



HAL
open science

L'évolution des villes dans l'espace post-soviétique : observation et modélisations

Clémentine Cottineau

► **To cite this version:**

Clémentine Cottineau. L'évolution des villes dans l'espace post-soviétique : observation et modélisations. Géographie. Université Panthéon-Sorbonne - Paris I, 2014. Français. NNT : 2014PA010593 . tel-02137422

HAL Id: tel-02137422

<https://theses.hal.science/tel-02137422>

Submitted on 23 May 2019

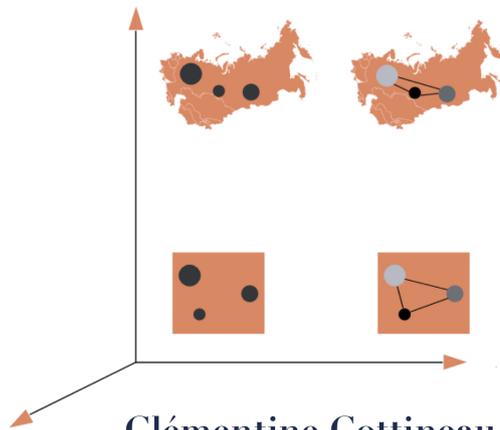
HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

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.

Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne
Ecole Doctorale de Géographie de Paris

Thèse de Doctorat
pour obtenir le grade de Docteur
de l'Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne
Discipline : Géographie

L'évolution des villes dans l'espace post-soviétique Observation et modélisations.



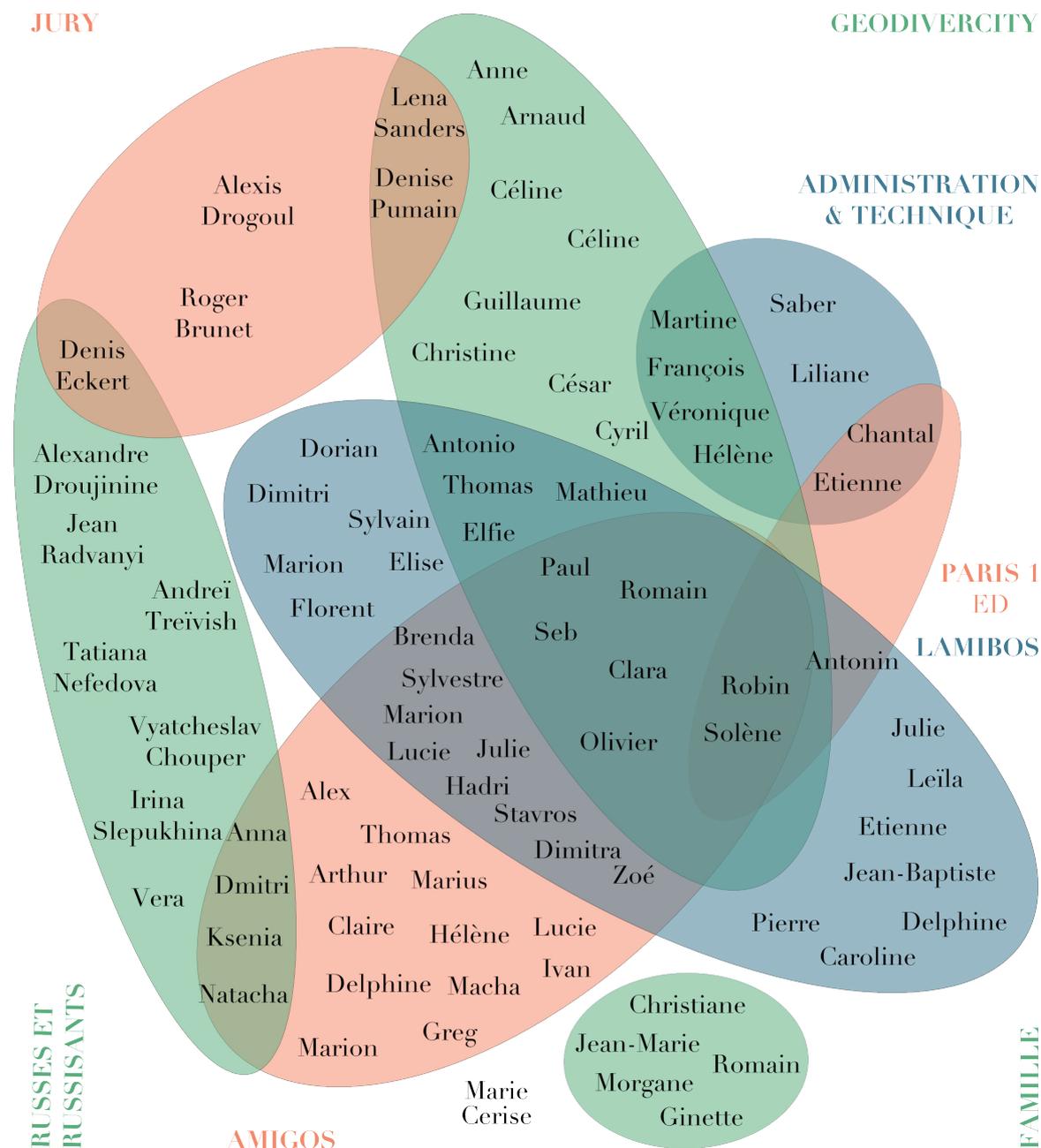
Clémentine Cottineau
Sous la direction de Denise Pumain
Présentée et soutenue publiquement le 21 Novembre 2014

Composition du Jury :

Roger Brunet, Professeur, Directeur de Recherche émérite, CNRS (Rapporteur)
Alexis Drogoul, Directeur de Recherche, IRD (Rapporteur)
Denis Eckert, Directeur de Recherche, CNRS (Examineur)
Denise Pumain, Professeur, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne (Directrice)
Lena Sanders, Directrice de Recherche, CNRS (Examineur)



Remerciements



Par jeu et goût pour la parcimonie et la représentation visuelle des données, j'ai tenté d'exprimer mes remerciements graphiquement. Malheureusement, il manque une dimension à ce diagramme pour représenter la reconnaissance que j'ai pour chaque personne qui y figure, et des précisions s'imposent.

Merci à

- Roger Brunet, Alexis Drogoul, Denis Eckert et Lena Sanders d'avoir accepté de lire, évaluer, rapporter et examiner ce travail de thèse.

- Denise, pour une foule de choses ! Tout d'abord, merci d'avoir accepté d'encadrer mes travaux depuis le master. C'est de manière progressive et incrémentale que vous m'avez amenée à interagir avec l'étude des systèmes de villes et la modélisation, mais aussi avec un environnement exceptionnellement riche à Géographie-cités, puis au sein du programme GeoDiverCity. Je vous dois d'avoir pu réaliser cette thèse dans des conditions idéales, la rendant passionnante à écrire, mais également agréable à vivre et enrichissante bien au-delà de ce manuscrit. Votre direction souple, réactive et stimulante, votre force d'intégration à une équipe interdisciplinaire et hyperactive ont fait de mon projet beaucoup plus que je ne le prévoyais. Merci enfin pour les nombreuses opportunités que vous avez subtilement déposées sur mon chemin et du soutien avec lequel vous m'aidez à les saisir.

- Merci à cette équipe de recherche avec qui le travail au quotidien reste efficace tout en devenant un laboratoire du jeu de mots interdisciplinaire. Merci à Paul pour ce binômat d'un an et demi au pays de la métaphore. Merci à Romain pour sa disponibilité libriste et sa pédagogie atypique qui m'ont fait apprendre mille choses en six temps trois mouvements. Merci à Clara d'avoir ouvert une route de la modélisation parcimonieuse, collective et créative que j'ai suivie avec elle et avec plaisir. Merci à Seb, particulièrement dans la dernière phase de la rédaction, pour les conseils et discussions épistémologiques qu'il n'est possible d'avoir avec personne d'aussi informé et volontaire ! Merci à Mathieu de compléter cette troupe rodée aux tournées internationales, pour encore longtemps j'espère. Merci à Robin pour (entre autres) les huit mille ajustements de Trajpop et les huit mille questions posées (et répondues) entre deux couloirs du 5^e étage. Merci à Olivier pour les ateliers parapluies, miel et auto-collants d'un week-end à Dourdan.

- Merci à Véronique et Martine pour leur charmante/redoutable efficacité. Merci à Saber pour la logistique et le sauvetage d'objets hautement improbables.

- Merci à toutes les personnes avec qui j'ai eu l'occasion de travailler à Paris et ailleurs, et qui ont contribué de manière plus ou moins directe à ce travail de thèse. À Paris, merci à Arnaud Banos, Anne Bretagnolle, François Durand-Dastès, Céline Vacchiani-Marcuzzo, Hélène Mathian, Fabien Paulus, Lena Sanders et à tous les membres du projet GeoDiverCity. En Russie, merci à Natalya Kirsanova, Dmitri Zemlyansky, Ksenia Averkieva, Alexandre Droujinine, Tatiana Nefedova, Andreï Treïvich, Vera Efremova, Vlada Semiglazova, Jean Radvanyi et Vyatcheslav Chouper. En Allemagne dans le réseau *Shrinking Cities*, merci à Irina Slepukhina, Thorsten Wiechmann, Isolde Brade, Manuel Wolff et Annegrett Haase.

- Un immense merci aux nombreuses personnes, chercheurs et amis, inscrites à la ligue internationale contre le double-espace ou à la protection du guillemet français, qui ont participé à la relecture de ce manuscrit. Vos corrections, remarques, suggestions, attentions et discussions font que ce tout est plus que la somme de ma seule contribution. Par ordre chronologique d'exploitation de votre générosité, merci : Clara Schmitt, Anne Bretagnolle, François Durand-Dastès, Paul Chapron, Sébastien Rey-Coyrehourq, Clara Schmitt, Olivier Finance, Thomas Gérard, Julie Gravier, Hélène Lecoq, Brenda Le Bigot, Sylvestre Duroudier, Alex Mazalaigue, Thomas Louail, Robin Cura, Solène Baffi, Clara Schmitt, Zoé Boularan, Irina Slepukhina et Solène Baffi.

- Entre les remerciements professionnels et amicaux, le fait d'être doctorant rue du Four implique nécessairement qu'un volume considérable de remerciements hybrides revienne à tous les lamibos du 5^e étage étendu, à la fois pour leurs ressources géographiques inépuisables et leur gestion magnifique des interstices du temps de travail. Donc, pour tout cela et selon un ordre semi-aléatoire, merci à : Solène, évidemment; Olivier, sac-rément; Robin, zoologiquement; Zoé, ma-ment; Marion, collectivement; Stavros, parce je peux; Hadri, hardiment; Clara, tridimensionnellement; Julie, gravement; Romain, v(i)êtement; Brenda, hôte-ment; Paul, binômalemment; Seb, onto-logiquement; Lucie, kawaïment; Dimitra, esthétiquement; Sylvestre, capillairement; et tout ceux qui arrivent après la panne d'adverbes : Dorian, Leïla, Elise, Etienne, Antonin, Thomas, Mathieu, François, Pierre, Julie, Delphine, Marion, Dimitris, Charlène, Elfie, Antonio, Eloisa, Maria Louisa, Kevin, (etc).

- Cette thèse n'aurait pas non plus été achevée sans le concours héroïque de ceux qui ont habilement parsemé ces trois ans : de vacances, de week-ends, de soirées, de brunchs et de ping-pong. Merci à tous, et pour leur bravoure, sont distingués Alex & Thomas, Hélène & Lucie & Delphine, Marius¹, Grégoire, Claire, Solène.

- Merci enfin à ma famille de faire en sorte que tout le reste soit si facile.

¹ Un ami modèle !

Notes de lecture

1. Les noms de lieux et d'auteurs (hors cas particuliers où la ville a un nom français, comme Moscou et Saint-Pétersbourg) sont transcrits du cyrillique vers l'alphabet latin selon la translittération suivante :

а = a	з = z	п = p	ч = tch
б = b	и = i	р = r	ш = ch
в = v	й = ï	с = s	щ = sch
г = g/gu	к = k	т = t	ь = ‘
д = d	л = l	у = ou	э = e
е = e/ie	м = m	ф = f	ю = you/iou
ё = yo/e	н = n	х = kh	я = ya/ia
ж = j	о = o	ц = ts	ы = y

2. Le choix est fait le plus souvent d'utiliser la version russe du nom des villes ou régions ayant subi des modifications toponymiques mineures depuis 1991. De nombreuses villes ukrainiennes ont ainsi conservé leur nom soviétique, en remplaçant le « o » par un « i » (par exemple : Kharkov, Lvov, Ivano-Frankovsk sont devenues Kharkiv, Lviv et Ivano-Frankivsk.). Le choix de la version en « o » dans cette thèse relève d'une facilité de suivi de la ville au cours du temps et d'une meilleure connaissance de la langue russe, mais ne reflète en aucun cas une position politique vis-à-vis de la relation entre la Russie et l'Ukraine.
3. Pour des raisons techniques, et notamment le travail sur des logiciels de langue anglaise, nous utilisons le point comme séparateur décimal, et nom la virgule comme il est de règle en français.

Sommaire

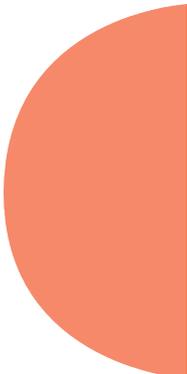
Remerciements	3
Notes de lecture	7
Sommaire	9
Introduction	11
Chapitre 1. Sources d'information pour DARIUS	25
Chapitre 2. Un système de villes post-soviétiques ? De l'importance relative du « système » et du « post-soviétique » dans l'évolution des villes d'ex-URSS	87
Chapitre 3. Les trajectoires de l'urbanisation dans l'espace post-soviétique	161
Chapitre 4. De DARIUS à MARIUS, d'un régime explicatif à l'autre	229
Chapitre 5. Expérimentation incrémentale avec MARIUS	335
Conclusion	417
Bibliographie	427
Annexes	453
Tables	483
Table des matières	491

Introduction

L'évolution des villes post-soviétiques, Observation et modélisations



« Plus que jamais, la ville, surtout dans la Russie d'après la transition, est le lieu essentiel de l'organisation économique et sociale du territoire. » (Eckert, 2007, p.140)



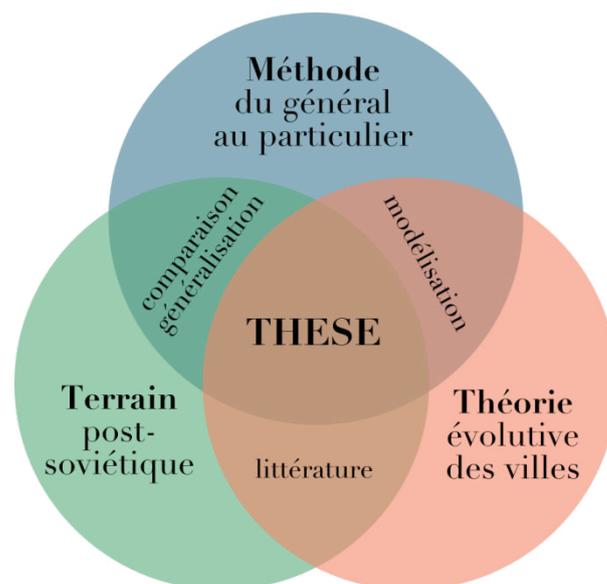
« L'interprétation du devenir des villes par une théorie évolutive est [...] l'occasion de bien spécifier ce qui relève d'une histoire, par définition unique, et ce qui peut être considéré comme une dynamique, qu'il est possible de représenter par des modèles génériques, ou des faits stylisés, utilisables pour encadrer des prédictions. » (Pumain, 2010, p.6)



« La première condition au dégagement de principes généraux et de règles semble bien être de poser des questions elles-mêmes générales. » (Durand-Dastès, 1991, p.208)

Les villes de l'espace post-soviétique sont des « lieux essentiels de l'organisation du territoire », dans le territoire « le plus étendu du Monde et celui qui pose le plus de questions originales, par la nature de ses régimes successifs et le sens de ses mutations » (Brunet, 1996, p.212). Ce sont aussi des lieux de conflit et les

symboles de la décroissance démographique récente, motivant l'intérêt que l'on peut porter à leur étude et aux projections de leur devenir. Pour ce faire, il est nécessaire de se baser sur une connaissance de leur dynamique. L'observation de leur évolution est alors une étape obligée. Elle se situe dans le cadre d'une théorie qui oriente les questions que l'on se pose sur les villes et la manière de les observer. Cette théorie évolutive des villes étant construite par la généralisation issue de l'observation d'autres systèmes de villes, son usage interroge la comparabilité des villes à l'étude et la particularité des évolutions observées. La démarche suivie dans cette thèse vise ainsi à qualifier la genericité des évolutions urbaines observées dans l'espace post-soviétique, selon un étalon temporel de l'ordre du siècle. Pour distinguer les dynamiques générales des histoires spécifiques, nous recourons de manière privilégiée à des méthodes de modélisation, qui permettent de confronter les observations historiques à des dynamiques attendues en théorie. La thèse que nous défendons est celle d'une comparabilité des villes comprises sur le territoire de l'ex-URSS. Nous pensons que malgré l'exceptionnalité de la géohistoire russo-soviétique, le moteur de l'évolution urbaine n'est pas fondamentalement différent de celui d'autres systèmes de villes dans le monde, et que la théorie évolutive des villes nous permet de mieux comprendre cette évolution, pour mieux en saisir les enjeux à venir. Enfin, notre position de recherche inclut l'ouverture la plus large possible sur les outils permettant d'observer, comparer et modéliser l'évolution des villes de l'espace post-soviétique. Cette diversité de modes d'appréhension nous semble la voie la plus féconde dans l'avancée vers une compréhension plus grande du phénomène spatio-temporel, social, culturel et économique de l'urbanisation.



Ville et système de villes

La notion de système appliquée aux villes permet de reconnaître aux interactions un rôle premier dans la définition des villes et des relations qu'elles entretiennent. En effet, toutes les définitions de l'urbain s'accordent sur la fonction principale de la ville qui est de mettre en relation les individus. Ces interactions micro-géographiques sont contraintes par la masse, la densité et l'hétérogénéité qui la caractérisent et la différencient d'autres espaces géographiques. La ville est ainsi pour les géographes « *fondamentalement une organisation de l'espace destinée à maximiser les interactions les plus diverses* » (Claval, 1981, p.28), une « *agglomération d'immeubles et de personnes* » (Brunet et al., 1992, p.508), un « *géotype de substance sociale fondé sur la coprésence* » (Levy, Lussault, 2003, p.988). Selon les approches disciplinaires, on insiste sur la forme politique d'organisation ou sur la fonction productive liée à la mise en relation des individus de la société urbaine.

« *Pour les géographes, la ville est un système dans un système de villes et représente l'organisation hiérarchisée du peuplement des sociétés à deux échelles, celles du territoire de la vie quotidienne (la ville) et celle des territoires du contrôle politique et économique (les réseaux de villes).* » (Pumain et al., 2006c, p.289). La reconnaissance de deux niveaux d'organisation et la double référence au système, depuis Brian Berry (1964), marquent un pas supplémentaire dans l'identification des interactions comme moteur du fonctionnement des villes. Il signifie qu' « *un ensemble national ou régional de villes [...] sont interdépendantes de telle façon qu'un changement significatif dans les activités économiques, la structure professionnelle, le revenu ou la population d'une ville membre entraîne directement ou indirectement une modification des activités économiques, la structure professionnelle, le revenu ou la population d'une ou plusieurs autres villes membres.* » (Pred, 1977, p.13).

Dans une approche théorique fondée sur les systèmes complexes, on considère même que le niveau de la ville *émerge* de l'interaction prolongée entre les individus agglomérés, et que le système de villes *émerge* de l'interaction prolongée entre les villes (Pumain, 2006b). On entend par émergence « *l'apparition de propriétés nouvelles quand on gravit les échelles de la complexité des objets. [...] Elle fait] appel à trois ingrédients : une vision étagée de la réalité, une immersion ou un contact étroit avec l'environnement et une évolution dans le temps.* » (Lestienne, 2012, p.203). C'est ce qui justifie l'usage en géographie urbaine du cadre théorique des systèmes complexes, qui permet ensuite de raisonner avec des outils performants (la simulation par exemple) et d'user d'analogies constructives. Notamment, de l'étude de systèmes très différents (en biologie, physique, économie, etc.) résulte l'idée que l'émergence est repérable lorsque « *certaines propriétés des systèmes complexes peuvent être expliquées à partir des*

propriétés des éléments des échelles inférieures, mais ne peuvent pas être attribuées à ces éléments » (Lestienne, 2012, p.91).

Dans le cas des systèmes de villes, les propriétés émergentes non-attribuables aux villes considérées de manière isolée sont : « *une structure fortement hiérarchisée, qui se traduit par une très grande différenciation de la taille des éléments du système. [...] Cette structure hiérarchique s'accompagne d'une certaine régularité de l'espacement des unités de peuplement, en général d'autant plus uniforme qu'il s'agit de villes de grande taille. [...] Une autre propriété très générale [...] est la différenciation fonctionnelle, qui à taille égale se traduit par la spécialisation des activités différentes des villes appartenant à un même territoire.* » (Pumain, 1999, p.169).

Les interactions comme moteur de la croissance urbaine

Nous reviendrons sur ces propriétés permettant d'identifier, de décrire et de comparer des systèmes de villes, à la manière de faits stylisés. Ces faits stylisés sont la formalisation de régularités observées dans de nombreux systèmes de villes à différentes époques, et auxquels une théorie vient donner du sens. Dans la pensée de Nicholas Kaldor, les faits stylisés constituent des « *grandes tendances* » (1961, p.178) empiriques et doivent servir de base aux modèles théoriques (plutôt que des abstractions dont les conséquences ne se rencontrent jamais dans la réalité). En l'occurrence, nous nous fondons sur de nombreuses études empiriques et historiques menées sur les systèmes de villes (au sein du laboratoire Géographie-cités : Europe, États-Unis, Afrique du Sud, Inde et Chine, monde¹), et la théorie évolutive des villes (Pumain, 1997a) pour expliquer ces faits stylisés ainsi que leurs variations temporelles et territoriales. Cette théorie postule que ce sont les interactions prolongées entre villes d'un système qui contribuent à créer et maintenir une structure hiérarchique de la taille des éléments, que leurs différentes portées s'accompagnent de la formation d'un semis urbain régulier, et enfin qu'elles conduisent par concurrence et complémentarité à une spécialisation fonctionnelle des villes.

Pour préciser la causalité que cette théorie postule entre interactions et faits stylisés, rappelons ce qui s'échange entre les villes : des hommes, des biens et services, des capitaux et des informations. Les villes ont en effet comme fonction d'articuler les différents réseaux d'échanges (Derycke, 1999). Ces flux et interactions sont de natures différentes : certains peuvent être contraints par l'architecture administrative et la hiérarchie des statuts entre villes d'un même

¹ (Cattan *et al.*, 1999 ; Bretagnolle *et al.*, 2008 ; Vacchiani-Marcuzzo, 2005 ; Swerts, 2013a ; Moriconi-Ebrard, 1993).

ensemble territorial ; d'autres liées à des échanges de marché, des partenariats entre organisations, des circuits de migrations ou de colonisation, etc. Il ressort de cet aperçu une variabilité forte de nature, mais aussi de portée (de quelques kilomètres pour les villes d'une même région à des milliers de kilomètres entre villes mondiales), de temporalité et de rythmes.

L'étude des interactions spatiales en géographie (Ullman, 1954 ; Hägerstrand, 1968 ; Tobler, 1975 et Pred, 1977 pour les précurseurs) a montré le rôle de la masse des éléments², de la distance les séparant³ et de leur spécialisation dans le volume du flux échangé. Les études qui ont suivi sur les interactions interurbaines ont aussi mis en avant la difficulté qui existe pour mesurer la relation entre interaction et croissance urbaine. Nous voyons à cela plusieurs raisons :

- **La traçabilité des flux.** Les différences de nature, de portée et de temporalité des flux qui existent entre villes rendent illusoire toute tentative d'identification exhaustive des flux liant les villes. De plus, les mesures de flux d'hommes, de biens, de capitaux, et d'informations ne sont pas commensurables. Enfin, la traçabilité de ces informations nécessite toutes sortes de capteurs et n'est généralement pas réalisable pour un grand nombre de flux différents, et encore moins rétrospectivement sur une échelle de temps longue (de plusieurs dizaines d'années, typiquement).

- **La confidentialité des données.** La majorité des interactions relève de transactions privées qui ne sont généralement pas comptabilisées, et souvent confidentielles lorsqu'elles le sont, car stratégiques pour les entreprises productrices de ces données.

- **Le défi d'une analyse temporelle.** Cette difficulté à analyser des réseaux évolutifs dans le temps constitue un défi technique. Alors que se développent les méthodes de description et d'analyse des réseaux, l'application de ces outils pour des réseaux temporels reste une entreprise peu balisée.

En attendant que de nombreux capteurs soient développés, que l'on stocke l'information captée avec une épaisseur temporelle suffisante et que des méthodes d'analyse performantes soient développées, les géographes ont utilisé des *proxy* de ces interactions, concernant principalement les échanges liés aux moyens de transports et de communication, aux migrations et aux liens internes aux organisations. À titre d'exemple, A. Pred (1977) utilisa les journaux locaux, les échanges postaux pour le XIX^e siècle ; B. Robson (1973) les lignes téléphoniques. Des travaux récents utilisent les données disponibles sur les

² Plus les éléments sont importants, plus fortement ils auront tendance à interagir.

³ Plus des éléments sont proches, plus fortement ils auront tendance à interagir.

échanges d'étudiants (Cattan, 2007), les flux aériens (Guimerà *et al.*, 2005 ; Witlox, Derruder, 2007) ou les coopérations scientifiques (Comin, 2009 ; Eckert *et al.*, 2013 ; Cuyala, 2014) pour apprécier le fonctionnement systémique des villes européennes. Notons enfin les travaux de l'équipe de P. J. Taylor (Beaverstock *et al.*, 2000) et de C. Rozenblat (Bohan, Gautier, 2013) sur les réseaux d'entreprises. Ces données sont plus accessibles, mais présentent encore des biais :

- de **temporalité**, les migrations sont comptabilisées rétrospectivement entre deux recensements, c'est-à-dire à un rythme de capture décennal.
- de **taille de villes** prises en compte, puisque les grandes infrastructures de transport (aéroport, gare TGV) sont concentrées dans les grandes villes.
- de **taille d'organisations**, puisque les bases de données sur les entreprises s'intéressent aux plus grandes d'entre elles uniquement.
- de **réplicabilité**, puisque les bases de données les plus complètes sont généralement payantes et/ou non diffusables.

Ces études permettent pourtant de vérifier certains aspects de la relation entre d'une part le volume et la diversité des échanges, et d'autre part la taille de la ville, sa situation géographique et sa spécialisation. En fin de compte, elles permettent de vérifier une nouvelle fois le caractère synthétique de la population, « *dans la mesure où la variable "taille démographique" est un excellent (et le meilleur) résumé de très nombreuses propriétés fonctionnelles des villes. Beaucoup de descripteurs quantitatifs, comme le nombre d'emplois, d'établissements ou de logements... mais aussi qualitatifs, comme la diversité ou la rareté des activités et la variété des populations présentes, sont corrélés à la taille des villes. C'est la principale "dimension", c'est-à-dire le facteur de différenciation essentiel, dans un système de villes.* » (Pumain, 1997a, p.122).

Nous prenons donc le parti dans cette thèse de recourir à la variable la plus synthétique de description des villes et de leur dynamique de croissance dans une perspective temporelle longue : la population ; et d'avoir recours autant que possible à d'autres informations lorsqu'elles sont disponibles et analysables, pour tenter en dernier ressort de recréer virtuellement un lien de causalité entre interaction et croissance urbaine par la simulation.

Un cas (très) particulier dans un pays disparu

Un point contre-intuitif découlant de notre programme d'étude sur les villes post-soviétiques concerne la référence à cet ensemble politique aujourd'hui disparu : l'Union soviétique. Les arguments scientifiques ayant guidé le choix de conserver cette référence territoriale seront développés dans le second chapitre de la thèse, mais quelques hypothèses concernant la spécificité des villes ayant appartenu à l'espace soviétique ainsi que leur évolution solidaire au-delà de la chute du régime fédéral peuvent être exposées ici.

De fait, si les villes russes (la moitié du nombre de villes post-soviétiques en 2010) ont été notre premier objet de recherche (Cottineau, 2011 ; 2013) et le plus approfondi en termes de bibliographie, de terrain et de collecte de données complémentaires, il est devenu indispensable de considérer aussi Kiev, Tachkent, Bakou, Minsk et toutes les villes des quatorze autres Républiques Socialistes Soviétiques pour donner un sens territorial à la notion de système de villes, au moins durant la période soviétique. Cela procède d'une part de la relation entre système économique et structure urbaine, et d'autre part de la lenteur des transformations urbaines au regard des événements politiques. La durée du régime et la vigueur de ses interventions dans l'organisation territoriale justifient une hypothèse forte incitant à rechercher les traces de son rôle dans la dynamique de cet ensemble de villes.

Le lien entre le système de villes et l'organisation économique du territoire est documenté et effectif dans les deux sens : les villes ont contribué à renforcer, affaiblir ou renverser les régimes (impérial, soviétique puis actuels) de notre espace de recherche, ainsi qu'à transformer la société qui l'habite (Lewin, 1989). En retour, les différents régimes contraignent fortement l'organisation urbaine, *via* la création de villes nouvelles, des politiques d'investissements ciblés dans un secteur économique et/ou dans une région donnée, la limitation de la population ou de sa mobilité.

Ce qui n'est toutefois pas certain, c'est le fait de savoir si toutes les ruptures sont nécessairement simultanées et coïncidentes. En démographie, Alain Blum rappelle que : « 1917, 1924, 1953, 1985, 1991, 2004 [...] semblent autant de dates marquant de nouvelles périodes tout en exprimant un perpétuel recommencement. Or les histoires russe et soviétique sont profondément imbriquées ; elles doivent être perçues dans la longue durée. Les ruptures sociales, si elles existent, ne correspondent pas nécessairement aux moments clés de la vie politique. » (2004, p.17). Dans notre cas, cette question revient à se demander si ces dates clés et les

ruptures géopolitiques majeures que constituent 1914-1917, 1941-1945 et 1989-1991 correspondent symétriquement à des ruptures dans le système urbain, défini comme un ensemble de villes connectées, échangeant des informations, des capitaux et des hommes, plus intensément entre elles qu'avec d'autres villes. L'évolution du système de villes est influencée par les progrès de la communication et des transports, l'économie et la démographie, toutes choses liées au régime politique mais pas seulement. Une étude des villes de l'espace post-soviétique sur le long terme doit permettre de situer les ruptures et continuités communes aux systèmes politiques et urbains, et les ruptures (ou continuités) propres au système de villes.

D'autre part, au niveau des éléments du système les villes de nombreux auteurs se sont demandé si la ville socialiste du XX^e siècle ou la ville post-socialiste devait être distinguées comme fondamentalement différentes de la ville capitaliste. Le questionnement qui suit amène alors à se demander si de telles villes peuvent ou ne peuvent pas être décrites par la théorie urbaine classique, appliquée aux villes « capitalistes » (Svetlichny, 1959 ; George, 1974 ; French, Hamilton, 1979 ; Andrusz *et al.*, 1996 ; Stanilov, 2007 ; entre autres). Les débats des années 1920 entre urbanistes et désurbanistes visaient précisément à construire une ville socialiste, différant des villes construites jusqu'alors par sa forme et les principes de sa construction (Kopp, 1967 ; Starr, 1977).

L'urbanisation, sa temporalité et son organisation spatiale prêtent aussi à débat sur le caractère singulier de l'espace russe des XIX^e et XX^e siècles. En effet, l'urbanisation fut tardive et accélérée (Rozman, 1976 ; Bairoch, 1985), son moteur fut principalement l'industrie (Verlet, 1965 ; Lappo, Polyán, 1999), et l'aboutissement de ce processus est un système de villes où sont surreprésentées à la fois les très grandes villes (Harris, 1970 ; Lappo, Polyán, 1999 ; Vendina, 2007 ; Puzanov, 2008), les villes semi-rurales (Polyán *et al.*, 2001 ; Pivovarov, 2001) et les villes correspondant à un échelon administratif (George, 1974). Nous détaillerons les travaux menés sur ces sujets dans le Chapitre 2. Pour le moment, nous en restons à l'idée qu'il n'est pas absurde de considérer le système des villes qui nous occupent dans le périmètre de l'ex-URSS, et nous nous attacherons par la suite à tenter de le démontrer.

Confronter la dynamique attendue d'un système de villes et l'observation du chemin historique : la question du général et du particulier

« Le particulier, c'est ce qui est unique, non répétable et non répété dans le temps ("on ne se baigne jamais deux fois dans le même fleuve") et dans l'espace (chaque lieu est unique). Toute entité spatiale a sa propre histoire, ses caractères spécifiques, qui n'appartiennent qu'à elle. On pourrait dire en conséquence que nous n'appréhendons que du particulier. Mais il n'est pas moins vrai de dire que les sciences, y compris les sciences humaines, se préoccupent légitimement de généralisation, c'est-à-dire de la recherche de principes d'ensemble, qui s'appliquent à un grand nombre d'individus et permettent de les situer les uns par rapport aux autres et de les comprendre. »
(Durand-Dastès, 1991, p.207)

L'enjeu théorique de cette thèse se situe précisément dans cette problématique du général et du particulier. On se demande en effet s'il existe une entité cohérente correspondant à un système de villes post-soviétiques. Si oui, jusqu'à quel point est-il UN système de villes (autrement dit, un système « banal » en termes de structure et de dynamique), et dans quelle mesure est-il plus particulièrement post-soviétique ?

Sans suivre les auteurs postulant *a priori* une spécificité intrinsèque des villes socialistes, nous pensons que les villes ayant appartenu à l'espace soviétique présentent à la fois des propriétés générales de système de villes, et des particularités significatives, si on les compare avec d'autres systèmes de villes étudiés abondamment par les géographes. Il n'est pas aisé de savoir à partir de quelle diversité de cas d'études il est possible de « monter en généralité » et de prétendre dégager des régularités. Pourtant, l'accumulation de cas particuliers étudiés avec des méthodes et des principes communs a permis de dégager des régularités d'organisation robustes qui mènent à l'énoncé de quelques faits stylisés concernant la dynamique des villes. Nous présentons ces principes dans le Chapitre 1, tandis que les Chapitres 2 et 3 sont consacrés à l'étude de ces régularités dans le cas des villes de l'espace post-soviétique, ainsi qu'aux variations caractérisées que nous tenterons d'expliquer. Deux types de méthodes sont utilisées pour tenter de répondre à notre problématique.

Dans un premier temps, nous recourons à l'arsenal statistique et cartographique pour présenter la structure, l'organisation spatiale et l'évolution de l'urbanisation et de la croissance urbaine en ex-URSS. Certains modèles statistiques utilisés ne sont pas nouveaux (« loi » de Zipf, transition urbaine, modèle de Gibrat), mais permettent en cela de recourir à une bibliothèque large

d'études précédentes pour la comparaison de ce système avec d'autres exemples dans l'espace et dans le temps. Des méthodes moins documentées, comme l'analyse multiniveaux et la classification des trajectoires viendront préciser la description en intégrant respectivement un deuxième niveau géographique (les régions et leur démographie par exemple), et une vision intermédiaire entre les niveaux méso-géographiques de la ville (trajectoire individuelle) et macro-géographique du système de villes (mesures globales). Leur usage est toutefois partagé par d'autres chercheurs, notamment dans le laboratoire Géographie-cités, qui fait sienne la consigne de F. Durand-Dastès : « *Ainsi, tant du point de vue diachronique que du point de vue synchronique, il convient d'instaurer un dialogue du général et du particulier. L'un ne se comprend pas sans l'autre, et il faut donc essayer de comprendre l'un et l'autre.* » (1991, p.216).

Dans cette optique et dans le Chapitre 4, les modèles statistiques nous permettront de rendre compte du « banal », c'est-à-dire des propriétés partagées par de nombreux systèmes, tandis que les résidus seront analysés comme des marqueurs de spécificité. Toutefois, cette approche statistique par l'étude de régularités statistiques macro-géographiques évacue, comme toute étude de covariation, la possibilité d'une explication causale (Sanders, 2000 ; Gordthorpe, 2001 ; Manzo, 2005).

C'est pourquoi nous recourons dans un second temps à une méthode complémentaire, basée sur les mécanismes générateurs et la simulation. Cette méthode de modélisation vise explicitement à prendre en compte la causalité, puisqu'il s'agit d'identifier des mécanismes entre unités élémentaires (les villes) capables de reproduire les régularités observées. Dans ce cas, on se confronte au problème d'équifinalité : plusieurs mécanismes peuvent produire les mêmes configurations , mais on a alors identifié une diversité d'explications candidates.

Nous avons développé pour cela, au sein d'une équipe interdisciplinaire⁴, une approche permettant de modéliser le système des villes post-soviétiques de manière incrémentale et hiérarchisée, en conservant la diversité des mécanismes candidats à l'explication, qui place l'évaluation au cœur du développement et qui rend possible la répétabilité et la réutilisation des modèles développés. Cette méthodologie sera présentée et discutée dans les Chapitres 4 et 5 de cette thèse.

⁴ Collaboration avec Paul Chapron et Romain Reuillon (docteurs en informatique), et insertion dans un groupe de travail composé de Sébastien Rey-Coyrehoucq et Clara Schmitt (doctorant et docteur en géographie), Mathieu Leclaire (ingénieur en informatique), Arnaud Banos et Denise Pumain (professeurs en géographie).

Créer un laboratoire d'expériences *in silico*⁵ pour tester des hypothèses

« Ainsi, la modélisation est loin d'exclure toute réflexion sur le particulier. Elle permet de l'enrichir ; elle en est parfois la condition même. » (Durand-Dastès, 1991, p.214)

Cette approche vise à proposer des explications permettant de mieux comprendre le fonctionnement d'un système simplifié mais complexe, afin de produire des connaissances géographiques sur les systèmes de villes en général, et sur le système post-soviétique en particulier. « *Roughly, mechanism-based explanations have two kinds of explananda. First, they might address particular empirical facts. In such cases, the description of the mechanism is often a modified adaptation and combination of more general mechanism schemes. Second, they might address stylized facts. [...] By establishing how stylized facts can in principle be explained, theorists contribute to the toolbox of semi-general mechanisms.* » (Hedström, Ylikoski, 2010, p.52). Ainsi, la construction de mécanismes fondés sur une théorie et l'observation de nombreux systèmes permet d'alimenter la « boîte à outils » des mécanismes candidats à l'explication de régularités observées dans de nombreux systèmes de villes. D'autre part, son application au cas soviétique offre un cas d'étude nourri par des données empiriques permettant l'évaluation des mécanismes proposés. Par cette évaluation comparée et hiérarchisée de mécanismes concurrents, nous serons en mesure de classer différents types d'explication en fonction de leur capacité à reproduire des faits stylisés et des particularités ; et le cas échéant de disqualifier certains mécanismes inaptes à générer ces configurations. Ainsi, dans le Chapitre 5, nous proposerons d'évaluer différents modèles construits au cours de cette thèse en fonction de leur niveau de complexité et de leur capacité à reproduire des caractéristiques plus ou moins générales de l'évolution urbaine dans l'espace post-soviétique.

Au final, la confrontation de plusieurs modélisations avec une observation orientée par le choix du cadre théorique nous amènera à produire des connaissances sur la dynamique des systèmes de villes de manière générale, et sur les manifestations particulières de l'expérience russe et soviétique sur les trajectoires de villes.

⁵ « Néo-logisme qui signifie littéralement "dans le silicium". [...] Ce vocable indique le début et l'ampleur d'un phénomène en biologie moléculaire : les recherches ne sont plus seulement *in vivo* ou *in vitro*, mais ont un recours de plus en plus essentiel aux analyses informatiques. » (Gallezot, 2002, p.229).

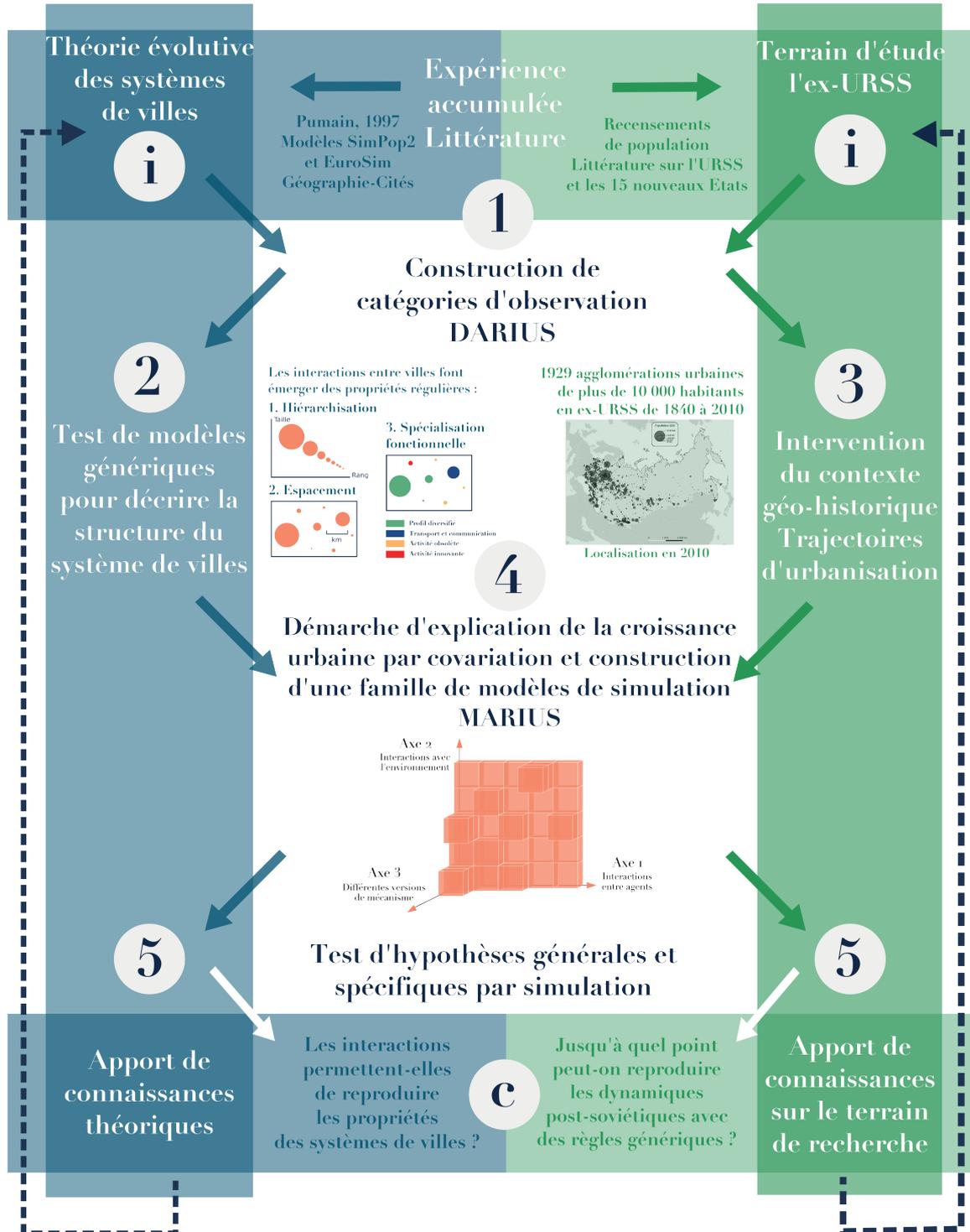
Pour résumer, nous cherchons dans cette thèse à comprendre et expliquer l'évolution des villes dans l'espace post-soviétique. On utilise pour cela les principes de la modélisation afin de couvrir plusieurs registres d'explication (Sanders, 2001 ; Varenne, 2010). Les éléments de réponse présentés sont ventilés en cinq chapitres :

1. Un modèle de données pour collecter les informations urbaines dans le périmètre de l'ex-URSS. Cette étape vise à construire des catégories d'observations explicites en se nourrissant des éléments de littérature sur les bases de données, l'urbanisation russe et soviétique, et la qualité des données soviétiques.
2. Des modèles hiérarchiques et spatiaux, issus de l'étude des systèmes de villes, permettant d'évaluer la part des processus génériques dans la particularité de la structure hiérarchique, spatiale et fonctionnelle des villes de l'ex-Union soviétique. Après confrontation des données recueillies et harmonisées avec la littérature concernant l'échelle du système de villes post-soviétique, on teste des modèles pour « évacuer le banal » (Durand-Dastès, 2001), et identifier *a posteriori* les caractéristiques géohistoriques propres à ce système.
3. Des modèles statistiques appliqués à l'étude des trajectoires de l'urbanisation aux échelles macro- et méso-géographiques pour tenter d'expliquer la répartition de la croissance par des facteurs économiques, administratifs, régionaux et géographiques.
4. Le passage de modèles statistiques à une démarche de modélisation informatique conçue de manière incrémentale, visant l'évaluation de mécanismes générateurs du plus général au plus particulier dans le cadre de l'ex-Union soviétique.
5. Des modèles de simulation multi-agents permettant de tester des hypothèses cumulatives et alternatives sur les mécanismes ayant potentiellement guidé l'évolution des villes post-soviétiques.

