, partly shown in the photograph, creates an alternative movement of electricity from the earth into a large reservoir and back at a rate of one hundred thousand alternations per second. The adjustments are such that the reservoir is filled full and bursts at each alternation just at the moment when the electrical pressure reaches the maximum. The discharge escapes with a deafening noise, striking an unconnected coil twenty-two feet away, and creating such a commotion of electricity in the earth that sparks an inch long can be drawn from a water main at a distance of three hundred feet from the laboratory. » (Tesla, 1900)

Les ponts entre le réel et la fiction sont très nombreux et ambigus dans ces extraits. Les machines qu'il produit sont, elles aussi à la fois réelles et imaginaires. La ressemblance entre notre accélérateur et la machine créée pour le film tient à sa taille, les formes sphériques en hauteur, le lien avec les hautes tensions. Les caractéristiques de fonctionnement de l'une peuvent facilement être transposées à l'autre ; l'accélérateur de particules devenant ici une machine à cloner les humains, produisant de gros arcs électriques. L'expérimentateur se place au centre d'une cage de faraday à l'intérieur de laquelle il prend un bain d'arcs électriques.

3.2.5 Conclusion sur le contenu représentationnel dans les médias artistiques

Notre réflexion générale était : en quoi la fiction littéraire ou artistique, peut interférer avec la perception réelle de cet objet ?

L'étude de notre corpus principal ainsi que des ressources complémentaires, nous permettent d'apporter des éléments de réponse à cette question.

A travers les récits de fiction, les appareils ressemblant à la haute tension de l'accélérateur Cockcroft-Walton peuvent participer à plusieurs entreprises : la fabrication d'une fusée, la manipulation du cerveau humain, la fabrication des armes atomiques, la production d'une énergie « surhumaine », la communication avec les extraterrestres voire même le clonage et la musique. Parmi ces usages, seuls les extraits du *secret de l'Espadon* et de *Désintégration atomique* semblent le mobiliser dans un contexte qui se veut proche de son contexte scientifique réel.

Dans les aventures de Tintin ou de Blake et Mortimer dans *le secret de l'Espadon* l'appareil est utilisé comme décor pour représenter le gigantisme et l'hermétisme des instruments scientifiques. Dans les aventures de *l'onde Septimus* ou de *Bing*, il fait partie d'une chaîne de traitement, entouré d'autres appareils et en lien avec l'émission et la réception d'ondes ; comme si sa taille permettait de « capter » les ondes qui voyagent au-dessus de nos têtes. Nous avons peu observé de lois physiques qui soient pertinentes à analyser dans les mises en scène de l'accélérateur de particules CW. Le plus souvent l'objet est muet. Seuls les phénomènes d'éclairs sont récurrents. A plusieurs reprises le fonctionnement de la haute tension est associé à la production d'éclairs ou de décharges électriques constantes. Or dans les témoignages des utilisateurs de l'Institut de physique Nucléaire de Lyon, il est seulement fait mention de « claquages » quand les conditions de température et d'humidité le provoquaient. Ces claquages ont cependant rarement été « vus » puisque la partie supérieure de l'appareil était dans une pièce fermée, interdite d'accès lors des manipulations. Nous avons volontairement sélectionné des sources complémentaires où les ressemblances avec la haute tension Cockcroft-Walton sont moins évidentes, mais où les phénomènes de fonctionnement sont vite associés de l'un à l'autre sans distinction.

Il y a également des points communs à tous ces récits. L'appareil est (ou provient) toujours dans un laboratoire scientifique, le plus souvent caché au reste du monde. La possession d'un tel appareil est souvent tenue secrète, comme si le propriétaire cachait un hôte clandestin. Il permet de représenter une science puissante, dangereuse et qui n'est maîtrisée que par quelques experts. Les personnes qui utilisent ces machines sont toujours des scientifiques : le professeur tournesol ou son équipe (Hergé, 1953), le professeur Mortimer ou son équipe (Dufaux et al., 2013; Jacobs, 1950), le professeur Duste (Schwartz et al., 1947), le professeur Jolibois (Monti, 1991), un étudiant fêru de physique (Turteltaub, 2010), Tesla ou la personne à qui il lègue son invention (Nolan, 2006). Cela implique que pour faire fonctionner ces appareils, il faut avoir des connaissances en physique. Ces machines mises en scène dans la fiction sont ésotériques pour le commun des mortels, voir magiques et souvent dangereuses. L'image de la science et des scientifiques qui est donnée à voir est toujours une vision sociale négative.

Après l'analyse des différentes images de l'objet, on voit bien que c'est l'aspect sensationnel qui est mis en avant. La préoccupation des auteurs n'est pas d'utiliser l'objet comme un objet scientifique patrimonial, même s'ils sont rattachés de près ou de loin à la science. C'est pour sa signification socio-politique ou socio-esthétique que l'objet est donné à

voir. Cet objet socio-technique est dépossédé de sa valeur scientifique ou technique et est plutôt utilisé pour son côté à la fois poétique / mystérieux / fantastique / magique / ou dangereux. Dans les différents extraits son rôle est de permettre au lecteur (ou au spectateur) d'identifier rapidement le monde de la physique nucléaire, de la science des instruments à la fois gros et puissants (Big Science).

L'accélérateur est ici utilisé comme un élément de notre monde, et qui de par les différents registres ontologiques dans lesquels il s'exprime, vient faire coïncider le monde de la fiction avec des éléments du monde réel. Dans notre cas, le monde possible atteint des références du monde réel et se nourrit de son histoire, par le biais de cet objet. Seule son utilisation dans la série télévisée *Bing*, ne fait pas référence à lui dans ce cadre-là. Tout porte à croire que malgré son apparence « d'objet de science-fiction » l'accélérateur CW soit en fait utilisé comme point de repère entre la superposition du monde de la fiction avec le monde réel. L'accélérateur sert à enrichir l'image scientifique du monde fictionnel.

L'image fictionnelle de l'objet sert à alimenter le récit de fiction, mais elle contribue aussi à reconstruire notre image de cet objet dans notre monde, à la lumière de ce monde possible. La réalité et la fiction se confondent aux yeux du lecteur autour de cet objet et la perception de l'accélérateur dans notre monde peut en être modifiée. L'accélérateur Cockcroft-Walton est déconnecté de son usage réel (statut socio-technique ou socio-scientifique) mais induit d'autres choses qui tiennent plus de l'ordre de la spiritualité ou des interactions psychiques. Son implantation dans les laboratoires secrets ou cachés renforce l'idée selon laquelle la science est « distante », dangereuse et accessible aux seuls spécialistes. Notre enquête historique a révélé qu'il y a en réalité peu de sources qui mentionnent l'usage d'un accélérateur de particules CW dans les laboratoires de physique de la Seconde Guerre Mondiale. Dans la source que nous avons trouvée, cet accélérateur est cité à côté des accélérateurs de type Van De Graaff et d'un cyclotron. Cette interrogation a été récurrente dans notre travail : pourquoi cet accélérateur incarne l'image des objets du projet Manhattan, ou du laboratoire de Los Alamos (autre atlantique) ? Grâce à cette analyse, il nous semble probable que ce soit les récits de fiction qui aient renforcé cette image. Les auteurs de BD, qui n'ont pas été totalement déconnectés du monde scientifique

L'interrogation sur les références à la Guerre et au développement de la bombe, a ponctué notre travail. A la lumière de cette analyse, nous pouvons légitimement nous demander si ce n'est pas l'image véhiculée par la fiction qui aurait contribué au renforcement de cette association systématique.

Conclusion du chapitre 3

Le chapitre précédent a montré que les éléments du discours narratif de l'exposition ne permettaient pas réellement au visiteur de contextualiser, d'interpréter et de s'approprier l'accélérateur de particules Cockcroft-Walton dans l'exposition *Sociétés*. L'analyse des versions successives de l'audioguide ont ouvert la voie vers une analyse qui s'intéresse plus à l'image fictionnelle de l'objet. Menant plus loin cette démarche, nous avons recherché les différents contextes de valorisation de cet accélérateur CW. Nous avons pu en identifier deux : un manuel scolaire de Terminale Scientifique, et les médias-artistiques. Avec des méthodes différentes, nous avons analysé la manière dont il est convoqué et utilisé, dans l'objectif de pouvoir identifier des éléments qui pourraient avoir une influence sur l'interprétation et l'appropriation de l'objet par exemple, lorsque le visiteur le rencontre au musée. La caractérisation des différentes utilisations de l'accélérateur de particules CW dans ces différents supports nous éclaire sur la manière dont est utilisé cet objet scientifique et le contenu représentationnel qu'il véhicule.

Nous nous demandions si dans les manuels scolaires les images des outils de la science étaient utilisées de manière à coïncider avec des objectifs de l'éducation nationale. Or cette étude nous montre bien que même pour un support d'enseignement, supposé participer à la transmission des connaissances et à l'apprentissage, l'utilisation de l'image des outils de la science est essentiellement esthétique et non scientifique, épistémologique ou pour l'intérêt de l'aspect patrimonial. Ces trois points nous permettent de conclure que la représentation de l'accélérateur dans ce contexte d'étude est avant tout iconique (elle montre un objet qui lui ressemble) et graphique (sélection avant tout esthétique de l'image) au détriment d'une fonction symbolique ou physique (scientifique) que l'objet serait légitimement capable de porter.

A travers les différents registres ontologiques mobilisés, les objets présentés jouent différents rôles pour le lecteur ou le spectateur. Que ce soit à travers l'utilisation dans le manuel scolaire ou dans les médias artistiques, c'est le plus souvent pour son identité socio-esthétique et socio-politique que l'objet est convoqué. Pour gagner sa place dans ces supports, l'objet doit garder une certaine dimension fantastique pour interpeller le lecteur et entretenir une part de mystère et d'incompréhensible. Tout porte à croire qu'au-delà du registre socio-

esthétique ou socio-politique pour lequel il est majoritairement mobilisé, l'objet est obligé de conserver une dimension fictionnelle, qu'elle fasse rêver ou qu'elle fasse peur, pour ne pas rester « insignifiant » aux yeux du lecteur ou du spectateur. Cet objet fictionnel, de par son côté « boîte noire », a plus de similitudes avec une œuvre d'art qu'avec les objets que l'on rencontre habituellement en musée de sciences.

S'il y a un rapport de ressemblance entre « monde possibles » et monde actuel, c'est souvent sur le registre de la similitude visuelle. De cette proximité des « mondes possibles » entre eux, et avec le monde actuel, il est possible d'observer plusieurs détournements :

- une rupture avec le contexte socio-technique de l'accélérateur de particules CW, car ils servent à d'autres fins et fonctionnent autrement (avec notamment la présence des éclairs alors que le monde des particules est invisible dans la machine) ;
- d'autres systèmes ou objets techniques purement imaginaires, car inexistant, voire arbitraires, sont construits dans la logique du récit de fiction ;
- enfin, il y a une dimension socio-imaginaire relative à ces objets techniques, concernant leur dimension mystérieuse, et donc démiurgique, d'où le conflit des valeurs merveilleux/maléfique.

Il y a des mondes possibles qui sont très éloignés du monde technique d'où l'instrument est prélevé, dans lesquels on ne peut donc pas reconstruire son usage en s'aidant de son fonctionnement effectif. La part de fictif l'emporte sur le monde d'arrière-plan technique.

Dès lors, on peut s'interroger sur la manière pour cet objet, de redevenir un objet réel pour la science et retrouver une signification scientifique, et incarner pleinement son statut d'outil de la science patrimonialisé.

CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE

A la différence des nombreux travaux sur les objets que nous considérons, de fait, comme faisant partie de notre patrimoine culturel, les travaux sur les objets scientifiques contemporains sont encore peu nombreux. Cette question n'avait d'ailleurs jamais été traitée dans une étude de didactique des sciences.

Notre travail a donc tiré son originalité dans le choix de notre objet d'étude :

- Un instrument scientifique issu des laboratoires de physique, premier de la lignée des accélérateurs de particules et de ce qu'on appelle aujourd'hui la Big Science. C'est un objet scientifique qui émane d'un milieu de recherche de plus en plus spécialisé et devenu très complexe pour la plupart des personnes.
- Un contexte d'étude permettant un parallèle constant entre un objet considéré comme patrimonialisé mais qui peine à trouver une légitimité dans une exposition (l'accélérateur CW Philips du musée des Confluences), et un objet qui entre seulement dans un projet de valorisation mais dont la trajectoire de vie et l'importance locale en font déjà un objet emblématique (l'accélérateur CW Haefely de l'IPNL).