Nous montrerons à la fin de cette thèse que l'évolution des villes de l'espace post-soviétique n'est pas fondamentalement différente de celle d'autres systèmes de villes, bien que cette appréciation dépende éminemment de l'échelle d'analyse. Ainsi, la structure de ce système apparaît la plus générale, tandis qu'à l'échelon méso-géographique des villes individuelles, la part du particulier tend à prendre une importance plus forte dans la description de leur évolution.

Du Général au Particulier

Observer et modéliser le système des villes de l'espace post-soviétique



Chapitre 1.

Sources d'information pour DARIUS

Sommaire du Chapitre 1

1.1. Une base conceptuelle pour les bases de données urbaines	29
1.1.1. La délimitation des villes et l'harmonisation des bases de données	29
1.1.1.1. Choisir une définition spatiale	31
1.1.1.2. Choisir un type d'harmonisation temporelle de la ville	35
1.1.1.3. Mesurer et agréger les données-sources	38
1.1.2. Revue des études quantitatives sur les villes russes et soviétiques	39
1.1.2.1. Des tentatives de délimitation fonctionnelle de la ville dans la géographie soviétique	39
1.1.2.2. Limites de l'exercice	42
1.2. Continuité et fiabilité des données malgré des ruptures spatiales et historiques	45
1.2.1. Des soupçons légitimes	45
1.2.1.1. La mise en place tardive d'un appareil statistique	45
1.2.1.2. Manipulation des données soviétiques et post-soviétiques	48
1.2.1.3. Inégalité des situations actuelles en ex-URSS	51
1.2.2. Et pourtant, des éléments de continuité et de fiabilité	52
1.2.2.1. Formation des statisticiens impériaux et continuité soviétique	53
1.2.2.2. Manipulations choisies	53

1.3. Détail de la construction de la base de données DARIUS	55
1.3.1. Qu'est-ce qu'une ville en ex-URSS ? Choix critiques de définitions de la ville	55
1.3.1.1. Des agglomérations morphologiques	55
1.3.1.2. L'hétérogénéité des unités locales urbaines	56
1.3.2. Sources utilisées	60
1.3.3. Trois opérations d'harmonisation : estimation, fusion et agrégation	62
1.3.3.1. Estimation des données manquantes et harmonisation des dates d'observation	62
1.3.3.2. Rétropolation des fusions d'entités survenues au cours du temps	65
1.3.3.3. Agrégation des unités locales en agglomérations morphologiques	67
1.3.4. Évaluation de la base DARIUS	70
1.4. Données complémentaires	74
1.4.1. Infrastructures et Ressources	74
1.4.2. Emploi et Investissements	78
1.4.3. Démographie régionale	79
1.5. Conclusion	84

Chapitre 1.

Sources d'information pour DARIUS

Étant donné les objectifs de cette thèse et l'importance des données empiriques dans la suite de l'analyse, il convient de présenter ici leur source et d'évaluer leur fiabilité, le plus précisément possible, afin de pouvoir s'en servir abondamment sans plus d'incertitude qu'elles n'en contiennent déjà.

1.1. Une base conceptuelle pour les bases de données urbaines

Pour commencer, nous nous attachons à confronter un état des lieux des pratiques recommandées pour construire une base de données urbaines sur le temps long avec les exemples de telles entreprises dans la littérature sur les villes russes et (post-) soviétiques.

1.1.1. La délimitation des villes et l'harmonisation des bases de données

Les personnes sont comptées à leur lieu de résidence de manière plus ou moins systématique depuis la fin du XVIII^e siècle et surtout depuis le XIX^e siècle en Europe et aux États-Unis, par les recensements de la population, à l'initiative des États (1776 pour le premier recensement en Norvège) et des sociétés savantes ou locales (c'est le cas dans les assemblées de *zemstvo* en Russie impériale, avant le premier recensement de 1897 ; Blum, Mespoulet, 2003). La répartition et l'évolution démographique des lieux de peuplement,

notamment urbains suscite en effet un vif intérêt de la part des historiens et des géographes. Ils sont pourtant confrontés à la question de la définition de cet objet spatio-temporel qu'est la ville et au défi de sa permanence malgré des changements de forme et de fonctions. Si, conceptuellement, on s'accorde sur la permanence de l'objet-ville (Pumain, 2003a), il est moins évident de choisir la délimitation de son contour pour le recueil d'informations durant plusieurs décennies. Il apparaît aussi que les catégories de comptage de la population évoluent avec les formes urbaines, et qu'il est donc extrêmement difficile de rassembler directement une information unifiée décrivant l'objet urbain sur le long terme. Des projets consistant à réunir en une base de données la population historique de nombreuses villes existent depuis les années 1970.

D. Pumain *et al.* (1992a, pp.36-37) et C. Châtel (2012, pp.250-251) ont procédé à l'historique et à la critique des premières bases de données urbaines sur l'Europe et le monde, par K. Davis (1969), T. Chandler et G. Fox (1974), J. de Vries (1984), P. Bairoch, J. Batou et P. Chèvre (1988), et F. Moriconi-Ebrard (1993). De cet inventaire critique ressortent des différences d'approches entre historiens et géographes, ainsi que des différences d'objectif de collecte des données : entre inventaire bibliographique et entreprise d'harmonisation.

Ainsi, Davis (1969) procède en géographe à l'analyse de données mondiales, grâce aux statistiques officielles rassemblées (mais non harmonisées) par l'ONU pour les trois dates de 1950, 1960 et 1970. Vingt-cinq ans plus tard, la contribution de F. Moriconi-Ebrard représente une avancée en ajoutant les dates de 1980 et 1990, mais surtout en délimitant la ville comme agglomération bâtie, sur la base de cartes et de photos aériennes pour les villes de plus de 10 000 habitants. Il aboutit à une première base de données harmonisées à l'échelle du monde, sur une période de 40 ans.

L'approche historique de Chandler et Fox (1974) consiste en la compilation d'une multitude de sources historiques sur une période de 3000 ans dans le monde. Leur base concerne ainsi des villes dont la présence dans le temps est discontinue, et selon des délimitations variables. L'harmonisation est plus avancée chez De Vries (1984) qui, pour 379 villes européennes de 1500 à 1800, retrace en continu l'évolution de leur population sur des pas de temps de 50 ans. Enfin, la base de données de Bairoch, Batou et Chèvre (1988), qui commence en 800, « a indiqué une réflexion sur la normalisation. La définition de la ville choisie est précisée, celle de l'agglomération délimitée en fonction du bâti. Les fusions opérées après 1850 ne sont pas considérées : les données sont présentées pour les agglomérations à délimitation constante de 1850. Les auteurs ont le souci de la comparaison des objets géographiques. [...] La plupart des villes sont localisées par leur coordonnées géographiques et les sources sont précisées pour chaque chiffre cité. » (Châtel, 2012, p.251). Toutefois, il manque à cette base des informations sur la composition des grandes villes et l'exclusion de gros villages de plus de 10 000 habitants dans certains pays (Bretagnolle, 2009).

Ces premières références ainsi que des expériences menées au sein de l'équipe P.A.R.I.S. à Géographie-cités sur des ensembles territoriaux parfois plus réduits ont conduit à une réflexion sur les principes de construction et d'harmonisation des bases de données. Ces principes ont été mis en œuvre dans le cadre des projets ESPON et de l'ANR Harmonie-cités pilotée par A. Bretagnolle. La nécessité d'une harmonisation découle du constat suivant :

« La sensibilité des mesures à la nature et à la qualité des bases de données utilisées pour les comparaisons mondiales ou longitudinales appelle une réflexion sur la notion d'harmonisation : l'agencement des définitions de l'urbain, des maillages géométriques, des sources statistiques, l'architecture des bases de données sont autant de paramètres qui conditionnent fortement les résultats donnés par les indicateurs et les modèles utilisés pour rendre compte des évolutions des systèmes urbains dans le monde. » (Bretagnolle et al., 2011, p.4)

Les grandes étapes de construction d'une base de données urbaines harmonisées sont au nombre de trois (Bretagnolle et al., 2012) : la délimitation spatiale de la ville (section 1.1.1.1), son harmonisation temporelle (section 1.1.1.2) et l'agrégation des données-sources à l'intérieur de ces limites au cours du temps (section 1.1.1.3).

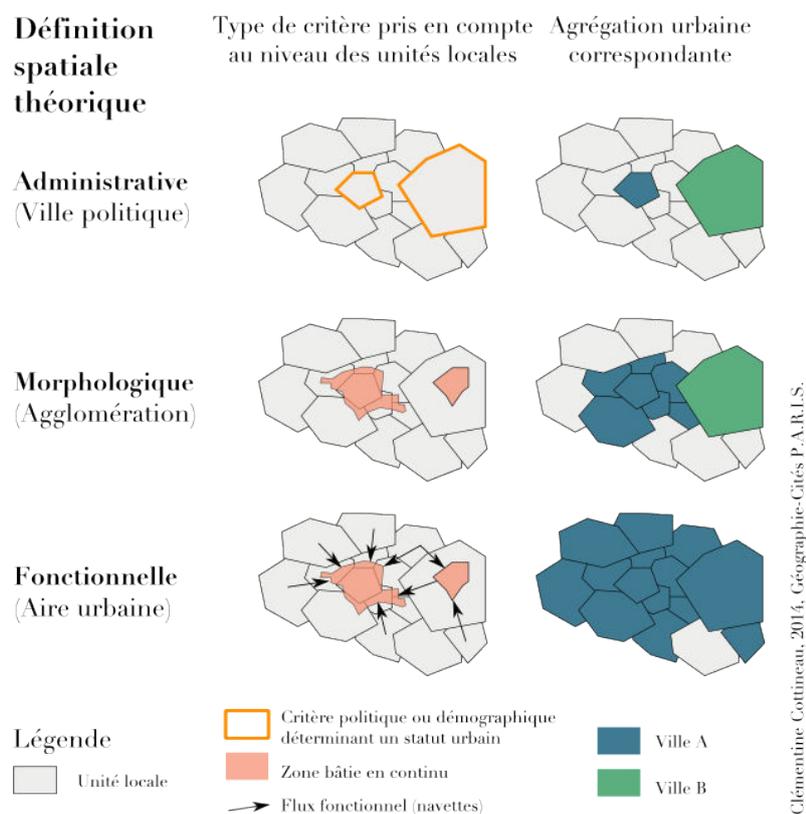
1.1.1.1. Choisir une définition spatiale

Premièrement, il s'agit de choisir la définition spatiale théorique correspondant à ce que l'on entend par ville. Trois définitions spatiales ont été proposées (figure 1.1.1).

La première est une définition juridique (ou politique) de la ville, qui s'appuie sur un critère administratif et éventuellement démographique appliqué à des unités locales. Les unités locales correspondent au niveau le plus bas de la hiérarchie administrative et territoriale des États. En France, cet échelon est celui de la commune, et les villes que l'on peut identifier sont les communes urbaines, définies comme ayant plus de 2 000 habitants. Dans les territoires de tradition anglo-saxonne comme l'Irlande, l'Islande ou l'Angleterre, certaines unités locales possèdent un statut politique de ville (Bretagnolle, 2009, p.24), issu éventuellement d'un acte d'incorporation faisant passer une localité au statut de municipalité, dans le cas des États-Unis (Bretagnolle et al., 2008, §13). Nous verrons plus loin que la Russie et l'Union Soviétique ont usé et/ou usent toujours de mesures administratives et politiques pour distinguer les unités locales urbaines (selon des critères socio-économiques variés et plus ou moins transparents ; Châtel, Moriconi-Ebrard, 2007). Cette définition s'applique généralement bien pour la description des

villes antérieures au XIX^e siècle, lorsque la ville est une concentration locale « sans banlieue » (Bairoch, 1985, p.291).

Figure 1.1.1. Délimitations statiques de la ville



« À partir des années 1900-1910, une nouvelle génération de transports publics émerge autour des bus à moteur et des trains à propulsion électrique, qui peuvent non seulement rouler plus vite mais aussi desservir plus facilement de multiples stations et permettre l'occupation de certains espaces interstitiels (Pinol et Walter 2003, p.199). La surface bâtie et le rayon des grandes villes s'accroissent sans commune mesure. [...] Les contours des grandes villes questionnent de manière persistante les géographes, sociologues et urbanistes : comment tracer les limites externes d'un objet sans cesse en évolution, et dont la forme devient de plus en plus complexe ? » (Bretagnolle, 2009, p.29). Le débordement de l'urbanisation au-delà des limites administratives fait qu'au XX^e siècle, le choix d'une définition administrative est inappropriée pour l'étude des villes, d'autant plus dans une visée comparative. Certains États, notamment l'U.R.S.S. et la Fédération de Russie (encadré 1.1.1), ont certes fait évoluer les limites administratives d'un grand nombre d'unités locales afin de suivre l'évolution du bâti et de l'intégration fonctionnelle. Il n'en reste pas moins que cette définition ne tient pas, pour les périodes les plus récentes et pour la comparaison internationale, ne serait-ce que parce que les États ont des unités locales de tailles très hétérogènes.

Encadré 1.1.1. Évolution spatiale de la ville de Moscou

« En l'espace de sept décennies, la superficie de Moscou a quadruplé pour atteindre 1000 km², et sa population est passée d'un peu plus d'un million d'habitants en 1920 à près de 9 millions de nos jours. Les zones périphériques de la banlieue de Moscou ont également fait l'objet d'une intensive urbanisation. C'est ainsi qu'autour de la capitale furent fondées 56 villes à vocations industrielle ou scientifique. » (Talatchian, 1999, p.7)

Les limites de Moscou ont ainsi été agrandies :

- entre 1917 et 1926 : + 600 ha avec l'intégration de Likhobori, Kojoukhovo, Vladitchino, Rostokino, Chelepikha et Doubrovka (Talatchian, 1999, p.25)
- en 1960 : intégration de cinq agglomérations, douze localités de type urbain et plus de cent cinquante villages (Talatchian, 1999)
- en 1963 : + 37 000 ha avec l'exclave de Zelenograd (Talatchian, 1999, p.155)
- en 1984 : par des « tentacules » longeant certaines grandes artères (Kolossof, 2013, p.235)
- à plusieurs reprises durant les années 1990 : enclaves et exclaves de faibles dimensions (Kolossof, 2013)
- en 2011-2012 : + 149 000 ha avec les arrondissements de Troitsk et Chtcherbinka, et des morceaux des districts d'Odintsovo et Krasnogorsk (Kolossof, 2013, p.235).

Ainsi, rien qu'en Europe, on rencontre des différences majeures d'ordre de grandeur entre tailles de mailles : de 15 km² de superficie moyenne pour une commune française à 782 km² pour un district irlandais (Pumain *et al.*, 1992a, p.26 ; tableau 1.1.1), des différences qui se reflètent dans les différentiels de population et de densité correspondants, de 11 habitants/km² dans les *gemeente* néerlandais à 356 habitants/km² dans les communes luxembourgeoises.

C'est pourquoi une deuxième définition de l'urbain est développée, et institutionnalisée dans certains pays ; il s'agit de la définition morphologique de la ville, qui rend compte d'une agglomération dense de bâtiments et de personnes. La ville correspond alors à un espace bâti en continu, une « tache urbaine » que l'on peut distinguer sur les photographies aériennes et les images satellitaires, et telle qu'on peut la percevoir de l'intérieur de la ville par son paysage dense. Ce critère est massivement favorisé pour ses qualités comparatives au niveau international (Pumain *et al.*, 1992a ; Moriconi-Ebrard, 1994 ; Guérois, Paulus, 2002 ; Parr, 2007).

Tableau 1.1.1. Comparaison des mailles territoriales européennes

Pays	population totale en milliers d'habitants 1989	densité de population au km ² 1989	nombre de subdivisions 1988	taille moyenne		nom des unités locales
				en km ²	en habitants	
				1989	1989	
BELGIQUE	9928	324	589	52	16855	communes
BR DEUTSCHLAND (2)	61715	246	8587	29	7187	Gemeinden
DANMARK	5130	119	276	156	18586	kommuner
ELLAS	10019	76	6004	22	1668	demos
ESPAÑA	38795	77	8066	63	4810	municipios
FRANCE (1)	56017	102	36538	15	1533	communes
IRELAND	3515	51	90	782	38400	districts
		190	3440	20	1022	DED/ward
ITALIA	57505	143	8097	37	7101	comuni
LUXEMBOURG	375	356	118	22	3177	communes
NEDERLAND	14805	11	714	59	20735	gemeente
PORTUGAL	10305	111	305	302	33788	concelhos
			4156	22	2480	freguesias
UNITED KINGDOM	57135	223	485	503	117804	districts
			10832	23	5275	ward

source: EUROSTAT B.D. REG10 et LOC

(1) territoire métropolitain

(2) avant la réunification (3/10/1990)

Source : (Pumain *et al.*, 1992a, p.26)

« Au moment même où se perfectionnent dans certains pays les définitions morphologiques des villes, la diffusion d'un nouveau mode de transport compromet les diagnostics et entame, inexorablement, l'évolution vers une nouvelle forme de peuplement urbain. Les réseaux associés à l'automobile et aux trains rapides s'installent aux portes des agglomérations. Certains géographes ou urbanistes dressent le constat d'une urbanisation diffuse, éparpillée, impossible à appréhender du seul fait des critères morphologiques. Les enquêtes sur les déplacements domicile-travail, qui apparaissent dans les années soixante, servent de support à une nouvelle approche de la ville, appréhendée non plus comme un lieu de résidence mais comme un lieu de travail. » (Bretagnolle, 2009, p.33)

Cette troisième définition, fonctionnelle, est basée sur les flux de mobilité intégrant des morceaux de la ville morphologiquement hétérogènes et disjoints. Elle rend ainsi compte de bassins de vie ou d'emplois, d'une ville vécue par les navetteurs qui ne résident pas dans le centre dense.

« Dans un cadre comparatif, c'est au final l'alternative entre le périmètre des agglomérations et celui des aires urbaines qui est la plus fréquemment interrogée, et ce d'autant plus que les territoires situés sous l'influence directe des agglomérations continuent de s'agrandir. Dans ce contexte, l'agglomération semble encore adéquate pour rendre compte des effets de places centrales ou des spécialisations économiques. Elle demeure en outre la définition la moins difficile à mettre en œuvre pour les comparaisons

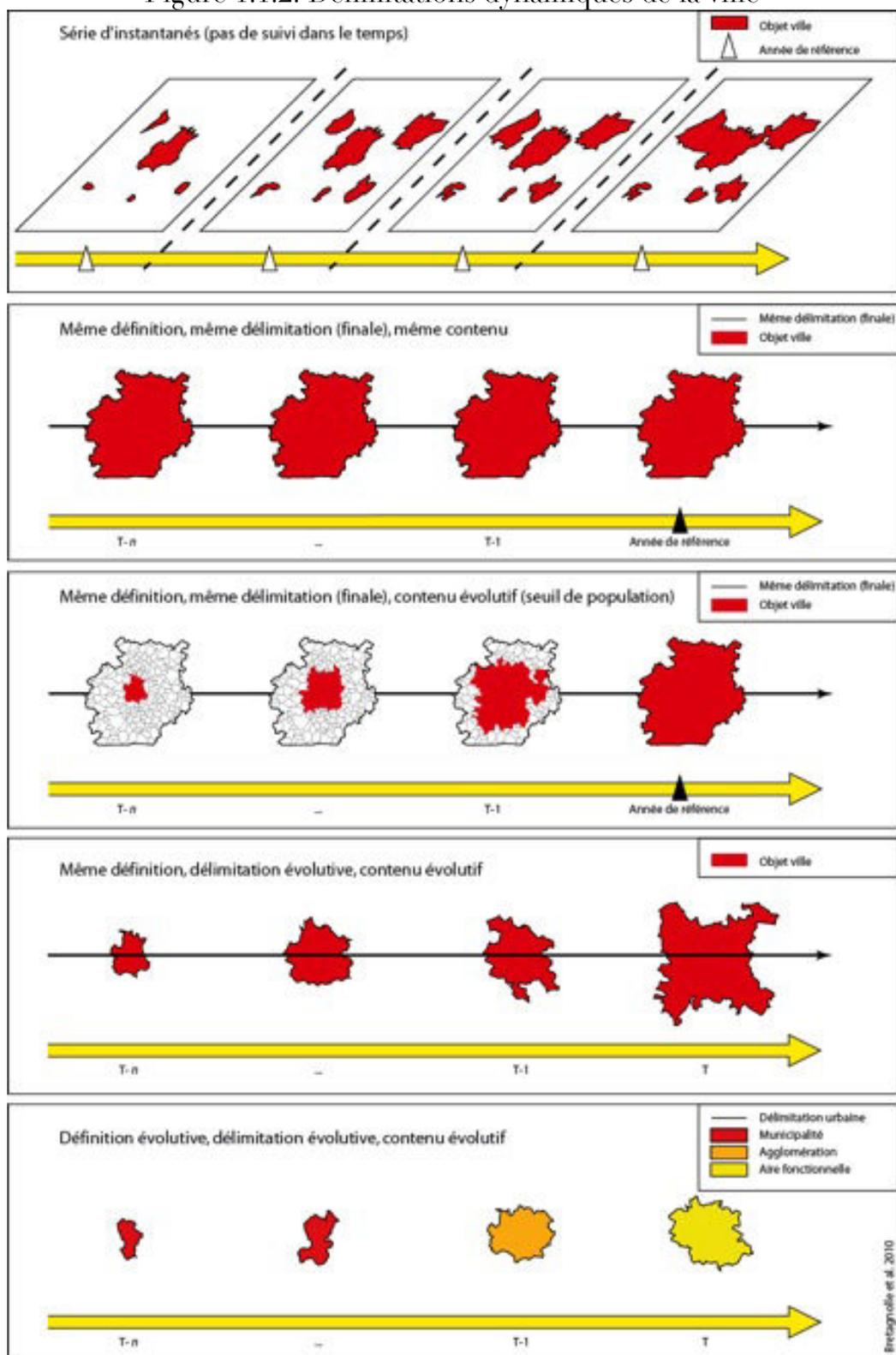
internationales (Moriconi-Ebrard, 1994). Le cadre de l'aire urbaine permet quant à lui de saisir de manière plus complète la dimension de l'étalement urbain et semble mieux adapté pour conduire les études comprenant une dimension prospective. » (Guérois, Paulus, 2002, p.17)

Il existe une quatrième définition de la ville qui ne serait pas uniquement spatiale mais spatio-temporelle, qualifiée de « ville harmonisée », c'est-à-dire « le territoire délimité à chaque période de temps par l'isochrone d'une heure de temps aller-retour à partir de son centre. Ce temps correspond approximativement à celui utilisé, en moyenne, par les ménages pour effectuer leurs déplacements domicile-travail, selon des observations collectées dans différents pays du monde et depuis la fin du 19^{ème} siècle » (Bretagnolle *et al.*, 2012, p.4).

1.1.1.2. Choisir un type d'harmonisation temporelle de la ville

La prise en compte du temps dans la construction des bases de données, deuxième étape, connaît cinq alternatives (cf. figure 1.1.2 ; Bretagnolle *et al.*, 2012, p.6).

Figure 1.1.2. Délimitations dynamiques de la ville



La première alternative consiste à agréger une série d' « instantanés », sans harmonisation temporelle, quelle que soit l'harmonisation spatiale retenue

par ailleurs. Il est alors impossible de suivre les villes de manière longitudinale. Les collections d'annuaires statistiques sont souvent de cette forme. Ainsi, lorsque deux municipalités ou unités urbaines fusionnent entre deux recensements, le suivi temporel est perdu. Cette approche est la plus simple à mener, et permet déjà des études macroscopiques de systèmes de villes dans le temps. Elle interdit en revanche toutes les analyses de croissance et de trajectoires méso ou micro-géographiques (à l'échelle individuelle des villes). La base de Chandler et Fox se situe à ce niveau.

La seconde approche théorique vise à définir spatialement la ville à une date de référence, et à extrapoler ou rétropolier les populations du périmètre ainsi agrégé pour les dates antérieures et/ou ultérieures. Il s'agit de la procédure menée par Bairoch, Batou et Chèvre, avec des agglomérations définies selon un périmètre fixe correspondant à la date de 1850. Cette méthode permet dès lors de suivre des trajectoires de villes, mais le choix d'un périmètre fixe implique une surestimation importante de la population en début de période, et donc une sous-estimation de la croissance urbaine intervenue (Paulus, 2004).

La troisième alternative possible est très proche de la précédente, mais s'en différencie par le respect pour les dates antérieures d'un seuil en-deçà duquel les unités locales ne contribuent pas à la population de la ville dans sa délimitation fixe. Ce raffinement permet de réduire la surestimation des populations en début de période. Ce niveau d'harmonisation temporelle est celui retenu par F. Moriconi-Ebrard dans la base Géopolis, et celui que nous proposerons plus loin pour la base de données DARIUS¹, que nous avons élaborée dans le cadre de cette thèse, et qui décrit les agglomérations post-soviétiques sur le temps long.

Le quatrième niveau d'harmonisation consiste à évaluer à chaque date la délimitation correspondant à la définition spatiale choisie. Cela permet de considérer à la fois la croissance démographique et la croissance spatiale des villes. C'est cependant une entreprise très contrainte, qui requiert la disponibilité de sources historiques relativement rares pour un ensemble important de villes sur un temps long (un siècle par exemple), comme l'emprise spatiale historique (à partir de cartes anciennes notamment). La base de données concernant la France et la rétropolation d'une définition fonctionnelle jusqu'en 1968 établie par F. Paulus (2004) est un exemple unique à notre connaissance.

La dernière approche est plus respectueuse de ce que représente spatialement et conceptuellement la ville au cours du temps. C'est la méthode appliquée lors de la construction de la base « États-Unis », base de données

¹ Démographie des Agglomérations du périmètre Russie Impériale et Union Soviétique. Disponible sous licence *Creative Commons* : (Cottineau, 2014, FigShare, <http://dx.doi.org/10.6084/m9.figshare.1108081>).

harmonisées concernant les villes américaines produite par A. Bretagnolle *et al.* (2008). Elle répond à l'exigence la plus grande en termes d'harmonisation des informations spatiales et temporelles, puisque la définition spatiale retenue co-évolue avec les mobilités et la performance des réseaux de transport, d'une ville du piéton jusqu'au XIX^e siècle à une ville « avec banlieue » après la révolution industrielle, et enfin une ville fonctionnelle animée par les navettes automobiles. Cette approche est la plus délicate à mettre en place car elle requiert la plus grande couverture et précision des sources initiales (données de population locales, géométrie des unités, cartes historiques, informations sur les réseaux de transport et les vitesses de circulation, etc.).

1.1.1.3. Mesurer et agréger les données-sources

« La troisième étape consiste à mesurer les objets. Pour cela, il faut choisir les sources statistiques et géométriques (recensements, photographies aériennes, images satellite, cartes etc.), les techniques qui permettent de procéder aux différents calculs relationnels (SIG, programmation etc.). » (Bretagnolle *et al.*, 2012, p.5). C'est à ce moment que les choix théoriques se confrontent aux défis de réalisation de la base de données à partir de sources notamment historiques. Les informations démographiques privilégiées proviennent des recensements de la population. Leur recueil implique généralement le choix d'un certain nombre de seuils pour la collecte de données sur les unités locales.

Par exemple, pour la base « États-Unis » de l'équipe P.A.R.I.S., un budget-temps d'une heure est appliqué par l'identification de grappes de localités à l'aide d'un SIG, « en utilisant un seuil minimal évolutif : 2 500 habitants en 1790 (c'est le seuil utilisé dans le recensement à cette époque), 3 000 habitants en 1830, 5 000 habitants en 1840, 8 000 habitants en 1860 (c'est le seuil utilisé dans les recensements entre 1874 et 1910), 10 000 habitants ensuite. » (Bretagnolle *et al.*, 2008, §25).

Dans la base de données Géopolis, constituée d'agglomérations morphologiques dans le monde, F. Moriconi-Ebrard (1993 ; 1994) choisit le seuil démographique de 10 000 habitants pour qualifier les « unités de peuplement » d'urbaines, et celui de 200 m pour mesurer la continuité du bâti sur les images aériennes et les cartes. L'actualisation et la diffusion en ligne de cette base a fait l'objet d'un projet ANR (e-Geopolis) démarré en 2008 sous la direction de F. Moriconi-Ebrard, mais sa disponibilité reste extrêmement restreinte au moment de la rédaction de cette thèse : sur les 237 États et territoires dans le monde, il n'est possible d'accéder que pour 23 d'entre eux à des métadonnées, pour 40 d'entre eux à la géométrie des taches urbaines (aucun d'entre eux ne correspondant à notre aire d'étude), et uniquement pour le Bénin à des chiffres de population par agglomération².

² www.e-geopolis.eu, consulté le 17 février 2014.

Dans notre cas, un seuil de 10 000 habitants sera privilégié, ainsi qu'une distance de 500 m pour la continuité du bâti (cf. section 1.2.).

Cette approche et la construction d'une nouvelle base de données se justifient donc dans le cadre de cette thèse par l'indisponibilité actuelle des données d'e-Geopolis, et de l'absence d'équivalent produit par les géographes ayant étudié les villes de l'ex-Union Soviétique.

1.1.2. Revue des études quantitatives sur les villes russes et soviétiques

À notre connaissance, la majorité des données concernant les villes post-soviétiques sur le temps long utilisées par les géographes suivent une définition juridique de la ville, et portent donc uniquement sur les unités locales bénéficiant d'un statut urbain attribué par l'administration russe, soviétique puis des quinze différents Nouveaux États Indépendants.

1.1.2.1. Des tentatives de délimitation fonctionnelle de la ville dans la géographie soviétique

La « géographie des villes » est apparue en Union soviétique dans les années 1930, dans le cadre de l'école des *raïon* en géographie économique, de la nécessité de ne plus considérer la ville comme un objet ponctuel mais d'en étudier l'intérieur (micro-géographie des villes) et les relations (systèmes de peuplement, conurbations) (Lappo, Petrov, 1986, p.62)³. Selon G. M. Lappo et N. V. Petrov, une nouvelle branche de cette géographie, regroupée sous le terme de *geourbanistika* (Saouchkine, 1973), ainsi qu'une nouvelle génération de géographes (Goutnov, Lappo, Perstik, Pivovarov, Saouchkine, Khorev, Yarguina), se différencient dans les années 1970-80 de l'ancienne géographie des villes (*geographiya gorodov*). Leur filiation revendiquée est celle de K. I. Arseniev qui, dès les années 1830, étudie les changements dans le réseau urbain des XVII^e et XVIII^e siècles, produit une typologie de villes et effectue des comparaisons avec d'autres villes d'Europe pour le ministère des affaires intérieures (MVD) de l'Empire russe (Lappo, Pétrov, 1986, p.65). Ils

³ « Город как таковой в рамках геурбанистика стал изучаться как система и одновременно как элемент в системе более высоково ранга. » (Lappo, Petrov, 1986, p.63) « La ville en tant que telle dans le cadre de la geourbanistika doit être étudiée comme un système, et dans le même temps comme un élément d'un système de rang supérieur ».

revendiquent enfin leur différence par rapport à la géographie des villes (*geographiya gorodov*) par la prise en compte de l'urbanisation comme facteur majeur de transformation et l'étude du peuplement, des conditions et modes de vie urbains, de la forme et de l'environnement de la ville, des systèmes urbains et leurs zones d'influence, mais surtout, par l'étude des organisations urbaines complexes comme les villes-régions, les agglomérations urbano-industrielles ou les « accrétions » urbaines complexes et grandes (pp.63-64).

V. G. Davidovitch s'intéresse à l'intégration fonctionnelle des villes et de leurs satellites. Dès 1961 (p.5), il recommande l'usage de données multiples sur les flux de passagers entre les centres et leurs satellites, en proposant d'étudier les trajets domicile-travail, mais aussi les trajets de loisirs entre les centres secondaires périphériques et les lieux de domicile, et enfin les trajets réguliers mais moins fréquents entre domicile principal et résidences secondaires ou saisonnières. Ceci fait référence au phénomène des *datcha*, qui sont de petites résidences, souvent auto-construites et liées à un lopin de terre, situées au pourtour des grandes agglomérations, au-delà de la ceinture verte (Nefedova, 2011). Les citoyens soviétiques avaient l'habitude d'y passer les week-ends et d'y envoyer leurs enfants durant les vacances d'été. Cette tradition s'est perpétuée pour une partie de la population actuelle, freinant la périurbanisation « à plein temps » (Makhrova, 2006).

B. S. Khorev, dans un manuel théorique et appliqué, met aussi l'accent sur l'importance des multiples liens qui relient à la fois les points de peuplement entre eux, et certains villages et villes à un centre d'agglomération (1975, p.16).

G. M. Lappo, le plus célèbre géographe soviétique à s'être attaqué au concept d'agglomération urbaine, la définit en 1978 comme un groupement compact de points de peuplement (*naselionnye pounkty*), principalement urbains. Ce sont pour lui des lieux d'« accrétion » combinés en un système complexe dynamique avec des liens intenses de production, de transport et de culture. Cette définition est inspirée des travaux du géographe français Rouge, et reprise par N. V. Petrov en 1988. Ensemble, ils rappellent la multiplicité des termes utilisés pour décrire ce phénomène, toujours d'actualité 20 ans plus tard : « *accrétion urbaine, complexe urbain, région urbaine, région urbanisée, [...] système local de peuplement, [...], conurbation, interurbanisation, etc.* » (Lappo *et al.*, 2007, p.45, traduit du russe), de même que l'absence de consensus sur le critère de délimitation (taille du centre de l'agglomération, des entités à agréger, densité de population, rayon de distance au centre) en fonction de l'objectif de l'étude (économique, social, écologique, etc.). La solution adoptée par l'Académie des Sciences d'URSS pour l'étude d'agglomérations à l'échelle de l'État entier fut de ne considérer que des villes-centres d'au moins 250 000 habitants et leurs liens potentiels avec les points de peuplement alentour, tandis que Polyan, Naïmark et Zaslavskii développèrent une méthode basée sur les réseaux de transport des villes de plus de 100 000 habitants.

R.H. Rowland, professeur à l'université de Californie, San Bernardino, a fréquemment publié sur la démographie et les villes d'Union soviétique, y compris en délimitant des aires métropolitaines (1998). Il rappelle qu'il n'existe pas de telle définition dans les organes statistiques en ex-URSS⁴, et propose une vision limitée à un effectif très restreint de très grandes villes, définies comme les aires de plus d'un million d'habitants répartis dans une ville et des centres secondaires de plus de 15 000 habitants situés à moins de 50 miles du centre (figure 1.1.3).

Figure 1.1.3. Les aires métropolitaines d'URSS définies par R. H. Rowland

Table 1. Number and Population of Metropolitan Areas of the USSR, 1897-1989^a

Year	Number	Population	Pct. of population:	
			Total	Urban (15,000+)
1897	2	2,400,671	1.9	19.5
1926	2	3,863,743	2.3	17.3
1939	5	12,298,273	6.4	25.2
1959	14	26,922,975	12.9	33.8
1970	23	45,039,232	18.6	40.0
1979	33	63,936,030	24.4	46.1
1989	40	79,858,302	27.9	49.1

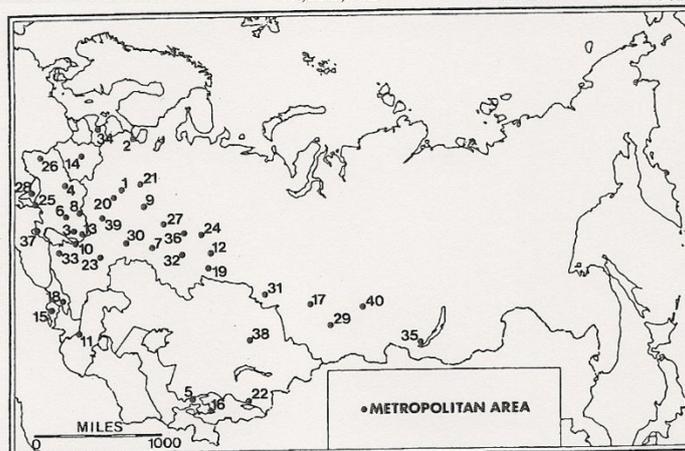


Fig. 1. Metropolitan areas of the USSR, 1989. The number on the map corresponds to the ranking of that area in Tables 3 and 4.

Source : (Rowland, 1998).

Dans un ouvrage très complet sur l'urbanisation de la Russie européenne dirigé par P. Polyan, T. Nefedova et A. Treïvish (2001), les données administratives non agrégées sont privilégiées dans la plupart des modèles et descriptions des auteurs. Toutefois, de manière complémentaire, des agglomérations urbaines délimitées par P. Polyan entre 1959 et 1999 sont invoquées ponctuellement (par T. Nefedova et A. Treïvish par exemple, p.189).

⁴ Pas plus qu'en Fédération de Russie actuelle d'ailleurs (Savel'ev, 2007).

1.1.2.2. Limites de l'exercice

Il semble que ces travaux n'aient pas donné lieu à un suivi temporel des efforts de délimitation de la ville comme agglomération ou aire fonctionnelle :

«Le concept et la définition de l'agglomération urbaine (gorodskoiï aglomeratsii) et ou de la zone métropolitaine (ourbanizirovanykh raïonov nadaglomeratsionnogo ourovnya) sont ambigus. La nature de ces phénomènes est claire : la concentration d'activités très différentes atteint un tel niveau que le cadre de la ville autonome devient insuffisant et apparaissent des systèmes complexes de peuplement connectés, dans lesquels s'agglomèrent des millions et des dizaines de millions de personnes. Mais l'analyse de la nature, de la hiérarchie, des structures, des types de ces systèmes, ayant engendré une littérature abondante, a laissé encore beaucoup de problèmes fondamentaux et appliqués non résolus.» (Pertsik, 1991, pp.125-126, traduit du russe)

Il existe trois cas de figure dans les études ayant rassemblé des données quantitatives urbaines sur la Russie et/ou l'Union soviétique (tableau 1.1.2) :

- *La profondeur historique est privilégiée au détriment d'une délimitation harmonisée de la ville ;*

On retrouve dans cette catégorie de travaux deux études sur l'urbanisation russe au XX^e siècle, dont celle de G. Lappo et P. Polyan (1999). Ces deux auteurs s'en tiennent à la définition juridique de 430 unités locales en 1897 à 1 095 unités en 1998.

L'autre retour historique sur l'importance de l'urbanisation dans le XX^e siècle russe est celui de You. Pivovarov (2001), qui propose de privilégier une approche anthropologique et sociale des villes russes avant de poursuivre les nombreuses approches quantitatives, étant données les spécificités des villes héritées de l'Union soviétique. Il s'en tient donc à des indicateurs simples concernant les unités locales russes.

On retrouve d'autres démarches similaires avec des périodes d'études plus courtes, chez O. Vendina par exemple (2007).

- *Une définition des agglomérations est opérationnalisée, éventuellement dans le temps, mais pour un très petit effectif de villes et/ou de dates ;*

La tentative la plus large est celle de R. H. Rowland (1998), qui concerne de 2 à 40 villes (pré-/post-) soviétiques entre 1897 et 1997.

Le processus de délimitation des agglomérations recommandé par G. M. Lappo *et al.* (2007, p.46) aboutit à la délimitation de 52 agglomérations entre 1970 et 2002, et donc à la partie supérieure de la hiérarchie urbaine, pour la Russie uniquement.

P. Polyan *et al.* (2001, pp.548-550) délimitent quant à eux 42 villes fonctionnelles entre 1959 et 1999 pour la partie européenne de la Russie.

- *Des données économiques sont rassemblées, au détriment de la profondeur historique et/ou de l'harmonisation.*

Ainsi, B. S. Khorev construit sa typologie économique et fonctionnelle des villes soviétiques sur les 1 880 unités locales bénéficiant du statut de ville en 1970 (1975, p.211), complétant ainsi les données fonctionnelles disponibles uniquement pour les villes de plus de 50 000 habitants de 1968 qu'avait réutilisées C. Harris pour sa grande étude en anglais des villes soviétiques (1970).

Plus récemment, les travaux d'I. Slepukhina (2014) permettent une classification des villes russes selon une vingtaine d'indicateurs économiques et sociaux provenant de l'agence MultiStat⁵. Cependant, ces données sacrifient l'harmonisation et la profondeur historique.

Cette revue de littérature des bases de données constituées par les auteurs soviétiques, russes ou spécialistes étrangers (tableau 1.1.2) suggère l'arbitrage nécessaire entre différents types de difficultés dans la collecte des données variées et longitudinales sur les villes. De plus, dans le cas des villes de l'espace post-soviétique, l'absence d'informations sur les navettes et l'indisponibilité des informations économiques à l'échelon de tous les statuts administratifs contraignent l'application de certains principes de construction de bases de données harmonisées. Avant de présenter la manière dont nous avons procédé pour construire la base de données DARIUS, il faut encore apprécier la qualité et la fiabilité des sources initiales, à savoir les comptages et recensements de population, notamment soviétiques, sujets à interrogations.

⁵ www.multistat.ru

Tableau 1.1.2. Synthèse des bases de données urbaines existantes concernant la Russie et l'ex-URSS

Sources	Délimitation statique Zone d'étude	Harmonisation temporelle	Données complémentaires à la population
Khorev, 1968 Harris, 1970	Juridique 1 880 unités locales URSS	Non	Fonctions urbaines
Rowland, 1998	Fonctionnelle 40 aires urbaines URSS	Oui 1897-1997	Non
Lappo, Polyan, 1999	Juridique 1 095 unités locales Russie	Oui 1897-1998	Non
Pivovarov, 2001	Juridique Russie	Oui 1897-1997	Non
Polyan <i>et al.</i> , 2001	Fonctionnelle 42 aires urbaines Russie européenne	Oui 1959-1999	Non
Vendina, 2007	Juridique Russie	Oui	Non
Lappo <i>et al.</i> , 2007	Morphologique 52 aires urbaines Russie	Oui 1970-2002	Non
Slepukhina, 2014	Juridique 1 100 unités locales Russie	Oui 1991-2010	28 indicateurs économiques, démographiques, sociaux, et de logement

1.2. Continuité et fiabilité des données malgré des ruptures spatiales et historiques

L'objectif de la constitution d'une base de données sur les villes de l'espace post-soviétique est de permettre la description détaillée et spatialisée de l'état et de l'évolution de l'urbanisation. Des informations historiques sont donc nécessaires, dans un périmètre correspondant à l'espace d'interaction des villes sur cette période, c'est-à-dire l'espace dans lequel ces villes échangent et co-évoluent. Des informations larges (en termes temporels et spatiaux) ont été recherchées, permettant éventuellement par la suite de restreindre l'analyse à des bornes les plus pertinentes. Nous nous basons dans un premier temps sur les chiffres de population les plus précis et disponibles possibles, c'est-à-dire les données issues des recensements de la population.

1.2.1. Des soupçons légitimes

Bien que les informations issues des recensements soient les plus larges, exhaustives et normées qui existent, ce sont des sources qui ne sont pas neutres, car elles émanent de traditions statistiques et d'organes politiques. Dans le cas de la Russie et de l'URSS, des soupçons légitimes ont été émis quant à la fiabilité des chiffres publiés, induisant un certain degré de méfiance quant à leur interprétation. Les raisons de ces soupçons proviennent de la mise en place tardive de l'appareil statistique (section 1.2.1.1), de la manipulation avérée de certaines données soviétiques (section 1.2.1.2) et de la désorganisation consécutive à la chute de l'Union soviétique (section 1.2.1.3).

1.2.1.1. La mise en place tardive d'un appareil statistique

L'étude démographique des villes est contrainte de manière temporelle par les premiers comptages de population, qui datent de la fin du XVIII^e siècle en Europe, et du XIX^e siècle dans la Russie impériale.

L'histoire de la mise en place d'un système de collecte statistique en Russie couvre tout le XIX^e siècle, et aboutit à l'élaboration du premier recensement exhaustif de la population de 1897. Sa constitution en lien avec les orientations politiques du régime tsariste est retracée dans le détail par A. Blum : « *La nécessité de décompter prend corps, en Russie, avec la croissance du*

*pouvoir centralisé et hiérarchique sous le règne de Pierre le Grand*⁶. Il n'y a là rien de bien spécifique. » (2004, p.32). Les dénombrements effectués à cette époque ne sont pas officiels, mais plutôt le fait d'initiatives isolées. Le développement de la statistique européenne et les fréquents échanges scientifiques entre intellectuels russes et européens de cette époque contribuent à renforcer l'intérêt pour le dénombrement et l'étude de la population de l'Empire, tandis que les réformes de la seconde moitié du XIX^e siècle donnent naissance à des assemblées locales, les *zemstvos*, qui seront les moteurs des premières expériences de collecte statistique sur la démographie. Ainsi :

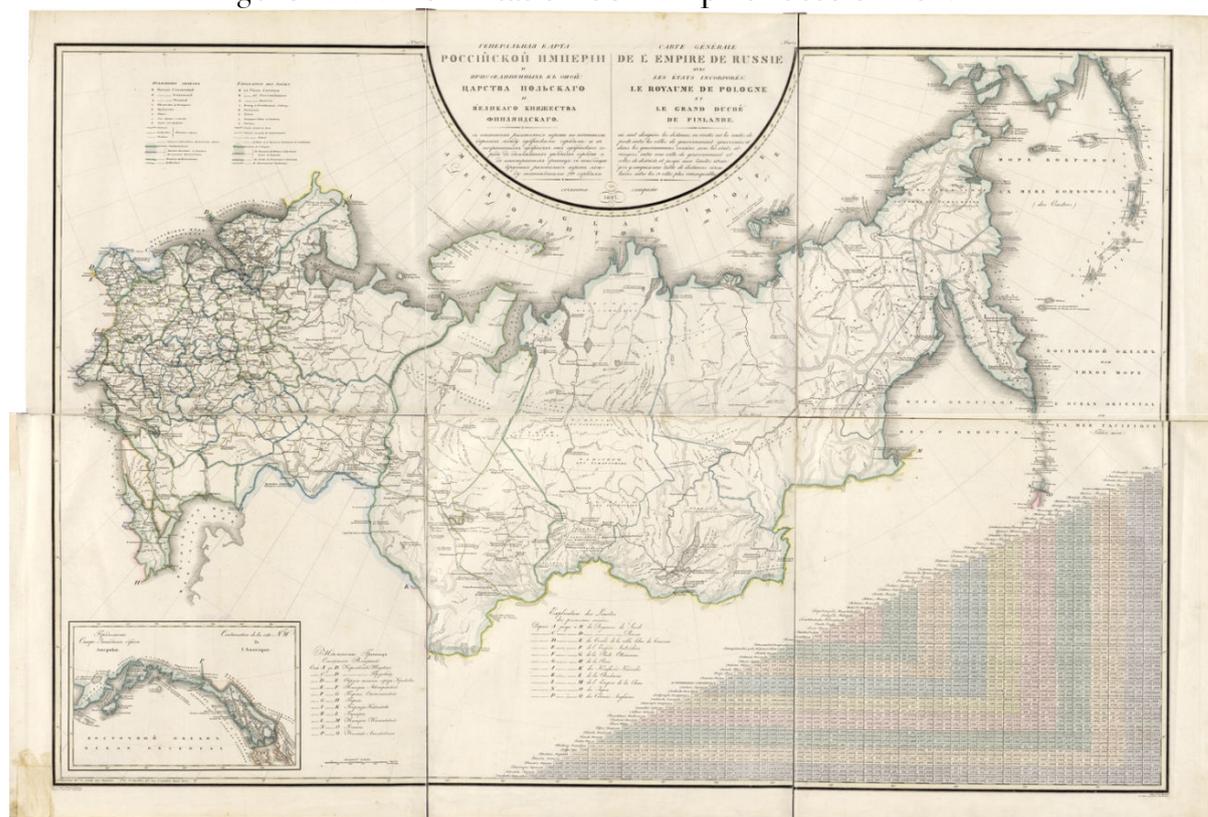
« La première création d'un organe digne de ce nom date du début du XIX^e siècle. L'apparition et la disparition des bureaux de statistiques vont alors suivre, avec une remarquable constance, les vicissitudes du pouvoir politique. [...] Le véritable développement d'une statistique dont l'ambition consiste non plus à fournir directement les données à l'État central, mais à mieux appréhender les réalités locales naît à la suite des réformes de 1861, qui abolissent en particulier le servage. Ces réformes instituent des organes d'administration locale, les zemstvos. À partir des années 1870, le travail statistique de ces derniers est considérable. » (Blum, 2004, pp.33-35).

Le premier recensement exhaustif de l'Empire russe date de 1897. Il est précédé de la publication de tableaux statistiques, notamment sur les villes, entre autres en 1840 et 1856, que nous convoquons afin d'étendre la base de données urbaines. Cependant, ils servent plus d'illustration que de base solide pour l'analyse de l'urbanisation, étant donné leur caractère non-exhaustif et la jeunesse des tentatives statistiques dont ils sont l'émanation.

L'extension spatiale de ces décomptes de population couvre de vastes territoires aux statuts variés. Comme le montre la carte de l'Empire en 1827 (figure 1.2.1), les zones correspondant à la Finlande ou à la Pologne sont incluses dans ces dénombrements, avec un statut relativement différent. Ces territoires sont sous l'autorité récente de l'Empire russe : depuis 1809 et 1813 respectivement. La Pologne bénéficie d'une constitution entre 1815 et 1830, le grand-duché de Finlande conserve la sienne (Werth, 2001). Ces deux nations connaissent des mouvements d'opposition pour l'indépendance durant tout le XIX^e siècle, qui aboutissent en 1917 (Finlande) et 1918 (Pologne). C'est pourquoi nous ne les intégrons pas dans le périmètre de collecte des données.

⁶ Règne de Pierre le Grand : Tsar 1682-1721 puis Empereur 1721-1725.

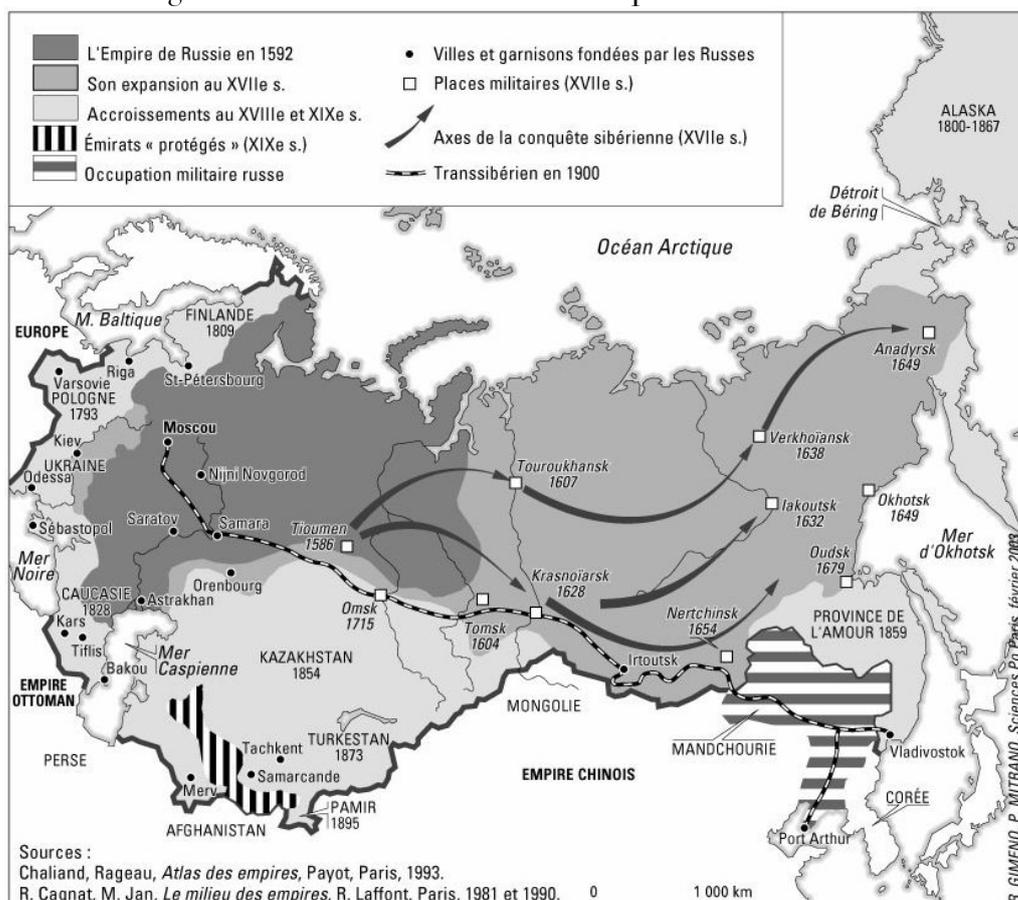
Figure 1.2.1. Délimitation de l'Empire russe en 1827



Source : (Piadycheff, 1827)

En revanche, de futures Républiques soviétiques appartiennent déjà à l'ensemble politique russe, tels les États baltes, la Géorgie, l'Azerbaïdjan et une partie du Kazakhstan. « *At the beginning of the eighteenth century, the Russian Empire had already approached the area of the USSR.* » (Rozman, 1976, p.90). Les territoires correspondant au Turkménistan, au Kirghizistan ou à l'Ouzbékistan sont colonisés sous forme de protectorats (figure 1.2.2), à la manière de la Sibérie, au cours des XVIII^e et XIX^e siècles. La configuration de l'Empire russe et de la future Union soviétique coïncident fortement. C'est pourquoi les bornes spatiales que nous avons retenues pour la collecte de données depuis le XIX^e siècle correspondent à l'extension maximale de l'URSS.

Figure 1.2.2. Délimitation de l'Empire russe en 1900



Source : (Gimeno, Mitrano, 2003)

Jusqu'ici, la fiabilité des données anciennes est à interroger, manipuler et interpréter avec précaution, sans que le cas de la Russie soit particulier. C'est à partir de 1917 que le mode de collecte et de restitution de l'information, centralisé, est le plus questionné.

1.2.1.2. Manipulation des données soviétiques et post-soviétiques

Concernant la fiabilité intrinsèque des données censitaires post-soviétiques, les principales questions concernent le dénombrement des migrants et de la population « de fait », qui serait sous-estimé, surtout dans les grandes villes et principalement en Russie, du fait de l'utilisation du système d'enregistrement officiel de la résidence (*propiska*) pour conduire et rectifier le recensement (Arel, 2002 ; Moine, 2003). Or cette autorisation étant difficile à obtenir dans les grandes villes, certains résidents se voient enregistrés dans leur région d'origine où ils possèdent une adresse officielle, et les migrants

internationaux (jusqu'à 5 millions de personnes) passeraient au travers du dénombrement. « *La question de savoir s'il faut compter la population présente ou la population résidente relève en fait moins d'un débat méthodologique que des considérations politiques sur ce qu'il faut faire avec certains migrants* » (Arel, 2002, p.798). En effet, les principes d'organisation du recensement « *pour la première fois, [ont été] officiellement rattachés aux recommandations énoncées par la résolution 1995/7 du Conseil économique et social de l'ONU (Organisation des Nations Unies), adoptée le 19 juillet 1995. L'État russe a affiché ainsi clairement sa volonté de retour dans l'internationalisme statistique.* » (Mespoulet, 2003, p.4).

Ce système de passeport intérieur et ses contournements, aboutissant à des distorsions dans les décomptes de population urbaine, est comparable avec celui du *hukou* chinois, institué dans les villes depuis 1951 pour réguler les migrations vers la ville (Chan, Zhang, 1999).

La question de la fiabilité se pose plus spécifiquement pour les données de la période soviétique. De manière générale, les recensements de 1926, 1937-1939 et 1959 sont sujets à deux types de correction (Avdeev *et al.*, 1998) : la première est due à l'enchaînement d'événements historiques exceptionnels en un temps très court (guerres mondiales, révolution, guerre civile, famine), qui affecte la population et ses organes de dénombrement, et la deuxième est plus triviale et vise à harmoniser les dates d'enregistrement. En effet, chaque recensement n'est pas effectué à la même date de l'année d'observation⁷ et les auteurs de ces corrections tentent de produire des intervalles comparables. Toutefois, il semble qu'en dehors de la structure par âge de la population, ces corrections soient marginales au regard des soupçons inhérents aux contrôles supposés ou attestés du régime socialiste sur les chiffres et leur diffusion.

Le recensement de 1926 apparaît comme le plus « démocratique » (Avdeev *et al.*, 1998), le plus transparent et le plus complet en termes d'informations démographiques, sociales et économiques. Il fait suite à la NEP⁸ et poursuit certains idéaux de la Révolution quant à l'émancipation de la population. Son caractère complet vient d'une exigence forte de ressources pour la planification rationnelle de l'économie et de la société. « *La statistique soviétique a alors pour but essentiel la compréhension du social, l'intelligence, dans la tradition du XIX^e siècle, d'une société diversifiée. Mais, brusquement, elle se met à refléter toute la complexité et les tragédies des années 30.* » (Blum, 2004, pp.38-39). Le passage d'un recensement pour révéler et comprendre la société à un recensement censé démontrer l'avancement de l'URSS vers une société sans classe coïncide avec l'avènement du stalinisme, et est analysé par A. Blum et M. Mespoulet comme le résultat du rapport de force à l'intérieur des institutions

⁷ 17 décembre 1926, 6 janvier 1937, 17 janvier 1939 et 15 janvier 1959.

⁸ NEP : Nouvelle Politique Économique sous Lénine, de 1921 à 1924, et dont N. Werth estime l'influence jusqu'en 1928 (2001, p.183).

entre les statisticiens et les politiciens, ces derniers gagnant progressivement du terrain sur les premiers dans la direction des organes statistiques. Ainsi « *un recensement pilote est réalisé dès le 13 août 1932. Le questionnaire est proche de celui du recensement de 1926, réputé pour sa qualité. Il comporte de nombreuses questions précises sur la mobilité géographique, l'analphabétisme et la situation professionnelle.* » (Blum, Mespoulet, 2003, p.128). Il sera abandonné pour une nouvelle version en 1937.

« *[En 1937] trois recensements ont lieu, celui de la population civile, celui de la population sous contrôle du NKVD⁹ (aussi bien les membres du NKVD et leur famille que les déportés, prisonniers et autres déplacés spéciaux), celui de l'armée. Dans le premier cas, les dénombrements sont réalisés avec rigueur et les bulletins rassemblés pour l'ensemble de l'URSS. L'estimation finale de la population pour l'ensemble du pays et les différentes régions subit les premières manipulations. Les plus importantes consistent à réaffecter des personnes recensées dans les deux contingents spéciaux (NKVD et armée). Des instructions à ce sujet indiquent que la population recensée spécifique doit être redistribuée selon des instructions précises pour chaque région. [...] La manipulation est claire : les prisonniers et déportés, en particulier, sont comptés dans d'autres régions que celles de leur déportation et la répartition est dictée par Moscou, sans aucun contrôle de la part des directions régionales.* » (Blum, Mespoulet, 2003, pp.146-148).

Certaines catégories sont supprimées du questionnaire lorsque le pouvoir cherche à cacher les problèmes de la société. C'est le cas de la mobilité de la population, des camps, du suicide et de la stratification sociale de manière générale (Blum, Mespoulet, 2003). Ce recensement de 1937 n'est pas publié car il révèle déjà une nouvelle structure de la société qui ne plaît pas aux autorités. Notamment, « *après une décennie de forte mobilité géographique de la population, l'objectif est dorénavant de collecter les informations pour mieux contrôler les migrations et fixer la population, dans la continuité de la logique administrative d'introduction du système du passeport intérieur en 1932.* » (Mespoulet, 2008, p.74). Il est remplacé par le recensement de 1939, considéré comme le plus suspect en termes de manipulations.

« *Il est vrai que certaines instructions conduisent à manipuler les futurs résultats. En particulier, une instruction provenant de Molotov lui-même conduit à transférer un grand nombre de bulletins de recensement de Sibérie vers l'Ukraine. Les déportés viennent ainsi combler les vides provoqués par la famine...* » (Blum, 1997, p.158)

⁹ NKVD : *Narodnyĭ Komissariat Vnoutrennikh Del*, ou Commissariat du Peuple aux Affaires Intérieures, correspond à la police politique de l'Union soviétique qui siège à la Loubianka (Moscou).

Rappelons que cette opération très politique porte sur un nombre de personnes très important et rapidement croissant : « *Le nombre de personnes enfermées dans les camps et les colonies de travail correctif croît rapidement en 1937 : 500 000 au début de 1934, 1.2 million début 1937 (dont 820 000 en camps) pour un peu plus de 160 millions d'habitants en URSS, plus de 1.9 million de personnes au début de 1938 (dont 1.2 million en camps), et 1.7 million au début de l'année 1940 (dont 1.5 million en camps).* » (Blum, 2004, pp.117-118). Elle vise à cacher la terrible famine qui toucha l'Ukraine en 1933, provoquant six millions de décès (Blum, 2004, p.102).

Le recensement suivant, consécutif à la Seconde Guerre Mondiale, paraît plus fiable. Il n'est cependant mené que vingt ans plus tard, en 1959. « *Dès l'après-guerre, les pertes considérables subies par l'URSS auraient nécessité un nouveau recensement, ne serait-ce que partiel, comme ce fut le cas dans la plupart des pays européens touchés par ce conflit. Or, fidèle à la logique qui consiste non pas à manipuler mais à se voiler la face, le régime soviétique attendra 1959, six ans après la mort de Staline, pour réaliser ce recensement.* » (Blum, 2004, p.51). Les suivants (1970, 1979 et 1989) suivront le même schéma et ne présentent pas de manipulations fortes selon les spécialistes.

1.2.1.3. Inégalité des situations actuelles en ex-URSS

Depuis la chute de l'URSS en 1991, l'organe statistique soviétique s'est divisé en 15 institutions nationales. Leur situation est disparate. Ainsi, la Russie semble avoir hérité de la majorité des spécialistes soviétiques, comme de nombreux autres héritages, au vu de son poids économique, démographique et politique, et de sa domination historique sur les autres territoires de l'ex-URSS. Ainsi, elle a pu conduire deux recensements depuis 1991, en 2002 et 2010. C'est aussi le cas de dix autres anciennes républiques soviétiques. La plupart des résultats sont disponibles en ligne (tableau 1.2.1). De petits pays sans ressources gazières et pétrolières (Kirghizistan), et/ou ayant rencontré des conflits violents suite à l'explosion de l'URSS (Géorgie, Moldavie) n'ont pas pu mener plus d'un recensement en 20 ans. L'Ouzbékistan enfin n'en a produit aucun, malgré des sondages à 10% en 2011¹⁰.

¹⁰ http://www.uznews.net/news_single.php?lng=ru&cid=4&nid=16692

Tableau 1.2.1. Sources des recensements post-soviétiques

Nouveaux États Indépendants	Premier recensement post-soviétique		Second recensement post-soviétique	
	Date	Lien	Date	Lien
Arménie	2001	http://docs.armstat.am/census/engcontent1.php	2011	http://www.armstat.am/ru/?nid=337
Azerbaïdjan	1999	http://www.azstat.org/statinfo/demographic/en/AP/1_5.xls	2009	http://www.azstat.org/statinfo/demographic/en/1_17en.xls
Bélarus	1999	http://belstat.gov.by/homep/ru/perepic/main.php	2009	http://belstat.gov.by/homep/ru/perepic/2009/main_new.php
Estonie	2000	http://www.stat.ee/population-census-2000	2011	http://www.stat.ee/phc2011
Géorgie	2002	http://geostat.ge/index.php?action=page&p_id=674&lang=eng	<i>inexistent</i>	
Kazakhstan	1999	http://www.stat.kz/per_nas_1999/Pages/default.aspx	2009	http://www.kaz.stat.kz/Per_nas/Pages/default.aspx
Kirghizistan	1999	http://www.stat.kg/Rus/Home/census.pdf	<i>inexistent</i>	
Lettonie	2000	http://www.csb.gov.lv/en/dati/2000-population-census-30762.html	2011	http://www.csb.gov.lv/en/statistikas-temas/population-census-2011-key-indicators-33613.html
Lituanie	2001	http://www.stat.gov.lt/en/pages/view?id=3431&PHPSESSID=3872c8eccc389c2aded5cd8956f7e75a5	2011	http://www.stat.gov.lt/en/pages/view?id=3408
Moldavie	2004	http://www.statistica.md/pageview.php?l=ru&idc=295	<i>inexistent</i>	
Ouzbékistan	<i>inexistent</i>		<i>inexistent</i>	
Russie	2002	http://www.perepis2002.ru/index.html?id=11	2010	http://www.perepis-2010.ru/
Tadjikistan	2000	http://www.demoscope.ru/weekly/2005/0191/analit05.php	2010	http://www.stat.tj/ru/population-census/
Turkménistan	1995	http://www.stat.tj/ru/population-census/	2012	http://www.stat.gov.tm/ru/content/census-census-2012/
Ukraine	2001	http://2001.ukrcensus.gov.ua/	2012	http://www.ukrcensus.gov.ua/

Note : Liens actifs lors de leur dernière consultation : février 2014

1.2.2. Et pourtant, des éléments de continuité et de fiabilité

Depuis l'ouverture des archives soviétiques aux chercheurs, des nuances ont été apportées à ce constat de suspicion légitime face aux données de recensement. Nous distinguons deux registres d'arguments : d'une part, le fait que la Révolution n'a pas créé immédiatement des spécialistes compétents mais s'est reposée abondamment sur les statisticiens formés à la statistique européenne du XIX^e siècle, et d'autre part de manière liée le fait que les manipulations se sont avérées assez restreintes au regard des rétentions d'information (l'information apparaissant par ailleurs de bonne qualité).

1.2.2.1. Formation des statisticiens impériaux et continuité soviétique

La réflexion sur la continuité institutionnelle entre les deux régimes impérial et soviétique a été menée par A. Blum et M. Mespoulet (2003). Ils rappellent que l'usage d'approches trop catégoriques et figées comme celle d'Hannah Arendt ne permettent pas d'évaluer la continuité humaine et les codes sociaux résilients, le « système de représentation » partagé de part et d'autre de la rupture révolutionnaire de 1917.

Ainsi, « lorsqu'ils décident de créer l'administration statistique d'un État fortement centralisé, les dirigeants bolchéviques font appel à des hommes formés principalement à la statistique locale et aux pratiques administratives des institutions décentralisées des zemstva. » (Blum, Mespoulet, 2003, p.33). La collecte des informations répond donc aux critères européens des statisticiens de l'Empire (Mespoulet, 2008), bien que la population migrante des villes reste peu ou mal prise en compte (Browser, 1990). « En septembre 1918, un arrêté définit l'organisation de la statistique régionale, qui prend le relais de la statistique des zemstvos de l'empire. La continuité institutionnelle avec l'ancien système se double d'une continuité humaine. » (Blum, 2004, p.37).

1.2.2.2. Manipulations choisies

Le travail d'A. Blum et M. Mespoulet après l'ouverture des archives conduit à nuancer fortement l'impact des manipulations sur la fiabilité des résultats de recensements soviétiques. Pour A. Blum (1997), il s'agit moins de manipulation que de censure de l'information, même pour le recensement de 1939. Les contingents tus regroupent par exemple les forces armées et les minorités. On peut donc poursuivre la citation précédemment évoquée :

« Il est vrai que certaines instructions conduisent à manipuler les futurs résultats. En particulier, une instruction provenant de Molotov lui-même conduit à transférer un grand nombre de bulletins de recensement de Sibérie vers l'Ukraine. Les déportés viennent ainsi combler les vides provoqués par la famine... Mais il faut bien souligner ici que l'administration conduit cette manipulation avec soin. [...] En outre, il n'y a guère d'autres manipulations, si ce n'est sur le bilan total, surestimé par addition d'une correction non justifiée. » (Blum, 1997, p.158)

En ce qui concerne les opérations de dénombrement suivantes : « Le recensement de 1959 marque donc un retour à la normale. Il est réalisé avec un soin particulier, publié en détail, même si on reste loin de la richesse du recensement de 1926. » (Blum, 2004, p.52).

Au final :

« Toutes les pressions, le développement en partie autonome du conflit entre le NKVD et la Direction de la statistique, les tensions et les suspicions entretenues n'ont pas conduit les statisticiens à falsifier les données. Ils n'ont pas fourni des statistiques qui auraient fait disparaître les traces des drames. La seule solution imaginée par le pouvoir a consisté à nier la réalité des faits mis en évidence, accusant globalement ceux qui les observaient, et à ordonner de refaire le recensement. La réponse politique fut seulement répressive. » (Blum, Mespoulet, 2003, p.142)

Le meilleur critère de véracité de ces chiffres est le décalage croissant par rapport à ceux de la planification qu'ils révèlent, *« et, ce faisant, l'absence d'un contrôle total du pouvoir politique sur la production des données. » (Blum, Mespoulet, 2003, p.10).*

1.3. Détail de la construction de la base de données DARIUS

Après avoir énoncé les principes de construction des bases de données harmonisées, avoir donné un aperçu des travaux existants dans d'autres contextes nationaux ou régionaux, et souligné les limites des approches développées dans le cadre des villes de Russie et d'ex-URSS, les contraintes qui s'appliquent à cet espace urbain et à son appréhension statistique, nous présentons l'approche qui a été retenue pour cette thèse. Cette approche vise à répondre au mieux à la fois aux exigences propres à la géographie urbaine et aux contraintes du terrain d'étude, en se nourrissant des deux champs d'expérience. Il fallait justifier de l'intérêt de travailler avec des données souvent suspectées. La partie précédente, appuyée largement sur les travaux d'historiens et démographes, semble montrer que ce projet a du sens, et permet d'identifier les moments et les espaces qu'il conviendra d'interpréter avec précaution.

1.3.1. Qu'est-ce qu'une ville en ex-URSS ? Choix critiques de définitions de la ville

En suivant les principes énoncés plus haut pour construire une base de données urbaines couvrant l'ex-Union soviétique, nous commençons par le choix d'une définition spatiale de la ville.

1.3.1.1. Des agglomérations morphologiques

Nous avons déjà donné tous les arguments en défaveur de la définition juridique des unités locales : mauvaise prise en compte de l'extension spatiale des villes pour les périodes postérieures au XIX^e siècle, défaut de comparabilité à des ensembles territoriaux dont les mailles sont de tailles très différentes, dépendance forte aux choix politiques d'extension artificielle des mailles (cf. encadré 1.1.1) et d'attribution arbitraire des statuts urbains.

D'autre part, nous avons rappelé que le choix d'une définition fonctionnelle de la ville – c'est-à-dire basée sur les flux de passagers entre une ville centre et ses satellites – était possible (cf. Rowland, 1998 ; Polyan *et al.*,

2001 ; Lappo *et al.*, 2007), mais au prix d'une réduction drastique de l'effectif de villes prises en compte. Typiquement, cette définition n'a pas été appliquée au-delà des 50 plus grandes villes. Par ailleurs, l'utilisation de la voiture en Union soviétique, et encore aujourd'hui en Russie, est beaucoup moins développée qu'aux États-Unis par exemple, où la délimitation urbaine fonctionnelle s'est avérée nécessaire pour capter l'extension spatiale des villes modelées par l'automobile dès les années 1950 (Bretagnolle, 2009). Cette nécessité est probablement moins forte dans l'espace post-soviétique.

C'est pourquoi notre choix s'est porté sur une définition morphologique de la ville, plus adaptée à un effectif large de villes dans le cas de l'ex-URSS, quelle que soit la résolution de la maille de base. Cette définition est aussi adaptée à une étude centrée sur le XX^e siècle, et produit des résultats largement comparables à des études menées sur d'autres systèmes de villes dans le monde, pour lesquelles cette définition est largement adoptée.

Il convient dès lors de présenter les unités locales constituant les briques de base de l'agrégation, ainsi que les seuils retenus.

1.3.1.2. L'hétérogénéité des unités locales urbaines

Il existe deux types de statuts urbains en ex-URSS : les villes (*goroda*) et les localités de type urbain (*poselki gorodskogo tipa*) ou leurs équivalents nationaux¹¹, en plus des localités à statuts non-urbains (villages, bourgs de type rural, points de peuplement, etc.). On dénombre actuellement en Russie 1 100 villes, 1 286 bourgs de type urbain, et 153 124 points de peuplement ruraux, dont 19 416 auxquels n'est attachée aucune population.

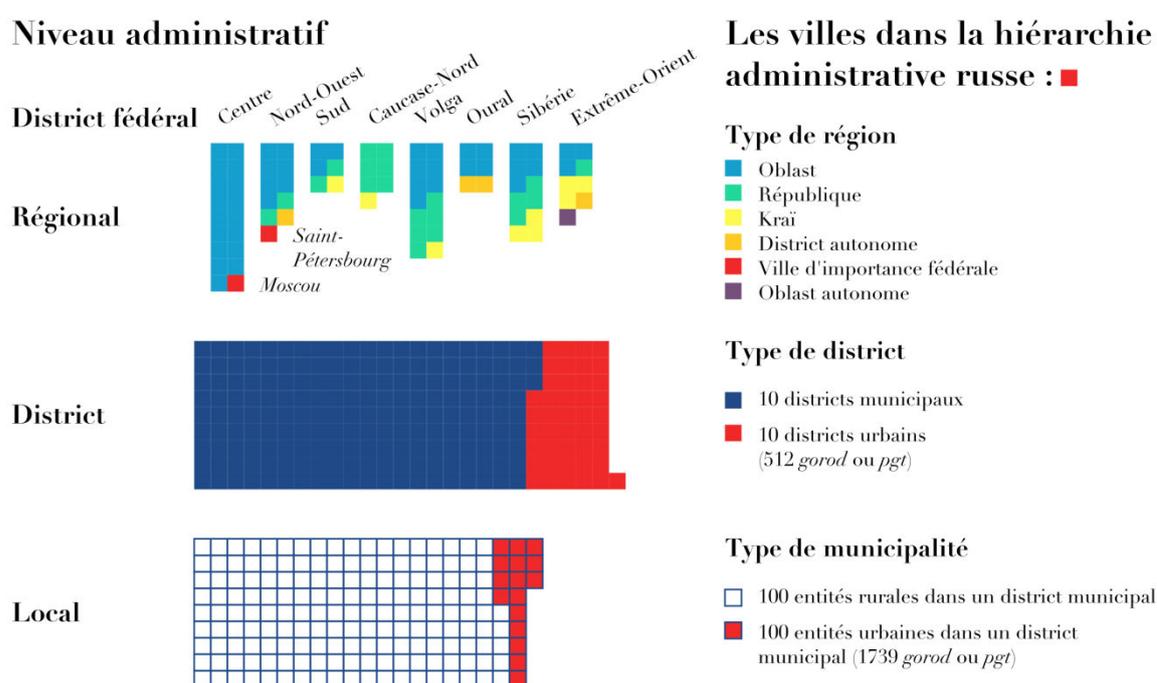
Ces statuts se répartissent entre les trois niveaux de la hiérarchie administrative et territoriale de la Russie – le cas le plus complexe des quinze Nouveaux États Indépendants : celui des régions (ou « sujet » de la Fédération), au nombre de 83¹² ; celui des districts (*raïony*), et celui des « formations municipales » (figure 1.3.1).

¹¹ Les bourgs urbains (*gorodskie poselki*) en Biélorussie, au Kazakhstan, en Ouzbékistan, Lettonie et Estonie, les bourgs urbains de travailleurs (*gorodskie rabotchie poselki*) en Géorgie et les bourgs de travailleurs (*rabotchie poselki*) en Azerbaïdjan, Moldavie et Arménie.

¹² Le terme de « sujet » est adopté en français par ceux qui étudient la Russie pour décrire les 83 composantes de la Fédération. Il s'agit de la transcription du mot russe *soubekt*. Ce terme recouvre la diversité des statuts politiques associés à ce niveau de l'organisation territoriale. Ainsi, les 83 sujets se répartissent en : 21 Républiques, 9 *kraïs*, 4 districts autonomes, 1 *oblast* autonome, 2 villes fédérales et 46 *oblasts* (du plus au moins autonome). S'ils appartiennent tous au niveau sub-étatique, certains sujets, représentants d'une minorité ethnique, disposent de plus d'autonomie dans les domaines fiscaux ou de politique étrangère, et d'institutions propres (parlement, président, constitution...). Ex : le Tatarstan.

- À l'échelon **régional**, il existe deux unités locales urbaines : celles de Moscou et Saint-Pétersbourg, sujets de la Fédération avec chacune une assemblée élue et un gouverneur.
- À l'échelon du **district**, on dénombre 512 unités locales, dont les capitales de sujets et les villes importantes, par exemple Nijni-Novgorod, Kostroma ou Vladivostok.
- À l'échelon **local** sont associés 448 villes (*gorod*) appartenant à un district et 1 289 « bourgs ou localités de type urbain » (*poselki gorodskogo tipa, PGT*).

Figure 1.3.1. Hétérogénéité administrative des unités locales urbaines russes en 2010



Le choix d'inclure les bourgs de type urbain dans l'échantillon des villes n'est ni évident ni consensuel. R. Brunet les intègre tous dans son analyse urbaine du volume de la Géographie Universelle consacrée à la Russie (1996). C'est aussi le cas d'O. Vendina (2007) et D. Eckert (2007) analysant le système urbain russe à partir des 2 400 villes et localités de type urbain, ou de C. Harris : « *Of the 4 619 urban units of 1959, 1 679 were classed as cities and 2 940 as settlements of urban type.* » (1970, p.10), à l'échelle de toute l'Union soviétique.

Au contraire, l'option de ne retenir que les unités administratives possédant le statut urbain de *gorod* est préférée par G. Lappo et P. Polyan (1999) pour l'analyse de l'urbanisation au XX^e siècle, tandis que B. Khorev

(1968) sélectionne parmi les villes soviétiques les plus peuplées seulement (plus de 50 000 habitants).

En effet, il semblerait que la ligne de démarcation se situe dans l'importance relative que prennent les termes « bourgs de type » et « urbain » dans l'expression. Si les plus grands d'entre ces bourgs¹³ peuvent être considérés incontestablement comme des villes, les plus petits d'entre eux ne seraient que de gros villages, dépourvus d'attributs urbains. Sachant que de nombreux auteurs insistent sur le fait que les villes soviétiques sont caractérisées par une ruralité paradoxale (du point de vue de l'origine des urbains, de la place de l'agriculture en ville, etc. ; cf. Pivovarov, 2001), il est légitime de ne pas considérer les plus petits de ces bourgs comme de véritables villes (Polyan *et al.*, 2001).

Notre position à ce sujet a été d'intégrer dans notre base les bourgs de type urbain (*pgt*), mais uniquement lorsqu'ils rassemblent plus de 10 000 habitants.

Concernant les unités locales ayant un statut de *gorod* — donc des villes à part entière *a priori* — il convient de même ne pas toutes les considérer comme des villes, étant donnée l'inertie de certains choix politiques. Comme le rappellent C. Châtel et F. Moriconi-Ebrard :

« Le critère de l'octroi du statut de ville (gorod ou PGT) pour définir la ville nouvelle dans la Russie du 20^e siècle n'est pas pertinent. Certaines villes ont en effet été fondées sous le régime soviétique mais n'en ont pas reçu le statut, bien qu'on puisse les considérer comme urbaines par d'autres aspects. Ce statut est octroyé de façon arbitraire, parfois à des points de peuplement très restreints qui n'ont rien d'urbain, tandis que des villes dotées de tous les caractères urbains, parfois depuis bien longtemps et/ou dont la fondation remonte à des époques très antérieures n'ont reçu au contraire ce statut que très récemment.

À titre d'exemple, la ville la moins peuplée de Russie, Vyssotsk, au Nord-Ouest de Saint-Petersbourg et fondée par Pierre le Grand, compte 1 100 habitants. Les villes les plus petites sont plus nombreuses dans la vieille Russie occidentale et renvoient ainsi à une réalité urbaine passée. Aussi, nombre de villes nouvelles créées durant la période soviétique ont reçu la dignité de ville dès leur fondation, ou peu après, ce qui manifeste bien les objectifs du pouvoir: Nerioungri — République de Sakha (Iakoutie) —, entre autres, est fondée et reçoit le statut de ville en 1975. Au contraire Norilsk, fondée en 1935, dépassant dès 1939 le seuil urbain communément admis aujourd'hui avec 13 900 habitants, et qui rassemble 118 400 habitants en 1959, n'est promue ville qu'en 1953. » (2007, §10-11)

¹³ Jusqu'à 37 000 habitants en 2010 pour le bourg de type urbain de Goryatchevodskii dans le *krai* de Stavropol (Russie), voire même 90 000 habitants pour le plus grand « bourg » du Kirghizistan : Jalalabat.

Les exemples abondent aussi en dehors de Russie, comme les 300 habitants des « villes » de Dastakert (Arménie) ou Panemuré (Lituanie).

Pourtant, malgré cet arbitraire évident, des critères très précis sont énoncés dans les manuels de géographie soviétiques et russes pour déterminer ce statut urbain de *gorod*. Ainsi, selon Pertsik (1991, p.124, traduit du russe), « en RSFSR [République Socialiste Fédérative Soviétique de Russie] le seuil minimal de population pour une ville est de 12 000 habitants et pour rattacher un point de population à la ville il faut qu'au moins 75% de ses habitants soient occupés dans une activité non-agricole ». Selon les différents pays, le seuil de population minimal peut varier de 5 000 habitants (Géorgie, Azerbaïdjan) à 6 000 (Biélorussie), 8 000 (Kazakhstan, Arménie, Turkménistan, Lettonie, Estonie) ou 10 000 (Ukraine, Ouzbékistan, Moldavie, Kirghizistan, Tadjikistan).

Ce seuil de 10 000 habitants fut utilisé pour distinguer les villes (*gorod*) des bourgs de type urbain (*pgt*) puis abandonné (Gazier, 2001). C'est celui que nous adoptons de manière uniforme pour toutes les unités locales.

Depuis la dislocation de l'URSS, plusieurs réformes affectent ces statuts urbains dans la réglementation. Les villes russes peuvent notamment choisir l'inclusion dans une « formation municipale » depuis 1993, et ainsi se doter d'organes élus au suffrage universel direct, d'un budget, de compétences locales, et surtout de la propriété du sol résultant du transfert des entreprises (Gazier, 2001). Ces réformes ne semblent pourtant pas avoir bouleversé le paysage local, dans un territoire où l'autonomie locale n'a été expérimentée qu'entre 1870 et 1892 (Browser, 1990). Les problèmes techniques de ce transfert et la dépendance encore importante vis-à-vis de l'État font que l'autonomie locale n'est pas toujours préférée par les villes (Lefevre, 2001 ; Gel'man, 2003). De plus, ces compétences sont souvent lourdes à financer localement. Le statut déterminant pour les unités locales reste selon A. Gazier (2001) :

- le statut administratif de capitale de région ou de district, qui suppose un budget conséquent et des ressources transférées par l'État,
- et le statut de « ville fermée » (*ZATO*¹⁴) ou « scientifique » (*Naoukograd*), c'est-à-dire les villes spécialisées dans les domaines sensibles de la défense et de la recherche. Il existait 47 *ZATO* relevant des ministères de la Défense et de l'énergie atomique à la chute de l'URSS (Lappo, Polyan, 1998) ; parmi lesquelles les *Naoukogrady* les plus fermées, ces villes « élites de l'urbanisation » (Lappo, Polyan, 2008, p.27), dont jusqu'à la moitié de la population isolée était constituée de chercheurs.

¹⁴ *Zakrytye Administrativno-Territorial'nykh Obrazovanie* : Formations administratives et territoriales fermées.

1.3.2. Sources utilisées

Afin de procéder à la seconde étape de constitution de la base de données urbaines, à savoir l'harmonisation temporelle du concept de ville, nous présentons la profondeur historique des informations disponibles. Les sources requises pour l'harmonisation temporelle la plus exigeante (cf. 1.1.1.2.) sont de deux ordres : les chiffres de population des unités locales et les géométries correspondantes (taches urbaines et contours administratifs au minimum).

Précisons d'emblée que nous n'avons pas eu accès à ces géométries pour les périodes anciennes, et donc que les deux dernières méthodes d'harmonisation proposées par A. Bretagnolle *et al.* (2012) les délimitations dynamique et évolutive de la ville n'ont pu être mises en place dans le cas de DARIUS. Nous avons retenu la troisième méthode, qui consiste, à l'instar de Géopolis (Moriconi-Ebrard, 1994), à délimiter spatialement la ville pour la période actuelle et n'agrèger historiquement que les unités locales dépassant un certain seuil à chaque date.

La collecte des données chiffrées a été envisagée selon deux principes : d'une part accéder aux sources premières, les recensements de population ; et d'autre part, rechercher la rationalité en ne refaisant pas un travail potentiellement déjà effectué¹⁵. En effet, tous les recensements russes et soviétiques ne sont pas disponibles et accessibles depuis Paris, où cette thèse s'est principalement déroulée. Nous avons donc dans un premier temps cherché des données déjà compilées et numérisées qui permettaient un gain de temps en termes de saisie et de suivi d'entités ayant une propension forte à changer de nom au cours du temps. Trois sources en ligne (tableau 1.3.1) ont été analysées et confrontées aux recensements de 1926 et 1989 consultés à la bibliothèque d'État de Moscou (RGB) lors d'un séjour de terrain en mars-avril 2012.

La comparaison de ces trois sites plaide clairement en faveur du site Demoscope.ru, le plus officiel des trois (parrainé entre autres par l'Unesco et l'Ined). Ce projet, dirigé par le démographe et sociologue Anatoliï Vichnevski, contient tous les recensements russes et soviétiques, mais aussi un grand nombre de ressources bibliographiques et d'archives numériques ouvertes (articles, livres numérisés, publications démographiques officielles, etc.).

Ce site s'est sans surprise avéré le plus robuste à la confrontation avec les recensements-papiers pour les deux dates, tandis que 2% d'informations

¹⁵ C'est ce qui nous incite à notre tour à diffuser sous licence libre les données harmonisées DARIUS.

manquantes ont été relevées pour le site pop-stat.mashke.org en 1926 et que 22% des chiffres du site mojgorod.ru présentaient une différence avec ceux du recensement de 1926. Toutefois, ces deux sites ont été mobilisés ponctuellement pour les informations complémentaires qu'ils détiennent.

Tableau 1.3.1. Évaluation de sources de données urbaines en ligne

Sources	www.mojgorod.ru	http://pop-stat.mashke.org/	www.demoscope.ru	
1. Période couverte	1811-2010	1897-2011	1897-1989	2002-2010
2. Nombre de pays couverts	1/15	11/15	15/15	1/15
3. Informations supplémentaires	Identifiant, situation géographique, histoire	Région d'appartenance, événements territoriaux (annexions, changement de nom)	Type d'unité locale, région d'appartenance, répartition par sexe et par âge de la population	
4. PGT	1989 et 2010	Toutes les dates	Toutes les dates	
5. Liste de référence	Unités présentes en 2010	Toutes les unités présentes à la date concernée	Toutes les unités présentes à la date concernée	
6. Données récentes	Estimations	Données censitaires	Données censitaires	
7. Références	opaques	opaques	précises	

Ainsi, les coordonnées géographiques des villes russes ont pu être compilées à partir de mojgorod.ru. Les autres informations de ce site se sont avérées décevantes, et souvent copiées des différentes encyclopédies urbaines de G. M. Lappo (1994), A. Gorkine (1998) et E. Pospelov (2001), en plus d'être limitées à la Russie. Le site pop-stat.mashke.org au contraire a été une ressource précieuse pour guider le suivi temporel d'unités qui ont changé de statut ou de nom, ont péri ou fusionné.

Pour les dates les plus anciennes, les exemplaires numérisés des tableaux statistiques antérieurs au premier recensement de 1897 ont été trouvés en ligne¹⁶ et saisis à la main. Le passage entre les différentes sources s'est fait en perdant 5 villes de 1856 dont il n'a pas été possible de retrouver la continuité en 1897 (par changement de nom, ou bien du fait d'un changement de statut qui ferait que la ville n'apparaît plus dans le recensement).