Notre recherche se proposait donc d'interroger les spécificités du processus de patrimonialisation des objets scientifiques contemporains et d'analyser la manière dont ils sont valorisés au travers d'études de cas de l'accélérateur de particules de type Cockcroft-Walton. Ces objets (scientifiques et contemporains) se distinguent des objets classiques du patrimoine culturel, et leurs spécificités (taille, complexité, etc.) nécessitent une prise en charge différente de celle qui est habituellement envisagée dans le processus de patrimonialisation et dans la valorisation.

Dans cette conclusion, nous nous attacherons à synthétiser l'originalité et les limites de nos travaux, à dresser un bilan du travail réalisé, à mettre en relations l'ensemble des résultats obtenus lors de nos analyses et à en discuter les apports au regard de notre thèse, ainsi que de montrer les perspectives que le travail permet d'ouvrir.

Une étude de cas, parce qu'elle s'intéresse à un objet particulier, donne aussi certaines limites à nos travaux qu'il convient de discuter. Comme le présentait déjà l'introduction de notre thèse, l'objet choisi n'est pas anodin. Un accélérateur de particules, qu'il fasse rêver ou qu'il effraie, ne laisse pas son public indifférent. Or tous les objets scientifiques

contemporains ne présentent pas cette particularité, ou peut-être pas de manière aussi forte. Les accélérateurs de particules ne sont pas des objets « connus de tous » mais font l'objet d'un traitement médiatique qui fait que la majorité des personnes en « ont connaissance ». Ils sont malgré-eux aujourd'hui l'objet de représentations sociales qui influent sur leur processus de patrimonialisation.

Un accélérateur de particules CW se démarque aussi par sa taille et sa forme. D'un point de vue pratique, sa taille, dans le milieu de la conservation est un obstacle majeur. Il est difficilement déplaçable, lourd, encombrant ; il occupe un espace de stockage ou d'exposition conséquent. D'un point de vue social en revanche sa taille peu devenir un atout puisqu'on le remarque forcément. Nous l'avons vu dans le dernier chapitre de la seconde partie, la « beauté fonctionnelle » de l'objet est très évocatrice et influe nécessairement (aussi) sur sa représentation sociale. C'est aussi une caractéristique propre à notre cas d'étude qui nécessitera d'être discutée pour être généralisée.

Nous allons maintenant revenir sur les différents apports de notre travail.

Dans la première partie de notre thèse, nous avons réalisé une analyse contextuelle historique, épistémologique et scientifique de l'objet, en l'envisageant sous quatre points de vue différents :

- Historique, en regardant le premier instrument de ce type, c'est-à-dire l'accélérateur CW construit par Cockcroft et Walton en 1932
- Technique, en analysant le fonctionnement d'un accélérateur CW
- Local, en retraçant la trajectoire de l'accélérateur CW de l'IPNL
- Mondial, comme un objet qui a été le fruit d'un « traitement patrimonial » à travers de nombreux pays

En proposant une analyse contextuelle historique de l'émergence du tout premier accélérateur de ce type et une analyse scientifique générale, nous avons mis en évidence les événements historiques et les événements physiques (techniques) qui ont « marqué » l'accélérateur de particules Cockcroft-Walton (chapitre 1 et 2 de la partie 1). Mais l'objet a ceci de particulier qu'il est à la fois marqué de ces événements (influence du contexte historique sur l'objet) et la « trace » de ces mêmes événements (l'objet est la preuve matérielle de l'existence de ce contexte historique). L'outil de la science nous renseigne donc

non seulement sur le développement de la science à son époque mais aussi sur le contexte socio-politique.

Du point de vue scientifique, l'accélérateur de particules CW était au cœur des grandes questions de l'humanité, à savoir : « de quoi est constituée la matière ? ». Pour y répondre, les scientifiques du début du siècle dernier comprennent qu'ils vont devoir comprendre les règles de la nature et inventer un instrument assez performant pour pouvoir fractionner ce qu'on pensait insécable il y avait encore peu de temps.

Nous avons mis en évidence comment la mise au point de l'appareil en 1932 a nécessité, pour ses inventeurs, d'articuler savamment les problèmes théoriques avec les problèmes techniques, en s'appuyant sur des rencontres qui se sont révélées décisives pour leur réussite. Les phénomènes physiques liés au choix des composants et la méthode d'accélération ont eux aussi été décisifs dans la forme qu'a pris l'accélérateur.

Notre étude a permis de révéler que cette première trajectoire d'objet (celle du tout premier accélérateur CW) se recoupait avec les événements de ce que nous pouvons appeler aujourd'hui « la grande histoire ». L'étude de la trajectoire locale de l'accélérateur de l'IPNL a rencontré elle aussi les événements de « la grande histoire », comme nous l'avons montré, ce qui nous a permis d'ouvrir une fenêtre sur le développement de la physique nucléaire en France (et particulièrement à Lyon) dans les années 1950 et sur l'intégration de ces premiers « gros instruments » dans les laboratoires de recherche, notamment en province. Elle nous a également permis d'identifier et d'analyser les récits qui jalonnent et construisent l'objet, ainsi que les « temps de vies » qui ponctuent son parcours (chapitre 3 de la partie 1).

En réalité, et c'est un des apports de ce travail, nous avons établi que ce n'est pas tant l'objet qui est particulier, mais sa trajectoire ; celle que nous avons pu retracer grâce aux récits qui ont marqué sa vie. Ce sont des récits écrits (articles de journaux, rapport annuels, articles de recherche, projets de valorisation avortés, archives papier de l'institut, archives du fabricant, rapport de l'étude préalable au projet de conservation-restauration, factures, livres, etc.) et des récits oraux (témoignages spontanés, interview d'utilisateurs, enregistrements radio, etc.) qui ont permis ce travail et qui lui donnent sa consistance. Plus précisément, ce sont les mots des hommes, que l'on rencontre dans ces récits, qui ont donné le sens de cet objet. Dans ces récits, qui se distinguent naturellement par leur forme (orale ou écrite) nous avons différencié :

- Les récits qui sont nés au cours des étapes de la vie de l'objet (de sa trajectoire particulière) que nous avons appelés récits primaires. Ces récits dévoilent les usages

multiples de l'objet, les ruptures et continuités dans l'intérêt que les hommes lui ont portés. Ce sont les récits que l'on a rassemblés pour interpréter l'objet et qui sont porteurs de la valeur commerciale, mémorielle, symbolique de l'objet.

- Les récits secondaires, qui utilisent éventuellement les récits primaires mais surtout qui en développent d'autres autour de l'objet pour créer une nouvelle cohérence (décontextualisation/recontextualisation). C'est par exemple le cas des récits de la patrimonialisation de l'objet (ceux qui sont recueillis lors de l'entrée de l'objet dans la collection ou au musée que les travaux de Gellereau (2012) nous incitent à considérer comme essentiels), les récits de la médiation (ceux que l'on partage avec les publics), les récits de fiction (ceux qui utilisent l'objet pour son contenu représentationnel), etc.

Quel que soit le niveau du récit, l'objet a autant de « significations » qu'il a d'usages (outils de la science, objet de patrimoine, etc.) et de fonctions (accélérer les particules, témoin d'une ou des histoires) le reliant à un groupe d'utilisateurs (scientifiques, restaurateurs, conservateurs, auteurs, réalisateurs, scénographes), ou de spécialistes, l'associant à une discipline (physique, conservation, restauration, etc.) ou une pratique déterminée (Leveau, 2011).

Le deuxième apport, que nous avons mis en évidence, de cette étude particulière de l'accélérateur CW de l'IPNL a permis d'identifier plus distinctement les différents « temps de vies » qui ponctuent la trajectoire d'un objet scientifique tel que lui :

- Le temps de la conception
- Le temps de la fabrication
- Le temps de l'achat
- Le temps des premières expérimentations
- Le temps du perfectionnement
- Le temps des expériences routinières
- Le temps de l'obsolescence
- Le temps de la « re-découverte » et de la patrimonialisation...

En étendant notre étude, l'enquête menée pour retrouver les traces historiques ou matérielles laissées par les accélérateurs de types CW dans le monde (chapitre 4 de la partie 1) s'est avérée être un inventaire raisonné des accélérateurs « survivants », à l'image du

travail de l'historien des sciences Owen Gingerich qui a enquêté sur les exemplaires restant du livre « De Revolutionibus » de Copernic (1473 - 1543) (Gingerich, 2008). Les résultats de notre recherche sont les fruits du travail de deux années d'investigation et nous ont permis de localiser 126 accélérateurs. Nous faisons donc le constat qu'il y a bien eu une volonté, quelle que soit la région du monde considérée, de conserver « quelque chose » de cet objet.

Des Etats-Unis au Chili, en passant par l'Italie ou le Japon, chacun des accélérateurs dont nous avons retrouvé la trace nous a éclairé sur les pratiques de sauvegarde et de patrimonialisation de ces objets scientifiques contemporains. En particulier notre étude révèle qu'ils ne sont presque jamais conservés dans leur intégrité. Parmi ceux qui peuvent être vu par le public, notre étude a permis de distinguer :

- Les accélérateurs sauvegardés : ceux qui sont gardés mais qui restent soumis aux intempéries, aux dégradations de l'homme et du temps,
- Les accélérateurs conservés : ceux qui sont protégés de la dégradation (on parle ici de conservation préventive)
- Les accélérateurs conservés et stabilisés : ceux dont l'état a nécessité un nettoyage, une protection antirouille pour en améliorer l'aspect (le terme qu'il convient est ici conservation curative)
- Les accélérateurs restaurés : ceux qui ont nécessité une intervention « plus lourde » comme le remplacement d'une pièce trop dégradée, le recollage, la reproduction d'une pièce manquante, etc.

Cette première partie a permis de nous éclairer sur les éléments déterminants qui se cachent derrière l'étiquette du patrimoine « scientifique et contemporain ». Nous avons fait le choix de qualifier de « scientifique » les objets qui ont vécu dans un laboratoire de recherche, utilisés dans une expérimentation scientifique et que nous avons qualifiés d'« outils de la science ». A ce stade de notre recherche, la contemporanéité se lisait à travers l'utilisation de matériaux de construction nouveaux apparus dans les années 1950 et aux nouvelles pathologies que leur conservation présente. La contemporanéité se lisait également dans la dynamique de la société dans laquelle ces objets évoluent, avec une évolution toujours plus rapide.

La deuxième partie de notre travail de thèse a été construite comme étant une mise à l'épreuve à la fois théorique et pratique des points avancés par la première partie.

Constatant qu'il y a bien eu des « consciences patrimoniales » qui se sont élevées pour la sauvegarde de ces objets, nous nous sommes attachés à caractériser le processus de patrimonialisation pour ces objets scientifiques et contemporains (première partie du chapitre 1 de la partie 2). A la suite de ce travail, nous avons produit un modèle (figure 58 présentée et discutée dans le chapitre 1 de la partie 2) qui correspond à la manière dont nous percevons le processus de patrimonialisation pour les objets scientifiques contemporains. Ainsi, en nous appuyant sur les travaux de Pomian (1987a, 1987b, 1990), de Poulot (1993, 2001, 2010), de Davallon (2000, 2006, 2009), et de (Mariot-Leduc, 2008) nous avons considéré les différentes étapes du processus de patrimonialisation comme une superposition de niveaux qui montre les trois existences de l'objet : dans son monde d'origine, dans le monde de la découverte et dans le monde ultime, celui qui donne accès au statut d'objet de patrimoine.

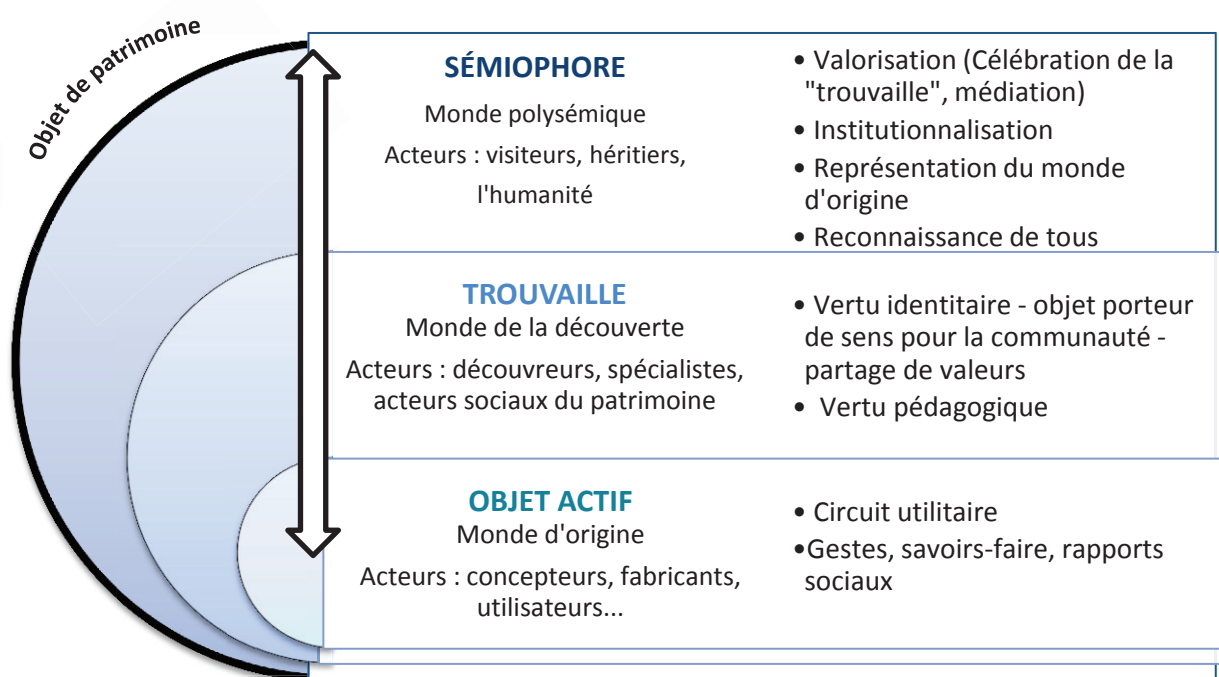


Figure 112 : Schéma récapitulatif du processus de patrimonialisation pour un objet (scientifique) contemporain, construit à partir des travaux initiaux de K. Pomian, D. Poulot et J. Davallon.

Nous avons montré que ce modèle du processus de patrimonialisation pour l'objet scientifique contemporain se détache d'une chronologie et met l'objet en lien avec les hommes (les acteurs) qui croisent sa trajectoire. Ainsi, sa trajectoire d'objet actif est tout aussi importante que le processus qui l'a vu naître comme un objet de patrimoine (trouvaille) et que les mondes polysémiques dans lesquels l'objet se construit des existences nouvelles. Pour identifier la trajectoire de l'objet et l'analyser sous l'angle de la patrimonialisation, nous avons mis en évidence que les récits sont encore une fois essentiels. Le caractère « patrimonial » n'est donc pas une donnée intrinsèque à l'objet, mais le résultat d'une construction sociale faite par des hommes en même temps que l'objet, puis reconnue par la conscience patrimoniale d'autres hommes.

L'étude plus empirique des aspects juridiques et institutionnels de la patrimonialisation (seconde partie du chapitre 1 de la partie 2) nous a permis de voir que le patrimoine scientifique, même ancien et répondant plus aux critères classiques de l'institutionnalisation du patrimoine, a peine à trouver sa place dans les objets du patrimoine

culturel. Nous avons montré que l'objet scientifique contemporain est plus fragile, et ceci pour différentes raisons : en raison de leur nature « contemporaine » (évolution rapide, matériaux non connus), la difficulté d'identifier son propriétaire et donc de la personne responsable légalement de son sort, et des lieux de sa conservation qui n'impliquent pas tous les mêmes moyens, compétences et objectifs. L'enquête dans laquelle nous avons répertorié les inventaires, bases de données et réseaux du patrimoine, nous a permis de constituer une boîte à outils utile dans la recherche des objets du patrimoine scientifique contemporain. Elle nous a également permis de montrer que les pratiques d'institutionnalisation de ce patrimoine sont récentes et n'intègrent pas encore les spécificités de l'objet.

Nous en avons conclu qu'un outil de travail scientifique et technique comme le dossier d'œuvre pourrait retrouver toute sa signification pour ces objets, en constituant une archive vivante et évolutive des récits de l'objet, et pourrait correspondre avec les attentes des institutions du patrimoine.

Dans un second temps (chapitre 2 de la partie 2), nous avons considéré que la valorisation est l'étape durant laquelle l'objet se confronte aux publics (à la sphère sociale), et qui lui donne accès au statut d'objet « patrimonialisé ». Comme nous l'avions supposé, la valorisation des objets scientifiques contemporains est difficile.

L'analyse du discours développé autour de l'accélérateur de particules CW dans l'exposition *Sociétés : le théâtre des hommes* du musée des Confluences, que nous avons réalisée avec un outil d'analyse proposé par Poli (2002), nous a permis de mettre en évidence que les difficultés posées par la mise en exposition de l'accélérateur CW sont en partie exprimées, dans le texte de l'exposition. Cette analyse nous a également permis non seulement d'identifier les partis pris méthodologiques et épistémologiques des concepteurs de l'exposition, mais aussi de montrer que les mots, en raison de leurs différentes fonctions, participent directement à l'interprétation et à l'appropriation de l'objet.

Ainsi, l'analyse du niveau d'implication du texte avec l'objet présenté nous a permis de montrer que les concepteurs de l'exposition ont majoritairement choisi des propos qui traitent des accélérateurs « du même genre ». En fin de compte, nous avons conclu que l'exposition parle très peu de l'objet qui est réellement présenté et ne permet pas de distinguer les différents niveaux d'implication du texte avec l'objet. En effet, même si le visiteur souhaite entrer dans une phase d'interprétation ou d'appropriation l'objet, les éléments du discours ne lui permettront pas de le faire.

Cependant, les résultats que nous avons obtenus à travers l'analyse des versions successives de l'audioguide peuvent s'interpréter par le fait que l'institution a pris conscience de ces difficultés, en affirmant sa volonté d'augmenter très nettement la fonction d'ancrage du texte.

Au cours de notre travail de thèse, nous avons souligné dans différents chapitres la force des récits dans la construction de sens (interprétation) de l'objet. Cette constatation nous a incitée à rechercher les autres types de récits dans lesquels l'accélérateur de particules CW était convoqué et en avons identifié deux : les manuels scolaires et les récits de fiction provenant de médias artistiques (Chapitre 3 de la partie 2). Notre analyse s'est attachée à caractériser cette valorisation de l'accélérateur et à identifier le contenu représentationnel véhiculé par cette utilisation.

Dans le manuel scolaire de Terminale scientifique, nous avons montré que la représentation de l'accélérateur est avant tout iconique (elle montre un objet qui lui ressemble) et graphique (sélection avant tout esthétique de l'image) au détriment d'une fonction symbolique ou physique (scientifique) que l'objet serait légitimement capable de porter. L'utilisation des différents registres ontologiques que nous avons définis pour analyser les récits de fiction, nous a permis d'identifier que dans les médias artistiques, c'est le plus souvent pour son identité socio-esthétique et socio-politique que l'objet est convoqué. Mais au-delà de cette utilisation, nos résultats ont permis de montrer que l'objet est obligé de conserver une dimension fictionnelle, qu'elle fasse rêver ou qu'elle fasse peur, pour ne pas rester « insignifiant » aux yeux du lecteur ou du spectateur. Ce constat nous a également incités à nous interroger sur la manière dont cet objet pourrait redevenir un objet pour la science, retrouver une signification scientifique, tout en incarnant pleinement son statut d'outils de la science, patrimonialisés.

Perspectives de recherche

Le travail que nous avons réalisé nous permet d'envisager différentes pistes de recherche.

L'analyse de la trajectoire particulière de l'accélérateur CW de l'IPNL a permis d'identifier plus distinctement les différents « temps de vies » qui ponctuent son parcours local. Mais comme nous l'avons vu dans la mise à l'épreuve théorique du processus de patrimonialisation, l'accélérateur n'a pas encore atteint le stade « d'objet patrimonialisé »

puisqu'il n'est pas valorisé. Nous pourrions envisager que cette dernière étape entre le temps de la trouvaille et le temps où il deviendra sémiophore, puisse elle aussi faire partie d'une analyse, qui permettrait d'identifier d'autres « temps ». Si les meneurs du projet prévoient une « institutionnalisation » classique pour cet objet (en envisageant un classement par exemple), nous pourrions aussi analyser la pertinence des attentes institutionnelles vis-à-vis d'un objet scientifique contemporain. Nous envisageons donc de suivre le projet de valorisation de cet accélérateur qui a été amorcé par l'équipe en charge du patrimoine de physique de l'université de Lyon.

Nous avons vu que la trajectoire de l'accélérateur CW de l'IPNL se recoupe avec les événements de « la grande histoire » et nous permet de porter un regard sur l'intégration de ces premiers instruments de la Big Science dans les laboratoires de recherche en France. Certains objets présentent déjà des trajectoires remarquables, mais une quête plus approfondie permettrait sans doute de croiser plus précisément les trajectoires de ces accélérateurs avec celles des grands physiciens, de grands laboratoires ou avec la circulation des idées dans les réseaux savants du XX^e siècle. C'est une des perspectives que nous souhaitons mener à bien à l'issue de notre thèse. De plus, l'enquête elle-même pourra également être poursuivie, car nous n'avons peut-être pas retrouvé l'ensemble des accélérateurs CW qui ont existé.

Nous n'avons pu, dans notre travail de thèse, étudier les autres accélérateurs CW qu'à distance et au travers de photos ou d'échanges avec des personnes proches de lui (utilisateurs, conservateurs, visiteurs, etc.). Mais nous souhaiterions vivement pouvoir mener un examen systématique de ces objets de manière plus approfondie pour voir les véritables relations qui peuvent exister entre la trajectoire d'un objet et les choix de sa sauvegarde.

Dans les suites à donner à ce travail d'inventaire, nous avons vu que malgré une volonté significative, à travers le monde, de « garder » cet objet, la variété des pratiques traduit selon nous deux questionnements :

- Quels moyens se donne-t-on réellement pour conserver les objets scientifiques contemporains ?
- Les objets scientifiques contemporains valent-ils réellement la peine qu'on trouve des solutions pérennes à leur conservation ?

Dans le cadre de l'analyse du discours de l'exposition en lien avec l'accélérateur CW, nous nous sommes essentiellement intéressés au registre verbal de l'exposition, à ce qui est mis à disposition du public pendant son expérience de visite. Mais il nous semble désormais nécessaire d'orienter nos recherches vers une étude des publics, et d'analyser le « savoir perçu » par le visiteur dans l'exposition. Nous envisageons deux angles d'analyse différents pour les publics :

- La manière dont le discours de l'exposition *Sociétés : le théâtre des hommes*, est effectivement perçu par les visiteurs
- Quelles représentations de l'accélérateur de particules a-t-on aujourd'hui dans la société ?

Dans l'introduction de notre travail, nous avons présenté notre contexte d'étude en fonction de deux objets : l'un considéré comme patrimonialisé mais qui peine à légitimer sa place dans une exposition, et un objet qui entre seulement dans un projet de valorisation, mais dont la trajectoire de vie et l'importance locale en font déjà un objet emblématique. Nous avons montré que ce sont les récits qui « humanisent » l'objet qui font la différence entre ces deux objets. Il serait donc maintenant intéressant d'étudier:

- Comment contribuer aux futures étapes de la vie de l'accélérateur de l'IPNL pour qu'il atteigne le statut d'objet patrimonialisé¹⁵⁸
- Comment aider l'accélérateur de l'exposition à trouver pleinement sa place dans l'exposition pour que le visiteur puisse se l'approprier

Nous avons essayé, au cours de cette recherche, de retrouver les traces des récits qui ont fait de l'accélérateur Philips du Musée des Confluences un objet patrimonialisé. Mais notre enquête est restée sans succès. Nous pourrions envisager d'autres démarches d'investigation (telles qu'élargir nos recherches dans les archives militaires, s'adresser aux archives municipales de la commune, chercher un moyen d'échanger avec la société Philips, etc.) pour retrouver ces récits, et pouvoir les intégrer dans notre étude comparative entre les processus de patrimonialisation de ces deux objets.

Par ailleurs, si l'institution du musée des Confluences nous le permettait, nous pourrions étudier comment mettre en place un discours de médiation, par l'intermédiaire d'un

¹⁵⁸ Cela signifie qu'ici nous déciderions d'être partie prenante dans le projet de valorisation.

médiateur, et qui puisse permettre aux visiteurs d'interpréter l'objet et dans l'idéal, se l'approprier. Cette médiation pourrait se faire à partir des récits de fiction qui mobilisent l'objet, ou à partir des récits de la trajectoire de l'accélérateur de l'IPNL. Dans le cas où nous utiliserions la fiction comme porte d'entrée au processus d'appropriation de l'accélérateur par le public, il faudrait de nouveau se poser la question de voir en quoi, cet objet fictionnel marqué par ses identités d'objet politique et esthétique, peu redevenir un objet de science.