¹⁶<http://dlib.rsl.ru/view.php?path=/rsl01003000000/rsl01003542000/rsl01003542943/rsl01003542943.pdf#page2?page=2> (tableaux statistiques de l'Empire russe de 1840, consultés en octobre 2011) http://books.google.com/books?id=Pgu33CTCZFOC&printsec=frontcover&hl=ru&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false (tableaux statistiques de l'Empire russe de 1856, consultés en octobre 2011)

Enfin, les données les plus récentes correspondant à des pays n'ayant pas effectué de recensement ou dont celui-ci n'a pas pu être exploité ont été complétées à partir de sites plus généraux, comme les bases CityPop¹⁷ et World Gazetteer¹⁸. Ces sources sont critiquables pour leur manque de précision quant aux références utilisées et aux périmètres spatiaux choisis. Un test opéré sur 50 villes chinoises a pu montrer que les données du site citypopulation.de correspondaient à une définition large de la ville (proche de la définition morphologique des agglomérations) tandis que les données de World Gazetteer relevaient de la définition administrative (Swerts, Pumain, 2010). Ces informations sont néanmoins utiles comme cadrage de l'urbanisation. Leur utilisation restera donc illustrative et le commentaire des résultats prudent pour ces pays par ailleurs plutôt ruraux et périphériques (Tadjikistan, Kirghizistan, Turkménistan), qui ne constituent pas le cœur de notre intérêt pour cette zone d'étude.

1.3.3. Trois opérations d'harmonisation : estimation, fusion et agrégation

À ce stade, les chiffres de population correspondant aux principales unités administratives urbaines sont compilés dans une même table, mais présentent une forte hétérogénéité due à l'utilisation de sources diverses dans quinze États disposant de dates censitaires et de tailles de mailles différentes. Trois opérations d'harmonisation se révèlent nécessaires pour aboutir à une base exploitable d'agglomérations morphologiques. La première consiste à estimer la population de villes pour lesquelles l'information pour un recensement intermédiaire n'est pas disponible, ainsi que d'harmoniser les dates d'observation des villes lorsque des recensements ont été effectués à des dates différentes (section 1.3.3.1). La seconde opération a consisté à tenir compte de l'évolution spatiale des mailles territoriales et des fusions d'unités au cours du temps (cf. encadré 1.1.1 par exemple, section 1.3.3.2). Enfin, ces unités ont été agrégées sur la base d'un critère de continuité du bâti (section 1.3.3.3).

1.3.3.1. Estimation des données manquantes et harmonisation des dates d'observation

Certaines villes ont été « perdues » lors du recoupement des tableaux statistiques avec le premier recensement de 1897. D'autres figurent alternativement comme villes et non-villes au cours du temps. D'autres enfin ne

¹⁷ <http://www.citypopulation.de/>

¹⁸ <http://www.gazetteer.de/>

figurent pas dans les recensements pour des causes plus concrètes de conflits : période de guerre dans le Caucase au XIX^e siècle, plus récemment en Tchétchénie, etc. Il a donc été nécessaire d'estimer la population de ces villes entre deux dates de recensement connues. Un choix a été fait de ne pas estimer la population d'une ville entre deux dates pour lesquelles sa population est connue si la durée séparant ces deux dates dépasse 50 ans. Par exemple, si l'on a connaissance de la population d'une ville en 1897 puis 1959, la population n'a pas été estimée pour 1926 et 1939. Les villes dans ce cas seront donc prises en compte dans les analyses transversales de 1897, 1959 et suivantes, longitudinales à partir de 1959, mais en aucun cas dans les analyses longitudinales démarrant en 1897. La méthode d'estimation retenue afin d'estimer la population d'une ville est le taux de variation annuel moyen (TVAM), selon la formule suivante :

$$\text{TVAM}_{m,n} = ((P_n/P_m)^{(1/n-m)} - 1) * 100$$

avec : n = la date suivant la date d'estimation pour laquelle la population est connue
 m = la date antérieure pour laquelle la population est connue et $m-n \leq 50$.
 P_n = population à la date n , P_m = population à la date m .
 $\text{TVAM}_{m,n}$ = le taux de variation annuel moyen de la population entre ces deux dates.

On estime donc la population à la date t comme suit :

$$P_t = P_m * ((\text{TVAM}_{m,n} / 100) + 1)^{(t-m)}$$

Par exemple :

Ville	Population 1959	Population 1970	Population 1979
Ex1	25 400	?	33 700

Le taux de variation de population de cette ville entre 1959 et 1979 est de : $((33\ 700/25\ 400)^{(1/1979-1959)} - 1) * 100 = \underline{1.42\ \% \text{ par an}}$. Sa population estimée en 1970 vaut : $25\ 400 * ((1.42 / 100) + 1)^{(1970-1959)} = \underline{29\ 674 \text{ habitants}}$.

La date la plus fréquemment estimée a été celle de 1939. Pour cette année-là, la population de jusqu'à 6.7% des villes a du être estimée, majoritairement dans des villes de petite taille (inférieure à 13 000 habitants, à 3 exceptions près).

Au contraire, les derniers recensements soviétiques de 1959 à 1989, ainsi que post-soviétiques sont apparus les plus complets. Nous nous abstenons donc d'analyser de manière très poussée l'observation empirique de 1939. Toutefois, pour le semi-siècle le plus contemporain, sur lequel notre thèse est

plus spécifiquement centrée, ces estimations ne sont pas suffisamment nombreuses (une douzaine de cas pour un à deux milliers de villes) pour remettre en cause la fiabilité des analyses de taux de croissance et de trajectoires urbaines.

La même méthode d'estimation a été employée afin d'harmoniser les dates d'observation des différents pays durant les périodes pré- et post-soviétiques. En effet, si les recensements de 1989, 1979, 1970, 1959, 1897 et les dénombremens de 1856 et 1840 s'appliquent à toutes les villes retenues dans l'étude, les changements de frontières et les indépendances du XX^e siècle introduisent une hétérogénéité des dates de recensements dans les différents ensembles. Ainsi, les pays baltes indépendants entre les deux guerres mondiales conduisent des recensements en 1920-1923 et 1934-1935 alors que pour la Russie, les recensements équivalents ont lieu en 1926 et 1939. De même, depuis 1989, chaque Nouvel État Indépendant (NEI) mène son propre recensement, et les dates de ces recensements ne coïncident pas (cf. tableau 1.2.1). Nous avons fait le choix dans ce dernier cas d'aligner les dates des autres pays sur celles de la Russie à savoir 2002 et 2010, en raison du fait que les unités locales russes représentent 47% de l'ensemble des unités locales, soit une majorité relative écrasante (par rapport aux 18% d'unités ukrainiennes, 5% ouzbèkes et kazakhes).

Enfin, un identifiant unique a été créé pour suivre chaque unité administrative dans le temps et la différencier d'éventuels homonymes (qui peuvent être extrêmement nombreux en ex-Union Soviétique¹⁹ ; cf. Pospelov, 2001 ; Eckert, 2004 ; Marin, 2007 ; Lappo, Polyan, 2008). Pour les unités russes, on conserve le code officiel d'identification OKATO, précédé de la lettre « R » (pour Russie). Pour les unités des autres pays, un code a été construit comme suit :

PPRRTNN

avec **PP** : deux lettres identifiant le pays d'appartenance (par ex., BE pour Bélarus).

RR : deux chiffres identifiant la région d'appartenance.

T : un chiffre indiquant le type de l'unité (1 = « ville », 2 = « bourg »).

NN : deux chiffres identifiant l'unité.

¹⁹ Il s'agit des typonymes construits sur des noms propres : Lénine, Staline, Kirov, Gouriev, Dzerjinsk, etc. ou des symboles de l'URSS : premier mai, armée rouge, octobre et autres jubilé.

Ainsi, une base est constituée regroupant toutes les unités administratives participant à la notion de ville dans les pays d'ex-URSS sur le temps long, incluant leur population à des dates fixes.

1.3.3.2. Rétropolation des fusions d'entités

« La modification successive des limites administratives de Moscou depuis la révolution rend difficile la comparaison sur une longue période. En effet, nous avons déjà signalé qu'en 1960 de nombreuses villes industrielles situées en banlieue proche de Moscou furent intégrées dans les limites administratives de la capitale. Ces dernières ont perdu ainsi près d'un million d'habitants au profit de Moscou. Le taux d'accroissement négatif de la région de Moscou recensé entre 1950 et 1970 explique en partie ces changements. » (Talatchian, 1999, p.64)

La pratique des annexions et fusions d'unités locales (*gorod* ou *PGT*) semble revêtir un caractère particulièrement fort en ex-URSS où les collectivités locales ont constitué un pouvoir relativement faible et peu autonome avant 1993 (Lefevre, 2001 ; Gel'man, 2003). Depuis 2005 en Russie, à l'inverse, leur autonomie et leur gestion budgétaire fait préférer à certaines d'entre elles la solution de l'annexion à une entité plus grande. C'est ainsi que la plupart des grandes unités administratives ont vu leur périmètre s'accroître au cours des dix dernières années. En dehors de l'aspect géométrique de ces annexions, ce processus a une conséquence forte sur la représentation démographique de ces unités. Ainsi, l'unité annexante croît artificiellement par extension de ses limites, alors que la somme des unités peut perdre des habitants. C'est pourquoi nous avons mené un travail de rétopolation des annexions d'unités.

Ce phénomène d'annexion peut correspondre à trois types de stratégie²⁰ :

- Un effort de **rationalisation**. En effet, une certaine taille de population est exigée pour accueillir certains équipements (hôpitaux, transports rapides, etc.), que ce soit en termes de budget des municipalités dans le cas actuel ou en termes de planification durant l'époque soviétique (par exemple, un seuil d'un million d'habitants était requis pour l'implantation d'un service d'oncologie). Cette politique d'équipement systématique des villes millionnaires s'est avérée efficace mais révèle aussi le sous-équipement des villes plus petites (Eckert, 2007).
- Une stratégie **budgétaire**, permettant à de petites unités de profiter de la puissance financière d'unités plus grandes en y étant annexées.

²⁰ Ces idées ont été développées et discutées lors d'un entretien avec deux géographes de l'Université de Moscou en mars 2012 : Andreï Treïvich et Dmitri Zemlyansky.

- Une stratégie **politique** dans un contexte de décroissance démographique. Ainsi, l'annexion constante d'unités permet de masquer un déclin de population visible jusque dans les plus grandes villes. Cette stratégie n'est pas exclusive des précédentes, mais contribue à retarder la prise de conscience concernant les *shrinking cities* et la réflexion nécessaire autour de leur gestion et de leur aménagement.

La conception de la base de données permet de contourner ces biais stratégiques. Un total de 267 unités a ainsi été rattaché à des unités englobantes. Le tableau 1.3.2 présente les unités les plus « consommatrices » d'annexion).

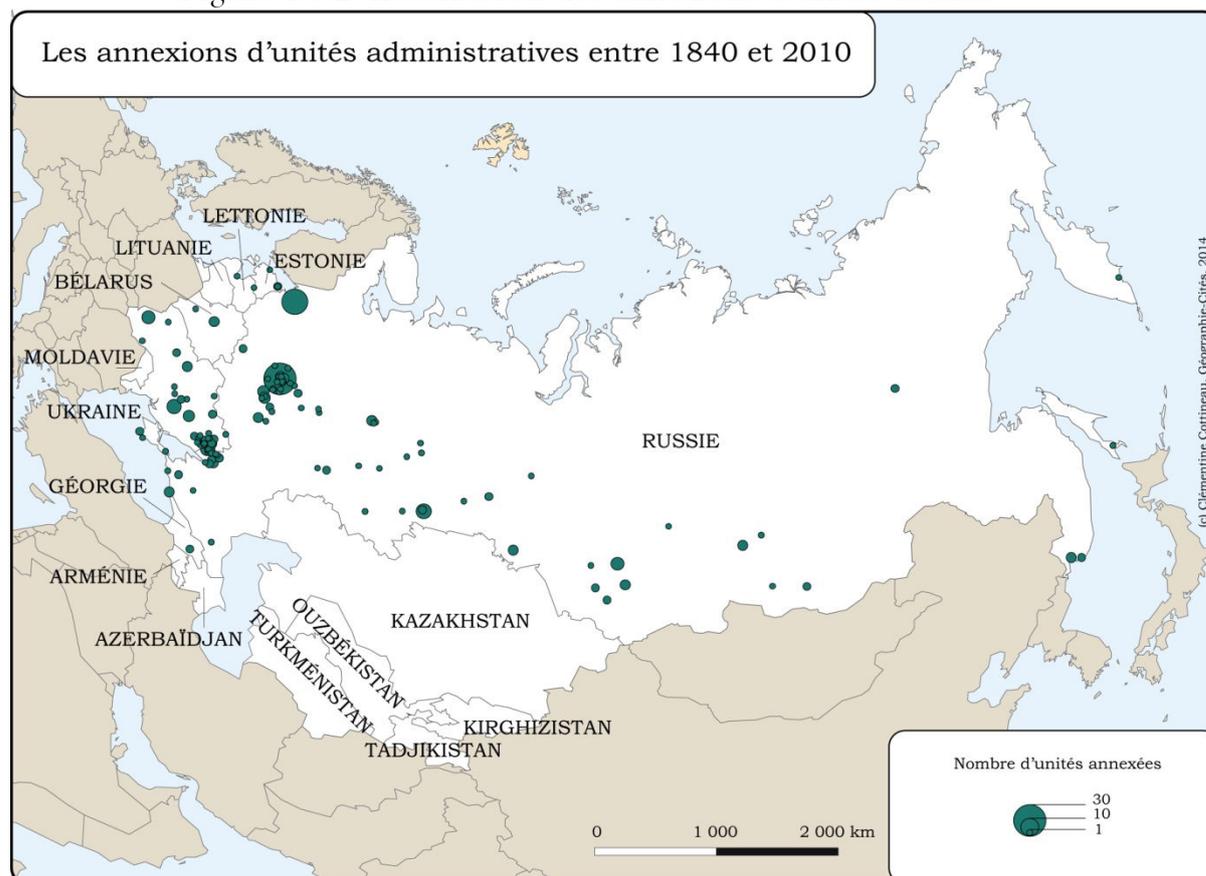
Tableau 1.3.2. Les unités locales les plus « consommatrices » d'annexion

Unité annexante	Unités annexées	Exemples (année d'annexion, nombre d'habitants lors du recensement précédent)
Moscou, Russie	30	Babouchkine (1960, 114 000) Solntsévo (1984, 61 000) Kouskovo (entre 1926 et 1939, 6 000)
Saint-Pétersbourg, Russie	19	Pouchkine (1998, 85 000) Kronstadt (1998, 43 000)
Kopieïsk, Tchéliabinsk, Russie	7	Dans ce cas, sept unités distinctes sont regroupées dans les années 1930 sous le nom de Kopieïsk, puis séparées dans les années 1980, avant d'être groupées à nouveau en 2004
Krivoï Rog, Dnepropétrovsk, Ukraine	6	Ingoulets (2002, 39 000) Souvorovo (années 1990, 2 000)
Snijnié, Donetsk, Ukraine	5	Novyi Donbass (années 1960, 16 000) Remivka (années 1960, 6 000)
Mikolaïev, Ukraine	5	Jotneve (années 1970, 31 000)
Kemerovo, Russie	5	Pioner (2005, 6 000)
Toula, Russie	4	Mendelevskii (2006, 10 000)
Makiivka, Donetsk, Ukraine	4	Voïkovié (années 1970, 18 000)
Koroliou, Moscou, Russie	4	Pervomaiskii (2003, 10 000)
Donskoï, Toula, Russie	4	Roudniev (2006, 2 000)
Dniépropétrovsk, Ukraine	4	Taromskié (2002, 16 000)

Sources : DARIUS, 2014 ; pop-stat.org pour les années d'annexion

Les unités annexant le plus et le plus fréquemment correspondent à des unités locales de grande taille (Moscou, Kiev, Tbilissi, Saint-Pétersbourg, Minsk, etc.), mais aussi à des régions minières. Ainsi, on trouve des unités plus petites comme Chakhty²¹, Chakhtarsk, Makiivka ou Snijnié dans le Donbass, Novokouznetsk ou Kemerovo dans le Kouzbass (figure 1.3.2).

Figure 1.3.2. Localisation des annexions d'unités locales



Source : DARIUS, 2014

La dernière opération d'harmonisation consiste à regrouper les unités appartenant à la même tâche urbaine.

1.3.3.3. Agrégation des unités locales en agglomérations morphologiques

La formation d'agglomérations morphologiques, basée sur la continuité du bâti urbain, participe d'un effort de définition de la ville visant la comparaison internationale autant que le suivi longitudinal des villes. Cette

²¹ Qui signifie littéralement « mines ».

méthode vise ainsi à dépasser le biais de la variabilité des mailles administratives entre régions et entre pays. Cette variabilité est visible notamment au sein de la Russie actuelle, entre la partie densément peuplée de l'Ouest où les mailles sont fines, et les espaces vides d'Extrême-Orient (la région de Sakha-Iakoutie compte à elle seule 3 millions de km², soit quatre fois et demi la superficie de la France, pour seulement un million d'habitants). Elle résulte aussi des changements de maillages suite à l'introduction du système communautaire européen NUTS, en Lettonie par exemple (Le Bourhis, 2009). En procédant à l'agrégation des mailles dont le bâti urbain est continu, on rend plus comparables les villes inscrites dans des mailles de tailles diverses.

La méthode de constitution des agglomérations est bien documentée, notamment par F. Moriconi-Ebrard à l'échelle mondiale (1994). Il s'agit :

- d'identifier les taches urbaines à l'aide d'images satellites ou de photos aériennes. Le seuil de distance entre deux bâtiments retenu pour parler de bâti continu est généralement de 200 mètres, selon les recommandations émises au niveau international et reprises par les instituts statistiques comme l'Insee pour la définition d'Unités Urbaines²² ;
- puis de superposer le maillage administratif sur ces entités morphologiques. Il est souvent requis de déterminer un seuil de population résidant dans la zone bâtie au sein des mailles. Le seuil de 50% de la population d'une maille est choisi pour les Unités Urbaines françaises, afin d'éviter d'inclure des communes n'appartenant que pour une partie peu peuplée à la zone bâtie de l'agglomération.

Dans le cas des villes russes et d'ex-URSS, les principes de la méthode ont été conservés, mais les seuils ont été relâchés. En effet, la détection des taches urbaines n'ayant pas été automatisée, il n'était pas possible d'atteindre une telle précision. Le bâti a été déclaré continu dès lors que deux bâtiments n'étaient pas distants de plus de 500 m environ sur les images satellites disponibles sur Google Maps²³ (la marge d'erreur pouvant être de 50 à 100 m). Ce relâchement du seuil tient à la particularité de l'urbanisme russe et soviétique, et a été aussi relevé par C. Châtel lors de la construction de la base Europolis : « *En Russie, des plans d'aménagement induisent des zones spécialisées construites en discontinuité. Pourtant, la solidarité de ces différents blocs ne fait pas de doute* » (2012, p.331 ; Iyer, 2003).

D'autre part, ne connaissant pas la répartition de la population à l'intérieur des mailles, il n'a pas été possible d'appliquer le seuil de 50% de la population résidant dans la tache urbaine bâtie en continu. Ont ainsi été

²² <http://www.insee.fr/fr/methodes/default.asp?page=definitions/unite-urbaine.htm>

²³ <https://maps.google.fr/>

intégrées les unités locales contigües dont la majorité de la superficie présentait une intersection avec la tache urbaine au vu des images satellites. Ce critère n'a pas été très discriminant en Russie, mais l'a été pour la Lettonie par exemple, où le nouveau maillage administratif local juxtapose des mailles « urbaines » de petites tailles et des mailles « rurales » très importantes (Le Bourhis, 2009). La différence d'ordre de grandeur entre ces deux types n'a pas permis de prendre en compte la population des grandes mailles appartenant aux agglomérations de bâti.

On peut synthétiser et légimenter les forces et faiblesses des choix d'harmonisation dans le tableau 1.3.3.

Tableau 1.3.3. Synthèse des forces et faiblesses de la base DARIUS

Biais	Nuances
L'absence de géométrie des mailles sur le long terme n'a pas permis d'opérer l'harmonisation temporelle la plus exigeante.	-
L'absence de géométrie automatisée des taches urbaines n'a pas permis d'appliquer l'agrégation avec les mêmes seuils et la même précision qui aurait permis de la comparer avec la démarche Géopolis.	Les villes de l'ex-URSS sont généralement plus compactes que les autres villes du monde (Bertaud, 2004). La rupture entre bâti et non-bâti est donc plus nette. ²⁴ Dans l'immense ex-URSS, les villes sont aussi plus éloignées les unes des autres en moyenne que les villes de la plupart des autres parties du monde ²⁵ .
Cette absence d'automatisation a pu « oublier » quelques unités locales de petite taille en périphérie des grandes villes.	À la périphérie des grandes villes, un certain nombre d'espaces bâtis correspondent à des modes d'habitat secondaires ou alternatifs : ce sont les <i>datcha</i> et <i>cottages</i> dont la population réside de fait dans le centre de l'agglomération (Makhrova, 2006 ; Nefedova, 2011).

Il est donc d'autant plus important de procéder à une évaluation de la base en la comparant avec les autres bases de données dont on a pu faire la revue dans la première partie de ce chapitre.

²⁴ En effet, du fait de la tardive diffusion de l'automobile et de la faible part du logement individuel dans les villes même après 1991, R Rowland (1998) montre que la part de population résidant hors du centre dense est deux à trois fois plus faible qu'à Tokyo ou Los Angeles.

²⁵ De 30 à 40 km en moyenne contre 15 à 20 km en Europe occidentale (Moriconi-Ebrard, 1993).

1.3.4. Évaluation de la base DARIUS

Étant donné le caractère manuel de l'application de la méthode d'agglomération, un travail important de vérification s'est avéré nécessaire. Pour ce faire, les agglomérations constituées dans la base DARIUS ont été comparées aux agglomérations formées par F. Moriconi-Ebrard dans la base Géopolis ou par C. Châtel (2012) avec des méthodes automatisées. Cette base n'est pas accessible dans son ensemble, mais la population des agglomérations de plus de 100 000 habitants est donnée en annexes pour tous les pays du monde en 1950, 1960, 1970, 1980 et 1990 (Moriconi-Ebrard, 1994, pp.183-233). Nous avons aussi évalué les écarts entre les agglomérations délimitées ici et les villes fonctionnelles telles que définies par R. H. Rowland (1998) et P. Polyan *et al.* (2001), pour lesquels les chiffres sont disponibles dans les publications. Nous nous attendons à :

- un écart significatif (et trivialement positif) entre les populations comptabilisées au sein des agglomérations DARIUS et les chiffres de population comptée dans le maillage des unités locales seulement.
- Un écart significatif (et négatif) entre les agglomérations DARIUS et les villes fonctionnelles de R. H. Rowland et P. Polyan *et al.*, puisque leur définition, prenant en compte les flux entre ville-centre et satellites au-delà de la continuité bâtie, est censée être plus large que la définition morphologique.
- Un écart non-significatif entre les agglomérations DARIUS et les agglomérations Géopolis ou Europolis, qui sont construites sur des principes similaires, avec les nuances évoquées plus haut quant aux éventuelles différences de mise en pratique.

En première évaluation, nous comparons le nombre d'entités urbaines. La comparaison avec les effectifs d'Europolis donne des chiffres comparables, bien que systématiquement plus réduits pour DARIUS (tableau 1.3.4). Cet écart peut avoir deux sources différentes : soit la base Europolis a pris en compte un plus grand nombre de petites villes, soit les agglomérations DARIUS sont plus larges et donc intègrent des entités urbaines comptées séparément dans Europolis. Cette deuxième hypothèse semble valide au regard du relâchement du seuil de 200 m opéré dans l'agrégation des unités DARIUS. La population des villes DARIUS devrait donc être légèrement plus élevée que les agglomérations Europolis.

Tableau 1.3.4. Comparaison des effectifs d'agglomérations DARIUS / Europolis

Nombre d'agglomérations	Russie	Ukraine	Bélarus	Moldavie	Lituanie	Lettonie	Estonie
Europolis : 2000	1209	389	86	40	39	23	16
DARIUS : 2002	962	353	79	30	34	20	13

Source : (Châtel, 2012, p.444) ; DARIUS, 2014

Pour vérifier cette hypothèse, nous avons comparé la population donnée par F. Moriconi-Ebrard (1994) pour toutes les agglomérations de plus de 100 000 habitants avec les agglomérations DARIUS correspondantes. Les résultats de cette confrontation sont disponibles en Annexe 1.1 et montrent que la grande majorité des écarts de population pour une même agglomération sont contenus dans un intervalle de 5%. Pour la seule Russie, la population des agglomérations est en moyenne 1% plus élevée dans DARIUS. Cela s'explique par notre choix de délimitation un peu plus large, qui conduit à regrouper des unités locales proches qui ne l'ont peut-être pas été dans Géopolis.

Les différences les plus fortes que laisse apparaître cette comparaison des populations des plus grandes villes de l'espace post-soviétique en 1960 et 1990 concernent :

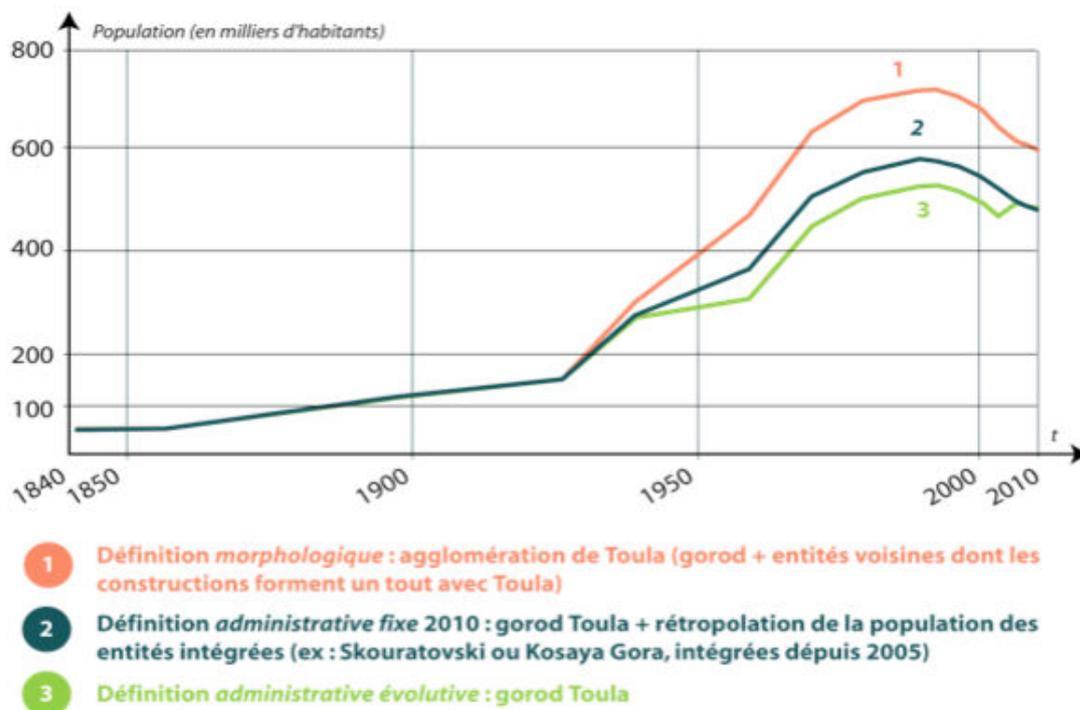
- D'une part, les agglomérations polycentriques, considérées comme un tout dans DARIUS, et comme plusieurs villes dans Géopolis. Par exemple : Piatigorsk dans le complexe thermal de Mineralnye Vody, Krasnotourinsk dans sa région minière (or et fer, entre autres ; cf. Lappo, 1994, p.220).
- Les villes ayant intégré des municipalités après 1990, comme Toula, prises en compte rétrospectivement dans DARIUS.
- D'autre part, les villes situées dans des régions minières densément urbanisées, séparées dans DARIUS alors qu'elles semblent agrégées dans Géopolis. Par exemple : Krasnïï Loutch dans le Donbass ukrainien.

Dans l'ensemble, les résultats des comparaisons avec les résultats publiés de R. H. Rowland (1998), P. Polyan *et al.* (2001) et F. Moriconi-Ebrard (1994) correspondent à nos attentes logiques exposées plus haut (cf. Annexe 1.2). En l'occurrence, les chiffres de population pour les plus grandes villes de DARIUS sont systématiquement plus grands que ceux des unités locales (par construction), similaires à ceux de Géopolis, et plus petits que ceux obtenus avec des définitions fonctionnelles de la ville.

Finalement, les opérations menées pour construire cette base de données DARIUS permettent de constituer des unités urbaines cohérentes, d'éliminer

les sauts artificiels de population dus aux contingences politiques et administratives, et ainsi de lisser les données en vue d'analyser les trajectoires longues de population (figure 1.3.3).

Figure 1.3.3. Effet du choix de définition sur la population de la ville de Toula



Source : DARIUS, 2014

Les tableaux 1.3.5 et 1.3.6 donnent un aperçu de la couverture spatio-temporelle de cette base de données urbaines pour les villes de plus de 10 000 habitants entre 1840 et 2010.

Tableau 1.3.5. Synthèse de la couverture temporelle de DARIUS

Date	1840	1856	1897	1926	1939	1959	1970	1979	1989	2002	2010
Nombre de villes	91	130	306	470	711	1147	1383	1599	1825	1887	1929
Population urbaine totale (en millions)	3	4	13	23	49	84	117	144	170	169	173
Taux d'urbanisation (en %)	4.6	5.3	10.1	15.6	28.9	40.4	48.3	55.1	59.3	59.2	60.6

Source : DARIUS, 2014

Tableau 1.3.6. Synthèse de la couverture spatiale de DARIUS

Pays d'ex-URSS	Nombre d'unités administratives (2010)	Dont > 10 000 hab	Nombre d'agglomérations morphologiques > 10 000 hab. (2010)		Population totale (en millions, 2011)	Taux d'urbanisation (%)
			effectifs	Population (en millions)		
Russie	1330	1150	981	99,5	142,8	69.7
Ukraine	499	408	354	27,7	45,7	60.6
Ouzbékistan	155	152	113	10,1	28,5	35.4
Kazakhstan	125	109	94	8,9	16,6	53.6
Bélarus	114	84	81	6,5	9,5	68.4
Azerbaïdjan	113	95	70	4,3	9,2	46.7
Tadjikistan	40	40	36	1,8	7,5	24.0
Lituanie	103	37	34	2,0	3,2	62.5
Turkménistan	32	32	30	3,1	5,1	60.8
Moldavie	62	36	30	1,6	4,1	39.0
Géorgie	62	27	25	2,2	4,3	51.2
Arménie	48	28	25	2,0	3,1	64.5
Kirghizistan	35	26	23	1,7	5,6	30.4
Lettonie	75	21	20	1,3	2,2	59.1
Estonie	46	13	13	0,8	1,3	61.5
Total	2839	2258	1929	173,5	288,7	60.1

Source : DARIUS, 2014

En plus de données urbaines historiques et harmonisées, la base DARIUS contient des informations complémentaires, permettant l'analyse de l'évolution urbaine dans l'espace post-soviétique.

1.4. Données complémentaires

Comme annoncé dans l'introduction, cette base de données sur la Démographie des Agglomérations du périmètre Russie Impériale et Union Soviétique (DARIUS) sera le socle principal des analyses concernant le système des villes post-soviétiques. Toutefois, pour tester des hypothèses quant à leurs interactions et aux facteurs de croissance et/ou de décroissance, il s'est avéré nécessaire de mobiliser d'autres données. Celles-ci sont de trois ordres : il s'agit de données territoriales concernant les infrastructures de transport et les ressources localisées ; de données économiques permettant d'évaluer la différenciation fonctionnelle des villes au cours du temps ; et enfin de données démographiques de niveau régional.

1.4.1. Infrastructures et Ressources

Les travaux consacrés à l'étude de la croissance urbaine ont mis en avant deux types de facteurs structurant localisés : les réseaux de transport et les gisements de ressources.

« La corrélation entre les évolutions de la croissance d'une ville et son accessibilité a souvent été montrée et vérifiée : les villes les plus grandes et présentant les croissances les plus fortes sont, dans la plupart des cas, aussi les villes les plus accessibles, et réciproquement (Pumain, 1982; Bretagnolle, 1999 ; Bretagnolle, 2003 ; Bretagnolle, 2009). De plus, la structure de la hiérarchie urbaine concorde globalement avec la structure de la hiérarchie des réseaux de transport : il existe donc une corrélation structurelle entre les deux systèmes (Bretagnolle, 1999, p.169). » (Schmitt, 2014a, p.244).

C'est parce que « le chemin de fer joue, jusqu'à la fin de la Première Guerre Mondiale, le rôle de stimulant unique du développement et de la croissance économique. Le tracé du réseau détermine les rythmes de croissance, provoque des sélections irrémédiables entre les villes pourvues de grandes gares, de bifurcations, de triages, et celles qui ne sont atteintes que par un maigre affluent ferroviaire. » (P. George cité par Pumain, 1982b, p.46), que nous avons cherché à obtenir les tracés de ce réseau dans les limites de l'ex-Union soviétique.

En effet, la période d'étude inclut des étapes majeures du peuplement et de la mise en relation du territoire russe puis soviétique. Or « *until the building of railroads and steamships in the nineteenth century, the huge territory of the Russian Empire could be conquered but not well integrated* » (Rozman, 1976, p.90 ; figure 1.4.1). « *La véritable colonisation [de la Sibérie et de la steppe asiatique] date de la construction du Transsibérien, qui atteignit l'Ob' en octobre 1896* » (Blanc, 1916, p.124). Nous attendons donc de cette information qu'elle permette de confirmer ces appréciations qualitatives, mais aussi qu'elle puisse être prise en compte pour dégager d'autres facteurs éventuellement plus spécifiques à la croissance de certaines villes.

Figure 1.4.1. Tronçons ferrorivaires de la Russie d'Europe en 1900



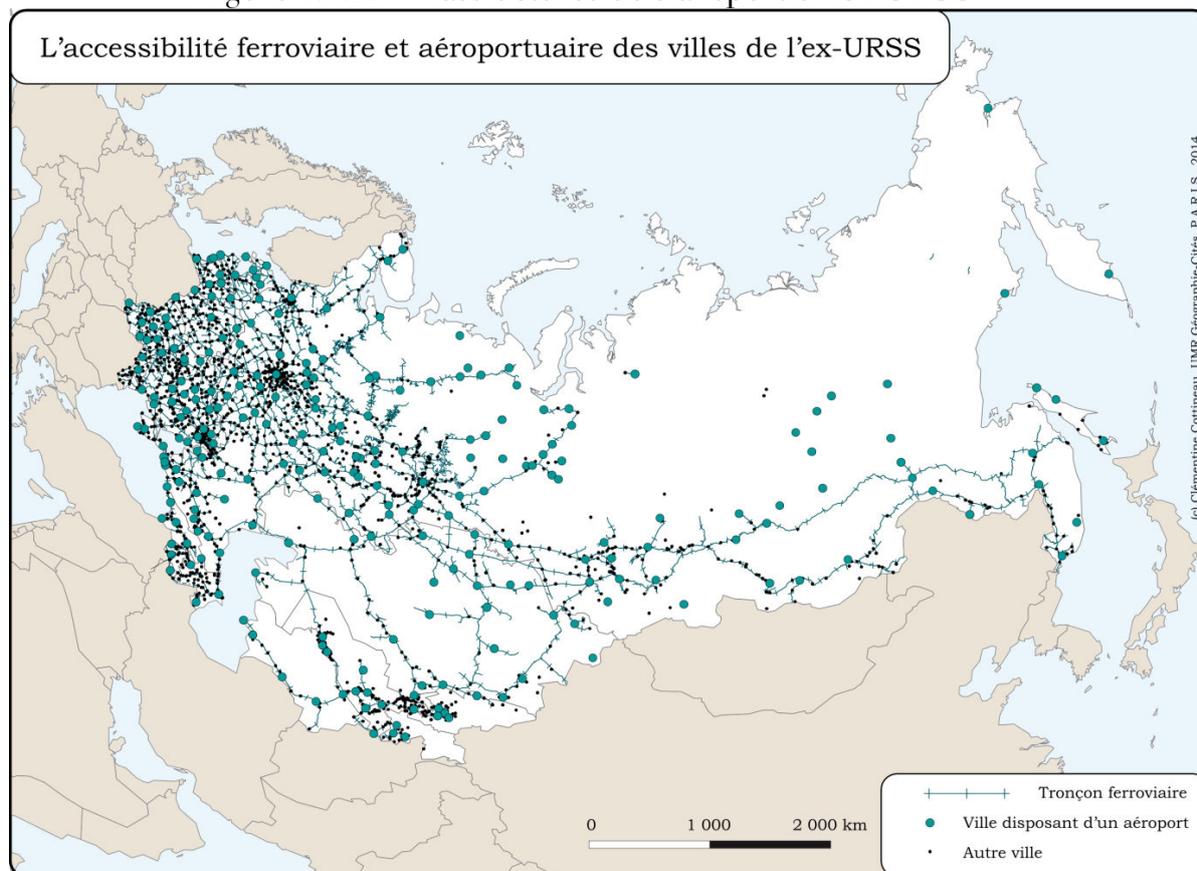
Source : (Browser, 1990, p.49)

Le tracé du réseau ferroviaire a été obtenu au format *ShapeFile* pour l'ex-URSS sur le site de l'U.S. Geological Survey, d'après la numérisation des cartes d'A.V. Tyjnov et I. I. Molchanov (1976)²⁶. Nous avons complété ces informations infrastructurales par la localisation des aéroports à partir du site *FlightStat*²⁷, afin de capter un mode de transport caractérisant non plus l'évolution de l'accessibilité urbaine de la fin du XIX^e siècle, mais du XX^e. Nous distinguons ainsi 257 agglomérations possédant un aéroport, quelle que soit sa capacité et la fréquence des vols (figure 1.4.2).

²⁶ <http://pubs.usgs.gov/of/2001/ofr-01-104/fsucoal/html/project.htm>

²⁷ <http://www.flightstats.com/go/Airport/airportsOfTheWorld.do>

Figure 1.4.2. Infrastructures de transport en ex-URSS



Source : (Tyjnov, Molchanov, 1976) numérisé par USGS
<http://pubs.usgs.gov/of/2001/ofr-01-104/fsucoal/html/project.htm>

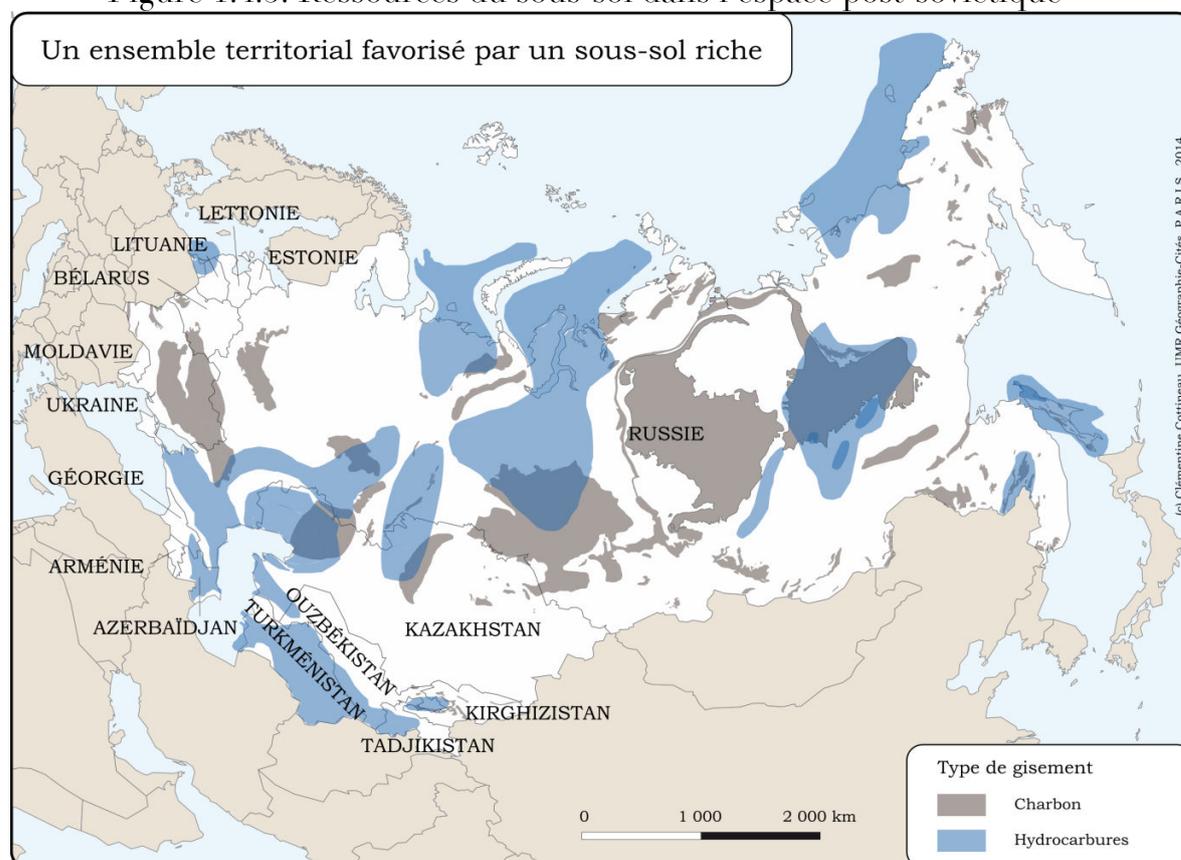
De la même manière, les gisements localisés de ressources sont considérés comme des facteurs structurants de la croissance urbaine, de manière prédominante avant la révolution industrielle, mais aussi durant celle-ci et après, lorsqu'elles correspondent à des cycles d'innovation particuliers (Pred, 1966 ; Sanders, 1992 ; Paulus, 2004 ; Bretagnolle, Pumain, 2010). C. Harris note la relation forte qu'il existe entre les croissances très rapides de villes soviétiques et la présence de ressources localisées comme le charbon, les minerais, le gaz ou le pétrole :

« In sharp contrast to the relatively stagnant agricultural and commercial centers of the west, 18 new industrial settlements of more than 100 thousand population in the east are boom towns, mighty symbols of the Soviet devotion to heavy industry... They are new creations of the Soviet period and are located near sources of raw material of energy or are centers of heavy industry. » (Harris, 1970, p.282).

Sans dresser la liste exhaustive des (nombreuses) ressources du sous-sol post-soviétique, nous avons cherché à compiler des informations sur les localisations de gisements de deux cycles économiques : le charbon d'une part, symbolisant le cycle d'innovation du début du XX^e siècle, et le pétrole et le gaz d'autre part, symbolisant le boom économique suivant. Entre 1998 et 2006, les exportations de la Russie sont toujours constituées, dans une proportion située entre 39 et 63%, par les hydrocarbures, et de 6 à 16% par les minerais et métaux (Garanina, 2009, p.5). Ces ressources étant très concentrées dans l'espace, nous attendons qu'elles puissent aider à l'interprétation de la croissance des villes situées à proximité durant une période donnée. Elles permettront aussi de préciser des profils de spécialisation très forts, nombreux en ex-URSS où la mono-industrie, notamment liée aux matières premières, est importante (Zemlyansky, 2011).

Le tracé des bassins charbonniers été obtenu au format *ShapeFile* pour l'ex-URSS sur le site de l'U.S. Geological Survey, d'après la numérisation des cartes d'A.V. Tyjnov et I. I. Molchanov (1976), tandis que le tracé des bassins d'hydrocarbures résulte de la numérisation d'une carte issue d'un ouvrage édité aux presses de la Défense nationale américaine, sur les défis stratégiques des États-Unis (Flanagan, Schear, 2008, p.178) (figure 1.4.3).

Figure 1.4.3. Ressources du sous-sol dans l'espace post-soviétique



Source : (Flanagan, Schear, 2008, p.178) (Tyjnov, Molchanov, 1976) numérisé par USGS
<http://pubs.usgs.gov/of/2001/ofr-01-104/fsucoal/html/project.htm>

1.4.2. Emploi et Investissements

Alors que les études sur les systèmes de villes s'appuient généralement sur des données concernant l'emploi et les secteurs économiques (Pumain, Saint-Julien, 1978 ; Sanders, 1992 ; Paulus, 2004 ; Pumain *et al.*, 2009 ; Swerts, 2013 ; entre autres), il n'a pas été possible ici de recueillir ce genre d'informations à propos des villes de l'ex-Union soviétique.