Enfin pour faire suite à notre étude de cas, nous proposons de confronter nos résultats à d'autres objets scientifiques contemporains pour étudier dans quelles limites les conclusions obtenues peuvent être généralisables.

Notre travail met en évidence que les récits des hommes gagneraient à être utilisés et valorisés pour montrer que les objets scientifiques contemporains, bien qu'ils soient complexes, font bien partie de notre patrimoine culturel.

BIBLIOGRAPHIE

- Accelerator Science and Technology Centre. (2013). Consulté 5 avril 2016, à l'adresse <http://www.astec.stfc.ac.uk>
- Adell, N. (2011). *Anthropologie des savoirs*. Armand Colin. Consulté à l'adresse <http://www.cairn.info/anthropologie-des-savoirs--9782200270360.htm>
- Ailleret, C. (1968). *L'aventure atomique française: Souvenirs et réflexions*. Paris: B. Grasset.
- Allen, S. (2004). Designs for learning: Studying science museum exhibits that do more than entertain. *Science Education*, 88(1), 17-33.
- Amaldi, E., Biquard, P., Goldstein, L., & Guinier, A. (1984). *La radioactivité artificielle a 50 ans : 1934-1984*. Les Ulis: EDP Sciences.
- Amougou, E. (Éd.). (2004). *La question patrimoniale : de la « patrimonialisation » à l'examen des situations concrètes*. Paris: L' Harmattan.
- Amougou, E., Billard, A., Briffaud, S., & Cougrand, P. (2011). *Sciences sociales et patrimoines*. Paris: L' Harmattan.
- Ancel, P. (2010). La médiation écrite au musée : miroirs et jeux de miroirs. *La Lettre de l'OCIM. Musées, Patrimoine et Culture scientifiques et techniques*, (132), 14-20.
- Anderson, C. D. (1933). The Positive Electron. *Physical Review*, 43(6), 491-494.
- Antivolt. (2007). *Croissance exponentielle de l'énergie des faisceaux accélérés*. Consulté à l'adresse https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Livingstone_diagram.jpg
- Antoine, M. (2010). Les universités doivent-elles vraiment exposer leurs collections au grand public ? *La Lettre de l'OCIM. Musées, Patrimoine et Culture scientifiques et techniques*, (129), 7-12.
- Appadurai, A. (1988). *The Social Life of Things: Commodities in Cultural Perspective*. Cambridge University Press.
- Article 24 bis, Loi sur les monuments historiques (1970).
- Article 716, Code Civil (1803).
- Article L.1, L.1 Code du patrimoine (2004).

- Article L.211-1, L.211-1 Code du patrimoine (2008).
- Article L.211-2, L.211-2 Code du patrimoine (2004).
- Article L.213-1, L.213-1 Code du patrimoine (2008).
- Article L.213-2, L.213-2 Code du patrimoine (2009).
- Article L.410-1, L.410-1 Code du patrimoine (2004).
- Article L.441-2, L.441-2 Code du patrimoine (2004).
- Article L.442-1, L.442-1 Code du patrimoine (2004).
- Article L.622-1, L.622-1 Code du patrimoine (2005).
- Article L1111-1, L1111-1 Code général de la propriété des personnes publiques (2006).
- Article L2112-1, L2112-1 Code général de la propriété des personnes publiques (2006).
- Article L3111-1, L3111-1 Code général de la propriété des personnes publiques (2006).
- Astolfi, J.-P., Darot, É., Ginsburger-Vogel, Y., & Toussaint, J. (2012a). Chapitre 15. Représentation (ou conception). *Pratiques pédagogiques, 2e éd.*, 147-157.
- Astolfi, J.-P., Darot, E., Ginsburger-Vogel, Y., & Toussaint, J. (2012b). *Mots-clés de la didactique des sciences: repères, définitions, bibliographies*. Bruxelles: De Bœck Supérieur.
- Atkinson, W. (2009, octobre). *Deux expériences pour sauvegarder le patrimoine* (Thèse professionnelle). Conservatoire National des Arts et Métiers, Paris.
- Auffray, J.-P. (2005). *Comment je suis devenu Einstein*. Chatou: Carnot.
- Babelon, J.-P., & Chastel, A. (2000). *La notion de patrimoine*. Paris: Liana Levi.
- Bachelard, G. (1983). *La formation de l'esprit scientifique: contribution à une psychanalyse de la connaissance objective*. Paris: Librairie philosophique J. Vrin.
- Baron, E. (2007). *Panorama des accélérateurs et de leurs utilisations*. École thématique présenté à De la physique au détecteur, École IN2P3. Consulté à l'adresse <https://cel.archives-ouvertes.fr/cel-00122882>
- Barthes, R. (1964a). Éléments de sémiologie. *Communications*, 4(1), 91-135. <http://doi.org/10.3406/comm.1964.1029>

- Barthes, R. (1964b). Rhétorique de l'image. *Communications*, 4(1), 40-51.
<http://doi.org/10.3406/comm.1964.1027>
- Barthes, R. (1966). Introduction à l'analyse structurale des récits. *Communications*, 8(1), 1-27. <http://doi.org/10.3406/comm.1966.1113>
- Bary, M.-O. de, & Tobelem, J.-M. (1998). *Manuel de muséographie: petit guide à l'usage des responsables de musée* (Séguier, Vol. 1). Biarritz.
- Bellanca-Penel, P. (2012). *Jean Thibaud (1901-1960) une trajectoire dans le siècle*. (Mémoire seconde année Master Recherche) (p. 109). laboratoire S2HEP: Université de Lyon.
- Bellanca-Penel, P. (2016). *Jean Thibaud, un atomiste du XX^e siècle* (Thèse de doctorat). Université de Lyon, laboratoire S2HEP.
- Bensaude-Vincent, B. (1978). Les savants au pouvoir. *Romantisme*, 8(21), 63-75.
- Bensaude-Vincent, B. (2012). Vies d'objets. *Critique, Biographies modes d'emploi*, (6), 588-598.
- Blake et Mortimer face aux démons de la science. (2004). *Science et Vie Edition Spéciale*, 146.
- Blake et Mortimer face aux grands mystères de l'humanité. (2015). *Beaux Arts, Hors-Série Presse*.
- Blewett, J. P., & Livingston, S. (1962). *Particle Accelerators* (Mc Graw-Hill Book). New-York.
- Bonhomme, H. (1963). L'institut de physique nucléaire de Lyon devient le premier centre de province pour la recherche fondamentale. *Le Progrès du 4 août 1963*.
- Bonnel, B. (2011). Electrocinétique [Cours de l'Université de Lille 1, UFR de Physique]. Consulté 3 février 2016, à l'adresse physique-enligne.univ-lille1.fr/electrocinetique/
- Bonnot, T. (2002). *La vie des objets: d'ustensiles banals à objets de collection* (Vol. 1-1). Paris: Maison des sciences de l'homme.
- Bonnot, T. (2004). Itinéraire biographique d'une bouteille de cidre. *L'Homme*, (170), 139-163.
- Bonnot, T. (2009). Biographies d'objets. *Dijon, S/D. Disponivel em*. Consulté à l'adresse <http://www.dijon.fr/mvb/tout-garder-tout-jeter-et-reinventer/Biographies%20d'objets.pdf>

- Bonnot, T. (2014). *L'attachement aux choses* (CNRS Editions). Paris, France. Consulté à l'adresse <http://www.cnrseditions.fr/histoire/6912-1-attachement-aux-choses-thierry-bonnot.html>
- Bordenave, L. (2012). Les ateliers BD/Sciences du collectif Stimuli. In *Actes des Journées Hubert Curien*. Nancy.
- Borne, D. (1998). *Le manuel scolaire* (La documentation française). Paris: Inspection générale de l'éducation nationale, Ministère de l'éducation nationale, de la recherche et de la technologie.
- Boudenot, J.-C. (2005). *Comment Einstein a changé le monde ?* Les Ulis: EDP Sciences.
- Bouquet, A. (2015). Noyaux et particules, Science et histoire. Consulté à l'adresse <https://cosmologie.wordpress.com/subatomique/protons-et-neutrons/accelerateurs/>
- Boyle, A. (2010). Up And Atom | Science Museum Blog. Consulté à l'adresse <http://blog.sciencemuseum.org.uk/up-and-atom/>
- Brenni, P. (1997). Les instruments scientifiques anciens : un patrimoine à redécouvrir. *Bulletin de la Sabix. Société des amis de la Bibliothèque et de l'Histoire de l'École polytechnique*, (18), 5-7.
- Brenni, P. (2005). L'importance des instruments scientifiques comme témoignages matériels de l'histoire des sciences et des techniques. In *Le patrimoine scientifique et technique contemporain: un programme de sauvegarde en pays de la Loire*. Paris: L'Harmattan.
- Brentano, F. (1862). *Aristote, les diverses acceptations de l'être*. (P. David, Trad.). Librairie philosophique J. Vrin. Consulté à l'adresse <http://www.vrin.fr/book.php?code=9782711611270>
- Breton, P., & Proulx, S. (2002). *L'explosion de la communication à l'aube du XXIe siècle*. Paris: La Découverte.
- Brousseau, G. (2011). La théorie des situations didactiques en mathématiques. *Éducation et didactique*, 5(1), 101-104.
- Bruguière, C., & Triquet, É. (2012). Des albums de fiction réaliste pour problématiser le monde vivant. *Repères. Recherches en didactique du français langue maternelle*, (45), 181-200.
- Bruner, J. S. (2002). *Pourquoi nous racontons-nous des histoires ? : le récit, au fondement de la culture et de l'identité*. (Y. Bonin, Trad.). Paris: Retz.

- Burnot, G. (1961). *Étude de l'optique ionique de l'accélérateur Cockroft-Walton de 1, 2 MEV de l'Institut de physique nucléaire de Lyon et projet d'amélioration de l'appareil*. Université de Lyon.
- Busser, N. (2006). Historique : IRN, CRN, IReS... IPHC. Consulté à l'adresse <http://www.iphc.cnrs.fr/Historique-IRN-CRN-IReS-IPHC.html>
- Cambridge University. (2015). Cambridge Physics - Splitting the Atom. Consulté 13 décembre 2015, à l'adresse http://www-outreach.phy.cam.ac.uk/camphy/cockcroftwalton/cockcroftwalton8_1.htm
- Canguilhem, G. (1983). *Études d'histoire et de philosophie des sciences*. Paris: Vrin.
- Casel, R. (1993). *La recherche nucléaire à Strasbourg: les dix premières années, 1941-1951* (IN2P3 CNRS). Strasbourg: Centre de recherches nucléaires.
- Cassidy, D. C., Holton, G. J., & Rutherford, F. J. (2014). *Comprendre la physique*. (V. Faye & S. Bréard, Trad.). Lausanne: Presses polytechniques et universitaires romandes.
- Cazenave, C., & Girard, F. (2007). *Conservation et valorisation du patrimoine des organismes de recherche*. Saint Etienne: Université de Saint-Etienne.
- CEA - Accueil. (2015). Consulté 12 novembre 2015, à l'adresse <http://portail.cea.fr/>
- Centre de défense nucléaire biologique et chimique : CDNBC. (2013). Consulté 30 septembre 2015, à l'adresse <http://www.aumilitaire.com/718-cdnbc.html>
- Chadwick, J. (1932). Possible Existence of a Neutron. *Nature*, 129.
- Chadwick, J., Blackett, P. M. S., & Occhialini, G. (1933). New Evidence for the Positive Electron. *Nature*, 131.
- Chambon, B. (2003). Les petits accélérateurs de l'IPNL, le Bâtiment dit « 4MeV ». In *Institut de physique nucléaire de Lyon, Chronique de 40 années* (p. 301). Lyon: Institut de Physique Nucléaire de Lyon.
- Charmasson, T., Daniel, M., Gaziello, C., & Rota-Tréguier, C. (2008). *Les archives des scientifiques, XVI^e-XX^e siècle: guide des fonds conservés en France*. Paris: Comité des travaux historiques et scientifiques.
- Chemistry, Aeronautics and Rockets. (2012). Consulté 12 octobre 2015, à l'adresse <http://nupex.eu/index.php?g=textcontent/nuclearhistory/scienceandworldwar&lang=en>
- Chevallard, Y., & Johsua, M.-A. (1991). *La transposition didactique: du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble: la Pensée sauvage.

- Choay, F. (2009). *Le patrimoine en questions anthologie pour un combat*. Paris: Seuil.
- Chouteau, M., & Nguyen, C. (2011). *Mises en récit de la technique: regards croisés*. Paris: Archives contemporaines.
- Chouteau, M., & Nguyen, C. (2014). Ecrans, lampes et malettes, les objets techniques dans l'univers des Experts. *Alliage*, (74).
- Cockcroft, J. (1951, décembre 11). Experiments on the interaction of high-speed nucleons with atomic nuclei [Nobel Lecture]. Consulté 19 juin 2014, à l'adresse http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1951/cockcroft-lecture.pdf
- Cockcroft, J. D., & Walton, E. T. S. (1930). Experiments with High Velocity Positive Ions. *Proceedings of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 129(811), 477-489.
- Cockcroft, J. D., & Walton, E. T. S. (1932). Experiments with High Velocity Positive Ions. (I) Further Developments in the Method of Obtaining High Velocity Positive Ions. *Proceedings of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 136(830), 619-630.
- Cockcroft, J., & Walton, E. (1932). Disintegration of lithium by swift protons. *Nature*, 649(129). <http://doi.org/10.1038/129649a0>;
- Conseil de l'Europe. Convention-cadre sur la valeur du patrimoine culturel pour la société, 1994 traité (2011).
- Côté, M. (2011). *La fabrique du musée de sciences et sociétés*. (Musée des confluences, Éd.). Paris: La Documentation française.
- Cox, D. (2011). Cockcroft-Walton generator. Consulté 21 avril 2016, à l'adresse <http://local.nationalmuseums/explore/collections-stories/science-and-technology/cockcroft-walton-generator/>
- Cox, D. (2013, janvier 25). Conserving the Cockcroft-Walton generator | National Museums Scotland Blog. Consulté 21 avril 2016, à l'adresse <http://blog.nms.ac.uk/2013/01/25/conserving-the-cockcroft-walton-generator/>
- Dahl, P. F. (2002). *From Nuclear Transmutation to Nuclear Fission, 1932-1939* (Institute of Physics Publishing). London: CRC Press.
- Dal Zotto, M., & Palouzié, H. (2007). *Regards sur l'objet du XX^e siècle: la fragilité d'un patrimoine au présent*. Arles: Actes sud.
- Daston, L. (2000). *Biographies of Scientific Objects*. University Of Chicago Press. Consulté à l'adresse <http://www.press.uchicago.edu/ucp/books/book/chicago/B/bo3616478.html>

- Davallon, J. (2000). *L'exposition à l'oeuvre*. Paris: L' Harmattan.
- Davallon, J. (2006). *Le Don du patrimoine: une approche communicationnelle de la patrimonialisation*. Paris: Lavoisier.
- Davallon, J. (2009). Comment se fabrique le patrimoine ? *Sciences Humaines*. Consulté à l'adresse http://www.scienceshumaines.com/comment-se-fabriquer-le-patrimoine_fr_12550.html
- Davallon, J. (2014, mai). *Comment se fabrique le patrimoine?* Présenté à Journées des archives de Louvain 2014, Louvain. Consulté à l'adresse <https://regarddejanus.wordpress.com/2014/05/06/des-usages-collectifs-archives-memoires-et-identite-patrimoines-en-heritage/>
- De Gaulle, C. de. (1959). *Mémoires de guerre, le salut : 1944-1946*. Paris: Plon.
- Déal, D. (2007). Avant-propos. In *Regards sur l'objet du XX^e siècle: la fragilité d'un patrimoine au présent*. Arles: Actes sud.
- Deledalle, G., & Peirce, C. S. (1978). *Ecrits sur le signe*. Paris: Seuil.
- Delmas, J. (1993). Naissance et développement d'une politique nucléaire militaire en France (1945-1956). In *Max Schiesser, 1880-1975, Emil Haefely, 1866-1939: 2 Pioniere d. Elektrotechnik* (R. Oldenbourg Verlag, p. 9). Munich: Verein für Wirtschaftshistor. Studien.
- Derolez, S., Loutesse, P., & Khantine-Langlois, F. (2014). L'objet de patrimoine comme ressource pour l'enseignement. In *SKHOLÉ Cahiers de la recherche et du développement* (Vol. 1). Marseille: ESPE Marseille.
- Des Cilleuls, J. (1975). Hommage à Marc Klein (1905-1975). Consulté 4 novembre 2015, à l'adresse http://www.biusante.parisdescartes.fr/sfhm/hsm/HSMx1976x010x001_2/HSMx1976x010x001_2x0046.pdf
- Desvallées, A., & Lochot, S. (2000). *Réflexions sur le patrimoine scientifique et technique*. Paris.
- Di Gioia, L., & Chaumier, S. (2008). *Actualité du patrimoine: dispositifs et réglementations en matière de patrimoine en France*. Dijon: Université de Dijon.
- Di Méo, G. (2007). Processus de patrimonialisation et construction des territoires. In *Colloque "Patrimoine et industrie en Poitou-Charentes : connaître pour valoriser"* (p. 87-109). Poitiers-Châtelleraut: Geste éditions.

- Dias, T., & Heraud, J.-L. (2009). De la science fiction à la fiction des sciences : Abbott, ou l'enseignement de la géométrie. In *Actes des journées de Chamonix*. Chamonix.
- Dodebei, V., & Tardy, C. (2015). *Mémoire et nouveaux patrimoines*. Marseille: OpenEdition Press. Consulté à l'adresse <http://books.openedition.org/oepe/411>
- Dolégiévez, P. (2007, novembre). *Le vide dans les accélérateurs*. Cours à l'école des accélérateurs, La Londe Les Maures.
- Duborgel, B. (1962). *Construction et étude de détecteurs à jonction à barrière de surface au Si utilisables dans la recherche sur les réactions (n, alpha) : application des détecteurs à semi-conducteurs à la mesure du flux de neutrons rapides par la méthode de la particule associée*. Université de Lyon.
- Ducretet, E. (1844-1915). (1905). Catalogue raisonné des instruments de précision de E. Ducretet : premières et deuxièmes parties physique générale. Consulté 28 juin 2016, à l'adresse <http://cnum.cnam.fr/CGI/redirect.cgi?M5591>
- Dufaux, J., Aubin, A., & Schröder, É. (2013). *L'Onde Septimus* (Dargaud). Paris: Blake et Mortimer.
- Dumais, F. (2009). *L'appropriation d'un objet culturel, une réactualisation des théories de C.S. Peirce à propos de l'interprétation*. Québec: Université de Québec.
- Eco, U. (1985). *Lector in fabula*. (M. Bouzaher, Trad.). Paris: Librairie générale française.
- Eco, U. (1993). Observation sur la notion de gisement culturel. *Centre de création industrielle*, (5), 8-21.
- Einstein, A. (1948). Atomic Physics. Consulté 27 juin 2013, à l'adresse <https://www.aip.org/history/exhibits/einstein/voicel.htm>
- Esquenazi, J. (1997). Peirce et (la fin de) l'image : sens iconique et sens symbolique. *Médiation et information - MEI*, (6), 59-73.
- Everaert-Desmedt, N. (1990). *Le processus interprétatif: introduction à la sémiotique de Ch. S. Peirce* (Mardaga). Bruxelles.
- Fargier-Demergès, S. (2009). *Spécificités et enjeux du dossier d'oeuvre face à ses perspectives d'évolution du papier vers l'électronique au sein d'une documentation muséale d'art contemporain* (Mémoire pour l'obtention du titre professionnel de chef de projet en ingénierie documentaire). Paris: CNAM et INTD. Consulté à l'adresse http://memsic.ccsd.cnrs.fr/mem_00523893/document

- Fatet, J. (2005). *Les recherches d'Edmond Becquerel sur la nature de la lumière entre 1839 et 1843: histoire d'une interaction réussie entre science et photographie* (Thèse de doctorat). Université de Lyon, laboratoire LIRDHIST.
- Fayolle Lussac, B. (2004). Valeur économique du patrimoine et dérivés marchandes. In *La question patrimoniale* (l'Harmattan, p. 151 - 167). Paris.
- Fernandez, B. (2006). *De l'atome au noyau: une approche historique de la physique atomique et de la physique nucléaire*. Paris, France: Ellipses.
- Fernandez, B. (2011). Frédéric Joliot-Curie : une brillante complémentarité entre science et politique. *Diasporiques*, (16).
- Ferragatti, J.-M. (2014, janvier 22). French Collection #187. Consulté 22 mars 2016, à l'adresse <http://www.comicbox.com/index.php/news/french-collection-187/>
- Ferriot, D., & Lourenço, M. C. (2004). De l'utilité des musées et collections des universités. *La lettre de l'OCIM*, (93), 4-16.
- Findley, D. (2011, octobre). *ISIS, FETS and ASTeC*. Présenté à Science and technology facilities council, ISIS Department Rutherford Appleton Laboratory.
- Fourcade, M.-B. (2007). *Patrimoine et patrimonialisation: entre le matériel et l'immatériel*. Laval: Presses Université Laval.
- Fresnault-Deruelle, P. (1970). Le verbal dans les bandes dessinées. In *L'analyse des images* (Seuil, p. 145-161). Paris.
- Gaillard, M. (2015, décembre 9). *De la construction à la diffusion du patrimoine européen dans les réseaux transnationaux : processus d'appropriation, de médiation et de transmission dans les itinéraires culturels du Conseil de l'Europe*. Lille 3. Consulté à l'adresse <http://www.theses.fr/2015LIL30033>
- Gamow, G. (1970). *My world line ; an informal autobiography*. New-York: Viking Press.
- Gamow, G. A. (1928). Zur Quantentheorie des Atomkernes. *Zeitschrift für Physik*, 51(3-4), 204-212.
- Gamow, G., Stannard, R., & Edward, M. (2012). *Le nouveau monde de M. Tompkins*. (A. Bouquet, Trad.). Paris: Editions le Pommier.
- Geindreau, R. (2014). *Contribution de la conservation-restauration au destin patrimonial d'un générateur Cockcroft-Walton* (Mémoire de fin d'étude). Avignon: Ecole Supérieure d'Art d'Avignon.

- Geindreau, R. (2016, janvier 11). Étude préalable à la restauration d'un objet technico-scientifique contemporain. Consulté 26 avril 2016, à l'adresse <https://ceroart.revues.org/4933>
- Gellereau, M. (2003). Nous et les autres : les représentations des identités culturelles au service de nouveaux territoires ? *Études de communication. langages, information, médiations*, (26). <http://doi.org/10.4000/edc.99>
- Gellereau, M. (2012). Le récit de témoignage sur les usages comme reconstruction du sens des objets. *Culture et musées*, (18), 75-97.
- Genette, G. (2007). *Discours du récit*. Paris: Seuil.
- Gérard, F.-M., & Roegiers, X. (2009). *Des manuels scolaires pour apprendre. Concevoir, évaluer, utiliser*. De Boeck Supérieur.
- Gérard, P.-A. (2008). *Les collections scientifiques des universités: actes des 2e journées Cuénot, 21-22 septembre 2006, Nancy*. Nancy: Presses universitaires de Nancy.
- Giffon, M. (2003). Evolution de l'IPNL de 1963 à 2003. In *Institut de physique nucléaire de Lyon, Chronique de 40 années* (p. 301). Lyon: Institut de Physique Nucléaire de Lyon.
- Gingerich, O. (2008). *Le livre que nul n'avait lu, à la poursuite du « de Revolutionibus »*. Paris: Dunod.
- Gomel. (2010). Inventaire et mise en réseau du patrimoine scientifique universitaire : une nécessité à l'origine d'un projet collaboratif [Rapport OCIM Université]. Consulté 10 décembre 2015, à l'adresse <http://www.ocim.fr/ouvrage/rapport-universites-2010/>
- Goodman, N. (2006). *Manières de faire des mondes*. (M.-D. Popelard, Trad.). Paris: Gallimard, DL 2006.
- Gottesdiener, H. (1992). La lecture de textes dans les musées d'art. *Publics et Musées*, 1(1), 75-89.
- Gottesdiener, H., desjardins, J., Jacobi, D., Samson, D., Screven, C., & Poli, M.-S. (1992). *Textes et public dans les musées*. Consulté à l'adresse http://www.persee.fr/issue/pumus_1164-5385_1992_num_1_1
- Goyon, J. (2013, juin 27). Témoignage [Communication privée].
- Grenier, G. (1962). *Utilisation des détecteurs à jonction au silicium pour l'étude des réactions nucléaires (n alpha 29): application aux réactions Si 28 (n alpha) Mg 25 et Si 29 (n alpha) Mg 26*. Université de Lyon.