N. Vlasova (2003) rappelle les trois problèmes méthodologiques qui se posent :

- Il n'existe pas de données à l'échelle de toutes les unités locales.
- La structure héritée, par branches d'industries autrefois associées à un ministère dans la planification soviétique, ne recouvre pas la classification des fonctions urbaines selon des catégories observées dans d'autres pays.
- L'économie informelle, importante surtout dans les grandes villes, n'est pas comptabilisable.
- Elle recommande donc de s'en tenir aux chiffres d'expert, et de s'appuyer à propos des fonctions urbaines sur les tendances estimées plutôt que sur des descriptions détaillées.

Nous avons connaissance d'une base de données sur les activités économiques des villes, appelée « Passeports des villes de la Fédération de Russie » (*Pasporta gorodov RF*), utilisée notamment par D. Zemlyansky (2009). Elle aurait pu nous aider à dresser ces « tendances estimées », mais il semble qu'elle souffre aussi de lacunes : cette base ne concerne que les unités locales bénéficiant du statut de ville (*gorod*) et pas les bourgs de type urbain, elle n'offre pas de profondeur historique et ne concerne pas les autres pays de l'ex-Union soviétique.

Nous utilisons donc des sources hétérogènes pour caractériser le profil économique des villes, principalement la liste des 342 villes mono-industrielles désignées par la Fédération de Russie en 2013²⁸, la typologie de B. S. Khorev (1968), l'étude de T. Snyder (1993) sur les monopoles de production soviétiques et l'encyclopédie de G. Lappo (1994).

D'autre part, pour la période récente, nous avons pu avoir accès à deux extractions temporelles de la base ORBIS concernant les pays de l'ex-URSS. Cette base, issue du Bureau Van Dijk, et augmentée par C. Rozenblat, A. Bellwald et F. Zaidi, recense les filiations en chaîne des 3 000 plus grandes

²⁸ <http://www.veb.ru/common/upload/files/veb/br/mono/list342.pdf>

entreprises mondiales (à 40% de participation financière), soit 700 000 liens dont l'origine, la destination et l'activité sont renseignées. Une première exploitation de la base ORBIS pour l'année 2010 et la Russie seulement a été menée en collaboration avec C. Jayet dans le cadre de son mémoire de M1 (2012).

1.4.3. Démographie régionale

Enfin, nous avons tenté de replacer la trajectoire des villes dans leur contexte démographique par la constitution d'une base de données régionales pour les plus grands pays, et nationales pour les plus petits.

Les trois pays les plus étendus ont été subdivisés en niveaux sub-nationaux : la Russie en 83 « sujets »²⁹, l'Ukraine en 27 divisions (24 *oblasts*, un *oblast* autonome et deux villes à statut spécial, Kiev et Sébastopol) et le Kazakhstan en 14 provinces (*oblystars*) dont deux villes à statut spécial, Almaty et Astana (figure 1.4.4). Toutefois, cette structure révèle l'organisation administrative actuelle des Nouveaux États Indépendants, et la recherche de données démographiques sur un temps plus long a nécessité quelques ajustements de frontières afin d'assurer un suivi temporel.

Les données du recensement à l'échelon régional pour ces trois pays ont été collectées sur le même site que les données urbaines : demoscope.ru, pour la période 1959-2010. Les regroupements régionaux ont eu lieu principalement au Kazakhstan, et marginalement en Russie.

Au Kazakhstan, les mouvements de frontières ont été très fréquents entre 1959 et 2010, en réponse à des revendications identitaires fortes et du fait de tracés précédents particulièrement arbitraires dans ce pays durant l'Empire russe puis l'Union soviétique (Poujol, 1997 ; Huttenbach, 1998 ; Arel, 2002 ; Seys, 2009). Ainsi, de nombreuses provinces ont été successivement agrégées ou partitionnées, introduisant une grande complexité dans le suivi temporel. Nous avons donc agrégé ensemble les provinces ayant appartenu à la plus grande formation territoriale au cours du temps, aboutissant à 6 entités sub-nationales (figure 1.4.5). En Russie, nous sommes partie de la dernière organisation territoriale, et avons opéré des agrégations mineures, principalement dans les petites unités territoriales du Caucase. Ont ainsi été agrégés (figure 1.4.6) :

²⁹ 21 Républiques, 9 *kraïs*, 4 districts autonomes, 1 *oblast* autonome, 2 villes fédérales et 46 *oblasts*.

- le *kraï* et la République de l'Altaï,
- la République d'Adyguée avec le *kraï* de Krasnodar,
- la République de Karatchaëvo-Tcherkessie avec le *kraï* de Stavropol,
- l'Ingouchie, l'Ossétie du Nord et la Tchétchénie,
- le Birobidjan avec l'*oblast* de Khabarovsk,
- la Tchoukotka avec l'*oblast* de Magadan,
- la République de Khakassie avec Krasnoyarsk.

Les populations régionales correspondant à ces regroupements entre 1959 et 2010, ainsi que les populations nationales en ex-URSS sont disponibles dans la base de données DARIUS³⁰. Ces chiffres de population sont issus des recensements de la population, éventuellement agrégés par entités sub-nationales de suivi temporel, et estimées pour correspondre à des dates communes depuis 1989.

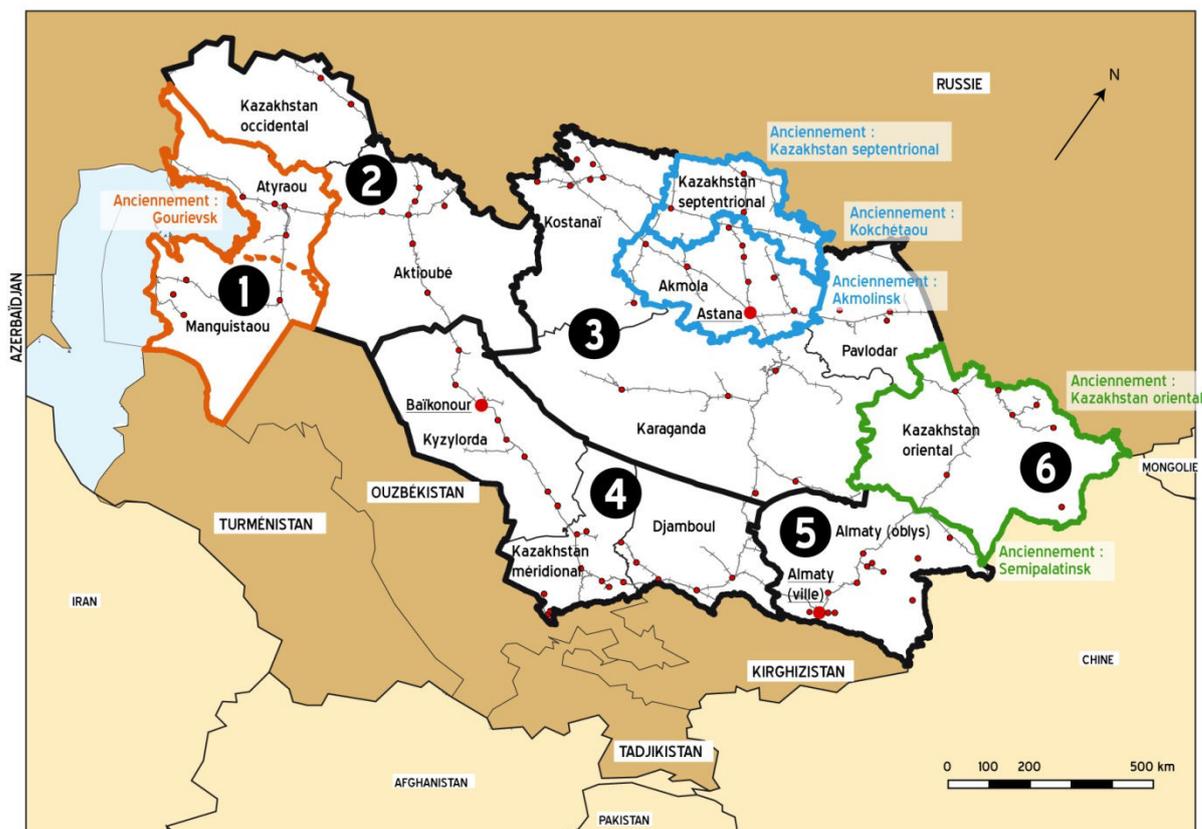
Figure 1.4.4. Hétérogénéité de surface des territoires de l'ex-Union soviétique



Source : <http://www.gadm.org/country>

³⁰ (Cottineau, 2014, FigShare, <http://dx.doi.org/10.6084/m9.figshare.1108081>).

Figure 1.4.5. Harmonisation des délimitations régionales kazakhes
**SUIVI TEMPOREL DES DONNÉES DÉMOGRAPHIQUES PROVINCIALES
 AU KAZAKHSTAN ENTRE 1959 ET 2010 : DARIUS-REG**



ENTITÉS TERRITORIALES

- Provinces kazakhes (oblystar)
- Anciennes républiques soviétiques
- Autres pays voisins

Voie ferrée

1 Entités sub-nationales résultantes

ENTITÉS URBAINES

- Ville de plus de 10 000 habitants en 2010
- Ville de plus d'un million d'habitants en 2010
- Ville kazakhe à statut spécial

**EXEMPLES D'OPÉRATIONS PERMETTANT LE SUIVI
 TEMPOREL DES DONNÉES PROVINCIALES**

- Regroupement d'entités
- Frontières administratives internes à ces regroupements

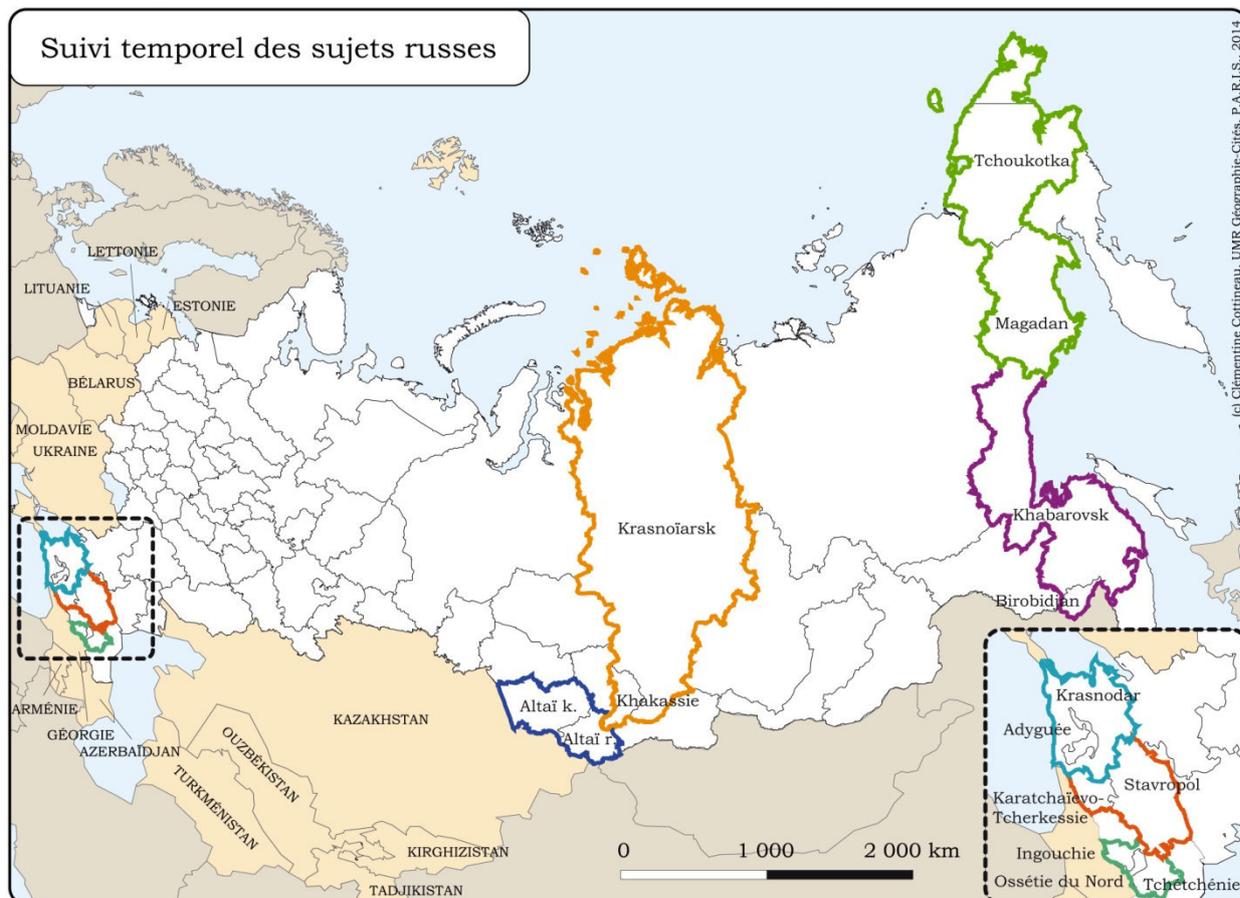
- Regroupement des provinces actuelles de Mangystaou et Atyraou = province de Gourievsk de 1938 à 1991
- Regroupement des provinces du Kazakhstan oriental et de Semipalatinsk de 1939 à 1997 = province actuelle du Kazakhstan oriental
- Regroupement des provinces du Kazakhstan septentrional, de Kokchetaou et d'Akmolinsk de 1936 à 1997 = regroupement des provinces actuelles du Kazakhstan septentrional et d'Akmola
- Morceau de la province d'Akmola récupéré par la province de Karaganda en 1997

Sources :
 DARIUS, 2014. D'après les recensements soviétiques et nationaux.
 Réseau ferré : Tijnov, Molchanov, 1976. www.usgs.gov

(c) Clémentine Cottineau, Géographie-Cités, P.A.R.I.S., 2014

Source : <http://www.gadm.org/country>, DARIUS, 2014

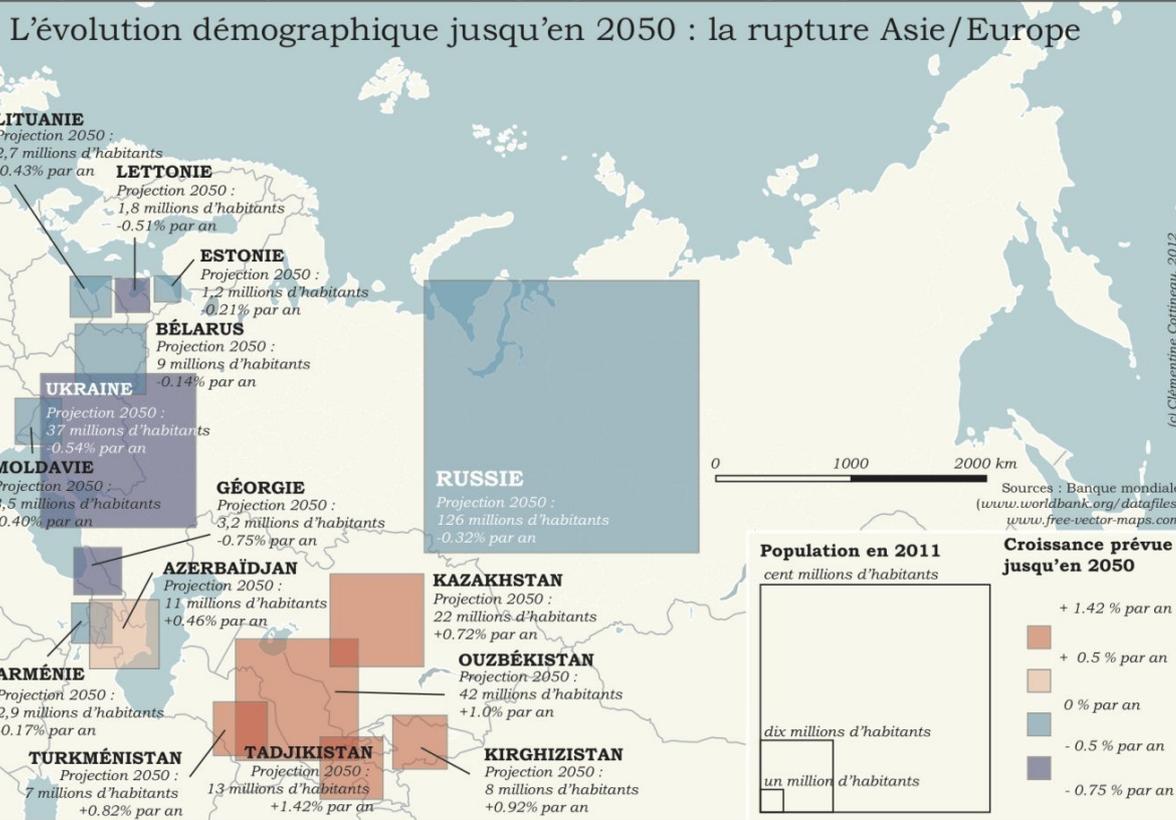
Figure 1.4.6. Harmonisation des délimitations régionales russes



Source : <http://www.gadm.org/country>, DARIUS, 2014

Nous attendons de cette base complémentaire qu'elle permette de rendre compte des effets de contexte démographiques pour étudier notamment la décroissance urbaine des dernières décennies. En effet, les quinze États issus de la chute de l'URSS ont des populations de masse et de composition très différentes (figure 1.4.7). L'Asie centrale notamment connaît un régime démographique beaucoup plus dynamique que la partie européenne et caucasienne de l'ex-Union soviétique. Sa transition urbaine, nous le verrons, n'est pas achevée. Nous chercherons donc pour l'étude des facteurs de croissance urbaine à éliminer cet effet de contexte par la prise en compte de l'évolution démographique de l'échelon géographique supérieur : les régions et/ou les États.

Figure 1.4.7. Projections démographiques dans l'espace post-soviétique



1.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons rappelé les principes de construction de bases de données urbaines harmonisées, en insistant sur le caractère construit du concept de ville, et sur la difficulté à suivre ces entités au cours du temps. En effet, la manière d’appréhender « ce qui fait ville » change au cours du temps, et se heurte à la persistance du tracé des mailles administratives issues de choix politiques antérieurs.

Nous avons passé en revue les différentes entreprises conduites par les spécialistes de l’ex-Union soviétique et de la Russie pour construire des bases de données urbaines, en insistant sur le défi que représente ce terrain de recherche. Trois registres d’insatisfaction persistent face aux exigences des comparaisons internationales : le besoin d’une délimitation cohérente de la ville, d’une information historique et d’un effectif de villes incluant la totalité du spectre urbain. Ces différentes exigences découlent aussi de l’hypothèse que les villes interagissent en système et de manière dynamique, et que seules des données intégrant ces propriétés peuvent nous permettre des analyses cohérentes sur un éventuel système de villes post-soviétiques.

La base DARIUS est donc la tentative proposée dans le cadre de cette thèse pour travailler avec des données qui soient les plus fiables, cohérentes et harmonisées possibles. Tous les défis énoncés quant à l’application des principes de construction de base de données à notre cas d’étude n’ont pas été relevés mais la construction de cette base nous permet tout au moins d’être consciente des biais et manques qui subsistent. Lors de la confrontation entre les données DARIUS et les données obtenues de manière automatisée dans la constitution d’autres bases de la littérature, la comparaison s’avère raisonnable et cohérente pour définir de cette façon les villes russes et soviétiques.

Cette base et les informations complémentaires collectées dans le cadre spatial le plus large de l’évolution des villes russes – l’ex-Union soviétique – sont rendues accessibles sous licence libre³¹. Elles constituent le socle des

³¹ (Cottineau, 2014, FigShare, <http://dx.doi.org/10.6084/m9.figshare.1108081>).

analyses qui seront développées dans les deux chapitres suivants (cf. Chapitres 2 à 4). Il s'agit de la matière première des expériences statistiques que nous utilisons pour tester des hypothèses concernant le caractère systémique des villes post-soviétiques, leur degré de genericité et de spécificité, leurs facteurs de croissance et de décroissance. Elles sont aussi l'étalon de l'évaluation des modèles de simulation qui seront présentés dans les derniers chapitres (cf. Chapitres 4 et 5), et c'est pourquoi l'explicitation et l'attention qui leur sont consacrées nous semblent si importantes.

Chapitre 2.

Un système de villes post-soviétiques ?

**De l'importance relative du « système » et du
« post-soviétique » dans l'évolution des villes
d'ex-URSS**

Sommaire du Chapitre 2

2.1. Un cas d'étude spécifique : des villes avant tout post-soviétiques ?	92
2.1.1. L'organisation intra-urbaine des villes socialistes	93
2.1.1.1. Un autre modèle de différenciation socio-spatiale : particularité systémique	93
2.1.1.2. Des villes « rurales » : particularité géo-historique	97
2.1.2. Des villes aux interactions contrôlées dans un territoire particulièrement centralisé	101
2.1.2.1. Des mobilités individuelles contraintes	102
2.1.2.2. La planification économique et le contrôle des échanges	106
2.1.2.3. La désintégration d'un ensemble territorial depuis 1991	108
2.1.3. Un ensemble régional où la loi de Zipf ne s'applique pas	109
2.1.4. Un semis de peuplement socialiste	116
2.1.5. La répartition des fonctions urbaines intégrée à l'échelle de l'ex-Union soviétique	120
2.2. Un cas d'étude comparable : des villes avant tout en système ?	122
2.2.1. Une économie pas si planifiée et l'auto-organisation des mobilités inter-urbaines	123

2.2.2. Hiérarchie et hiérarchisation	126
2.2.3. Espacement	136
2.2.4. Spécialisation fonctionnelle	141
2.3. Un système intermédiaire	146
2.3.1. La théorie évolutive des villes pour expliquer certains résidus	147
2.3.1.1. Hiérarchie et ancienneté de peuplement	148
2.3.1.2. Hiérarchie et politique	151
2.3.1.3. Espacement et colonisation d'un territoire immense	153
2.3.1.4. Spécialisation et gisements de ressources localisées	155
2.3.2. Ce qui reste singulier	157
2.4. Conclusion	159

Chapitre 2.

Un système de villes post-soviétiques ? De l'importance relative du « système » et du « post-soviétique » dans l'évolution des villes d'ex-URSS.

« Les organisation politico-administratives de territoires particuliers sont susceptibles de produire des variantes spécifiques du modèle général de système de villes, lorsqu'ils sont demeurés stables sur de très longues périodes » (Pumain, 1997a, p.127)

Ce chapitre se propose de confronter la littérature sur les villes soviétiques aux données urbaines présentées et évaluées dans le chapitre précédent pour répondre à trois questions centrales de cette thèse. On se demande tout d'abord s'il est possible d'user du concept de système de villes, au sens d'A. Pred (1977), pour décrire les interactions entre villes de l'ex-Union soviétique. Cette hypothèse suggère une deuxième interrogation, qui a trait aux limites d'un éventuel système de villes au cours du « grand XX^e siècle ». Ce système est-il post-soviétique, russe, ou s'agit-il d'une pluralité de systèmes régionaux comme le suggérait C. Harris en 1970 ? Enfin, la question de la comparabilité de ces villes avec d'autres villes dans le monde pose la question du degré de spécificité et de généralité qu'elles présentent, en référence aux modèles développés pour décrire et comprendre les villes et leur évolution. Nous procédons en trois étapes : tout d'abord, énoncer les éléments de la littérature postulant une spécificité intrinsèque aux villes post-soviétiques, liées à leur histoire et aux effets du fonctionnement communiste durant 70 ans. Ensuite, nous prenons le contre-point de cette hypothèse et proposons une autre approche de la question en appliquant les modèles de description et d'explication statistiques développés pour l'étude d'autres systèmes de villes. La synthèse de ces deux approches vise à démêler la part des processus génériques et celle des éléments de spécificité (liés au contexte géo-historique de l'ex-Union soviétique) dans l'évolution urbaine qui nous intéresse.

2.1. Un cas d'étude spécifique : des villes avant tout post-soviétiques ?

« La Russie est à la fois le pays le plus étendu du Monde et celui qui pose le plus de questions originales, par la nature de ses régimes successifs et le sens de ses mutations » (Brunet, 1996, p.212)

Nous proposons ici de synthétiser et classer les arguments plaidant en faveur d'une étude monographique des villes situées sur le territoire de l'ex-Union soviétique. De nombreux auteurs, en URSS et à l'étranger, ont en effet argué d'une spécificité de la ville socialiste, en en faisant un cas à part *a priori* (Svetlichny, 1959 ; Verlet, 1965 ; George, 1974 ; entre autres) ou en répondant par l'affirmative à la question de l'existence d'une ville socialiste (French, Hamilton, 1979 ; pour une synthèse des travaux relatifs à cette question). Quant aux géographes soviétiques, une partie importante de leurs travaux a été consacrée à une recherche appliquée à la planification locale, fondée sur la concrétisation des principes communistes dans l'économie municipale depuis la fin des années 1920 (Harris, 1970, p.30 ; Khorev, 1975 ; Lappo, Pétrov, 1986). Toutefois, les catégories d'analyse des géographes urbains soviétiques et « occidentaux » se recoupent partiellement, comme le suggère le programme de N. Baranskii après la Seconde Guerre mondiale :

« N. N. Baranskii [...] addressed himself first to the question of definition of a city and then turned to a typology of cities... He then expressed the opinion that in the classification of cities in the Soviet Union 5 aspects should be considered: (1) Time of origin of the city; (2) Economic-geographic location; (3) Functions performed by the city; (4) Size of the city (both in population and area); and (5) Tributary area of the city [...] Baranskii then proposed that the study of an individual city [...] should include the following topics: introduction, location and natural conditions of the city and its immediate vicinity, historical-geographic sketch, contemporary character of the city as a whole, the microgeography of the city (its internal structure), the immediate vicinity of the city, and in conclusion a look at the future. » (Harris, 1970, pp.30-31)

Nous tentons de résumer les arguments en faveur d'une approche monographique en présentant cinq types de particularité présents dans cette littérature : l'organisation socio-spatiale intra-urbaine des villes planifiées durant l'Union soviétique, le contrôle des interactions interurbaines découlant de la centralisation moscovite, l'exception soviétique dans la distribution

hiérarchique par le contrôle exercé sur les tailles de villes, l'effet des principes communistes sur la régularité du semis urbain et les effets de l'intégration économique planifiée sur la répartition des fonctions urbaines.

2.1.1. L'organisation intra-urbaine des villes socialistes

Si la répartition intra-urbaine des groupes sociaux et des activités ne constitue pas l'échelle d'analyse privilégiée de cette thèse, elle représente un élément majeur de compréhension des dynamiques et des enjeux urbains. Elle a d'autre part donné lieu à une littérature très riche et nourri une grande partie du débat sur la spécificité russo-soviétique. Le niveau méso-géographique de la ville est enfin celui de la définition des éléments dont nous étudions ensuite les interactions, et mérite à ce titre un bref retour critique quant à ses particularités.

2.1.1.1. Un autre modèle de différenciation socio-spatiale : particularité systémique

« Writing about the February Revolution in Russia, [...] Trotsky writes "it would be no exaggeration to say that Petrograd achieved the February revolution. The rest of the country adhered to it. There was no struggle anywhere except in Petrograd". He adds, "if the capital plays a dominating role in the revolution as though it concentrated in itself the will of the nation, that is simply because the capital expresses most clearly and thoroughly the fundamental tendencies of the new society." More prosaically, he points out that in Russia as elsewhere, the ruling class and those who sought to overthrow them naturally concentrated in the capital city, so, not to paraphrase Trotsky, this was where the action (mainly) was. The Soviet system was born, therefore, as an immediate consequence of an urban-based struggle for dominance. » (Harloe, 1996, p.1)

L'un des paradoxes majeurs de la révolution russe de 1917 vient du décalage entre les prévisions de Marx et Engels à partir de l'observation des sociétés urbaines et ouvrières de l'Angleterre du XIX^e siècle et la réalisation de la Révolution dans un pays encore profondément rural et où les ouvriers ne représentaient pas plus de 10% de la population active en 1917 (Werth, 2001). La ville et l'urbanisation ont donc été cette « grande mutation soviétique » dont parle l'historien M. Lewin. « Ainsi, au moment où la Russie soviétique adoptait la NEP¹, le pays se trouvait-il encore aux prises avec un monde paysan ancestral. [...]

¹ Nouvelle Politique Économique : 1921-1924.

Même si l'on espérait que le secteur urbain servirait de locomotive pour les progrès à venir, il restait encore après la Révolution ce qu'il était avant, à savoir profondément enkysté dans la société rurale. La plupart des villes étaient de petite taille et leurs origines rurales et leurs liens avec la campagne restaient tout à fait visibles. » (Lewin, 1989, p.39)

La mise en place des villes soviétiques a pu s'appuyer sur un socle de théories utopistes qui visaient précisément à construire « une ville nouvelle pour un homme nouveau », sur un terrain urbain encore relativement vierge. Les débats des années 1920 entre urbanistes et désurbanistes traitent de cette ville socialiste/communiste, différant des villes construites jusqu'alors par sa forme et les principes de sa construction (Kopp, 1967; Starr, 1977).

Deux références se révèlent incontournables dans ce débat : F. Engels d'un côté, qui dénonce les conditions de vie en ville et propose de supprimer l'oppression par le développement de l'industrie au-delà de l'opposition ville-campagne, et E. Howard de l'autre, qui, avec son concept de cité-jardin, constitue une troisième voie entre la ville industrielle et la campagne : un semis de petites villes (quelques milliers d'habitants) régulièrement espacées, entourées par des ceintures vertes et liées entre elles par des transports efficaces. De ces deux références, le groupe des urbanistes retient l'idée de la communauté égalitaire et favorise le développement de maisons communes où les tâches sont collectives, à égale proximité des usines et des champs, dans des unités urbaines réduites annulant la distinction entre centre et périphérie. Les désurbanistes au contraire rejettent l'idée même de ville et plaident pour une répartition régulière du peuplement et de l'industrie dans la nature, sous forme de bandes de colonisation ou de « rubans » réguliers d'habitat (Richard, 2002).

Si les idées d'avant-garde des années 1920, en termes d'architecture, sont vite abandonnées au profit d'un urbanisme de façade exhibant un conformisme classique sous Staline (De Gasperin, 2006), il persiste dans l'urbanisme soviétique une spécificité forte : la création de nombreuses villes nouvelles *ex-nihilo* (Bayou, Le Bourhis, 2007). Selon les auteurs, on dénombre entre 1 200 et 1 500 créations urbaines en soixante ans de régime soviétique (Pertsik, 1991 ; Motta, 2007). Ces villes transcrivent plus ou moins fortement les idées issues des avant-gardes. Sur la forme urbaine, il s'agit notamment de la présence des espaces verts (Shaw, 1979 ; Brunet, 1996).

« Depuis 1926, environ mille villes nouvelles ont surgi en URSS, et les anciennes villes ont complètement changé de physionomie, principalement au cours des premiers plans quinquennaux. C'est l'industrialisation rapide du pays qui a entraîné la formation de villes à un rythme aussi impétueux. Là où il n'y avait que de minuscules masures ont surgi des blocs d'immeubles à plusieurs étages, bien aménagés ; les rues et les ruelles tortueuses sont devenues de longues routes asphaltées. Nous ne nous

souvenons déjà plus de l'aspect d'Iékatérinbourg, de Novo-Nikolaïevsk, de Kouznetsk, de Samara, de Tsaritsyne, avant les premiers plans quinquennaux ; aujourd'hui, nous avons sous les yeux de vastes centres industriels et culturels : Sverdlovsk, Novossibirsk, Stalinsk, Kouïbychev, Stalingrad. » (Svetlichny, 1959, p.552)

Sur le plan social, sont mis en place l'organisation en unités d'habitation (*microraïon*²) et l'homogénéisation de la répartition des groupes sociaux dans l'espace intra-urbain (avec toutefois des secteurs, immeubles ou rues privilégiés par les élites). Ces particularités sont mises en avant par les enthousiastes du régime...

« La cité socialiste soviétique est basée sur des principes totalement différents. L'unité de classe de la société soviétique, l'absence d'exploitation et de chômage, la suppression de la propriété privée du sol, le système d'économie nationale planifiée, le souci de donner les meilleures conditions de vie à l'ensemble de la population, tout cela fournit des possibilités sans précédent pour perfectionner constamment nos villes. » (Svetlichny, 1959, p.552)

... comme par les chercheurs occidentaux.

« the distinctiveness of the Soviet city in its lack of functional differentiation is matched by its lack of social segregation » (French, 1979, p.97).

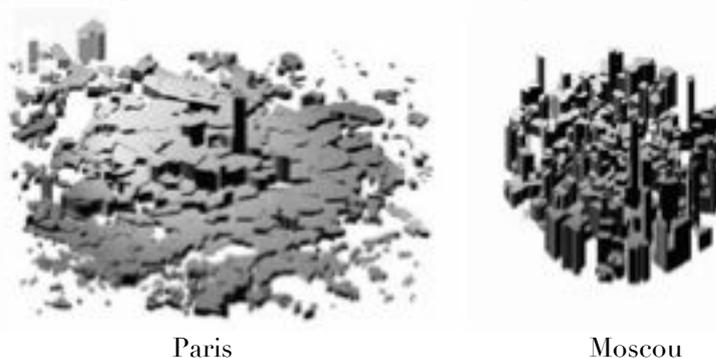
R. French et F. Hamilton relèvent dans leur ouvrage de 1979 les différences qui subsistent entre Républiques d'ex-URSS, ainsi qu'entre l'URSS et les pays satellites. Elles concernent des éléments d'architecture et l'offre de certains services (comme les cafés en Pologne ou les glaciers yougoslaves). Mais selon ces auteurs, toutes les villes se ressemblent en ce que la différenciation socio-spatiale y est micro-locale (au niveau de l'immeuble par exemple) plutôt qu'à l'échelle des différents districts. S. Lehmann et B. Ruble (1997) notent la persistance d'une faible ségrégation par la richesse après 1991, mais décèlent une séparation spatiale des groupes d'âge d'après l'exemple de la ville de Iaroslavl.

Ces villes se distinguent enfin par leur densité humaine et leur compacité architecturale particulièrement forte (Bertaud, Renaud, 1995 ; Bertaud, 2004 ; figure 2.1.1), associée à la forme du *microraïon* et au caractère administré de la

² Le *microraïon* est, selon son concepteur Stroumiline, le « cadre pour la vie socialiste, étant une communauté auto-suffisante de quartiers résidentiels, incluant des dortoirs, des cantines et des lieux de récréation, des crèches, écoles et centres médicaux locaux, la présence de magasins » (Matthews, 1979, p.9-10, traduit de l'anglais), et ce pour 10 à 12 000 habitants.

gestion urbaine, de la propriété du sol et de l'économie. La périurbanisation prend la forme concentrée de villes-satellites (*goroda-spoutniki* ; Davidovitch, 1961), associant les activités résidentielle, industrielle et récréative, et/ou de résidences alternatives comme les *datcha* et *cottages* (Ioffe, Nefedova, 2001 ; Tammaru, 2001 ; Makhrova, 2006 ; Nefedova, 2011 ; Sýkora, Bouzarovski, 2012).

Figure 2.1.1. Un profil de villes denses : comparaison Paris-Moscou



Source : (Bertaud, Renaud, 1995, fig.1).

P. George fait de la ville socialiste une catégorie à part, même si les différences sont selon lui moindres que celles qui persistent entre pays développés et sous-développés : « *les villes toutes neuves de la Sibérie, les villes de Biélorussie, d'Ukraine, de l'Ouest de la Grande Russie, rebâties sur les cendres de leur passé définitivement effacé par les destructions allemandes de 1941-44, appartiennent déjà à un type original centré sur la substitution de l'appareil d'État à la gestion privée du secteur commercial et sur la priorité de l'industrie comme facteur d'urbanisation.* » (George, 1974, p.8).

Enfin, comparant la répartition des activités dans les tissus urbains américains et soviétiques, T. Reiner et A. Wilson (1979) relèvent une organisation relativement proche des services et des commerces, ainsi qu'un gradient de densités résidentielles similaire, mais notent une particularité des villes socialistes : il s'agit de la surreprésentation dans le centre d'activités culturelles, éducatives et administratives, très accessibles pour les citoyens. En revanche, la ville soviétique se singularise par un mauvais équipement en services de base pour sa population résidente, et la saturation des transports en commun par les navettes domicile-travail (French, 1979).

Toutes les particularités relevées jusqu'à présent découlent du modèle de construction de la ville sous un régime administré où la propriété du sol est entre les mains de l'État. Elles tiennent donc d'une spécificité systémique dans la répartition des activités et groupes sociaux à l'échelle intra-urbaine. La transition démocratique modifie peu à peu les pratiques de la gestion locale

(Gazier, 2001 ; Kaganskyi, 2004 ; Zimin, 2004), l'allocation de la terre (Trutniev *et al.*, 2004) et la planification urbaine (Iyer, 2003), toutes choses qui affectent profondément le fonctionnement de la ville et de ses relations, mais de façon relativement lente, qui fait que l'on différencie encore aujourd'hui une ville post-socialiste (Stanilov, 2007 ; Sýkora, Bouzarovski, 2012).

Une seconde partie de la littérature consacrée à la particularité des villes soviétiques s'attache à leur caractère semi-rural, qui proviendrait plutôt d'une dépendance au chemin historique de la Russie (*path-dependency*), renforcée par ailleurs par l'industrialisation accélérée promue par le régime soviétique.

2.1.1.2. Des villes « rurales » : particularité géo-historique

« Ce cadre de vie semi-rural semi-urbain donne corps au désir exprimé par A. Allais de mettre les villes à la campagne, mais à l'envers : en Russie, c'est la ville qui, bien souvent, a un air de campagne. » (Eckert, 2007, p.142).

Le paradoxe de la « ville rurale » concerne à la fois la ville impériale russe et ses héritières soviétiques. Il fait référence à la forte représentation des citadins d'origine rurale aussi bien qu'à une culture rurale transmise et « syncrétisée » dans ces villes, ou à des éléments de paysage urbain. Les causes principales en sont la lenteur du décollage et la rapidité consécutive de l'urbanisation qui caractérisent cet ensemble territorial.

Le décalage temporel de l'urbanisation en Russie, par rapport aux foyers urbains d'Europe et d'Asie, est attesté par les études comparatives de G. Rozman (1976) et P. Bairoch (1985), à partir du Moyen Âge. Selon P. Bairoch, entre 1400 et 1700 :

« On rencontre des villes petites et clairsemées et des pays où le taux d'urbanisation varie entre un minimum de 4-5% et un maximum de 7-8% [...]. D'ailleurs, beaucoup des villes de la vaste Russie étaient non seulement de faible taille, mais à la limite du rural, en raison de la dominance des activités agricoles de leurs habitants. » (Bairoch, 1985, p.236).

« Ce retard de l'histoire urbaine russe ne s'explique pas seulement par la naissance tardive du fait urbain, mais aussi par le caractère troublé de l'histoire de ce pays. Les invasions mongoles, qui ont commencé en 1237, vont faire passer durant près de deux siècles la Russie sous la domination directe ou indirecte de la "Horde d'Or". Et si les incursions répétées des Tartares n'ont pas eu ce caractère dévastateur que leur prête l'histoire

traditionnelle, il n'en reste pas moins que la vie économique, tant urbaine que rurale, en a été profondément perturbée. » (Bairoch, 1985, p.224)

Le rattrapage n'en est que plus rapide, nourri par un afflux massif de migrants durant les XVIII^e et XIX^e siècle, d'autant plus après l'abolition du servage en 1861 qui libère de nombreux paysans de la terre à laquelle ils étaient auparavant attachés. Leurs parcours, analysés par D. Browser (1990), consistent généralement en une première migration de la campagne vers la ville, puis en une succession de migrations interurbaines au gré des emplois offerts, marquant toutefois la culture urbaine de leur présence : « *However short and transitory their stay in any one city, the migrants left a strong imprint on the social complexion of Russian urban areas.* » (Browser, 1990, p.80). Les migrants paysans de la Russie impériale de la fin du XIX^e siècle représentent entre le tiers et les deux tiers de la population des villes.

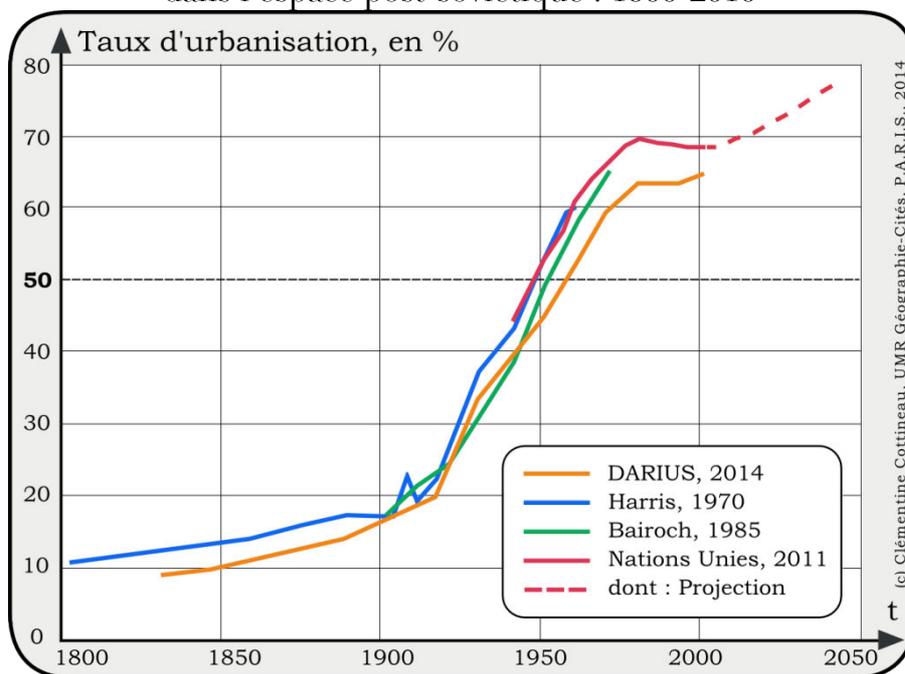
De plus, le moteur économique de l'urbanisation à la fin du XIX^e siècle est moins l'industrialisation que le développement du commerce par l'exportation des produits agricoles russes, qui permet la mise en réseau des villes *via* la construction de voies ferrées et l'organisation de foires périodiques (Rozman, 1976 ; Browser, 1990) :

« Russia's huge land mass, continental setting, and conditions favoring extensive methods of farming influenced urban development in several ways. Most importantly, given available transportation technology, these factors reduced accessibility to markets and to jobs, which probably impeded urban growth, at least in comparison to Japan. At the same time, they increased the relative profitability of fairs, which developed on a far greater scale than in either China or Japan. » (Rozman, 1976, pp.156-157)

« Agricultural marketing brought manufacturing as well as trading activities into urban economies. The processing of farm products gave a new industrial dimension to urban business. The first census of Kiev, conducted in 1874, found 10 percent of the active population in trade and transportation and 20 percent in manufacturing, and food processing was the principal manufacturing sector. » (Browser, 1990, p.63)

Cette première étape de la transition urbaine reste toutefois faible, aboutissant à un taux d'urbanisation de 15% en 1913 (Vendina, 2007). La véritable expansion urbaine date de l'industrialisation massive des années 1920 et 1930 (figure 2.1.2). « *De 1926 à 1939, la population urbaine s'accrut de 30 millions, dont au moins 23, peut-être 25 millions, étaient des paysans ayant quitté leur village depuis la collectivisation.* » (Werth, 2001, p.281).

Figure 2.1.2. Mesures de la transition urbaine dans l'espace post-soviétique : 1800-2010



Sources : DARIUS, 2014. Délimitation de l'URSS de 1840 à 2010 (Harris, 1970, pp.232-233). Délimitation de l'Empire russe : 1811 à 1913, URSS : 1917 à 1969. (Bairoch, 1985, p.390). Délimitation de l'URSS de 1910 à 1980. (Nations Unies, 2011). Délimitation de l'URSS de 1950 à 2050.