- Groupement de recherche Didactique et acquisition des connaissances scientifiques. (1994). *La transposition didactique à l'épreuve*. Grenoble: la Pensée sauvage.
- Guichard, J., & Martinand, J.-L. (2000). *Médiatique des sciences* (Vol. 1–1). Paris: Presses universitaires de France, 2000.
- Guthleben, D. (2009). *Histoire du CNRS de 1939 à nos jours: Une ambition nationale pour la science*. Armand Colin.
- Halitim-Dubois, N. (2007). Le patrimoine industriel en Rhône-Alpes. In *Regards sur l'objet du XX^e siècle: la fragilité d'un patrimoine au présent*. Arles: Actes sud.
- Halleux, R. (2005). Patrimoine scientifique et développement régional. In *Le patrimoine scientifique et technique contemporain: un programme de sauvegarde en pays de la Loire*. Paris: L'Harmattan.
- Heinich, N., & Sous-direction de l'archéologie. (2009). *La fabrique du patrimoine "de la cathédrale à la petite cuillère"*. Paris: Éd. de la Maison des sciences de l'homme.
- Hellborg, R. (2005). Electrostatic Accelerators: Fundamentals and Applications. Consulté 23 mai 2013, à l'adresse [http://physics.technion.ac.il/~plasma/publications/ebooks/books2/djvu_library/Accelerators/Electrostatic%20Accelerators%20\(Hellborg,%202005\).pdf](http://physics.technion.ac.il/~plasma/publications/ebooks/books2/djvu_library/Accelerators/Electrostatic%20Accelerators%20(Hellborg,%202005).pdf)
- Hendry, J. (1984). *Cambridge physics in the thirties*. Bristol: Adam Hilger.
- Hennemann, L. (2014, septembre 23). Il date des années 1980, mais il est toujours aussi fiable. Consulté 21 avril 2016, à l'adresse <https://www.psi.ch/media/>
- Heraud, J.-L., & Loutesse, P. (à paraître). Representing the quantum object through fiction in teaching : ontological contribution of Gamow's narrative as part of an introduction to quantum physics. *Science Education*.
- Hergé. (1953). *Objectif lune*. Bruxelles: Castermann.
- Hergé. (1971). Interview Hergé 1971. Consulté 18 mars 2016, à l'adresse <https://www.youtube.com/watch?v=BGAZIXkxp-c>
- Hermann, A., Krige, J., Mersits, U., & Pestre, D. (1987). *History of CERN*. Amsterdam: European Organization for Nuclear Research.
- Hermann, A., Krige, J., Mersits, U., & Weiss, L. (1990). *History of CERN*. Amsterdam: European Organization for Nuclear Research.

- Hinterberger, F. (2006). Electrostatic accelerators. *CAS 2005 - CERN Accelerator School: Small Accelerators, Proceedings*. Consulté à l'adresse <https://cds.cern.ch/record/1005042/files/p95.pdf>
- Hintikka, J. (1973). *Logic, Language-Games and Information: Kantian Themes in the Philosophy of Logic*. Oxford, Clarendon Press.
- Histoire et patrimoine de la physique à Strasbourg. (2005). Consulté 5 avril 2016, à l'adresse <http://www.hp-physique.org/articles.php?lng=fr&pg=19>
- History of the school of physics. (2012). Consulté 12 octobre 2015, à l'adresse <http://www.wits.ac.za/academic/science/5788/physics.html>
- Hladik, J. (2005). *Comment le jeune et ambitieux Einstein s'est approprié la Relativité restreinte de Poincaré*. Paris: Ellipses.
- Hosson, C. D., Bordenave, L., Decamp, N., & Hache, C. (2014). Learning Science through the Conception of Comics: the SARABANDES Research. Présenté à Nex perspectives in science education, Florence. Consulté à l'adresse <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01006216/document>
- ICOM. (1986, novembre 4). Code de déontologie de l'ICOM pour les musées. Consulté 13 janvier 2016, à l'adresse http://icom.museum/fileadmin/user_upload/pdf/Codes/code_ethics2013_fr.pdf
- ICOM International Council Of Museums. (2015). Consulté 3 décembre 2015, à l'adresse <http://icom.museum/L/2/>
- Institute of High Energy Physics. (2002, juillet). Beijing Proton Linac (BPL). Consulté 25 avril 2016, à l'adresse <http://www.ihep.ac.cn/english/E-Bpl/>
- Inventaire général du patrimoine culturel. (2012). Gertrude - Vitriolerie puis fort de la Vitriolerie actuellement Quartier Général Frères - Inventaire Général du Patrimoine Culturel (1.2.0-RRA) [base de données]. Consulté 30 septembre 2015, à l'adresse <http://patrimoine.rhonealpes.fr/dossier/vitriolerie-puis-fort-de-la-vitriolerie-actuellement-quartier-general-frere/4fe547c0-8882-4748-ba4c-3ef89b0c0398>
- IPNL - Institut de physique nucléaire. (1966). *Activités du laboratoire* (No. Université de Lyon, Faculté des sciences). Lyon.
- Isnart, C. (2010). Peut-on encore croire au patrimoine ? [Billet]. Consulté 11 novembre 2015, à l'adresse <http://pciich.hypotheses.org/620>
- Isnart, C. (2013). Etats, Patrimoines Immatériels et Cultures de soi : réflexion autour de cas Européens. *les cahiers du CFPCI*, (1). Consulté à l'adresse <http://www.cfpci.fr/actualites/cahier-du-cfpci-1>

- Jacob, Y. (2006). La physique nucléaire, d'une discipline atomisée à une organisation consolidée (1945-2000). *La revue pour l'histoire du CNRS*, (15).
<http://doi.org/10.4000/histoire-cnrs.508>
- Jacobi, D., & Schiele, B. (1988). *Vulgariser la science: le procès de l'ignorance*. Seyssel: Champ Vallon.
- Jacobs, E.-P. (1950). *Le secret de l'Espadon* (Dargaud). Paris: Blake et Mortimer.
- Jacomy, B. (1990). *Une histoire des techniques*. Paris: Seuil.
- Jacomy, B. (2005). L'évolution technologique des instruments au XX^e siècle. In *Le patrimoine scientifique et technique contemporain: un programme de sauvegarde en pays de la Loire*. Paris: L'Harmattan.
- Jadé, M. (2006). *Patrimoine immatériel: Perspectives d'interprétation du concept de patrimoine*. Paris: L'Harmattan.
- Johansson, E. (2001). Accelerators. Consulté 24 mai 2016, à l'adresse
<https://www.nobelprize.org/educational/physics/accelerators/>
- Johnson, R. L. (2007). *Atomic Structure*. Minneapolis: Twenty-First Century Books.
- Karim, Y. (2011, mai). *Vers une vérification expérimentale de la théorie de la relativité restreinte : réplique des expériences de Charles-Eugène Guye (1907-1921)* (THESE). Université de Lyon et Université de Genève, laboratoire LIRDHIST.
- Kopytoff, I. (1986). The cultural biography of things. Commoditization as process. In *The Social Life of Things: Commodities in Cultural Perspective*. Cambridge University Press.
- Kostinskiy, A. Y., Syssoev, V. S., Bogatov, N. A., Mareev, E. A., Andreev, M. G., Makalsky, L. M., ... Rakov, V. A. (2015). Observation of a new class of electric discharges within artificial clouds of charged water droplets and its implication for lightning initiation within thunderclouds. *Geophysical Research Letters*, 42, 8165-8171.
- Krige, J. (1996). *History of CERN, III*. Elsevier.
- Kripke, S. A. (1963). Semantical Considerations on Modal Logic. *Acta Philosophica Fennica*, (16). Consulté à l'adresse <https://www.scribd.com/doc/101691976/Kripke-Saul-1963a-Semantical-Considerations-on-Modal-Logic>
- Larousse. (2015). Dictionnaire de français en ligne [Dictionnaire]. Consulté 11 novembre 2015, à l'adresse <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/patrimoine/58700>

- Lavorel, M. (2014, novembre 7). *Patrimonialiser les mémoires sensibles*. Avignon. Consulté à l'adresse <http://www.theses.fr/2014AVIG1139>
- Lehoucq, R., & Mochkovitch, R. (2003). *Mais où est le Temple du soleil ?* Flammarion. Consulté à l'adresse <http://livre.fnac.com/a1445321/Roland-Lehoucq-Mais-ou-est-le-Temple-du-soleil>
- Les quadripôles à radiofréquence. (s. d.). Consulté 19 octobre 2015, à l'adresse http://irfu.cea.fr/Phocea/Vie_des_labos/Ast/ast_visu.php?id_ast=2881
- Letchford, A. P., Faircloth, D. C., Findlay, D. J. S., Perkins, M., Stevens, A. F., & Whitehead, M. O. (2005). Testing, installation, commissioning and first operation of the ISIS RFQ pre-injector upgrade. In *Particle Accelerator Conference, 2005. PAC 2005. Proceedings of the* (p. 695–697). IEEE. Consulté à l'adresse http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1590531
- Leveau, P. (2011). Restauration et traduction : une question de philosophie. Consulté 10 janvier 2014, à l'adresse <http://ceroart.revues.org/2088>
- Lewis, D. (1978). Truth in Fiction. *American Philosophical Quarterly*, 15(1), 37-46.
- Lewis, D. (1983). Philosophical Papers. *Oxford Scholarship*, 1. Consulté à l'adresse <http://www.oxfordscholarship.com/view/10.1093/0195032047.001.0001/acprof-9780195032048>
- Lewis, D. (2007). *De la pluralité des mondes*. (M. Caveribère & J.-P. Cometti, Trad.). Paris: Editions de l'Eclat.
- Lewis, D. (2012). La vérité dans la fiction. *Klesis*, 24. Consulté à l'adresse <http://www.revue-klesis.org/pdf/Klesis-Lewis-3-Lewis.pdf>
- Liseykina, E. (2013). Elena Liseykina. Consulté 26 avril 2016, à l'adresse <http://www.liseykina.com>
- Lourenço, M. C. (2005, janvier 1). *Entre deux mondes : la spécificité et le rôle contemporain des collections et musées des Universités en Europe* (Thèse de doctorat). CNAM, Paris.
- M, I. (1961, septembre 18). Trois gros diamants noirs abriteront les accélérateurs de particules de la nouvelle faculté des sciences. *Le Progrès*. Lyon.
- Macdonald, S. (2014). Object : Cockcroft-Walton voltage multiplier. Consulté 21 avril 2016, à l'adresse <http://www.bbc.co.uk/ahistoryoftheworld/objects/84v08liYRb6JSEgOKhcTSw>

- Maffeo, V. (1999, janvier 1). *Statut et rôle des images médicales du cerveau humain dans l'enseignement secondaire français : approches didactique, épistémologique et socio-historique*. Lyon 1. Consulté à l'adresse <http://www.theses.fr/1999LYO10321>
- Maigret, J. (2010). Archives objets, archives d'objets, les points de friction. In *Les Collections scientifiques, de l'outil de connaissance à l'objet de patrimoine: aspects juridiques et pratiques professionnelles et institutionnelles*. Paris: l'Harmattan.
- Malinowski, B. (1963). *Les argonautes du Pacifique occidental (1922)*. (S. Devyver & A. Devyver, Trad.) (Gallimard). Paris, France. Consulté à l'adresse http://classiques.uqac.ca/classiques/malinowsli/les_argonautes/les_argonautes.html
- Malraux, A. (1964, avril 14). Discours d'installation de la Commission nationale de l'Inventaire de Paris. Consulté 16 décembre 2015, à l'adresse http://www.inventaire.culture.gouv.fr/inventaire_malraux.htm
- Mariot-Leduc, S. (2008, janvier 1). *Le patrimoine technique : enjeux et perspectives d'un patrimoine en cours de constitution*. Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse.
- Marnot, B. (2010). Le budget du CNRS de la Libération à 1968. *La revue pour l'histoire du CNRS*, (25), 38-42.
- Martin, J. (2003). Le « Dôme » : du Haefely au RFQ. In *Institut de physique nucléaire de Lyon, Chronique de 40 années* (p. 301). Lyon: Institut de Physique Nucléaire de Lyon.
- Mendibil, D. (1997, janvier 1). *Textes et images de l'iconographie de la France (de 1840 à 1990) : essai d'iconologie géographique*. Université Paris 1.
- Mendibil, D. (2008, mars 12). Dispositif, format, posture : une méthode d'analyse de l'iconographie géographique. Consulté 18 février 2014, à l'adresse <http://cybergeo.revues.org/16823>
- Métraux, F. (1954). Accélérateur de protons 1.200.000 V. *extrait du bulletin du Groupe Sud-Est de la société Française des Electriciens*.
- Ministère de la culture. (2016). Code du patrimoine. Consulté 8 mars 2016, à l'adresse <https://www.legifrance.gouv.fr/affichCode.do?cidTexte=LEGITEXT000006074236>
- Ministère de la culture, Direction générale des patrimoines, & Service des musées de France. (2015). Joconde, portail des collections des musées de France. Consulté 2 décembre 2015, à l'adresse <http://www.culture.gouv.fr/documentation/joconde/fr/pres.htm>
- Ministère de la Culture et de la Communication. (1998). Etiquettes, cartels et notices. Consulté 25 mars 2014, à l'adresse www.culturecommunication.gouv.fr/content/.../57184/.../MUSOIMG.pdf

- Ministère de la Culture et de la Communication. Arrêté du 25 mai 2004, NOR: MCCB0400516A (2004).
- Ministère de la Culture et de la Communication. (2007). Inventorier des collections de musées. DRAC Alsace.
- Ministère de la Culture et de la Communication. (2015). Appellation Musée de France. Consulté 13 décembre 2015, à l'adresse <http://www.culturecommunication.gouv.fr/Aides-demarches/Protections-labels-et-appellations/Appellation-Musee-de-France>
- Ministère de la Culture et de la Communication. (2015). Monuments historiques. Consulté 13 décembre 2015, à l'adresse <http://www.culturecommunication.gouv.fr/Politiques-ministerielles/Monuments-historiques/Qu-est-ce-qu-un-monument-historique>
- Ministère de la Culture et de la Communication. (2015). Patrimoine numérique. Catalogue des collections numérisées. Consulté 2 décembre 2015, à l'adresse http://www.numerique.culture.fr/pub-fr/a_propos.html
- Ministère de la culture et de la communication, direction de l'architecture et du patrimoine. (2015). Architecture & Patrimoine. Consulté 2 décembre 2015, à l'adresse <http://www.culture.gouv.fr/culture/inventai/patrimoine/>
- Ministère de l'Éducation nationale. Annexe du Bulletin officiel spécial n°8 (2011). Consulté à l'adresse http://cache.media.education.gouv.fr/file/special_8_men/99/0/physique_chimie_S_195990.pdf
- Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche. Bulletin officiel spécial n°9, Pub. L. No. 9 (2010). Consulté à l'adresse <http://www.education.gouv.fr/cid53327/mene1019556a.html>
- Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche. Bulletin officiel spécial n° 4, Pub. L. No. 4 (2010). Consulté à l'adresse http://cache.media.education.gouv.fr/file/special_4/72/9/physique_chimie_143729.pdf
- Molinié, P., & Boudia, S. (2008). Exposer les étincelles de la science au public : les «machines atomiques» et la création du Palais de la Découverte. In *Proceedings de la 6ème conférence SFE*. Paris.
- Mongin, D. (1989). La genèse de l'arme nucléaire française. In *La politique nucléaire de la France*. Paris.
- Mongin, D. (1991). *La Genèse de l'armement nucléaire français 1945-1958* (Thèse de doctorat). Université Paris 1.
- Monti, N. (1991). *Bing* [4 épisodes]. FR3.

- Montlibert, C. de. (1989). *Crise économique et conflits sociaux dans la Lorraine sidérurgique*. Paris: L'Harmattan.
- Murphy, B. (2003). Encircling the Muses: the multi-disciplinary heritage of university museums. *muséologia - an international journal of museology*, 3.
- Murzilli, N. (2012). De l'usage des mondes possibles en théorie de la fiction. *Klesis - Revue philosophique*, (24), 326-351.
- Musée des arts et métiers. (2015). Mission de sauvegarde du patrimoine PATSTEC. Consulté 2 décembre 2015, à l'adresse <http://www.arts-et-metiers.net/musee/mission-de-sauvegarde-du-patrimoine-patstec>
- Musée des arts et métiers, & Ministère de la recherche et de l'enseignement supérieur. (2015). Mission nationale de sauvegarde du Patrimoine scientifique et technique contemporain. Consulté 2 décembre 2015, à l'adresse <http://www.patstec.fr/PSETT>
- Musée des Confluences. (2014, août). Le parcours permanent du musée des Confluences. documentation privée.
- Museo della tecnica elettrica di Pavia. (2014). Consulté 21 avril 2016, à l'adresse <https://museodellatecnicaelettricapavia.wordpress.com/>
- Nef, F. (2006). Ontologie de l'objet, théorie des propriétés et théorie des ensembles : quelques problèmes et perspectives. *Revue internationale de philosophie*, (236), 181-207.
- Nobel Media AB. (2016). Accelerators in use. Consulté 24 mai 2016, à l'adresse <https://www.nobelprize.org/educational/physics/accelerators/overview-1.html>
- Nolan, C. (2006). *Le prestige*.
- Nouvelles du CERN, Préinjecteur de 1,4 MeV. (1970). *Courrier CERN*, 10(3), 82-84.
- NTU Museums. (2014). Consulté 25 avril 2016, à l'adresse http://www.museums.ntu.edu.tw/english/museums_physics.jsp
- Office de Coopération et d'Information Muséales, & Université de Bourgogne. (2010). Plateforme OCIM-Universités 2010, Observatoire du patrimoine et de la culture scientifiques et techniques - OPCST. Consulté 2 décembre 2015, à l'adresse http://ocim.fr/wp-content/uploads/2013/11/Universites_130627.pdf
- Oliphant, M. L. E., Kinsey, B. B., & Rutherford, Lord. (1933). The Transmutation of Lithium by Protons and by Ions of the Heavy Isotope of Hydrogen. *Proceedings of the Royal Society of London Series A*, 141, 722-733.

- Otero, S., & Cid, D. (2008). El acelerador Cockroft-Walton [boletín del departamento de física]. Consulté 21 avril 2016, à l'adresse http://www.dfi.uchile.cl/~newsletter/index.php?option=com_content&view=article&id=8:el-acelerador-cockroft-walton&catid=6:todo-por-la-ciencia
- Ottum, B. (1974). *Pardon, vous n'avez pas vu ma planète ?* (J.-L. Fromental & F. Landon, Trad.) (J'ai lu).
- Our History | HAEFELY HIPOTRONICS. (s. d.). Consulté 24 septembre 2015, à l'adresse <http://www.haefely-hipotronics.com/about-us/history/>
- Pasho, S., & Kisi, A. (2012). L'image (dans les manuels) hier et aujourd'hui. In *Actes des Journées Pierre Guibbert - IUFM - Montpellier 2 et Université Montpellier 3*.
- Paty, M. (2004). Einstein 1905, l'année admirable. *Pour la science*, 26-33.
- Peaucelle, C. (2013, juin). *50 ans de machines électrostatiques à l'IPNL*. Présenté à 50 ans de l'institut de physique nucléaire de Lyon, Villeurbanne.
- Peirce, C. S. (1931). *Elements of Logic* (1903). In *Collected Papers*. Cambridge: Harvard University Press.
- Pellequer, B. (2010). Les grands instruments de la science - Culture, science et innovation au Cern. In *Patrimoine scientifique et technique: un projet contemporain* (Vol. 1-1). Paris: La Documentation française, 2010.
- Pennec, J.-C. (1992, mars 21). Physique des agrégats : première mondiale à Lyon. *Progrès Lyon Matin*, p. 13. Lyon.
- Pestre, D. (1994). La redéfinition des métiers du physicien après la seconde guerre mondiale, une mise en perspective historique. *Didaskalia, de la Société Française de Physique*, (3 sup).
- Pestre, D. (2013). *À contre-science: politiques et savoirs des sociétés contemporaines*. Paris: Seuil.
- Pestre, D. (Éd.). (2016). *Le gouvernement des technosciences: Gouverner le progrès et ses dégâts depuis 1945*. Paris: La Découverte.
- Pestre, D., & Groupe Sciences en questions. (2003). *Science, argent et politique: un essai d'interprétation* (Vol. 1-1). Paris: Institut national de la recherche agronomique.
- Piergrossi, J. (2012, août). Fermilab Today. Consulté 22 septembre 2014, à l'adresse http://www.fnal.gov/pub/today/archive/archive_2012/today12-08-21.html

- Pinault, M. (2006). *La science au Parlement: les débuts d'une politique des recherches scientifiques en France*. Paris: CNRS, DL 2006.
- Pinault, M., & Doisneau, R. (2005). *Doisneau chez les Joliot-Curie. Un photographe au pays des physiciens*. Paris: Romain Pages.
- Poli, M.-S. (1992). Le parti-pris des mots dans l'étiquette : une approche linguistique. *Publics et Musées*, (1).
- Poli, M.-S. (2002). *Le texte au musée : une approche sémiotique*. Paris: L' Harmattan.
- Poli, M.-S. (2010). Le texte dans l'exposition, un dispositif de tension permanente entre contrainte et créativité. *La Lettre de l'OCIM. Musées, Patrimoine et Culture scientifiques et techniques*, (132), 8-13.
- Pomian, K. (1987a). *Collectionneurs, amateurs et curieux: Paris, Venise, XVIe-XVIIIe siècle*. Paris: Gallimard.
- Pomian, K. (1987b). Krzysztof Pomian, défense et illustration du collectionneur. Consulté 11 novembre 2015, à l'adresse <http://en.artpress.com/uploads/pdf/554.pdf>
- Pomian, K. (1990). Musées et paysages. In *Patrimoines en folie*. Paris: Maison des sciences de l'homme.
- Poulot, D. (1993). Le sens du patrimoine : hier et aujourd'hui (note critique). *Annales. Économies, Sociétés, Civilisations*, 48(6), 1601-1613.
- Poulot, D. (1997). *L'esprit des lieux: le patrimoine et la cité*. Presses universitaires de Grenoble.
- Poulot, D. (1998). *Patrimoine et Modernité*. Paris: L'Harmattan.
- Poulot, D. (2001). *Patrimoine et musées: l'institution de la culture*. Paris: Hachette.
- Poulot, D. (2006). *Une histoire du patrimoine en Occident, XVIIIe-XXIe siècle: du monument aux valeurs*. Paris: Presses universitaires de France.
- Poulot, D. (2010). Le patrimoine : histoire et développement récents. In *Patrimoine scientifique et technique: un projet contemporain* (Vol. 1-1). Paris: La Documentation française.
- Radvanyi, P. (2010). Ernest Rutherford : La transformation radioactive. Consulté 24 septembre 2015, à l'adresse <https://www.bibnum.education.fr/sites/default/files/rutherford-analyse.pdf>

- Rainette, C., Cornu, M., & Wallaert, C. (2008). *Guide juridique à l'usage des professionnels du patrimoine scientifique et technique*. (Centre de recherches sur le droit du patrimoine culturel et naturel, Éd.). Paris: L' Harmattan.
- Reeves, N. (2014, septembre). Communication privée : About Cockcroft-Walton voltage multiplier with the Curator of Scientific and Medical History.
- Reid, D. (2008, août 3). Museums at NTU. Consulté 25 avril 2016, à l'adresse <http://blog.taiwan-guide.org/2008/08/museums-taipei-ntu/>
- Reynès, L. (2004). Patrimoine et art actuel. In *La question patrimoniale : de la « patrimonialisation à l' »examen des situations concrètes* (p. 137-149). Paris: L' Harmattan.
- Ricoeur, P. (1975). *La métaphore vive* (Seuil). Paris.
- Ricoeur, P. (1991a). *Temps et récit, tome 1*. Paris: Seuil.
- Ricoeur, P. (1991b). *Temps et récit, tome 2*. Paris: Seuil.
- Ricoeur, P. (1992). ONTOLOGIE. In *Encyclopædia Universalis*. Malesherbes. Consulté à l'adresse <http://www.universalis.fr/encyclopedie/ontologie/>
- Robert, R. (2010). Histoire d'objets. Objets d'histoire. *Dialogues d'histoire ancienne. Supplément*, 4(1), 175-199. <http://doi.org/10.3406/dha.2010.3350>
- Rome, B. (2011). « La Boule » le microscope électronique historique à Toulouse. Consulté 25 avril 2016, à l'adresse http://www.pbase.com/br/la_boule__toulouse
- Roth, C. (2000). Etude sur le patrimoine scientifique : les enjeux culturels de la mémoire scientifique. Consulté 20 mai 2014, à l'adresse <http://www.ressac.org>
<http://www.culture.gouv.fr/mpe/recherche/rap-etudes.html>
- Rousseau, P. (1945). *La révolution atomique*. Paris: Fayard.
- Rousset, A., & Six, J. (2014). *Les physiciens de A à Z* (Ellipses). Paris: Ellipses.
- Roussillon-Constanty, L. (2010). Pour une approche interdisciplinaire du patrimoine universitaire. *La Lettre de l'OCIM. Musées, Patrimoine et Culture scientifiques et techniques*, (129), 13-20.
- Rouso, H. (2015). Histoire du temps présent. Consulté 10 décembre 2015, à l'adresse <http://www.universalis.fr/encyclopedie/histoire-du-temps-present/>