Une façon d'expliquer le paradoxe des « villes rurales » provient ainsi du fait que les villes soviétiques sont marquées par l'origine rurale de leurs habitants. « *Les conséquences des vastes processus historiques qui se sont déroulés et des interventions politiques directes se retrouvent dans la répartition actuelle de la population urbaine : [...] entre 1 et 5% [d'entre elle est composée] de paysans kolkhoziens, la plupart de ceux-ci vivant dans de petites villes et travaillant dans un kolkhoze voisin.* » (Lewin, 1989, p.77). Ainsi, seulement 5 à 17% des citoyens de plus de 60 ans et 40% des quadragénaires étaient nés en ville en 1989 (Pivovarov, 2001, p.107). Les autres, d'origine rurale et/ou paysanne, alimentèrent une culture urbaine qualitativement différente de la culture des sociétés urbaines occidentales, selon You. Pivovarov (2001). De plus, « *La croissance démesurée, anarchique, imprévue des villes transforma une situation du logement déjà précaire en une situation catastrophique (à Moscou, par exemple, le nombre de mètres carrés habitables disponibles par habitant passa de 6 en 1928 à moins de 4 en 1939), dont les séquelles sont aujourd'hui encore loin d'être effacées.* » (Werth, 2001, pp.281-282).

L'urbanisation « en milieu rural » (*po-derevenski* ; Vichnevski, 2000), provient selon G. Lappo de quatre raisons différentes (2005, §3) :

- l'origine rustique des villages promus au rang de ville³ ;
- l'annexion de villages par les grandes villes lors de l'extension des frontières administratives ;
- la superficie très large des villes russes et les mesures d'urbanisme qui ont maintenu de grands districts ruraux dans les villes ;
- l'impressionnant exode rural du XX^e siècle.

Le caractère rural de la société urbaine se manifeste enfin par la « culture des parcs » (Shaw, 1979, p.125) et la tradition agricole des *datcha* (Ioffe, Nefedova, 2001 ; Nefedova, 2011), qui contribuent à façonner un paysage rural au cœur des villes. Aujourd'hui encore, il reste dans le paysage urbain post-soviétique des marqueurs de cette « ruralité », comme en témoignent les constructions en bois ou en brique de maisons individuelles à étage unique dans les quartiers péri-centraux de grandes villes (figure 2.1.3). A. Treivish estime qu'une ville sur trois en Russie est un gros village où domine le « secteur privé », c'est-à-dire des maisons basses individuelles entourées d'un jardin et tenues par des familles pratiquant l'élevage et le maraîchage (Treivish, 2003).

Figure 2.1.3. Paysage rural au cœur des villes d'ex-URSS



Vladimir, 2012 - Clichés : C. Cottineau - Rostov-sur-le-Don, 2010

Toutes ces particularités intra-urbaines se rapportent indirectement aux problématiques macro-géographiques de cette thèse. Elles ont sans aucun doute contribué à façonner, dans les représentations des auteurs soviétiques et occidentaux qui les ont pratiquées, l'image d'un développement urbain spécifique et original, auquel les concepts et méthodes de géographie urbaine traditionnelle ne pouvaient pas s'appliquer. C'est à ce point que nous consacrons les quatre sous-parties suivantes, en synthétisant les arguments plaçant en défaveur de l'utilisation du concept de système de villes et des propriétés qui lui sont généralement associées : hiérarchie, espacement et différenciation fonctionnelle (Pumain, 1997a).

³ G. Lappo note avec humour les stigmates toponymiques de ce phénomène, citant les villes qui ont conservé leur nom rural (par exemple Sosnoka, de *sosnov* : pin).

2.1.2. Des villes aux interactions contrôlées dans un territoire particulièrement centralisé

« The command economy is organized as a hierarchy, with the national political leadership at the top, production units at the bottom, and several layers of economic and political authority in between. Production units are told by the authorities what and how to produce and where to ship the products. [...] Interactions among production units are handled by the top of the hierarchy. »
(Kontorovitch, 1988, p.879)

Le concept de système de villes est-il pertinent pour l'étude des villes post-soviétiques durant le grand XX^e siècle ? La réponse à cette question n'est ni définitive ni évidente. Elle dépend de la mise en évidence d'interactions continues, diversifiées et plus ou moins auto-organisées. Dans cette sous-partie, nous exposons les arguments qui plaident en faveur de l'absence ou de la faiblesse de ces interactions, et dès lors de l'utilisation inadaptée du concept de système pour décrire l'évolution des villes situées dans l'espace post-soviétique.

Les auteurs qui développent ces arguments considèrent que le régime soviétique a en effet exercé un contrôle significatif sur :

- les mobilités individuelles, en régulant l'accès des migrants à la ville, *via* l'instauration d'un passeport intérieur (*propiska*) dont l'acquisition était conditionnelle à l'occupation d'un emploi et d'un logement urbain ;
- les échanges économiques interurbains, en planifiant l'implantation des entreprises sectorielles, ainsi que les réseaux de fournisseurs et de clients.

« The obvious questions at the core of a study of Russian urbanization concern whether the system of severe population control mattered and, if so, how it affected urban growth and economic development. There were substantial controls during the Tsarist era, and these increased further in the Soviet epoch. These included the quasi-enslavement of serfdom, restrictions on regional residence and rights to live in cities by Jews and other minorities, banishment to remote areas for political or criminal offenses, and an internal passport system during the Tsarist era. The

Soviet era was accompanied by even stronger controls and assignment of individuals to workplaces to meet industrial needs. [...] we conclude that differences in economic structure were central to this outcome, while population control mainly affected the distribution of city sizes rather than the overall urban population. » (Becker et al., 2012, p.4)

D'autre part, la validité du concept de système de villes à l'échelle de l'ensemble de l'ex-URSS n'est pas évidente depuis la création de 15 Nouveaux États Indépendants fin 1991, entre lesquels les hommes, les marchandises, le capital et les informations ne circulent plus aussi librement qu'à l'époque de l'Union soviétique.

2.1.2.1. Des mobilités individuelles contraintes

« Restrictions on Soviet citizens' rights, so well known in the West, include limitations on the rights to foreign and domestic travel and, their corollary, the right to choose one's residential location [...] particularly in the largest cities. » (Clayton, Richardson, 1989, p.155)

Les tentatives de contrôle et de régulation des mobilités individuelles ne datent pas de 1917 et ne sont pas spécifiques à l'Union soviétique : les autorités de l'Empire russe avaient déjà instauré des passeports intérieurs au XIX^e siècle après l'abolition du servage (Browser, 1990) ; et le *hukou* chinois, institué dans les villes depuis 1951 relève de la même stratégie de contrôle politique des migrations (Chan, Zhang, 1999).

« Not all citizens of the FSU⁴ were issued internal passports, a required document for travel and migration. In addition, a number of medium and large cities were "closed" with legal residence in such cities requiring an appropriate document (propiska). However, throughout the Soviet era, with important temporal and spatial variation, the urban sector grew, the result of internal (urban) growth, migration, and administrative reclassification. Thus, while there seemed to be a general assumption in the West that mobility could indeed be effectively limited in a controlled society where controls existed it was not evident that these controls were effective. » (Gang, Stuart, 1999, pp.117-118)

⁴ Former Soviet Union

Quant aux villes fermées (*ZATO*), qui seraient les exemples les plus impressionnants de contrôle absolu de la mobilité, G. Lappo et P. Polyan (1998) affirment qu'elles concernaient un million et demi d'habitants dans 47 enclaves en 1992, « *exclues de la vie du district environnant* » (Lappo, Polyan, 1998, p.45, traduit du russe). Ces villes étant contrôlées par les ministères stratégiques de la Défense et de l'Énergie atomique, les chercheurs et les citoyens ont dû attendre les années 1990 pour connaître leur existence et leur localisation⁵. Leur accès était extrêmement restreint et les interactions avec les villes et localités voisines nulles. C'est ce qui a permis leur extrême spécialisation, à la fois fonctionnelle et sociale, avec une population pouvant se composer à 50% de chercheurs (Lappo, Polyan, 2008). Aujourd'hui encore, un permis doit être émis pour en permettre l'accès.

Enfin, les migrations ont été contrôlées de manière paroxysmique par la politique de colonisation et les déplacements forcés de populations et de prisonniers, qui connaissent des itinéraires similaires (cf encadré 2.1.1). De fait, les déplacements forcés et la dynamique de localisation des camps de travail sont aussi une réponse aux échecs de la politique de colonisation par incitation (Blum, 2004) et de la politique de contrôle des mobilités individuelles :

« La fluidité de la main d'oeuvre n'était pas uniquement le fait des ouvriers non qualifiés venus directement de la campagne, mais elle touchait également les ouvriers spécialisés qui jouaient sur la concurrence entre les directeurs d'entreprises, car l'État était incapable de maîtriser les flux de main d'oeuvre, sauf pour les détenus, ce qui explique sans doute le recours de plus en plus large au travail forcé. » (Van Regemorter, 1997, p.51)

La déportation massive de populations a connu trois périodes majeures : la « dékoulakisation » de 1930-1931, durant laquelle 1.8 million de personnes furent déportées vers le Nord, l'Oural, la Sibérie et le Kazakhstan puis « *laissés à leur sort dans la taïga, au terme d'une "déportation-abandon" unique en son genre* » (Werth, 2001, p.239) ; la déportation sur critère ethnique d'avant la Seconde Guerre mondiale, de 300 000 personnes « *dont 170 000 Coréens de la région de Vladivostok déportés au Kazakhstan en 1937, 60 000 Finlandais de la région de Léninegrad déportés en Sibérie* » (Werth, 2001, p.289). Enfin, la déportation pour crimes de guerre et collaboration de peuples entiers entre 1941 et 1944 : un million d'Allemands de nationalité soviétique en 1941, puis « *entre octobre 1943 et juin 1944, six autres peuples furent déportés en Sibérie et en Asie Centrale pour avoir "collaboré" avec l'occupant : les Tatars de Crimée (200 000 personnes environ), les Tchétchènes (400 000), les Ingouches (100 000), les Kalmouks (140 000), les Karatchaïs (80 000), les Balkars (40 000).* » (Werth, 2001, p.376).

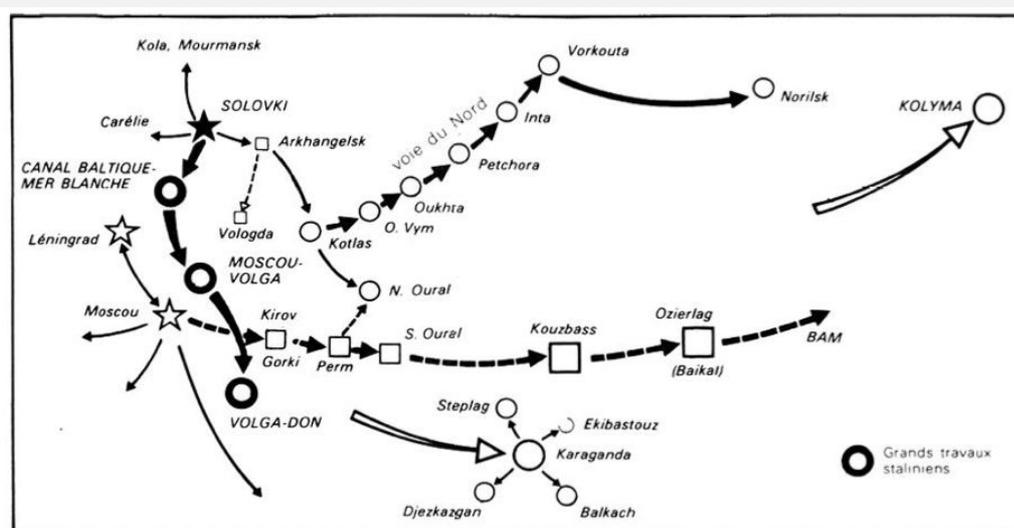
⁵ Leurs noms n'indiquaient souvent qu'une situation géographique régionale, par exemple Krasnoïarsk-26 et Krasnoïarsk-45 (actuellement Jelesnogorsk et Zelenogorsk) dans le *kraï* de Krasnoïarsk; Sverdlovsk-44 et Sverdlovsk-45 (Novoouralsk et Lesnoï) dans l'*oblast* de Sverdlovsk.

Ces déplacements sont parfois allés de pair avec des emprisonnements et/ou des assignations à résidence dans la région de déportation, parfois durant des périodes très longues. « *La population pénale connut une très forte croissance à partir de 1945, passant de 1 300 000 (début 1945) à plus de 2 500 000 (début 1953). Parallèlement, le nombre de “déplacés spéciaux” assignés à résidence dans des “villages de peuplement”, augmenta considérablement (de 1 700 000 en 1943 à 2 750 000 au début de 1953).* » (Werth, 2001, p.384). Cette « géographie du GOULAG » (Brunet, 1981) a concerné quinze millions de soviétiques durant la période stalinienne, dont un million et demi de personnes qui y sont mortes. Il est donc nécessaire de rappeler la prégnance de la restriction des mobilités sur les trajectoires de vies individuelles des soviétiques.

La restriction des mobilités individuelles est aussi un indicateur du contrôle étatique continu durant toute la période d'étude, qui pourrait remettre en cause l'hypothèse d'interactions entre villes aboutissant à un système de villes, où, « *à tout changement dans la composition sociale, économique et fonctionnelle d'une ville répondent des changements dans la composition sociale, économique et fonctionnelle des autres villes* » (Pred, 1977). Pourtant, « *l'ampleur de la mobilité dans les années 30, et la séparation entre ce qui pourrait être caractérisé par une certaine spontanéité (pour autant que l'exode rural soit spontané) et ce qui était la conséquence de déplacement forcé, reste encore très mal connue* » (Blum, 1997, p.162). Par conséquent nous nous attachons dans la suite à évoquer la centralisation et le contrôle des interactions interurbaines dans le domaine de la production économique.

Encadré 2.1.1. Géographie du GOULAG

« Contrairement au Goulag post-stalinien, [...] l'essentiel des camps se situaient alors dans les régions pionnières les plus lointaines et les plus rudes, allant des déserts arides de l'Asie centrale aux pôles du froid de la Yakoutie. À la fin des années 1940, l'univers concentrationnaire soviétique avait déjà une histoire longue d'un quart de siècle. Le premier lieu marquant le début de l'organisation d'un véritable système fut Solovki : c'est assez symboliquement dans ces petites îles de la mer de Mourmansk, par 65° de latitude Nord, que commença à se structurer, à partir d'un important monastère devenu forteresse stratégique, puis pénitencier sous le régime tsariste, l'archipel du Goulag, en 1923. À la fin des années 1920, [les îles] Solovki assaillèrent sur le continent des chantiers pour les voies de communication et les coupes de bois en Carélie, ainsi que dans les régions de Mourmansk, d'Arkhangelsk et de Vologda. Le premier grand chantier pénitentiaire stalinien fut, tout près, celui du Belomorkanal (canal Baltique – mer Blanche) de 1931 à 1933. En même temps, avançait, par étapes, une voie jalonnée de camps plus ou moins permanents : à partir du carrefour stratégique de Kotlas, cette "voie du Nord-Est" poussait ses rails, ses coupes de bois et ses mines vers Oust-Vym, puis Oukhta, Petchora, Vorkouta, Solikamsk notamment, l'autre vers les régions arctiques (Salekhard, puis Norilsk), où furent transférés, en 1939, les derniers occupants de Solovki. Dans la seconde moitié des années 1930, une autre voie concentrationnaire se dirigea, au Sud de l'Oural, vers le Kouzbass, le Baïkal (groupe de camps de l'Ozerlag) et l'Amour (groupe de camps du Bamlag). À la même époque, deux contrées au moins, le cœur du Kazakhstan et la Kolyma, se couvrirent de camps. » (Werth, 2001, pp.383-384)



Source : (Brunet, 1981, p.219)

2.1.2.2. La planification économique et le contrôle des échanges

L'économie planifiée et centralisée mise en place en URSS a fait l'objet d'un grand nombre de travaux en Union soviétique et d'une curiosité importante chez les économistes occidentaux. Sans dresser une revue exhaustive de ces travaux, nous tentons de retracer ici les aspects spécifiques de ce type d'économie tel qu'il est décrit dans la littérature, en nous attachant aux éléments de contrôle de la production et des échanges. E. Neuberger (1968), sur la base des travaux d'H. Levine (1959), note six éléments clés de ce système de planification :

- son aspect **socialiste**, avec la propriété étatique des moyens de production ;
- la **centralisation bureaucratique** de la gestion de l'économie, qui conduit des plans détaillés de production physique ;
- la **pression** exercée sur les taux d'épargne et d'investissement, ainsi que sur les chaînes de production ;
- la définition de **priorités** politiques dominant les considérations économiques ;
- le **développement extensif** de la production par l'adjonction croissante de facteurs de production (capital et travail) ;
- le caractère **fermé** de l'économie et la structure subséquente de la production en l'absence d'échanges extérieurs.

Ainsi, en fonction des objectifs politiques de production définis par les autorités à différentes échelles territoriales, les plans détaillent les objectifs de production pour chaque bien et consommation intermédiaire, par unité de production. Ces plans présentent des temporalités variées : des plans quinquennaux définissant les tendances de développement globales aux plans annuels, aux plans de plus court terme permettant de définir l'allocation adéquate des facteurs disponibles en fonction des objectifs de production (Manove, 1971).

La compétence de planification économique est gérée et dirigée par le Gosplan entre 1921 et 1991. Le degré de centralisation du système de planification a pu fluctuer au cours du temps, comme le rappelle N. Werth :

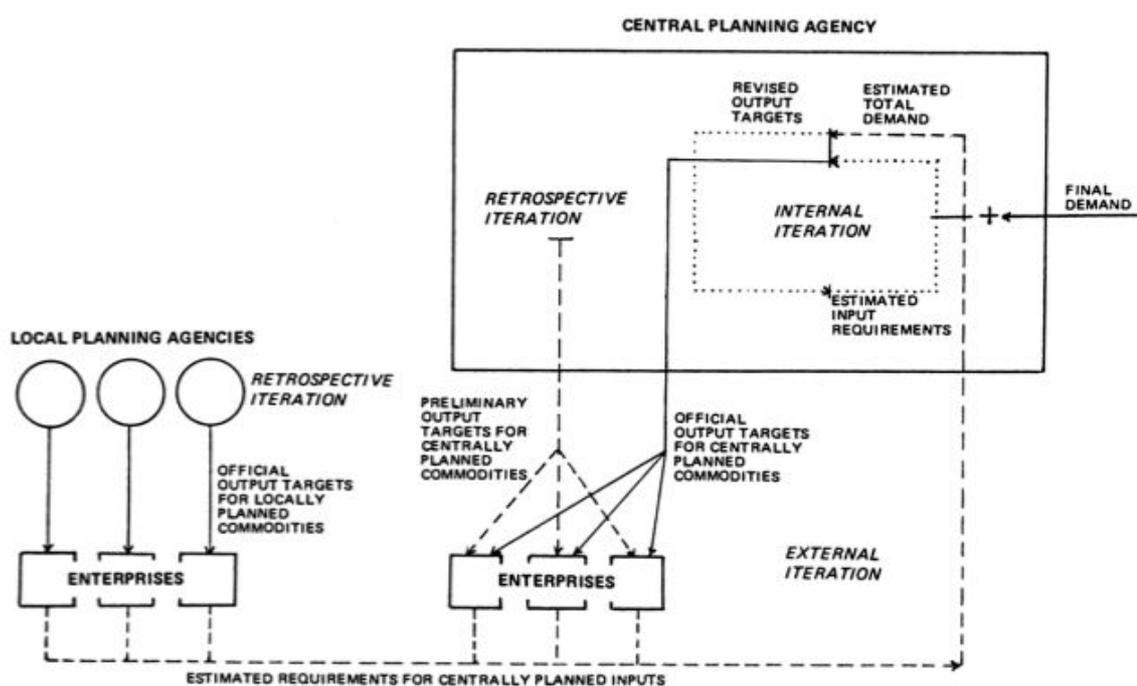
« Contre une décentralisation excessive, qui laissait libre champ aux chauvinismes locaux et affaiblissait le contrôle du Centre sur les agents locaux de l'économie, responsables de certains "dérapages", les centralisateurs remportèrent quelques succès. Le plus notable fut, en 1960, la création, dans chacune des trois principales républiques – Russie, Ukraine, Kazakhstan –, d'un "sovnarkhoze de République" (à eux trois, ces organismes coiffaient 80% des sovnarkhozes soviétiques, réduisant ainsi considérablement la portée décentralisatrice de la réforme de 1957). [...]

Quelques mois plus tard (mars 1963), un nouvel organisme paracheva l'édifice centralisateur remis en place fin 1962 : le Conseil supérieur de l'Économie nationale, qui coiffait toutes les instances économiques, y compris le Gosplan, le Gosstroï, et les comités d'État, recréés en lieu et place des ministères supprimés en 1957. » (Werth, 2001, pp.454-460)

Le Gosplan est organisé en départements associés aux différentes branches économiques dont les objectifs sont établis par les ministères correspondants, et comprend des services pour les statistiques et l'estimation de la demande. Il communique enfin avec les organes de planifications locaux. M. Manove (1971) décrit ce processus itératif de communication entre unités de planification en quatre étapes (figure 2.1.4) :

- la spécification des objectifs agrégés de production, assignés ensuite individuellement aux entreprises en fonction de la demande de l'année précédente ;
- l'estimation de la demande en fonction des prévisions de consommations intermédiaires des entreprises pour atteindre les objectifs globaux ;
- la révision des objectifs globaux pour ajuster offre et demande prévisionnelles ;
- la spécification d'objectifs agrégés définitifs, désagrégés puis assignés aux entreprises individuelles.

Figure 2.1.4. Organisation administrative de la planification économique soviétique



Source : (Manove, 1971, p.394)

Il émane de cette description formelle du processus de planification de la production une emprise totale de l'État et du Gosplan sur la spécialisation des entreprises et leurs interactions. Sachant que la localisation des entreprises dans la ville et entre villes est aussi planifiée, on aboutit à une image très rigide et contrôlée des interactions interurbaines. Il serait encore possible de parler de système de villes, au sens où la modification de la structure de production d'une ville aura des répercussions sur les consommations intermédiaires des villes avec lesquelles elle interagit, mais dans un sens très différent de celui auquel se réfère A. Pred (1977) dans sa définition du système de villes. En effet, ces changements ne seraient pas une forme d'adaptation des éléments du système mais des modifications gérées par les organes de planification.

Nous verrons cependant dans la partie 2.2. que cette mécanique précise, compliquée et fragile n'a pas pu résister aux contournements informels et spontanés⁶, et donc à des mécanismes d'adaptation auto-organisés : « *Although vertical command channels are overemphasized officially, the formulation and implementation of plans are pervaded at all levels by bargaining* » (Neuberger, 1968, p.14).

Pour finir la série d'arguments en défaveur de l'utilisation du concept de système de villes appliqué à l'ex-URSS en raison de l'absence d'interactions fortes entre les villes, nous notons la désintégration de l'Union soviétique et les questions posées par un changement de périmètre de référence en 1991 pour des villes autrefois intégrées au même ensemble territorial.

2.1.2.3. La désintégration d'un ensemble territorial depuis 1991

Malgré l'absence de série statistique mesurant les échanges interurbains, on peut admettre que la désintégration de l'Union soviétique a entraîné leur baisse certaine, ne serait-ce que par la contrainte introduite par le franchissement de frontières internationales pour les personnes et les marchandises (Radvanyi, 2007 ; Cottineau, 2011). La libéralisation de l'économie a permis aux entreprises et aux autorités régionales de choisir plus librement leurs fournisseurs, au plus près et/ou au plus fiable (Zimin, 2004). Différentes politiques ont été appliquées dans les nouveaux pays indépendants, parfois dans la continuité des politiques soviétiques intégrées à l'échelle de l'Union (comme en Biélorussie par exemple); parfois en opposition à cet ancien ensemble (si l'on considère l'intégration de l'Estonie, de la Lettonie et de la Lituanie à l'Union européenne). Toutefois,

⁶ On peut même supposer avec M. Crozier et J. Sapir que ces contournements et initiatives locales ou individuelles furent même indispensables au maintien de l'organisation.

« La dissolution de l'URSS est si récente qu'il est tout à fait vain de chercher à analyser ce nouvel État indépendant sans prendre en compte les relations avec ses marges, constituées pour l'essentiel par les territoires des ex-républiques fédérées de l'URSS. Les interactions qui en découlent tiennent, bien sûr, des multiples imbrications qui lient la Russie à ses voisins sur tous les plans. Pour ne prendre qu'un exemple des plus géographiques, songeons que sur les trois branches du Transsibérien, deux passent par les territoires kazakh, alors que la principale ligne ferroviaire reliant Moscou au Caucase via Rostov-sur-le-Don passe en territoire ukrainien. La simple résolution de ces milliers de problèmes concrets, redéfinition des compétences, partage des réseaux, maintien ou modification des partenariats et des coopérations entre régions limitrophes, administrations ou entreprises des États issus de l'URSS, implique un énorme travail qui prendra nécessairement du temps. » (Radvanyi, 2007, p.22)

Ainsi, de nombreux arguments systémiques, historiques, politiques et économiques ont été déployés pour montrer que les villes de l'ex-URSS ne sont pas censées interagir comme « n'importe quel » système de villes. Il reste donc à recenser les études ayant cherché à montrer en quoi les trois propriétés associées au fonctionnement d'un système de villes ne se retrouvent pas lorsque l'on observe les villes russes ou anciennement soviétiques.

2.1.3. Un ensemble régional où la loi de Zipf ne s'applique pas

La loi de Zipf (1949) constitue un modèle théorique permettant de représenter un état de la hiérarchie des tailles d'éléments comparables. Elle décrit avec une régularité très forte la distribution asymétrique des tailles de villes, de territoires ou d'entreprises (Luttmer, 2007), mais aussi de la fréquence relative des mots dans un énoncé (Zipf, 1949 ; Mandelbrot, 1997) ou la taille de populations d'espèces biologiques (Simon, 1955 ; Rapoport, 1968).

La propriété de hiérarchie et de hiérarchisation des villes est appréciée qualitativement depuis le XVI^e siècle (Botero, 1588 cité par Pumain, Gaudin, 2002a) et formalisée depuis Auerbach (1913) et Zipf (1949), par la modélisation d'une relation mathématique entre la taille d'un centre de population et son rang dans le système. Sa validité a été questionnée par test systématique sur un grand nombre de villes et de régions du monde, à des périodes historiques diverses (Berry, 1961 ; Rosen, Resnick, 1980 ; Pumain, 1982 ; De Vries, 1984 ; Guérin-Pace, Pumain, 1990 ; Moriconi-Ebrard, 1993 ; Batty, 2001a ; Soo, 2005 ; Nitsch, 2005 ; Schaffar, 2012).

Ce modèle canonique donne pour une ville i , l'expression de sa taille (sa population P), en fonction de son rang R et du paramètre K :

$$P_i = K / R_i^a$$

$$\Leftrightarrow$$

$$\log P_i = \log K - a \log R_i$$

L'exposant a correspondant dans la seconde expression à la pente de la droite d'ajustement log-linéaire mesure le degré d'inégalité des tailles de villes dans le système étudié. Plus a est petit, plus le système est égalitaire et les villes de tailles comparables, plus a est grand, plus le système est différencié et hiérarchisé. Lorsque a vaut 1, comme dans la formulation initiale de Zipf, la taille de la r -ième ville est inversement proportionnelle à son rang et K est égal à la taille de la plus grande ville. La valeur l'exposant a , proche de 1, est élevée au rang de « loi » géographique (Berry, Okulicz-Kozarin, 2012), ou sert de mesure de différenciation permettant de caractériser et comparer les systèmes de villes dans le monde et dans le temps (Pumain, 2012 ; Sanders, 2012).

Dans le cas des villes de l'Empire russe, de l'URSS et de la Russie contemporaine, il a été dit qu'elles présentaient un cas où cette « loi » ne s'applique pas, et ce pour trois raisons.

Tout d'abord, en raison de la structure sociale et/ou géographique du pays, sans plus de précision : « *Countries which have a peculiar social structure, such as the former USSR or China, do not follow Zipf law.* » (Marsili, Zhang, 1998, p.2741). « *Étudier les villes russes n'est pas une tâche facile compte tenu de l'immensité de la Fédération (32 fois la France) car le territoire s'étend d'est en ouest sur 10 000 km et les milieux physiques sont souvent très rudes et inhospitaliers. C'est pour cette raison que les agglomérations russes sont très particulières et se distinguent nettement des villes occidentales ou asiatiques* » (Paulet, 2007, p.232). On peut aussi ranger dans cette catégorie les positions d'Y. Andrienko et S. Gouriev (2005) et de P. George sur les villes socialistes qu'il cherche à isoler dans une catégorie à part :

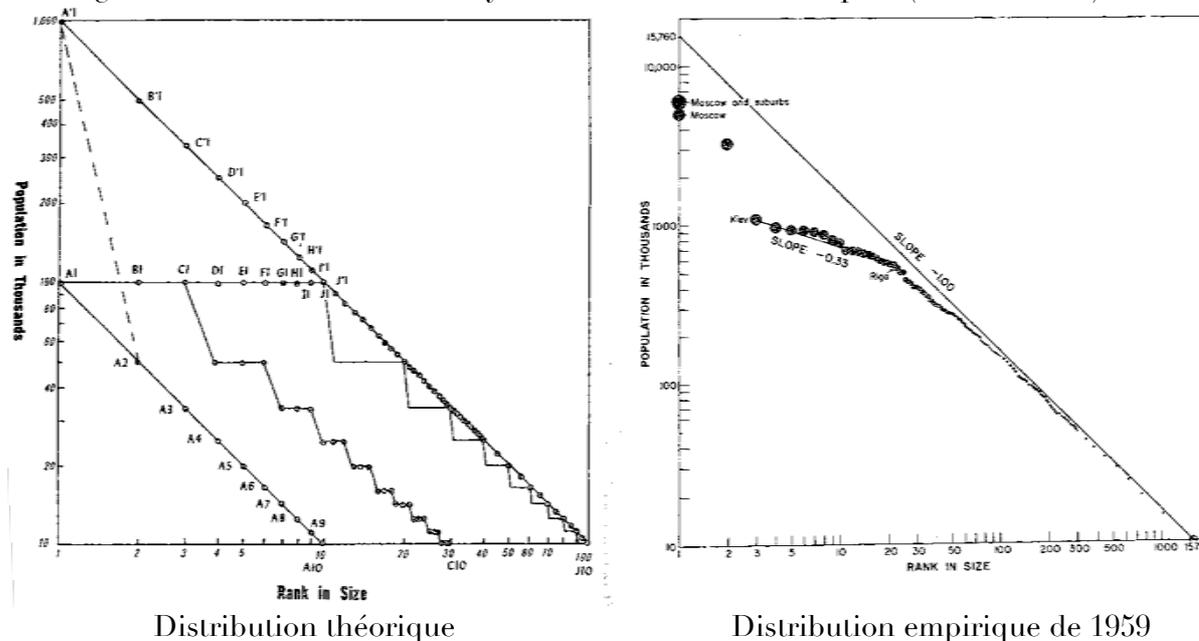
« La hiérarchie des villes soviétiques échappe pour une part aux critères valables en Europe occidentale et en Amérique du Nord. Dans une économie fortement structurée, de plus en plus régionalisée, trois échelons majeurs se détachent : celui de la ville-capitale, caractérisée surtout par sa fonction de direction politique, et par voie de conséquence économique, encore que l'évolution vers une décentralisation des responsabilités réduise le rôle des initiatives économiques de Moscou, celui des capitales de républiques fédérées, celui de centres d'organisation d'une grande région économique, comme Kharkov ou Novossibirsk. Au-dessous, chaque ville a sa mission ou ses missions à remplir et, de plus en plus, une fonction d'organisation régionale à la mesure de son hinterland qui s'identifie, dans une économie organisée, à des limites administratives. » (George, 1974, p.280).

Deuxièmement, en raison de la mauvaise intégration des villes à l'échelle de l'URSS, qui serait plus une collection de sous-systèmes qu'un système unique. Cette thèse est celle développée par C. Harris dans son étude des villes d'URSS : « *The larger cities may well be the centers of loosely connected regions and thus not distributed in a single rank-size scale characteristic of a fully integrated territory of modest size* » (Harris, 1970, p.138).

Cette hypothèse provient du rapprochement des paliers de la courbe « rang-taille » de l'URSS de 1959 avec ceux d'une distribution théorique formée par l'agrégation de 10 systèmes identiques et indépendants (figure 2.1.5). Dans le cas de la distribution théorique, il existe 10 villes de 100 000 habitants, 10 villes de 50 000 habitants, 10 villes de 33 000 habitants, etc. Puisque chaque système suit une loi de Zipf d'exposant 1 et dont la première ville rassemble 100 000 habitants et la 10^e ville 10 000, leur agrégation statistique produit une distribution par palier de 10 villes. Au contraire, un système théorique intégré de 100 villes dont la 100^e aurait 10 000 habitants serait capable de produire une ville de rang 1 avec un million d'habitants.

Le rapprochement avec la distribution empirique des tailles de villes soviétiques en 1959 se concentre sur la présence de paliers (plus ou moins visibles autour de 200 000, de 500 000 et d'un million d'habitants), ainsi que de la taille de Moscou plus réduite qu'attendue.

Figure 2.1.5. Plusieurs sous-systèmes de villes soviétiques (Harris, 1970)



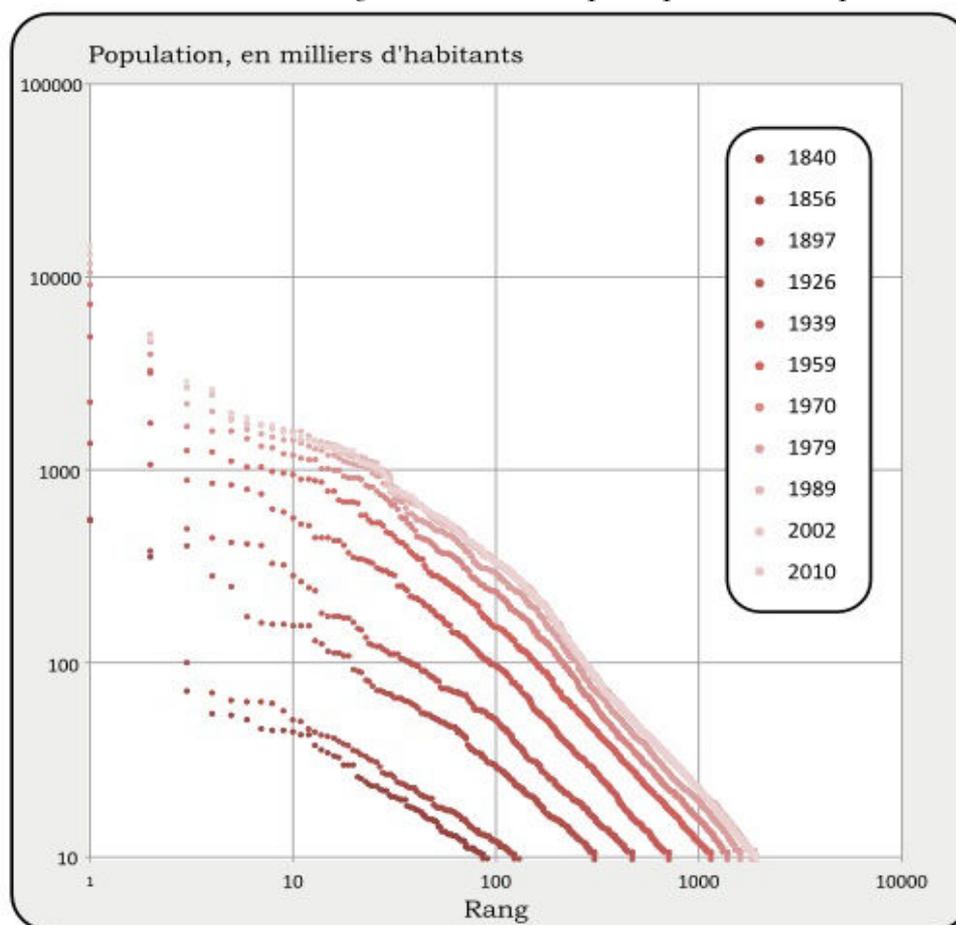
Source : (Harris, 1970, pp.131-137)

Cette hypothèse est intéressante pour rendre compte de la présence de paliers dans la distribution soviétique mais elle se base sur des postulats forts et discutables, et elle est insuffisante pour expliquer la particularité de la courbe soviétique dans le temps (figure 2.1.6) :

- tout d'abord, cette explication suppose que la vingtaine de villes soviétiques gravitant autour du million d'habitants soient à la tête de sous-systèmes urbains de même taille et de même structure, ce qui est peu probable. Quoi de comparable en effet entre le réseau relativement cristallin autour de Samara, la macrocéphalie de Bakou (6 fois plus importante que la deuxième ville d'Azerbaïdjan en 1970) et la région polycentrique de l'Oural dominée par Ekaterinbourg et Tchéliabinsk ? Ces quatre villes sont pourtant de taille égale en 1970 : plus ou moins 1 100 000 habitants.
- D'autre part et dans le même ordre d'idée, on n'observe pas d'autres paliers aussi marqués parmi les villes plus petites (en dessous de 200 000 habitants).
- Par ailleurs, il est difficile de décrire le système soviétique comme une juxtaposition de systèmes complètement indépendants les uns des autres, ne serait-ce que du fait de l'organisation spatiale très spécialisée de la production économique, créatrice d'interdépendances très fortes entre usines et entre villes (Sapir, 1992 ; Snyder, 1993 ; Treivish *in* Brunet *et al.*, 1995 ; cf section 2.1.5.).
- Enfin, l'explication de C. Harris ne rend pas compte des discontinuités visibles autour de seuils significatifs, comme un million d'habitants en 1970 ou 500 000 en 1939, et la concentration de villes situées juste en-dessous de ces valeurs.

Par conséquent la section 2.3.1 de ce chapitre est consacrée à la recherche d'autres éléments pour décrire et expliquer la déviation de la distribution des tailles de villes pré-/post-/soviétiques par rapport à la « loi » de Zipf.

Figure 2.1.6. Distributions rang-taille dans l'espace post-soviétique : 1840-2010



Source : DARIUS, 2014.

Troisièmement, la « loi » de Zipf ne s'appliquerait pas en raison des politiques de contrôle soviétiques visant à limiter la taille des grandes villes (cf. section 2.3.1.2).

La logique de planification concernant la répartition de la population et la taille des villes remonte aux débats les plus anciens entre urbanistes et désurbanistes dans les années 1920, puis s'est poursuivie dans la recherche géographique soviétique tout au long du XX^e siècle. D'un point de vue idéologique, la ville de taille optimale doit être un centre social, culturel et productif pour l'homme nouveau soviétique :

« S'il doit subsister encore quelques bourgades, on ne tardera pas à voir se former parmi elles de grands centres de 200 à 250 000 habitants, avec des écoles supérieures, des théâtres, des salles de concert, de grands magasins, qui deviendront des centres de culture, de commerce et d'industrie. Un important réseau de transports rapides fera entrer les petites localités dans l'orbite d'influence de ces centres, et réunira tout le système dans une même vie économique, politique et culturelle. » (Svetlichny, 1959, p.554)

Cette ville de taille optimale et son réseau de centres plus petits sont clairement inspirés de la théorie des lieux centraux (Christaller, 1933 ; Lösch, 1954), qui imprègne largement les travaux sur la planification urbaine à l'échelle du territoire de l'ex-URSS (Khorev, 1975 ; Becker *et al.*, 2012).

D'un point de vue pragmatique visant l'efficacité des investissements de l'État dans la planification urbaine, Davidovich et Pereventsev ont mené des recherches sur le coût marginal d'un habitant vis-à-vis de sa production marginale. Leurs travaux, synthétisés par C. Harris (1970), ont révélé un intervalle de tailles économiquement optimales situé entre 50 000 et 200 000 habitants. En creux, la réflexion sur les déséconomies d'échelle liées à la présence de très grandes villes rappelle les attaques américaines contre la grande ville et ses vices (Beauregard, 1994) :

« Faut-il continuer sur cette lancée à l'avenir ? Les défauts des grandes villes sont bien connus : c'est l'entassement des constructions, la détérioration de l'état sanitaire, le bruit des rues et les gaz d'échappement des voitures, les interminables trajets pour se rendre au travail, la cherté croissante de la construction des canalisations, du transport urbain, etc. » (Svetlichny, 1959, p.554)

Dans les faits cependant, les grandes villes sont présentes, voire dominantes dans la distribution de tailles de l'espace post-soviétique. C. Harris parle de « *land of large cities* » (1970, p.1) en comparant le nombre de villes de plus de 100 000 habitants des plus grands pays du monde en 1969 : 209 pour l'URSS, 206 pour les États-Unis, 135 au Japon, 110 en Inde et 103 en Chine. De plus les villes millionnaires — de plus d'un million d'habitants dans le lexique russo-soviétique — sont celles qui semblent avoir reçu les impulsions de croissance les plus significatives (Becker *et al.*, 2012), par migration de ruraux jusque dans les années 1970 puis « *au cours des dix dernières années, c'est la migration des habitants des petites villes vers les grandes qui est venue occuper le premier plan dans l'évolution du phénomène urbain.* » (Lewin, 1989, p.55).

Cet état de fait vient nourrir la question de savoir si les contrôles de l'Union soviétique sur la taille des villes furent significativement efficaces (Becker *et al.*, 2012) :

« The Soviet Union, which nationalized all land in 1917, has no land market ; the little rent that it charges is no more than a historical artifact, and it is not a useful tool for resource allocation. In addition, since Soviet property is owned and allocated by the State, it can be developed, by central planning, to achieve a goal such as a city size limit. The centralized allocation of material inputs can shape a city's physical growth in housing, employment, and even cultural and social infrastructure - the very amenities that make a city attractive to people. The Soviet Union thus provides a

unique environment for studying the effectiveness of controls on city size. »
(Clayton, Richardson, 1989, pp.155-156)

Malgré la prédominance relevée des grandes villes suggérant une inefficacité des contrôles sur laquelle nous reviendrons dans la seconde partie du chapitre, différentes méthodes ont été employées pour affirmer leur effet significatif sur la réduction de la taille des grandes villes. L'étude de Garretsen *et al.* (2003) sur la croissance urbaine comparant l'Allemagne de l'Est et l'Allemagne de l'Ouest montre que l'impact des bombardements sur la taille des villes après-guerre ne se fait sentir qu'à l'Est (avec des villes retrouvant plus tardivement leur niveau de population d'avant-guerre). De là, ils démontrent l'influence des systèmes politiques et économiques sur l'évolution de la taille des villes.

L'indicateur le plus fréquemment utilisé pour montrer l'égalisation des tailles de villes est cependant la pente de la « loi » rang-taille, qui évoluerait à la baisse dans les années 1970, suggérant une baisse de l'inégalité des tailles de villes. Cette égalisation des tailles serait le témoignage de l'effectivité des politiques visant la limitation de la population des grandes villes. Cette tendance est notée par Harris (1970), Mirucki (1986), Clayton et Richardson (1989).

Pourtant, la définition de l'urbain est critique dans l'estimation du paramètre a de la fonction d'ajustement puissance, tout comme le seuil minimal de population considéré et la taille de l'effectif de villes⁷ (Malecki, 1980 ; Rosen, Resnik, 1980 ; Moriconi-Ebrard, 1993 ; Guérin-Pace, 1995 ; Châtel, 2012). Certains auteurs mentionnent cette réserve dans le cas du système soviétique (Mirucki, 1986 ; Becker *et al.*, 2012), sans pour autant appliquer d'autre délimitation spatiale de la ville que la définition juridique fournie par les recensements. De plus, les effectifs servant à étayer cette conclusion semblent parfois incohérents (cf. le nombre de villes prises en compte au cours du temps dans la régression, figure 2.1.7).

Figure 2.1.7. Coefficient de hiérarchie urbaine et effectif d'analyse chez
(Mirucki, 1986)

Cities Rank-Size Distribution Slopes: 1897-1979 Census Years

USSR (Number of cities)	1897 (590)	1926 (903)	1939 (421)	1959 (473)	1970 (487)	1979 (269)
All cities	-0.979	-1.100	-1.032	-0.919	-0.885	-0.788

Source : (Mirucki, 1986, p.153)

⁷ Avec les données de six pays en 1970, Rosen et Resnik (1980, pp.170-172) montrent que le choix de la délimitation morphologique réduit de 6 à 29% la valeur du coefficient de Pareto, par rapport à une délimitation juridique, tandis que la variation de la taille de l'échantillon contribue pour ces six pays à augmenter ou baisser la valeur du coefficient de -20 à +9 %.

Pour résumer, un courant d'auteurs a pu développer des arguments visant à montrer que la « loi » de Zipf était infirmée ou inopérante dans le cas de l'ex-URSS et de la Russie contemporaine. Les particularités économiques (planification), politiques (contrôle des migrations) et historiques (colonisation et empire « lâche ») de ce territoire en feraient un cas « à part » vis-à-vis des propriétés macroscopiques associées aux systèmes de villes. De même, la répartition spatiale des villes a pu être considérée comme difficilement comparable aux systèmes de villes classiquement étudiés, du fait de son caractère avant-tout socialiste, c'est-à-dire égalitaire et marqué par l'interventionnisme du régime pour favoriser la colonisation d'un territoire immense par l'implantation de villes nouvelles.

2.1.4. Un semis de peuplement socialiste

« À voir les choix d'implantation des dernières usines géantes en Russie d'Europe, ainsi que des centrales nucléaires, on peut même penser que les dirigeants soviétiques avaient une vision toute "christallérienne" de l'espace, cherchant à boucher les trous où il leur semblait que "la carte" appelait une grande ville : Naberejnié Tchelny, Balakovo, Kamychine, Volgodonsk. »
(Brunet, 1996, p.242)

La notion d'égalité « socialiste » de la répartition du peuplement est affiliée aux réflexions de Lénine, qui parle d' « *une libre répartition de la population sur le territoire de la Russie* », et d' « *une nouvelle répartition spatiale de l'humanité* » (Cité par Khorev, 1975, p.4, traduit du russe).

Cette idéologie de la répartition spatiale des hommes soviétiques est déclinée dans le débat entre urbanistes et désurbanistes dans les années suivant la révolution en URSS. L'idée de ces deux groupes est d'appliquer les principes socialistes à l'espace, en offrant à tous les citoyens des opportunités similaires quel que soit leur lieu de résidence, par la dissémination des logements et des activités pour les désurbanistes, ou par la répartition régulière de centres de taille comparable pour les urbanistes (Kopp, 1967 ; Starr, 1977 ; Richard, 2002).

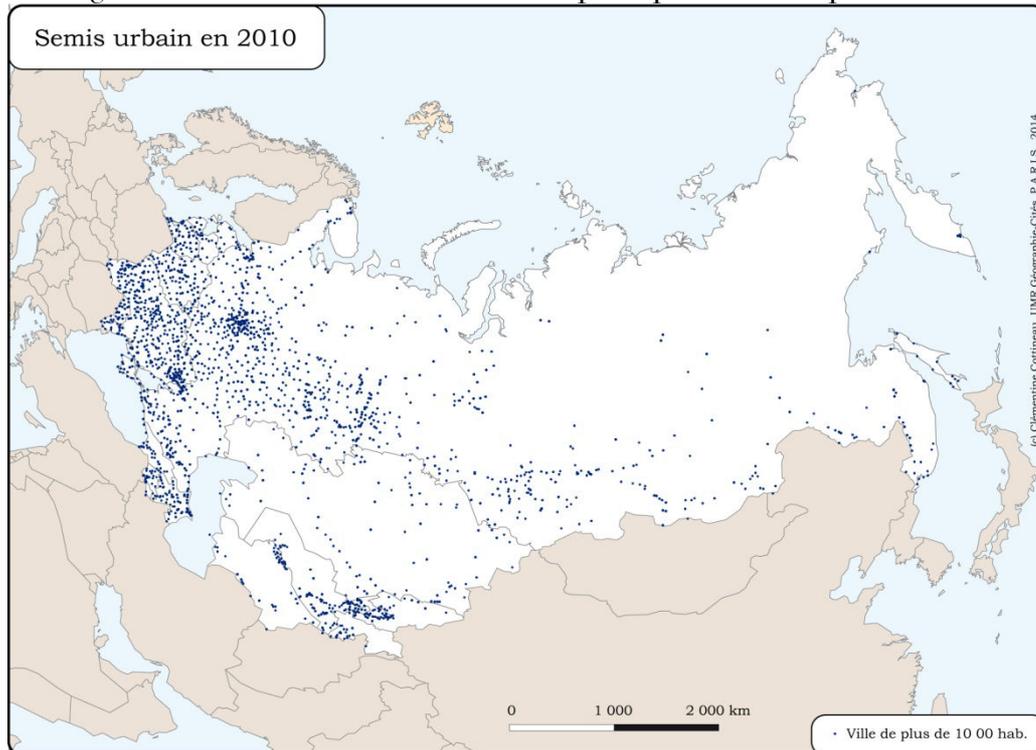
L'application de ces principes fut une ligne de conduite durant toute l'URSS pour les géographes et le personnel du Gosstroï :

« La tâche de la gestion de ce processus [l'urbanisation] sous le socialisme doit être adressée principalement comme l'exigence d'un développement planifié et d'une organisation territoriale rationnelle du réseau de lieux habités en tant que tout unifié sur tout le territoire du pays, en accord avec les principes socialistes de répartition des forces productives. » (Khorev, 1975, p.5, traduit du russe)

Cette volonté de répartir de manière homogène les unités de peuplement sur le territoire est attestée par C. Becker *et al.*, pour qui la preuve de ce contrôle politique pourrait être l'inefficacité économique de la localisation des activités : *« It is difficult to judge whether the pace of urbanization, regulated through economic planning but also direct controls on movement, under the Soviet system was effective in redistributing economic activities and population, or whether it was appropriate. It is clearer that the location of much urban development was not appropriate from an economic perspective, and that the location and levels of activities within urban areas were particularly ill chosen. »* (Becker *et al.*, 2012, p.3). En dépit des principes d'égalisation spatiale mis en avant, l'espacement régulier du peuplement n'est pas attesté visuellement par le semis de villes de plus de 10 000 habitants, et sa régularisation durant la période soviétique encore moins (figures 2.1.8 et 2.1.9). Nous tenterons de vérifier cette intuition visuelle par une mesure comparée de la concentration des villes dans la suite de ce chapitre (cf. 2.2.3).

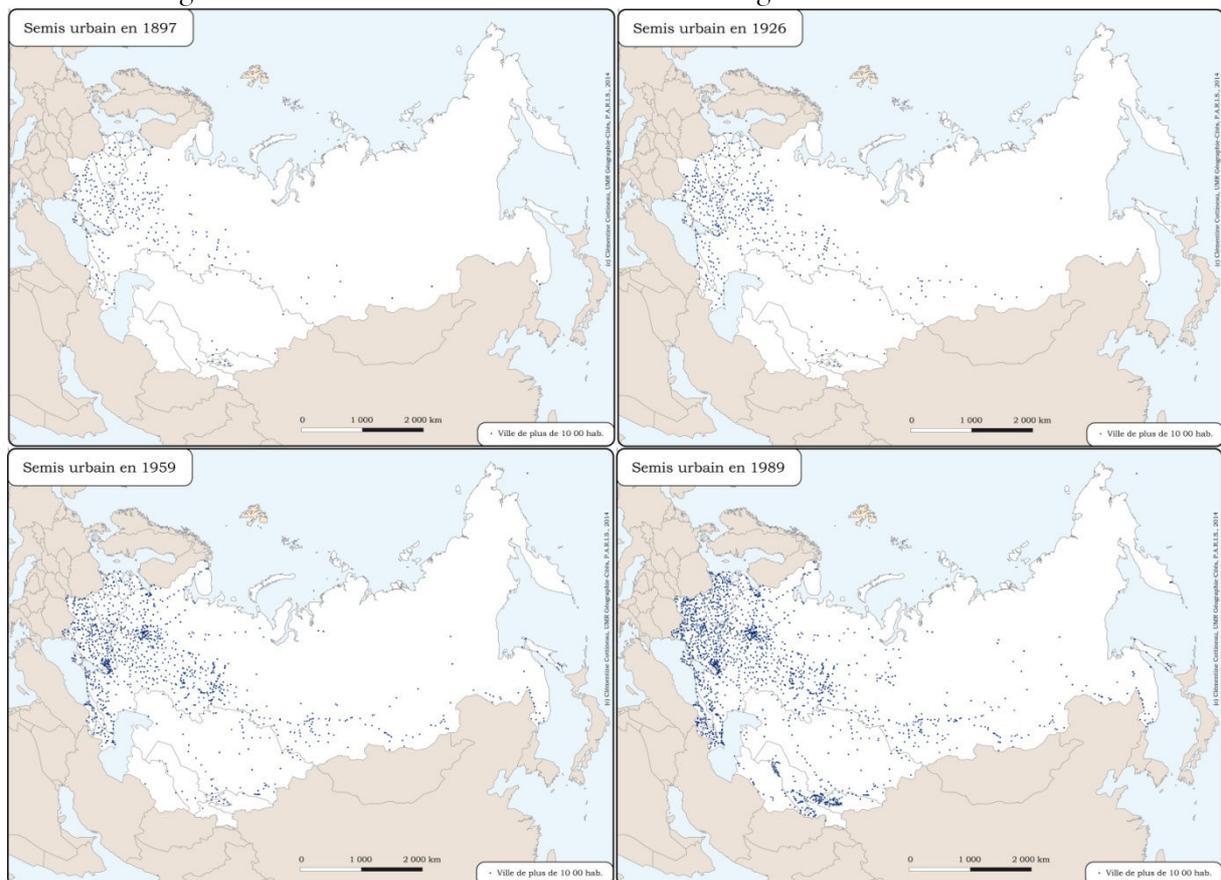
Le modèle plus ou moins implicite utilisé pour appliquer ces principes est celui de la théorie des lieux centraux (Christaller, 1933-1966 ; Lösch, 1954), qui décrit précisément une organisation des villes permettant de minimiser les distances parcourues par les habitants pour accéder à différents niveaux de services, sous l'hypothèse d'un espace infini, isotrope, avec une compacité maximale, un principe d'optimisation, des agents rationnels et une part constante de population desservie localement (Shuper, Vaselyan, 1999). *« Since the Soviet economy is largely a "command economy" directed by governmental administrative organs rather than a "market economy", one would expect that an economic and political administrative hierarchy would be a close approximation to a comprehensive central-place hierarchy »* (Harris, 1970, p.122).

Figure 2.1.8. Semis urbain dans l'espace post-soviétique en 2010



Source : DARIUS, 2014.

Figure 2.1.9. Semis urbains au cours du « grand XX^e siècle »



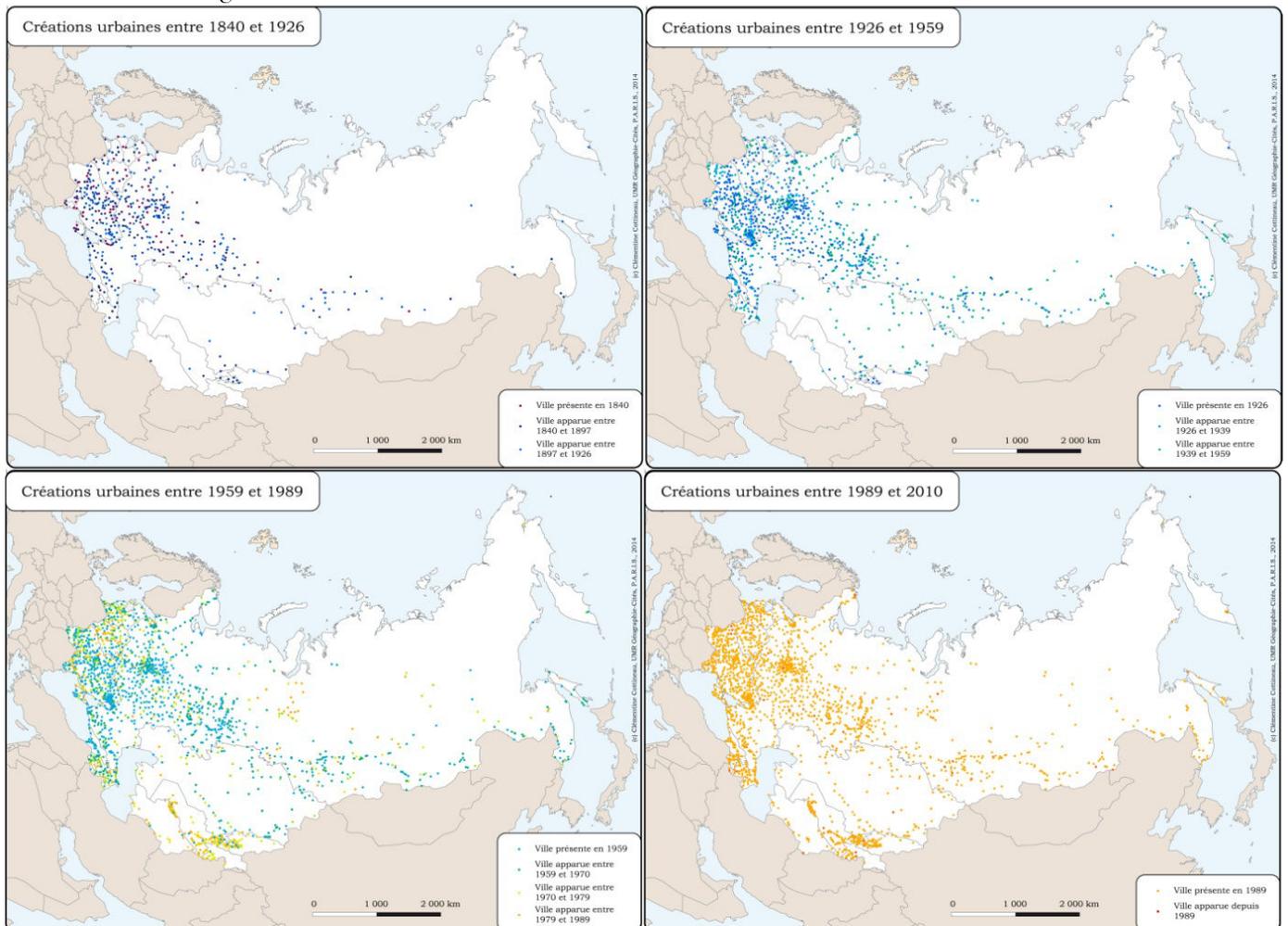
Source : DARIUS, 2014.

En effet, l'État et les organes de planification ont eu les moyens de modifier la trame urbaine par la création de villes nouvelles, dont ils contrôlaient tout le processus « *par l'intermédiaire des ministères sectoriels : le plan des villes nouvelles est réalisé par un institut de design du ministère sectoriel concerné et signé par les autorités nationales [...] Quand ce n'est pas l'État, c'est une autorité régionale (Ville de Moscou pour Zelenograd en 1958) ou supranationale (ministère des Mines de charbon de l'Union soviétique pour Sillamäe en 1947 ou institut léningradois de design spécialisé dans les villes atomiques pour Visaginas en 1974) qui réalise les plans.* » (Bayou, Le Bourhis, 2007, pp.2-3). Ce processus incluait aussi le peuplement de ces villes parfois situées dans des conditions climatiques et sanitaires très dures, nécessitant l'organisation de migrations régulières pour renouveler la population, voire l'anticipation d'une fermeture de ces villes lorsque le gisement se réduit, comme à Norilsk, pourtant peuplée de plus de 200 000 habitants (Bayou, Le Bourhis, 2008).

Ces villes nouvelles, « *phénomène exceptionnel en URSS durant les années de pouvoir soviétique* » (Pertsik, 1991, p.131, traduction du russe), ont été extrêmement nombreuses : entre 1 200 et 1 500 créations d'unités locales urbaines en soixante ans de régime (Pertsik, 1991 ; Motta, 2007). Elles se localisent principalement à l'Est et en Asie centrale, suivant le mouvement de colonisation du pays (figure 2.1.10 ; Blum, 2004). Pourtant, on note le renforcement au cours du temps des concentrations de villes liées à des gisements de ressources : comme les bassins charbonniers du Donbass et du Kouzbass, le bassin minier de l'Oural (pour les métaux, l'amiante et les diamants) ou du Fergana (en Asie centrale).

Ainsi, des trois propriétés associées à l'échelle du système de villes, la hiérarchie/hiérarchisation et l'espacement peuvent être approchées comme singulièrement socialistes, même si la différenciation des tailles et des distances entre villes n'est pas forcément évidente et/ou consensuelle. La propriété de différenciation fonctionnelle est aussi sujette à une vision particulariste, du fait de l'intégration fonctionnelle de l'activité productive à l'échelle de tout le territoire de l'URSS.

Figure 2.1.10. Localisation des villes nouvelles entre 1840 et 2010



Source : DARIUS, 2014.

2.1.5. La répartition des fonctions urbaines intégrée à l'échelle de l'ex-Union soviétique

« Les activités ont tendu à se répartir sur le territoire en fonction des deux lignes de déconcentration de l'autorité dans le domaine économique : les ministères et les régions. Or, les ministères de production avaient une logique fédérale, et les régions ne correspondaient que rarement aux républiques fédérées. À cela, il faut ajouter le poids de l'histoire. L'ouest et le nord-ouest ont été, traditionnellement, les zones de développement. L'est et le sud-est s'apparentent plus à des zones de colonisation. » (Sapir, 1992, p.80).

Cette intégration à l'échelle du tout a permis une spécialisation intense de la production au sein d'entreprises de très grandes tailles, proches du monopole dans de nombreux cas (Snyder, 1993 ; Kolossov *et al.* in Brunet *et al.*, 1995), et par conséquent du portefeuille fonctionnel des villes accueillant ces entreprises géantes (Sapir, 1992). Ainsi « *Toula fabriquait 100% des scooters de l'Union, Podolsk (près de Moscou) était l'unique fournisseur en machines à coudre pour la confection, Krasnogorsk (autre satellite de Moscou) la seule ville à produire des caméras amateur, Léningrad des projecteurs de cinéma* » (Treïvish in Brunet *et al.*, 1995, p.56).

T. Snyder (1993) a compilé les productions prises en charge par des entreprises monopolistiques. Nous avons cartographié (cf. Annexe 2.1.) les villes accueillant des entreprises monopolistiques de huit secteurs d'activité. On peut alors imaginer les liens entre les producteurs monopolistiques de moteurs et de camions par exemple, d'autant que cette cartographie des monopoles dessine des régions de spécialisation sectorielle. À l'échelle de la ville, cette spécialisation intense, sous forme de « concentration dispersée » du système productif (Treïvish in Brunet *et al.*, 1995), a abouti à la formation de villes mono-spécialisées ou *monogoroda* (Zemlyansky, 2011), voire de villes-usines, dont l'avenir à l'heure de la séparation des quinze États semble problématique.

En effet, ces spécialisations extrêmes sont souvent liées à l'industrie, notamment extractive, ce qui n'est pas un gage de développement stable dans la mondialisation actuelle. Même dans le cas des villes ultra-spécialisées dans la recherche, les *naoukogrady*, leur reconversion n'est pas évidente. G. Lappo et P. Polyan (2008) parlent à leur sujet de « crise systémique » (p.29). En effet, leur position dans la Russie contemporaine pose des problèmes de gestion administrative : ils donnent l'exemple de Severodvinsk, située dans l'agglomération d'Arkhangelsk, mais fonctionnellement intégrée à Saint-Pétersbourg par la spécialisation dans l'ingénierie. Les problèmes posés à ces villes sont aussi d'ordre conjoncturel, puisque la majorité d'entre elles étaient liées à des objectifs de défense, dont les crédits déclinent depuis la fin de la Guerre Froide.

Au final, nous avons présenté jusque là un terrain urbain marqué par une histoire singulière, par une organisation économique unique sur un temps aussi long. Pourtant, plutôt que de s'arrêter à une affirmation de spécificité *a priori*, nous tentons dans la partie suivante d'utiliser des modèles spatiaux généraux pour analyser l'effet de l'évacuation des processus banals observés dans d'autres parties du monde. Cela permettra de distinguer plus finement ce qui relève de particularités de ce qui a trait à la structure de villes liées en interaction.

2.2. Un cas d'étude comparable : des villes avant tout en système ?

« Comme beaucoup d'autres disciplines, celles qui pratiquent l'analyse spatiale ont à traiter de phénomènes complexes, d'une très grande diversité et riches en situations particulières. Elles ont donc besoin de simplifier, pour dégager l'essentiel de l'accessoire, le permanent et le déterminant du contingent, et poser les problèmes relatifs à l'explication de ce qu'elles observent. Comme c'est le cas pour la plupart des sciences humaines [...] l'analyse spatiale peut difficilement s'appuyer sur des expériences, du type de celles des physiciens ou des biologistes. Ce sont là deux bonnes raisons qui justifient qu'elles recourent à des modes de simplification et à des outils permettant de trouver des substituts aux méthodes expérimentales classiques. L'usage des modèles permet de remplir ces deux tâches. »
(Durand-Dastès, 2001, p.31)

Dans la perspective de F. Durand-Dastès, nous proposons de tester les propriétés associées aux systèmes de villes comme des modèles spatiaux à partir desquels il est possible de juger de la spécificité géohistorique des villes de l'ex-Union soviétique. Ces modèles de description de l'entité « système de villes » correspondent à des faits stylisés (Kaldor, 1961) de la structure d'un système de villes. Ils proviennent de l'observation de cas empiriques divers dans le temps et dans l'espace, et forment les propriétés dont cherche à rendre compte la théorie urbaine. Cette méthode de recherche utilise donc l'accumulation de cas particuliers et leur comparaison pour dégager des régularités et ainsi évacuer le banal de l'évolution historique d'un ensemble de villes.

La comparabilité du système soviétique n'est pas assumée par tous les chercheurs en sciences humaines, mais nous pensons avec A. Blum et M. Mespoulet que la comparaison peut apporter plus d'informations sur la spécificité du fonctionnement (post-) soviétique qu'une approche uniquement monographique : *« En s'autorisant d'autres comparaisons, on ne banalise pas pour autant "l'expérience soviétique", au risque d'en atténuer le caractère dramatique. En usant de méthodes historiennes qui ne sont pas spécifiques à ce cas, en posant des questions qui ne lui sont pas exclusives, l'objectif n'est pas de nier ou d'oublier ce*

caractère exceptionnel. Bien au contraire, il s'agit de comprendre le soubassement social de ce système. » (Blum, Mespoulet, 2003, pp.358-359).

Dans le champ de la géographie urbaine, une approche théorique « évolutive » (Pumain, 1997a) propose d'expliquer la structuration hiérarchique, spatiale et fonctionnelle des villes par leurs interactions diversifiées, répétées et prolongées. Elle se situe dans le cadre de la théorie des systèmes complexes. Cela signifie donc ici que nous justifions l'applicabilité de ce cadre théorique par la démonstration de l'existence d'interactions — interactions diversifiées, répétées et non-entièrement contrôlées⁸ — entre villes de l'espace post-soviétique. En particulier, il nous faut montrer que ce cadre continue d'être valable du temps du régime soviétique et des Nouveaux États Indépendants.

Cette partie s'ouvre sur la recherche d'éléments permettant de remettre en cause la vision figée et rigide d'une économie et d'un réseau urbain entièrement contrôlés « par en haut », en mobilisant des travaux d'économistes et de sociologues postérieurs à la chute de l'URSS et l'ouverture consécutive des archives. Elle se poursuit par une analyse des écarts du cas post-soviétique aux modèles utilisés pour rendre compte de faits stylisés : la « loi » rang-taille, des mesures de concentration ou de régularité de semis de points, et la spécialisation fonctionnelle des villes.

2.2.1. Une économie pas si planifiée et l'auto-organisation des mobilités inter-urbaines

« La croissance des villes, même celle des capitales, fut en grande partie un développement spontané, ce qui n'a pas empêché les villes de constituer finalement le moteur principal de la transformation sociale — et bientôt politique — la plus importante de la Russie. » (Lewin, 1989, p.50)

Concernant l'économie soviétique, l'objectif ici n'est pas de nier l'évidence de l'unicité de l'expérience soviétique et les différences induites par

⁸ Cette condition n'est toutefois pas absolue. En effet, les systèmes de villes classiquement étudiés présentent aussi un certain contrôle sur les interactions entre villes, du fait du fonctionnement des institutions et de l'administration du territoire (par la carte scolaire et universitaire par exemple). Nous entendons donc par là qu'il convient de démontrer que le système de villes n'est ni entièrement auto-organisé, ni totalement contrôlé, même si la part de contrôle est plus élevée que dans d'autres cas.

la planification d'un appareil de production détenu par l'État (Friedrichs, 1988). Il nous semble cependant intéressant de noter la diversité des contournements et dépendances au chemin (*path dependences* ou enchaînements historiques) qui nuancent fortement l'image que l'on a habituellement d'un rouage parfaitement opérant et contrôlé (Crozier, 1965 ; cf. figure 2.1.4).

Ainsi, l'organisation des commandes et la prévision des productions permettant d'ajuster les demandes selon le schéma proposé par Manove (1971) est altérée par les multiples mécanismes informels de négociation, de corruption et d'arrangements inter-personnels entre directeurs d'usine et responsables de la production (Neuberger, 1968 ; Lewin, 1989 ; Sapir, 1992), et ce, à plusieurs échelons de la hiérarchie administrative et territoriale. M. Crozier, analysant la planification française d'après-guerre, voit même dans les négociations informelles de ce type une des conditions du succès des politiques menées (Crozier, 1965).

L'appropriation du processus de planification par les acteurs vis-à-vis de l'impératif de production et des menaces pesant sur les responsables peut être vue comme une réaction spontanée permettant de maintenir la stabilité du système économique et d'éviter l'accentuation de pénuries à tous les maillons de la chaîne de production. En effet, le système de monopole et l'interdépendance très forte existant entre usines de villes différentes a créé la potentialité de gigantesques goulets d'étranglement, que les individus ont évité en pratiquant le troc ou la diversification illégale de la production à l'intérieur des usines (Sapir, 1992). Ces flux non-planifiés entre usines ont pu représenter, selon J. Sapir (1997, p.113), jusqu'à la moitié du commerce planifié. Ils invitent ainsi à nuancer les descriptions de la spécialisation extrême de certaines villes. « *Loin de résulter simplement d'une démarche constructiviste consistant à tenter d'imposer par la force une vision préconçue du "bon système" à une réalité économique rétive, le processus d'émergence systémique observé dans les années 1930 présente aussi paradoxalement nombre de traits qui peuvent être interprétés en terme de processus spontanés ou d'auto-organisation.* » (Chavance, 1997, p.145).

L'une des libertés les plus largement concédées par le pouvoir central aux acteurs locaux de la production concernait le recrutement des employés des entreprises d'État, principalement dans les usines (Sapir, 1997). « *Se sachant désirés [les travailleurs salariés] ont monnayé leur rareté, d'abord sous la forme de cette mobilité d'usine en usine, la tekušest', si importante dans les années trente. À l'époque, ces "migrations", comme on les appelait, étaient telles qu'en moyenne un ouvrier restait moins de six mois dans la même usine. Aujourd'hui encore, les jeunes travailleurs continuent d'être très mobiles et cherchent le plus offrant.* » (Sapir, 1992, pp.95-96).

Cette observation de mouvements spontanés tout au long de l'Union soviétique et depuis est aussi attestée par des travaux d'historiens (Lewin, 1989 ; Werth, 2001), de sociologue (Buckley, 1995) et d'économistes (Stuart,

Gregory, 1977 ; Clayton, Richardson, 1989 ; Sapir, 1992 ; 1997 ; Gang, Stuart, 1999), et vient fortement amoindrir l'idée que l'on se fait de l'impact du passeport intérieur sur les migrations internes à l'Union soviétique, notamment les migrations de ruraux vers les villes et des habitants de petites villes vers les plus grandes (Lewin, 1989 ; Zimin, 2004). Une preuve de ces mouvements migratoires spontanés dans un contexte de limitation de l'urbanisation, de l'exode rural et de la taille des grandes villes en est l'intensité et le rythme de l'urbanisation dans les années de contrôle supposé le plus fort, c'est-à-dire les années 1930 staliniennes. Or, cette période correspond à la croissance la plus forte des villes de toutes tailles, et principalement des plus grandes. « *The enormous growth of Soviet cities has been possible only by virtue of gigantic migrations from rural to urban areas, and also by inter-regional movements from densely settled Western areas to pioneer lands with new cities* » (Harris, 1970, p 52).

« *En théorie, le système était planifié et administré et, de fait, beaucoup de choses se déroulaient sous un contrôle strict. Mais en dépit des efforts du gouvernement pour dominer le travail et les mouvements de la population, entraînent également en jeu quantité d'éléments spontanés et impulsifs.* » (Lewin, 1989, p.42)

La spontanéité des flux migratoires interurbains sur un marché du travail non-strictement contrôlé est un élément primordial à prendre en compte lorsqu'il s'agit de juger de la présence d'interactions répétées et auto-organisées entre villes permettant de considérer le cadre théorique des systèmes dans l'étude des villes post-soviétiques. « *Macro analyses of population trends indicate that passport and propiska restrictions exerted only a slight influence on aggregate urbanization patterns and migration flows* » (Buckley, 1995, p.896).

L'adaptation des flux interurbains suite aux événements et opportunités intervenus dans une ville suggère donc que la définition d'un système de villes « à la Pred » convient aussi au contexte urbain de l'Union soviétique. Dans un tel contexte, les facteurs de croissance et de décroissance des villes ne seraient pas tous à rechercher dans les plans d'un régime politique tout-puissant mais à comparer avec ceux qui semblent jouer un rôle dans des systèmes de villes aussi différents que celui des États-Unis, de la Chine ou de l'Europe :

« *A different picture emerges, in our view, when one considers Soviet labor allocation. With the exception of the War Communism (1918-21) and Second World War periods, Soviet authorities have tended to favor relative freedom of choice of occupation and, accordingly, of geographical location. [...] Thus despite direct mobility controls and organized recruitment, the roles of which have declined significantly in recent years, we believe that Soviet occupational and locational choice will depend primarily on those factors which determine individual labor participation decisions in other contexts.* » (Stuart, Gregory, 1977, p.82)

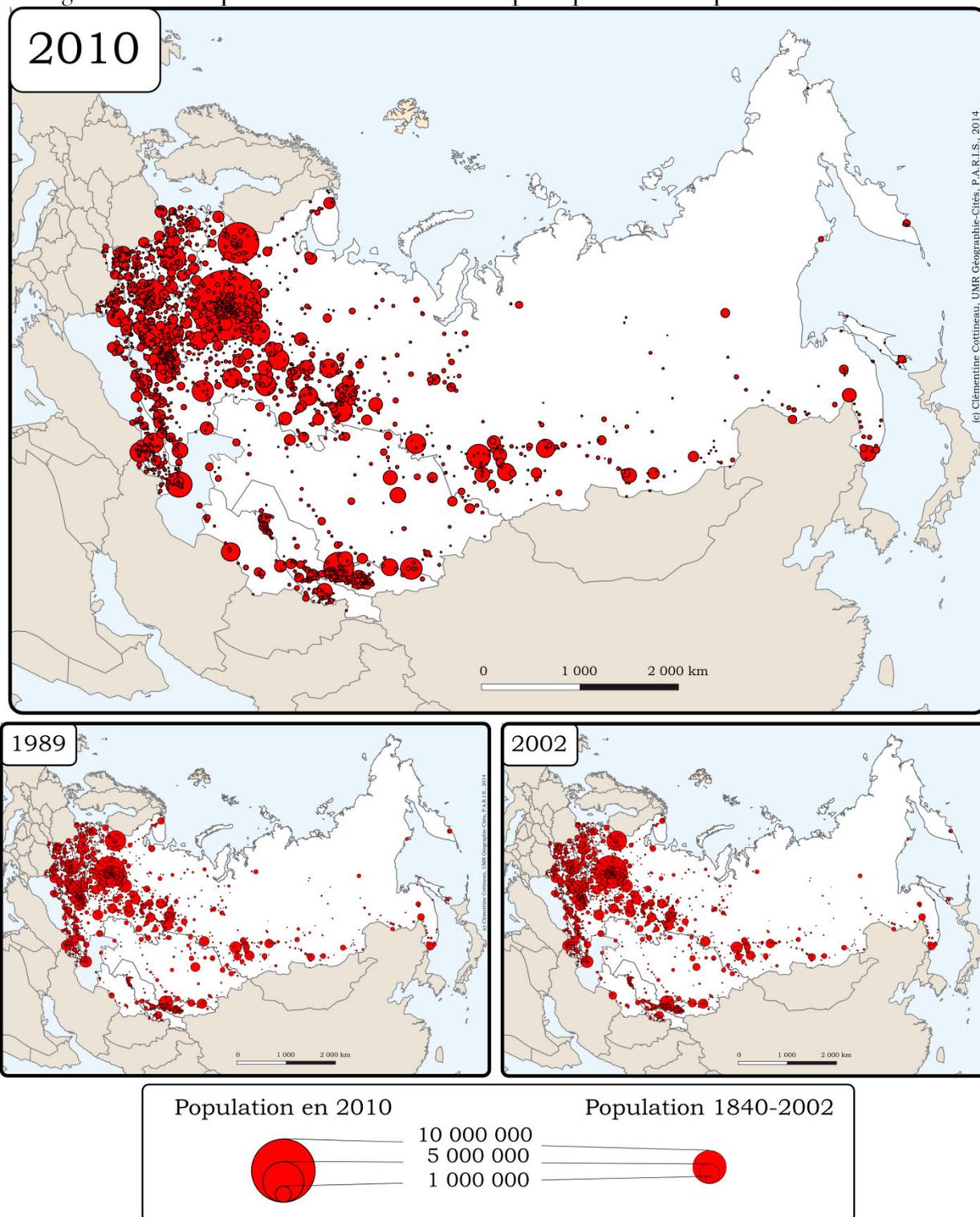
C'est à cette tâche que nous nous attelons, en confrontant les modèles de description structurelle des systèmes de villes aux villes post-soviétiques sur le temps long, en insistant sur leur caractère comparable. La première propriété de l'étude — le caractère hiérarchique et la tendance à la hiérarchisation — est la plus riche en termes d'éléments de comparaison. Il s'agit du célèbre modèle de Zipf pour décrire la distribution des tailles de villes.

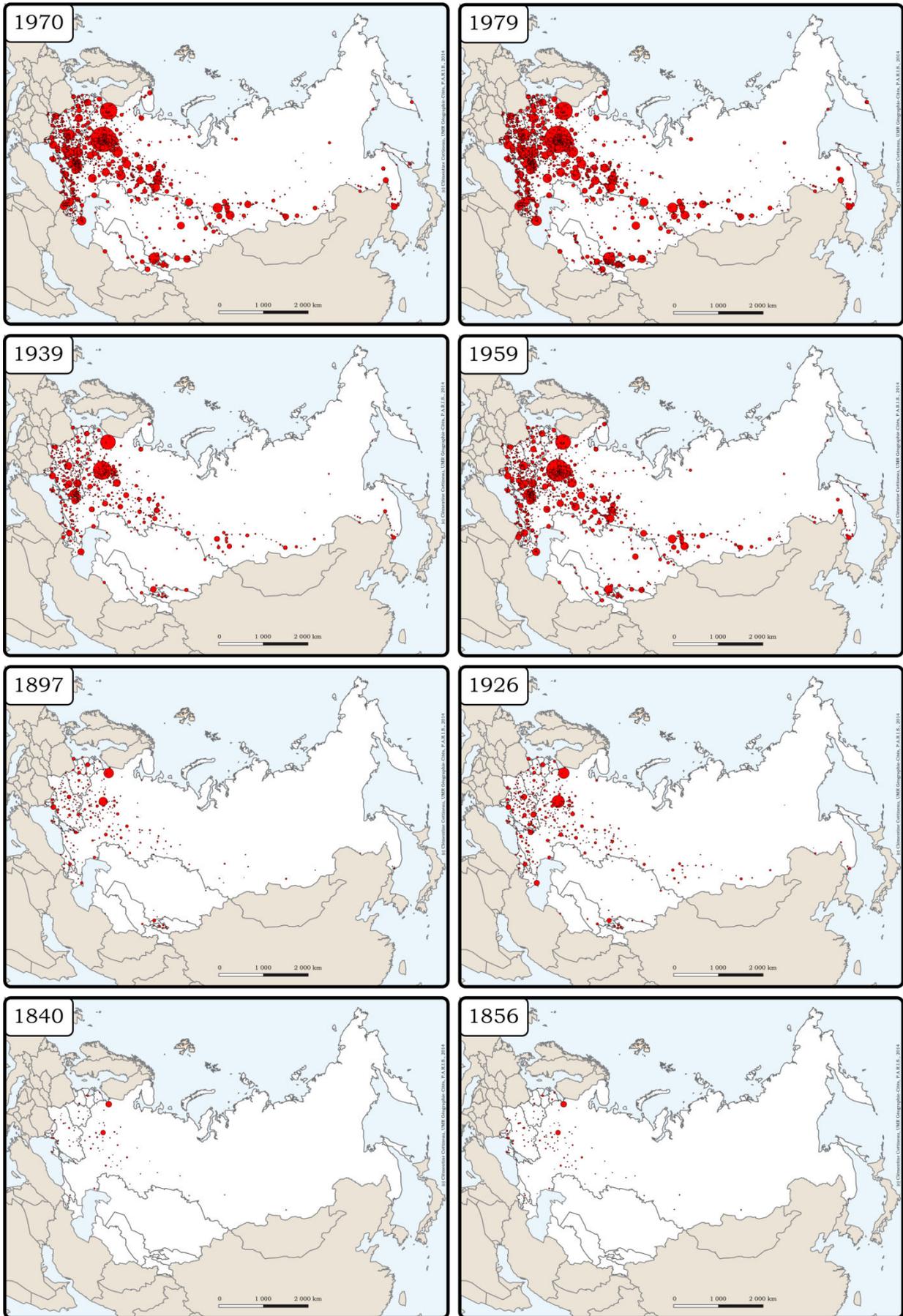
2.2.2. Hiérarchie et hiérarchisation

La hiérarchie urbaine n'est pas une propriété abstraite, c'est la caractérisation du fait qu'il existe peu de grandes villes et beaucoup de petites. En observant la carte de la population des villes en 2010 (figure 2.2.1), on pourrait faire remarquer que les grandes villes, celles dont le nom est connu à l'extérieur de l'ex-URSS par exemple, sont de l'ordre de la vingtaine, tandis que les villes présentes à cette date sont au nombre de 1 929.

Cette inégalité des tailles de villes est repérable sur les cartes depuis le XIX^e siècle (figure 2.2.1), montrant que le nombre de « grandes » villes augmente avec le nombre total de villes présentes à chaque date. La forme de cette relation est précisément l'objet des travaux de Zipf et de ceux qui ont cherché à valider son modèle par la représentation de la taille des villes en fonction de leur rang (le rang est ici le nombre de villes qui dépassent une certaine taille, il s'agit d'une distribution de fréquence cumulée). L'avantage d'un modèle mathématique est de fournir un « *descripteur très synthétique de l'organisation hiérarchique d'un système de villes interdépendantes* » (Moriconi-Ebrard, 1993, p.150). Que cet ajustement suive une loi puissance ou une loi log-normale, le débat n'est pas clos mais le problème paraît mineur au regard de la qualité des données permettant de valider ces modèles (Pumain, 2012). D'autre part, il est possible de passer de l'une à l'autre en modifiant légèrement les paramètres des processus générateurs (Barbut, 1998 ; Eeckout, 2004 ; Pumain, 2012). Nous utilisons dans la suite un ajustement puissance de type « loi » de Zipf, le plus fréquemment utilisé et comparable avec d'autres études menées sur des espaces et des périodes diverses (Favaro, 2007).

Figure 2.2.1. Population des villes de l'espace post-soviétique : 1840-2010





Source : DARIUS, 2014

Afin de répondre à la question de la particularité de l'ex-URSS posée précédemment (cf. section 2.1.3.), nous confrontons les ajustements de la « loi » rang-taille publiés dans la littérature à ceux que nous pouvons obtenir à partir de la base de données DARIUS (tableau 2.2.1).

Tableau 2.2.1. Valeur des indices de hiérarchie dans la littérature

Source	Dates	1897	1926	1939	1959	1970	1979	1989	2000*	2010	
Rosen, Resnik, 1980	Pente					0.78					
	Nombre de villes					255					
	Délimitation géographique					URSS					
	Délimitation urbaine					Juridique					
Mirucki, 1986	Pente	0.98	1.1	1.03	0.92	0.89	0.79				
	Nombre de villes	590	903	421	473	487	269				
	Délimitation géographique	URSS									
	Délimitation urbaine	Juridique									
Your, 2003	Pente				0.76	0.77		0.79	0.82		
	Nombre de villes										
	Délimitation géographique				URSS			URSS	Russie		
	Délimitation urbaine				Juridique			Juridique			
Soo, 2005	Pente								0.84		
	Nombre de villes								165		
	Délimitation géographique								Russie		
	Délimitation urbaine								Juridique		
Gulden, Hammond, 2012	Pente								0.92		
	Nombre de villes								161		
	Délimitation géographique								Russie		
	Délimitation urbaine								Juridique		
DARIUS, 2014	Pente	0.81	0.88	1.02	1.04	1.08	1.09	1.09	1.09	1.10	
	Nombre de villes	315	456	695	1133	1377	1598	1822	1877	1929	
	Délimitation géographique	URSS									
	Délimitation urbaine	Agglomération									

* Pour (Gulden, Hammond, 2012), la date retenue : 1997, ne correspond pas à un recensement.

La pente correspond au « a » dans l'équation $P_i = K / R_i^a$. Sources : (Rosen, Resnik, 1980 ; Mirucki, 1986 ; Your, 2003 ; Soo, 2005 ; Gulden, Hammond, 2012), DARIUS, 2014.

Le premier constat est celui d'une certaine hétérogénéité de délimitations et de l'insuffisante harmonisation temporelle et spatiale des études urbaines à l'échelle macro-géographique. Cette hétérogénéité se traduit par l'impossibilité de comparer entre eux directement les exposants mesurés par les auteurs, du fait de l'influence forte des choix de seuil minimal de la ville (et donc de la taille de l'échantillon observé) et de délimitation spatiale de la ville (Malecki, 1980 ; Rosen, Resnik, 1980 ; Moriconi-Ebrard, 1993 ; Guérin-Pace, 1995 ; Châtel, 2012).

La seconde observation concerne la marginalité des conclusions de J. Mirucki (1986)⁹ sur l'égalisation des tailles de villes durant la période soviétique. En effet, à délimitation spatiale et géographique similaire, les travaux de E. Your (2003) sur une période comparable montrent au contraire une augmentation de l'inégalité des tailles de villes, que nous retrouvons avec les données harmonisées sur les agglomérations de DARIUS. Il nous semble enfin que la force de cette base DARIUS réside dans son harmonisation et le grand nombre de villes prises en compte, permettant de comparer les résultats des ajustements post-soviétiques avec d'autres cas d'étude dans le temps et dans l'espace.

Avant d'interpréter les niveaux de hiérarchie et la dynamique de hiérarchisation des villes de l'ex-Union soviétique, nous présentons les mesures permettant de juger du bon ajustement des données à une loi puissance, ainsi que l'impact des délimitations géographiques et des seuils de taille minimale sur la valeur de l'exposant au cours du temps.

Le degré de hiérarchie des éléments (donné par la valeur absolue de la pente de la droite d'ajustement) apparaît fortement corrélé au choix du seuil (tableau 2.2.2). Ainsi, alors que ce coefficient est significativement supérieur à 1 dans les deux périmètres de l'URSS et de la Fédération de Russie lorsque toutes les villes sont prises en compte, indiquant une différenciation importante des tailles de villes, il décroît et se rapproche de 0 à mesure que l'on restreint l'effectif urbain en éliminant les plus petites villes. À l'extrême, lorsque seules les villes millionnaires sont prises en compte, il indique, surtout pour la Russie, une distribution très égalitaire. La pente de la droite est alors de -0.463. En effet, une quinzaine de villes de Russie ont entre 900 000 et 1 100 000 habitants, contre seulement 4 entre 700 et 900 000.

L'ajustement est donc meilleur lorsque l'effectif est le plus large, c'est-à-dire en considérant toutes les villes de plus de 10 000 habitants. La différenciation des tailles de villes, beaucoup plus prononcée que lorsque l'on observe uniquement les grandes villes, peut expliquer les différentes

⁹ Probablement dues à la forte variation temporelle de la taille de l'effectif de villes étudiées.

conclusions des auteurs s'étant intéressés à la partie supérieure de la hiérarchie urbaine soviétique et post-soviétique.

Tableau 2.2.2. Variation des indices de hiérarchie urbaine en fonction des choix de seuil et de périmètre

Seuil appliqué en 2010	Limites de l'URSS			Limites de la Fédération de Russie		
	n	R ² (%)	Indice de hiérarchie (pente)	n	R ² (%)	Indice de hiérarchie (pente)
> 10 000 habitants	1929	98.7	1.104	981	98.65	1.131
> 25 000	916	97.6	1.040	492	97.98	1.057
> 50 000	482	96.1	0.960	260	96.42	0.996
> 100 000	278	96.5	0.826	145	95.94	0.865
> 250 000	141	98.0	0.699	79	96.22	0.746
> 500 000	64	95.7	0.643	38	94.65	0.541
> 1 000 000	27	88.8	0.630	15	83.49	0.463

Source : DARIUS, 2014. Rouge : meilleur ajustement pour un périmètre géographique donné.