- Roux, J., & Martin, J. (1969). *Construction d'un hall hémisphérique pour essais très haute tension à l'Institut de Physique Nucléaire de Lyon* (No. LYCEN/6943). Lyon: Institut de physique nucléaire.
- Ruiz, R. (2014). @bravelittlemuon [Twitter]. Consulté 24 avril 2016, à l'adresse <https://twitter.com/bravelittlemuon>
- Rumbao, R. . (2012, juin). Photo of A Coruña - MUNCYT - Acelerador de partículas. Consulté 21 avril 2016, à l'adresse <http://www.panoramio.com/photo/74633096>
- Rutherford, E. (1928). Address of the President, Sir Ernest Rutherford, O.M., at the Anniversary Meeting, November 30, 1927. *Proceedings of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 117(777), 300-316. <http://doi.org/10.1098/rspa.1928.0001>
- Salin, R. (2003). Jean Thibaud, le fondateur. In *Institut de physique nucléaire de Lyon, Chronique de 40 années* (p. 301). Lyon: Institut de Physique Nucléaire de Lyon.
- Salin, R. (2013, avril 12). Témoignage [Communication privée].
- Sanz, N., & Sjur, B. (2006). *Le patrimoine des universités européennes* (Editions du conseil de l'Europe). Strasbourg: Council of Europe.
- Scharf, W. (1986). *Particle Accelerators and Their Uses*. Boca Raton: CRC Press.
- Schmid, H. R. (1976). *Max Schiesser, 1880-1975, Emil Haefely, 1866-1939: 2 Pioniere d. Elektrotechnik* (Oldenbourg Verlag). Munich: Verein für Wirtschaftshistor. Studien.
- Schopper, H. (1993). *Advances of Accelerator Physics and Technologies*. Singapore: World Scientific.
- Schwartz, A. (2006). *An Unlikely Prophet* (nouvelle édition). Merrimac: Destiny Books.
- Schwartz, A., Siegel, J., & Shuster, J. (1947). *Désintégration Atomique* (Mondiales).
- Seguin, R. (1989). L'élaboration des manuels scolaires: guide méthodologique. Consulté 29 janvier 2014, à l'adresse http://www.unesco.org/education/pdf/55_16_f.pdf
- Service interministériel des archives de France. (2011). Thésaurus pour la description et l'indexation des archives locales. Consulté 27 novembre 2015, à l'adresse <http://www.archivesdefrance.culture.gouv.fr/gerer/classement/normes-outils/thesaurus/>
- Simon, H. (1997). Allen Newell biographical Memoir. National Academies Press, Washington D.C. Consulté à l'adresse

<http://www.nasonline.org/publications/biographical-memoirs/memoir-pdfs/newell-allen.pdf>

Simondon, G. (1989). *Du mode d'existence des objets techniques* (Aubier, Vol. 1–1). Paris: Aubier.

Site Internet Musée des Confluences. (2015). Consulté 29 décembre 2015, à l'adresse <http://www.museedesconfluences.fr/>

Société d'histoire de Lyon rive gauche. (1962). Rive gauche.

Soubiran, S. (2010). Patrimoine des universités et médiation scientifique. *La Lettre de l'OCIM. Musées, Patrimoine et Culture scientifiques et techniques*, (109), 33-41.

Soubiran, S., Lourenço, M. C., Wittje, R., Talas, S., & Bremer, T. (2009). Initiatives européennes et patrimoine universitaire. *La Lettre de l'OCIM. Musées, Patrimoine et Culture scientifiques et techniques*, (123), 5-14.

Soudani, M., Héraud, J.-L., Soudani-Bani, O., & Bruguière, C. (2015). Mondes possibles et fiction réaliste. Des albums de jeunesse pour modéliser en science à l'école primaire. *RDST. Recherches en didactique des sciences et des technologies*, (11), 135-160. <http://doi.org/10.4000/rdst.1013>

Souiah, K. (2010, octobre 11). *La mise en scène du patrimoine : évolution des politiques de mise en valeur du patrimoine en Charente-Maritime, 1830-1976* (Thèse de doctorat). Université de La Rochelle, laboratoire CRHIA.

Soulet, J.-F. (2012). *L'histoire immédiate historiographie, sources et méthodes*. Paris: A. Colin.

Stoessel-Ritz, J. (2004). La production du patrimoine, enjeu des politiques publiques. In *La question patrimoniale : de la « patrimonialisation à l'examen des situations concrètes* (p. 50-71). Paris: L'Harmattan.

Teixeira, V. (2013, juin). Há um acelerador de partículas no Museu | Sul Informação. Consulté 21 avril 2016, à l'adresse <http://www.sulinformacao.pt/2013/06/ha-um-acelerador-de-particulas-no-museu/>

Tesla, N. (1900, juin). The Problem of Increasing Human Energy. *The Century Illustrated Monthly Magazine*, 60(2).

The Museum at the Cavendish Laboratory. (2012). Consulté 21 avril 2016, à l'adresse <http://www-outreach.phy.cam.ac.uk/camphys/museum/area3/tour.htm>

Thesaurus do Património. (2016). Consulté 21 avril 2016, à l'adresse <http://thesaurusonline.museus.ul.pt/ficha.aspx?t=o&id=522>

- Thibaud, J. (1946). *Energie atomique et Univers*. Paris: Albin Michel.
- Thibaud, J. (1949). *Puissance de l'atome: de l'utilisation industrielle et du contrôle de l'énergie atomique au Gouvernement mondial*. Paris: Albin Michel.
- Thibaud, J. (1954). Réalisation à Lyon d'un accélérateur de particules à un million de volts pour l'étude des réactions nucléaires par bombardement ionique et la production de radio-isotopes. *extrait du bulletin du Groupe Sud-Est de la société Française des Electriciens*.
- Thibaud, J., Verzaux, P., & Salin, R. (1954, novembre 29). Premiers résultats obtenus avec l'accélérateur de particules à 1 million de volts, installé à Lyon. Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences. Consulté 28 septembre 2015, à l'adresse <http://gallicalabs.bnf.fr>
- Tilmatine, A. (2014). Cours de physique, chapitre 4 : Décharge couronne. Consulté 3 mai 2016, à l'adresse http://www.univ-sba.dz/fsi/downloads/ETL437-Chapitre_4.pdf
- Tobelem, J.-M. (2010). Enjeux et perspectives pour la valorisation des collections universitaires. In *Les Collections scientifiques, de l'outil de connaissance à l'objet de patrimoine: aspects juridiques et pratiques professionnelles et institutionnelles*. Paris: l'Harmattan.
- Tomsin, P. (2007, octobre 1). Les patrimoines mobiliers scientifique et technique : spécificités de leur restauration, de leur conservation et de leur valorisation. Consulté 16 décembre 2015, à l'adresse <https://ceroart.revues.org/370>
- Tomsin, P. (2015). Patrimoine scientifique, technique et industriel. Consulté 16 décembre 2015, à l'adresse <http://ffcr.fr/les-specialites/18-les-specialites/97-specialite-patrimoine-scientifique>
- Toulouse, G. (2000). Aperçus historiques et comparatifs sur l'éthique des sciences. *Revue européenne des sciences sociales. European Journal of Social Sciences*, (XXXVIII-118), 83-92.
- Touraine, A. (1977). *La société invisible*. Seuil.
- Triquet, E. (1993). *Analyse de la genèse d'une exposition de science: pour une approche de la transposition médiatique* (Thèse de doctorat). Université Claude Bernard, Lyon.
- Triquet, E., & Bruguière, C. (2013, août). *Utiliser le récit de fiction pour appréhender les phénomènes du vivant. Un exemple de lecture problématique de l'album La Promesse pour aborder l'obstacle conceptuel de la métamorphose avec des élèves de 7-8 ans*. Présenté à Colloque International AREF, Montpellier.

- Triquet, E., Derolez, S., Heraud, J.-L., & Lautesse, P. (2014, juin). *Récits fictionnels de voyage : explorer des mondes inconnus par la pensée scientifique*. Présenté à 7th Narrative Matters Conference, Paris.
- Triquet, E., Nguyen, C., Chouteau, M., Khantine-Langlois, F., & Bruguière, C. (2013). Les représentations de la science et de la technique dans les séries policières à caractère scientifique. Quel apport du récit? *Les cultures des sciences en Europe*, 1(18).
- Trump, J. G., & Van De Graaff, R. J. (1937). Design of a Million-Volt X-Ray Generator for Cancer Treatment and Research. *Journal of Applied Physics*, 8(9), 602-606.
<http://doi.org/10.1063/1.1710348>
- Tulpa. (2016, avril 15). In *Wikipédia*. Consulté à l'adresse <https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Tulpa&oldid=125327228>
- Turteltaub, J. (2010). *L'apprenti sorcier*. Jerry Bruckheimer Films et Saturn Films.
- Un microscope électronique de légende. (2011). Consulté 25 avril 2016, à l'adresse http://www.chicplanet.org/index.php?option=com_content&view=article&id=70:visite-de-qla-bouleq-cemes-de-rangueil&catid=35:reportages&Itemid=27
- UNESCO Centre du patrimoine mondial. (1972, novembre 16). Convention concernant la protection du patrimoine mondial, culturel et naturel. Consulté 16 décembre 2015, à l'adresse <http://whc.unesco.org/fr/conventiontexte/>
- UNESCO Centre du patrimoine mondial - Notre patrimoine mondial. (s. d.). Consulté 5 septembre 2014, à l'adresse <http://whc.unesco.org/fr/apropos/>
- UNIVERSEUM European Academic Heritage Network. (2015). Consulté 3 décembre 2015, à l'adresse <http://universeum.it/>
- Urey, H. C., Brickwedde, F. G., & Murphy, G. M. (1932). A Hydrogen Isotope of Mass 2. *Physical Review*, 39(1), 164-165.
- Vachet, A. (1982). *A travers les rues de Lyon*. Lyon: Bernoux, Cumin & Masson.
- Van Kerckhove, D., & Le Gallo, C. (2004). *Le monde de Edgar P. Jacobs*. Bruxelles: Le Lombard.
- Van Praët, M. (2004, avril). *Les patrimoines matériels et immatériels des institutions de recherche dans la diffusion des savoirs*. Séminaire national interministériel présenté à Regards sur le patrimoine culturel des universités, Lille.
- Van Reeth (Éd.). (2007). Introduction. In *Regards sur l'objet du XX^e siècle: la fragilité d'un patrimoine au présent*. Arles: Actes sud.

- Viennot, L., & Aubert, G. (2002). *Enseigner la physique*. Bruxelles: De Boeck Supérieur.
- Vitriolerie de La Mouche. (2012). [bibliothèque municipale de Lyon]. Consulté 30 septembre 2015, à l'adresse <http://www.guichetdusavoir.org/viewtopic.php?f=2&t=46162>
- Waller, I. (1951). Presentation Speech, Nobel Prize in Physics 1951. Consulté 7 juillet 2016, à l'adresse <https://www.nobelprize.org>
- Walton, E. (1951, décembre 11). The artificial production of fast particles [Nobel Prize]. Consulté 10 septembre 2015, à l'adresse http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1951/
- Walton, E. (1985). Working with John Cockcroft to split the atom. [Archive]. Consulté 26 février 2014, à l'adresse <http://www.bbc.co.uk/archive/scientists/10600.shtml>
- Weeks, J. (2000). La solitude du conservateur de musée universitaire. Consulté 13 décembre 2015, à l'adresse http://portal.unesco.org/culture/fr/ev.php-URL_ID=4734&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.html#universitaires
- Zhang, P. (2011, juillet). Pei's Never Never Land [Wordpress]. Consulté 21 avril 2016, à l'adresse <https://peizhang.wordpress.com/>
- Zumbühl, R. (2004, juin). Kochstudio der EBM. Consulté 21 avril 2016, à l'adresse <http://www.picswiss.ch/01-BL/s-BL-01/sBL-46-10.html>
- Zweiacker, P. (2013). Les hautes tensions. Consulté 3 mai 2016, à l'adresse <http://www.surprises.ch/HT/cours.html>