Quel que soit le périmètre retenu, la qualité de l'ajustement (autour de 98%) n'est pas excellente, si on la compare aux différents pays du monde, pour lesquels il se situe fréquemment entre 99 et 100% (Moriconi-Ebrard, 1993). Il est toutefois meilleur dans le périmètre de l'URSS de 1840 à 1926 et depuis 1989 (tableau 2.2.3), c'est-à-dire avant et après la période soviétique... Ce résultat est fortement contre-intuitif et incohérent avec l'idée d'une relation entre qualité d'ajustement de la loi de Zipf et intégration du système de villes (Harris, 1970 ; Robson, 1973 ; Moriconi-Ebrard, 1993 ; Sanders, 2012), puisque dans le cas de l'ex-URSS, l'ajustement apparaît meilleur lorsque système politique et système économique sont moins intégrés.

Notre hypothèse d'explication est la suivante : l'ajustement serait sensible aux déviations du haut de la hiérarchie urbaine, où l'on observe les résidus les plus importants. Or ces villes sont pour la plupart des capitales administratives, qui sont passées d'un statut de capitales de républiques au sein de la Fédération soviétique à celui de capitales d'États indépendants depuis 1992. Elles auraient donc bénéficié d'une croissance plus forte depuis la chute de l'URSS et comblé la principale déviation de la distribution rang-taille au modèle de Zipf : celle qui concerne le haut de la hiérarchie, où les villes apparaissent plus petites qu'attendu depuis le XIXe siècle (figure 2.2.2).

Nous ne remettons donc pas en cause l'influence des conditions géo-historiques sur les propriétés du système de villes, mais n'invalidons pas pour autant l'intérêt d'utiliser les modèles généraux, qui permettent au contraire

d'identifier ces conditions particulières en référence à un attendu « banal ». Surtout, cet exercice nous conforte dans la position de retenir le cadre géographique de l'ex-URSS pour étudier les interactions interurbaines russes.

Tableau 2.2.3. Évolution des indices de hiérarchie au cours du temps

Date de recensement	Limites de l'URSS			Limites de la Fédération de Russie		
	n	R ²	Indice de hiérarchie (pente)	n	R ²	Indice de hiérarchie (pente)
1840	91	94.6	0.719	48	91.3	0.871
1856	125	97.0	0.695	67	91.7	0.765
1897	315	99.1	0.809	161	97.6	0.829
1926	456	98.9	0.884	264	98.4	0.893
1939	695	98.5	1.019	411	98.6	1.027
1959	1133	98.8	1.035	695	99.2	1.031
1970	1377	98.6	1.079	807	99.0	1.073
1979	1598	98.6	1.091	863	98.7	1.103
1989	1822	98.7	1.089	926	98.6	1.111
2002	1877	98.7	1.089	958	98.6	1.114
2010	1929	98.7	1.104	981	98.7	1.131

Source : DARIUS, 2014. Rouge : périmètre le mieux ajusté pour une date donnée.

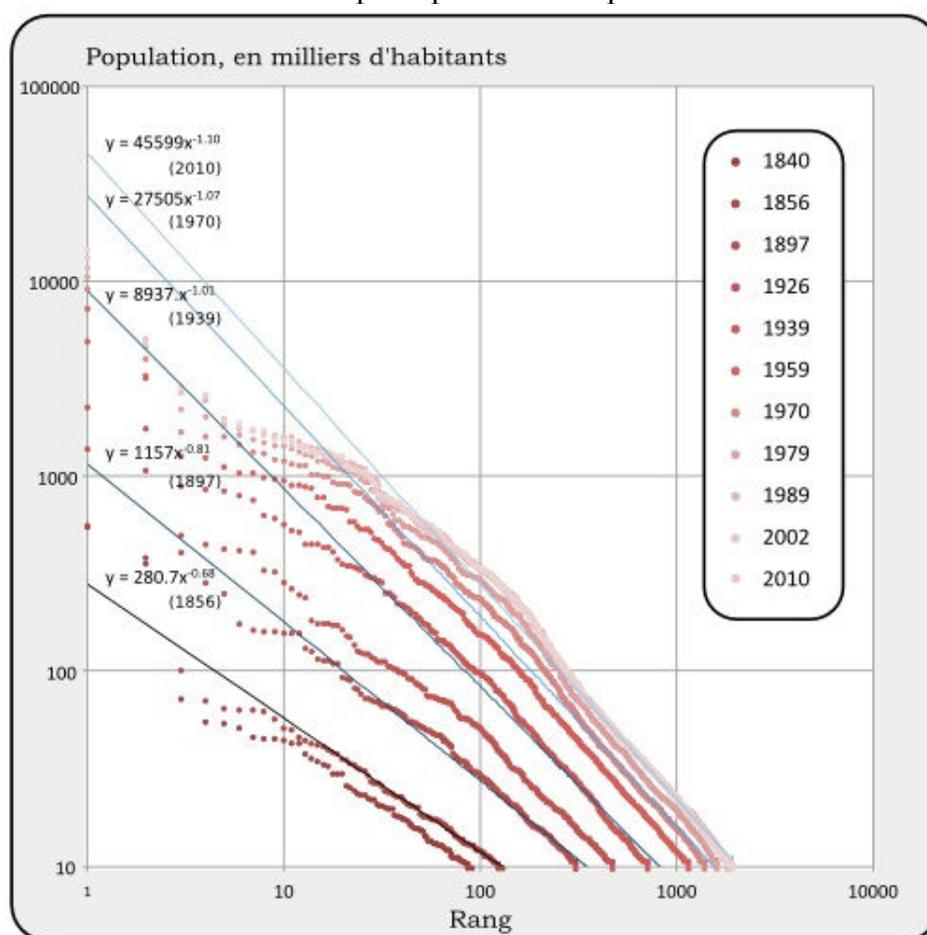
L'attendu théorique formulé par G. Zipf (1949), repris plus ou moins directement par ses successeurs (Berry, Okulicz-Kozarin, 2012 ; par exemple), est que l'exposant de la loi puissance liant population et rang des villes soit de 1 (en valeur absolue). Bien que cette valeur 1 soit rarement rencontrée empiriquement, les travaux menés à l'échelle mondiale à différentes époques font état d'exposants proches de cette valeur :

« La moyenne de la valeur de la pente des ajustements s'établit à -1,053. Toutes les valeurs sont proches de -1, puisque les extrêmes varient entre -0,689 (Égypte) et -1,337 (Arabie Saoudite). L'écart-type est très faible (0,138) : une telle uniformité d'un paramètre est tout à fait remarquable à l'échelle du monde. » (Moriconi-Ebrard, 1993, p.168)

Le niveau hiérarchique de l'ex-URSS varie entre 0.7 (valeur absolue de la pente des ajustements log-linéaires) au milieu du XIX^e siècle et 1.1 en 2010. En moyenne, il s'agit donc d'un niveau proche de celui attendu si l'on considère la loi de Zipf comme un équilibre. Si l'on s'intéresse à l'évolution temporelle, on observe une tendance à la hiérarchisation, continue quel que soit le périmètre d'analyse.

Ce redressement des courbes rang-taille en ex-URSS (figure 2.2.2), attesté aussi avec des données harmonisées dans les contextes urbains européen (Bretagnolle *et al.*, 2000), américain (Bretagnolle *et al.*, 2008) et indien (Swerts, 2013a), vient contrarier l'idée d'un équilibre autour de la valeur symbolique 1. On observe plutôt un processus de hiérarchisation « par le haut » avantage cumulatif des grandes villes par la captation rapide des innovations qui se diffusent ensuite hiérarchiquement (Pred, 1973 ; Pumain, 1997a ; Favaro, 2007) et « par le bas » court-circuit des petites villes par des réseaux de transports de plus en plus rapides qui provoquent une contraction de l'espace-temps (Pumain, 1997a ; Bretagnolle, 2009) .

Figure 2.2.2. Ajustements puissance aux distributions rang-taille des villes de l'espace post-soviétique : 1840-2010



Source : DARIUS, 2014

Cette tendance à une hiérarchisation « classique » vient enfin amoindrir les arguments développés plus haut concernant le contrôle soviétique sur la taille des grandes villes ou tout au moins son efficacité (Gang, Stuart, 1999). On soupçonne donc que les mêmes facteurs de cycles d'innovation et de

contraction de l'espace-temps ont joué en Union soviétique comme ailleurs au XX^e siècle. « *Manifestement, l'urbanisation [soviétique] n'est pas seulement un phénomène qui concerne le mouvement des campagnes vers les villes : il comprend aussi celui des petites villes vers les grands centres urbains.* » (Lewin, 1989, p.65). Il semble que les migrations rural-urbain n'aient pas suivi non plus de configuration si particulière :

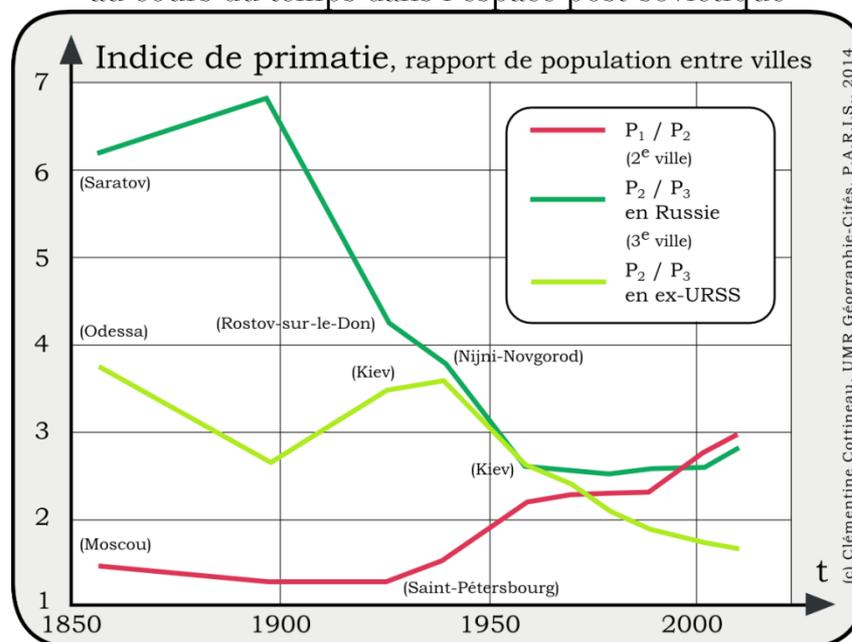
“Rural to urban migration as a source of growth broadly conforms to trends found in market economies. That is, rural to urban migration flows responded to the same factors known to be important in market economies, specifically the costs and benefits associated with sending and receiving regions. These results conform to the argument that in the FSU efforts to control population movement for the most part did not focus on the basic reasons for that movement. Moreover, if one examines the size structure of FSU cities using the rank size rule, familiar patterns emerge, though the size structure of FSU cities is not linear as is often the case in market economies.” (Gang, Stuart, 1999, p.199).

Pour terminer cette confrontation des modèles d'organisation hiérarchique de systèmes de villes avec les données urbaines compilées dans DARIUS, nous nous intéressons à la forme de déviation de la distribution rang-taille post-soviétique d'avec le modèle log-linéaire. Contrairement à de nombreuses configurations dans le monde, la hiérarchie soviétique puis post-soviétique ne présente pas de macrocéphalie. Au contraire, on constate que les plus grandes villes sont toutes systématiquement moins grandes qu'attendu (elles sont « sous la droite d'ajustement », cf. figure 2.2.2) depuis le début du XX^e siècle, ce que traduit la concavité de la courbe pour les premiers rangs de villes (cf. 2.3.1.2).

Durant l'Empire russe, le système de villes est à l'image de son aigle : bicéphale. Les deux premières villes sont de taille comparable. La population de Moscou dépasse celle de Saint-Pétersbourg au début des années 1920, suite au transfert de la capitale et aux dégâts de la guerre civile dans Saint-Pétersbourg, dont l'image est celle de la ville impériale : fondée par Pierre le Grand comme symbole de modernité et « *fenêtre sur l'Europe* » (Pouchkine). Cependant, ce n'est qu'entre 1939 et 1959 que l'indice de primatie devient supérieur à 2 (figure 2.2.3), signifiant un écart plus grand entre les deux premières villes que ne le laisse supposer la loi de Zipf. Simultanément, l'écart entre les 2^e et 3^e villes (que ce soit à l'échelle de la Russie ou de l'URSS) se réduit, de telle sorte qu'aujourd'hui, la proportion entre les 2^e et 3^e villes d'ex-URSS correspond à l'ordre de grandeur donné par une loi de Zipf théorique : c'est à dire autour de 3/2. En Russie en revanche, la 3^e ville est beaucoup plus petite qu'attendu : l'agglomération de Nijni-Novgorod est près de trois fois moins peuplée que Saint-Pétersbourg. Cette lente adaptation plaide encore en faveur de l'adoption des limites de l'ex-URSS dans la suite de ce travail.

La hiérarchisation observée à l'échelle de l'ensemble du système depuis le milieu du XIX^e siècle ne s'accompagne donc pas d'une tendance symétrique parmi les plus grandes villes seulement.

Figure 2.2.3. Évolution des indices de primatie au cours du temps dans l'espace post-soviétique



Source : DARIUS, 2014

« Cette relativité de l'application d'un modèle, visible pour la loi rang-taille à certaines tendances d'évolution non-linéaires des distributions, ne doit pas empêcher d'utiliser ce modèle comme une référence. [...] La force de la loi rang-taille est donc de pouvoir donner une signification logique à la plupart des irrégularités qui échappent au modèle. » (Moriconi-Ebrard, 1993, pp.242-243)

Nous aborderons l'interprétation des irrégularités dans la dernière partie de ce chapitre. Avant cela, les propriétés générales d'espacement et de différenciation fonctionnelle sont testées au regard des données urbaines harmonisées présentées dans le Chapitre 1 et en réponse aux arguments de spécificités présentés plus haut.

2.2.3. Espacement

Pour rendre compte de la plus ou moins forte égalité de la répartition des villes, il est possible d'utiliser les mesures de concentration du semis urbain. Des premières estimations consistent à comparer des distances moyennes (Moriconi-Ebrard, 1993), qui sont en fait des distances théoriques directement liées à la taille de l'ensemble territorial concerné¹⁰. Dans un pays immense comme la Russie et l'ex-URSS, cette distance moyenne, de 150 km environ dans la deuxième moitié du XXe siècle, est donc particulièrement importante en comparaison avec d'autres systèmes de villes (tableau 2.2.4). L'Europe en particulier apparaît comme un continent de villes très proches (entre 15 et 20 km en moyenne entre villes voisines, soit 10 fois moins qu'en ex-URSS ; cf. Cattani *et al.*, 1999). Les États-Unis, la Chine, l'Inde et le Brésil ont des villes deux à trois fois plus rapprochées que l'ex-Union soviétique, et seul le Canada apparaît aussi peu densément urbanisé en moyenne.

Tableau 2.2.4. Espacement moyen entre villes dans le monde

Espacement moyen en km	1950	1960	1970	1980	1990
Monde	56	49	44	40	-
Ex-URSS	202	180	151	133	121
Amérique	81	69	61	54	-
Afrique	71	56	48	41	-
Asie	41	35	33	29	-
Europe	18	17	16	16	-
Canada	176	159	131	120	118
Russie	137	133	109	104	95
Brésil	104	73	60	49	-
États-Unis	56	51	49	46	44
Chine	56	40	39	35	-
Inde	28	24	22	19	17

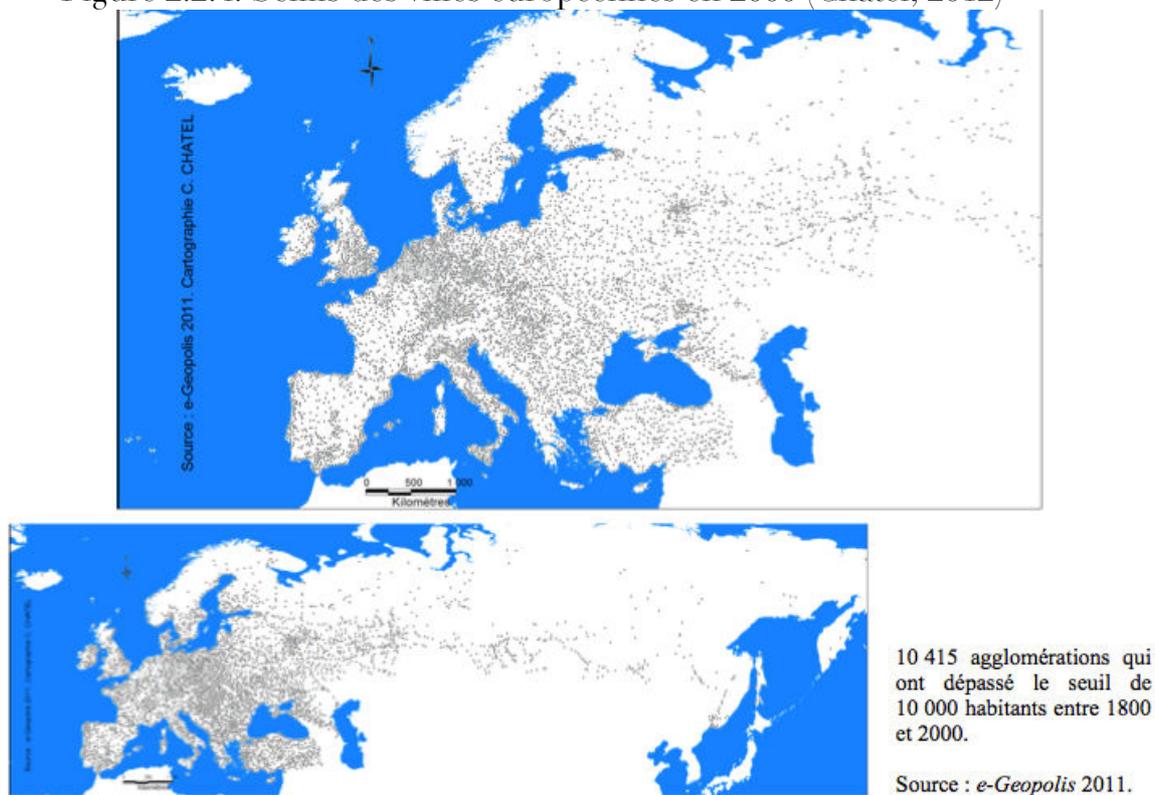
Source : (Moriconi-Ebrard, 1994, pp.165-175).

En revanche, cette distance théorique n'est pas représentative de la distance effective entre villes proches, telle que peut en rendre compte la distance au plus proche voisin par exemple. La distance entre villes dans l'ex-URSS, visible sur le semis de la figure 2.2.4 semble comparable au semis ouest-européen. À première vue, le semis des villes russes ne paraît pas plus régulier

¹⁰ Par construction, puisque que cette distance d correspond au rapport entre 0.5 et la racine de la densité de villes : $d = 0.5 / \sqrt{(n/s)}$, avec n le nombre de villes de l'ensemble territorial considéré et s sa surface.

que celui des villes européennes. Ainsi, dans la classification des différents semis nationaux mis en relief par C. Rozenblat (1995) et différenciant l'Europe centralisée (France, Espagne), l'Europe de la dorsale et l'Europe régulière (pays d'Europe de l'Est), la Russie correspondrait clairement au type de semis centralisé plutôt qu'à la régularité des semis polonais ou roumain.

Figure 2.2.4. Semis des villes européennes en 2000 (Châtel, 2012)



Source : (Châtel, 2012, p.308).

Enfin, le rapport R entre ces deux distances (distance moyenne et distance au plus proche voisin), proposé par L. King (1962) fournit une mesure de la concentration/dispersion du semis urbain¹¹. « *Ce rapport vaut 1 dans le cas d'un semis aléatoire, il tend vers 2.149 dans le cas d'un semis régulier (sommets de triangles équilatéraux) et vers 0 dans le cas d'un semis concentré* » (Pumain, 1984, p.171).

Cette mesure est évidemment sensible au seuil de population appliqué, comme l'a montré D. Pumain (1984) à partir du cas français entre 1831 et 1975 : les villes les plus grandes sont le plus régulièrement espacées, tandis que les villes de moins de 20 000 habitants tendent à suivre un semis de type aléatoire.

¹¹ Cette mesure a été beaucoup reprise dans les manuels de géographie quantitative (Haggett *et al.*, 1977; Pumain, Saint-Julien, 1997; entre autres), mais étonnamment peu appliquée à des cas concrets, et notamment pour décrire l'espacement dans les systèmes de villes.

L'hypothèse à tester dans notre cas serait celle d'un peuplement urbain particulièrement régulier, présentant un indice de concentration très supérieur à 1, et d'autant plus durant la période soviétique. À titre de comparaison, nous présentons les résultats obtenus avec les données DARIUS, et les données françaises, les seules disponibles et comparables dans la littérature à notre connaissance (tableau 2.2.5).

Tableau 2.2.5. Indice de concentration de semis urbain :
comparaison France-URSS

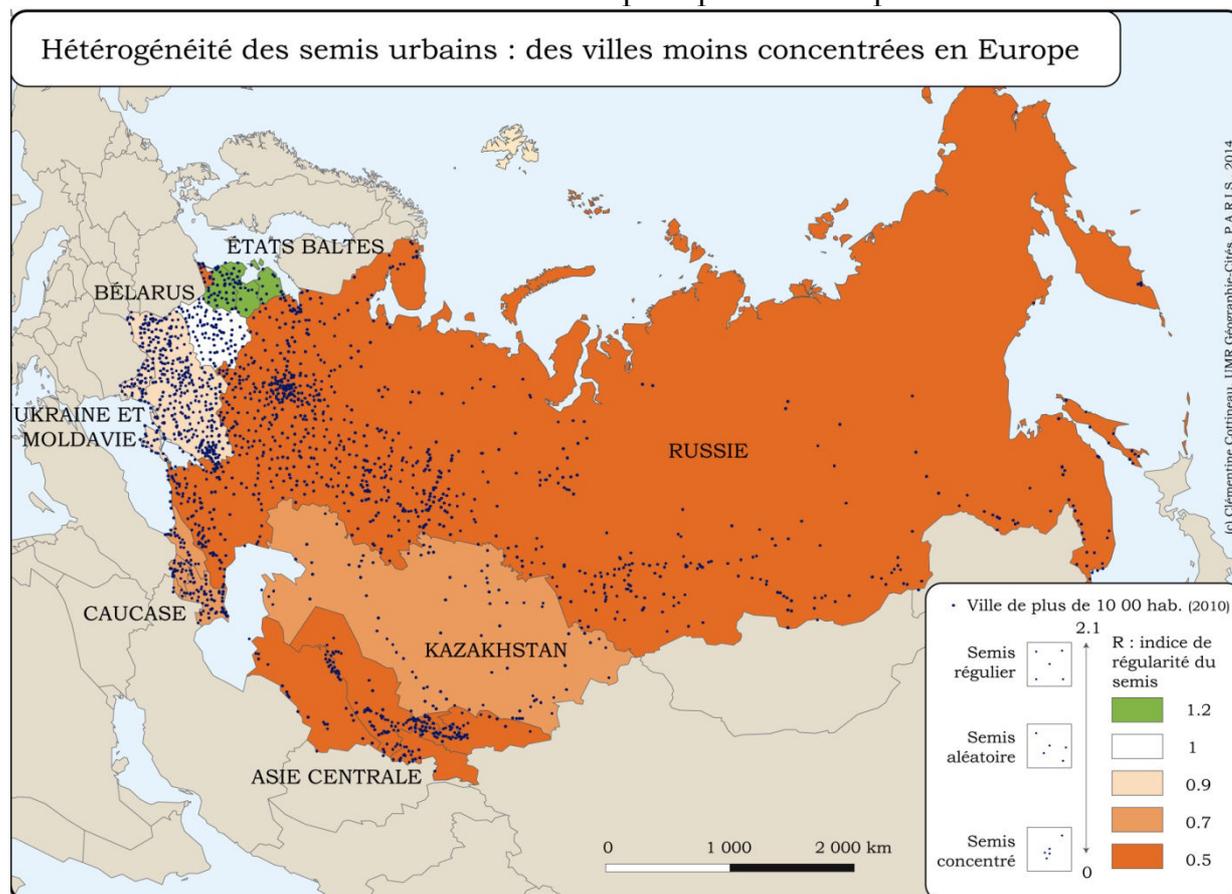
R	1831-1861	1861-1911	1926	1959	1970	1979	1989	2010
France*	1.17	1.13	-	1.2			-	-
Ex-URSS**	0.80	0.63	0.64	0.59	0.58	0.57	0.57	0.50

Source : *(Pumain, 1984, p.169). **DARIUS, 2014.

Ces résultats auraient tendance à infirmer complètement l'hypothèse d'homogénéité du peuplement à l'échelle du territoire dans son ensemble, puisque l'indice R, en tendant vers 0, signale une répartition bien plus concentrée que celle du semis des villes françaises. De plus, durant toute la période, le ratio R ne cesse de baisser, représentant un semis de plus en plus concentré spatialement au cours du temps.

De fait, ce résultat traduit la très inégale répartition des villes entre les régions de l'URSS, et est fortement influencé par la prépondérance de la Russie dans le calcul, puisqu'elle représente la moitié des villes d'ex-URSS et présente une situation d'immensité toute particulière. Les calculs effectués sur des ensembles régionaux plus homogènes identifient plusieurs formes de répartition (cf. figure 2.2.5 ; tableau 2.2.6).

Figure 2.2.5. Répartition de la valeur régionale de l'indice de concentration du semis urbain dans l'espace post-soviétique



Source : DARIUS, 2014.

Tableau 2.2.6. Valeurs régionales de l'indice de concentration du semis urbain dans l'espace post-soviétique

Ensemble territorial	R (2010)	Nombre de villes prises en compte
Russie	0.503	980
<i>Dont Russie d'Europe</i>	<i>0.875</i>	<i>600</i>
<i>Dont Russie d'Asie</i>	<i>0.493</i>	<i>380</i>
Asie centrale sans le Kazakhstan	0.506	201
Caucase	0.683	120
Kazakhstan	0.730	91
Ukraine et Moldavie	0.910	384
Biélorussie	1.044	81
États baltes	1.214	67

Source : DARIUS, 2014.

Cette vision est donc à nuancer par la répartition régionale ainsi mise en valeur et par la prise en compte de l'espace de référence occupé par l'habitat

humain (l'oecumène) : le semis apparaît ainsi comme concentré si l'on observe toute la Russie, et plus régulier si sa mesure ne concerne que la partie européenne de ce territoire (figure 2.2.6). En effet, E. Thomas (1961) et L. King (1961) ont montré avec l'exemple des États-Unis que certains facteurs avaient une influence sur l'espacement constaté entre villes. En plus de la taille et de la diversité fonctionnelle, ils notent l'importance mécanique de la densité de population et celle de la spécialisation industrielle : les villes sont plus rapprochées lorsque la population est dense alentour, et sur les gisements ayant donné naissance à des regroupements de villes spécialisées dans l'industrie.

Figure 2.2.6. Répartition de l'oecumène dans l'espace soviétique (Harris, 1945)

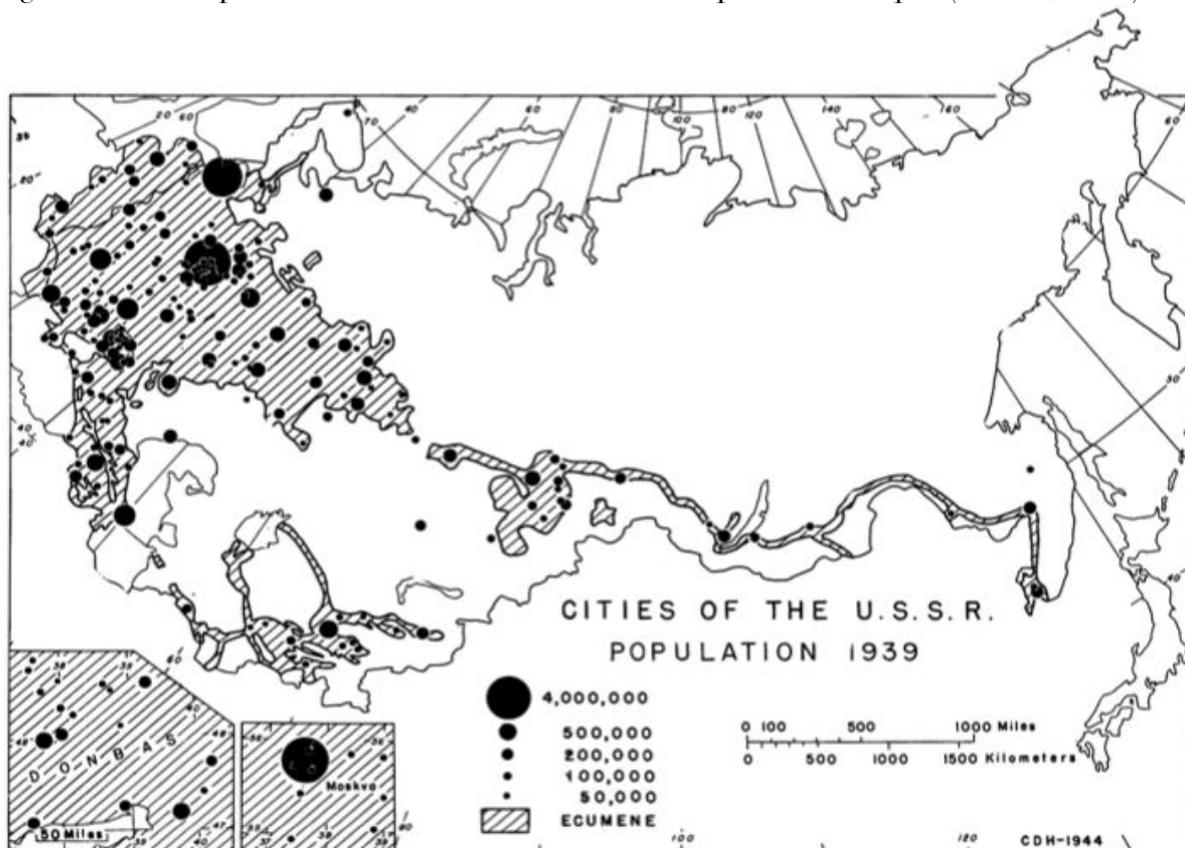


FIG. 4—Soviet cities in relation to the ecumene. The boundaries of the ecumene ("inhabited area") are based on a density of rural population of 10 persons or more to a square kilometer as shown in the "Great Soviet World Atlas," Vol. 2, Plates 11 and 12.

Source : (Harris, 1945, p.109)

On peut donc interpréter la régularité biélorusse par l'application des principes socialistes sur un terrain urbain relativement vierge (Richard, 2002), tandis que la Russie et le Kazakhstan, caractérisés par une immensité territoriale et une densité de population très faible, montrent l'impact du chemin historique et des conditions géo-historiques sur la forme et la densité du semis. Cependant, tous les ensembles territoriaux restent moins réguliers que les villes françaises, infirmant notre hypothèse de départ. La densité du semis peut être interprétée comme une forme d'égalité territoriale, mais aussi

comme un indicateur qui « exprime l'intensité de l'urbanisation d'un territoire. Un semis dense favorise des relations étroites entre les villes, qui doivent être connectées entre elles par des réseaux serrés et de plus en plus complexes ; au contraire, lorsque la densité du semis des villes est faible, et quelle que soit la taille de ces dernières, c'est l'ensemble des réseaux d'un territoire qui prend une configuration plus lâche. » (Moriconi-Ebrard, 1993, p.69).

Nous reviendrons sur les interprétations données à la concentration et l'évolution du semis de villes en le comparant à d'autres dans la dernière partie du chapitre (section 2.3.1.3). Il nous faut d'abord évaluer la répartition des fonctions entre villes d'ex-URSS.

2.2.4. Spécialisation fonctionnelle

À l'échelle nationale, l'ex-URSS et la Russie actuelle présentent un profil économique marqué par la surreprésentation de l'extraction des matières premières dans la production de valeur ajoutée et les exportations. O. Garanina (2009, p.5) note que les hydrocarbures ont représenté entre 39 et 63% des exportations russes en valeur, de 1998 à 2006, et que les minerais et métaux comptaient dans le même temps pour entre 6 et 16%. De plus, N. Zoubarevitch (2003) note que l'entrée de la Russie dans l'OMC¹² en 2001 a eu un impact très défavorable pour l'industrie, les services et l'agriculture, non-concurrentiels à l'échelle mondiale et extrêmement concentrés dans l'espace. Ainsi, 65% du textile russe est produit dans trois sujets, la majorité de l'élevage dans 10, et la totalité de production automobile se localise dans deux sujets seulement.

Il existe peu d'informations disponibles et harmonisables sur le long terme permettant d'évaluer la répartition et l'évolution de la différenciation fonctionnelle soviétique ou russe, à la manière des études sur les États-Unis (Pred, 1977 ; Pumain *et al.*, 2006d), l'Europe (Cattan *et al.*, 1999 ; Rozenblat, Cicille, 2003), l'Afrique du Sud (Vacchiani-Marcuzzo, 2005 ; Pumain *et al.*, 2006d) ou la Chine (Swerts, 2013a).

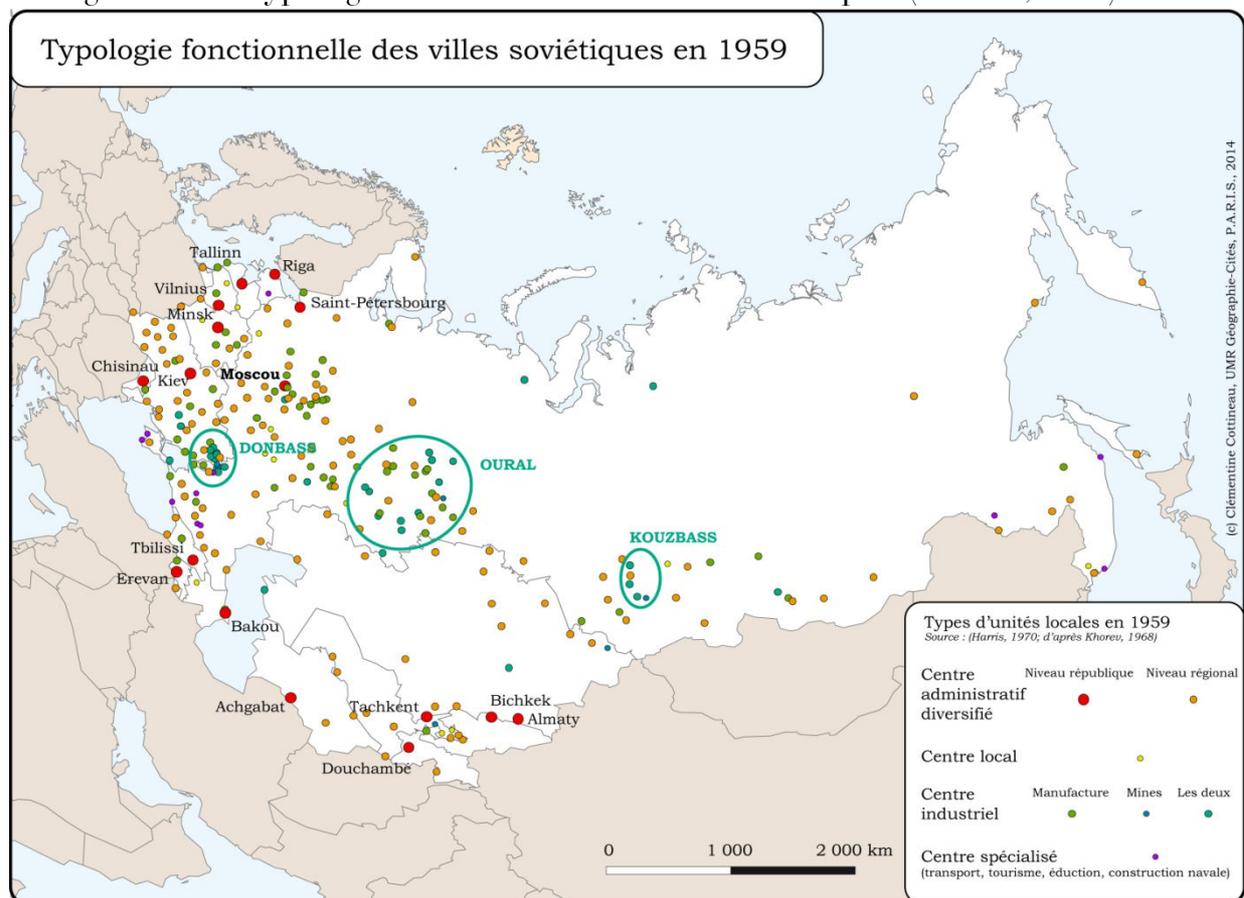
Nous pouvons toutefois nous référer à des études statiques ayant produit des typologies de villes soviétiques ou russes en fonction de leur spécialisation économique. Ainsi, les typologies de B. S. Khorev (1968) et L. Diappi *et al.* (2013a) permettent de construire une image de l'évolution de la spécialisation

¹² Organisation Mondiale du Commerce

fonctionnelle des unités locales soviétiques et russes en 1959 et 2010 (figures 2.2.7 et 2.2.8).

La typologie de B. S. Khorev (1968), reprise par C. Harris (1970), que nous avons cartographiée pour produire la figure 2.2.7, donne pour les unités locales urbaines de plus de 50 000 habitants une classification qui prend en compte la taille de l'unité, son statut administratif et sa spécialisation économique. Ressortent donc deux niveaux de grandes villes capitales de républiques (16 villes de plus de 250 000 habitants en comptant Saint-Petersbourg) et de régions (118 villes de tailles diverses), à la base économique diversifiée. À un troisième niveau, local, 15 villes viennent compléter l'effectif des villes diversifiées, équivalentes à des lieux centraux. Ces villes sont les plus régulièrement réparties sur le territoire habité.

Figure 2.2.7. Typologie fonctionnelle des villes soviétiques (Khorev, 1968)



Source : (Harris, 1970, d'après Khorev, 1968)

Un deuxième grand type de villes se distingue par sa spécialisation industrielle, au sein duquel B. S. Khorev distingue 82 villes manufacturières, 6 villes minières ou consacrées à l'extraction de ressources, et 44 centres combinant ces deux activités principales. Les centres manufacturiers sont sur-représentés dans la partie européenne de l'Union soviétique, la plus

anciennement industrialisée, tandis que les centres miniers sont très classiquement concentrés dans les bassins de gisement de ressources : Donbass, Oural, Kouzbass et quelques mines du grand Nord. Enfin, une dizaine de villes sont distinguées comme centres fonctionnellement spécialisés. Il s'agit des bases navales de Crimée, des ports de l'Extrême-Orient ou des stations thermales du Caucase (en violet sur la carte).

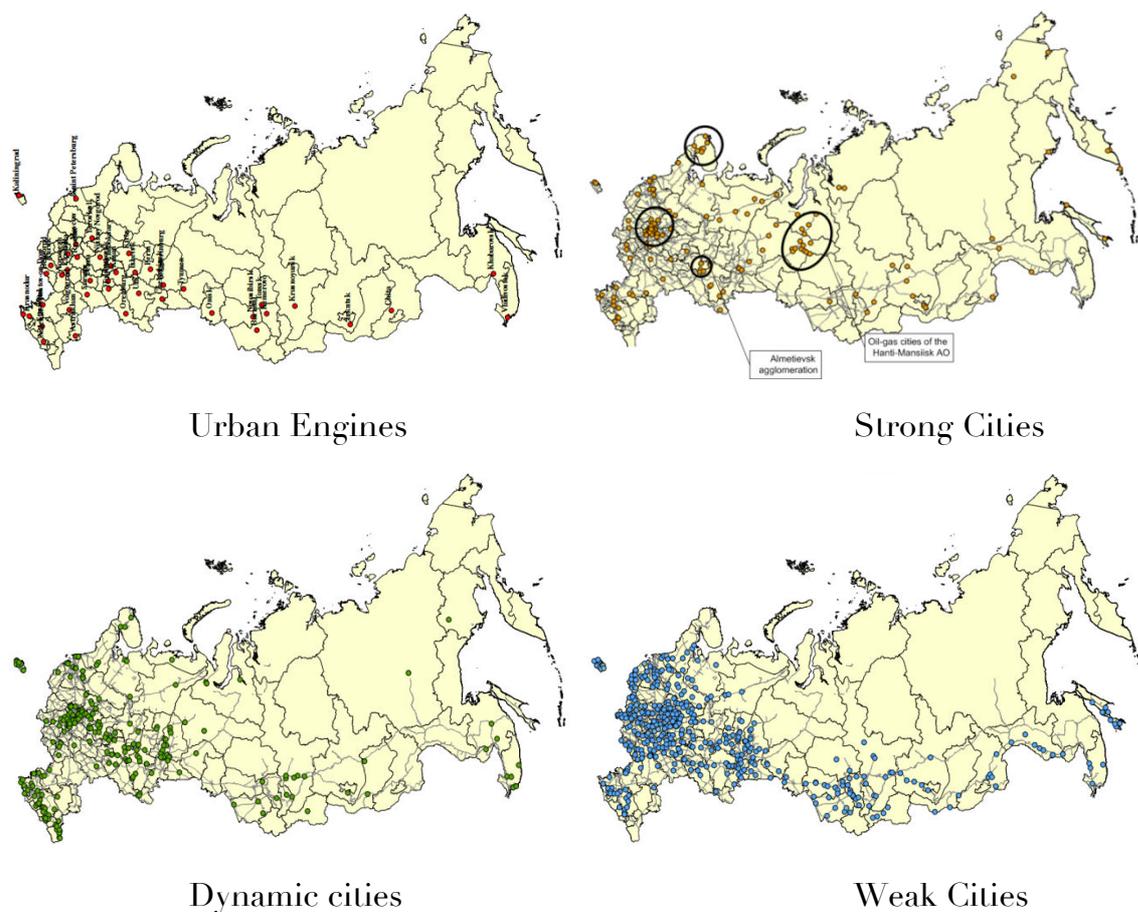
Cette structure de différenciation fonctionnelle est donc relativement proche de celles qu'il est possible de produire avec des données plus détaillées sur d'autres systèmes de villes, puisqu'on retrouve des grands centres diversifiés, des villes équivalent à des lieux centraux pour la desserte de leur territoire environnant, des villes industrielles selon le cycle économique prévalant en 1959, et enfin des villes possédant une structure économique très particulière et spécialisée, en faible nombre et localisées en fonction de la disposition de ressources particulières (conditions naturelles, positions stratégiques, etc.).

Dans la typologie fonctionnelle des villes russes de L. Diappi *et al.* (2013a ; 2013b) pour 2010, on trouve, à la manière des autres systèmes de villes et en concordance avec la théorie des lieux centraux, des grandes villes diversifiées et attractives (*Urban engines*). « *They could be considered as locomotives of the country's economic growth because all of them are growing multifunctional systems, with a high developed industrial, service and educational base. Actually the cities of this cluster are distributed quite evenly along the country* » (Diappi *et al.*, 2013a, p.13). Dans le groupe des « *strong cities* », se positionnent des localités urbaines de la région de Moscou et des grandes villes spécialisées dans l'industrie et l'extraction de ressources. Ces villes sont concentrées dans l'espace, à proximité de Moscou ou des zones de gisement, et profitent des hauts cours des matières premières pour distribuer des salaires élevés. « *The cities belonging to [the "dynamic cities"] cluster could be estimated as "average" cities with a mix of advantages and disadvantages. For instance, northern cities have a good economic profile but weak housing equipment; southern cities historically have a positive demographic trend but a very bad housing stock and a weak economic basis. Actually, the common aspect of this cities is that the most part of them have a good potential for a further development, which could take off with a strong government support, as for cities of Northern Caucasus, or by a good strategic location and industrial base as many cities in European part; or by the access and exploitation of natural resources as the Northern cities.* » (Diappi *et al.*, 2013a, pp.15-16). Enfin, les auteurs identifient un quatrième groupe de villes « faibles », sur le plan de la spécialisation (industries « inefficaces ») et des indices économiques (salaires et investissements faibles, chômage élevé).

Figure 2.2.8. Typologie fonctionnelle des villes russes (Diappi *et al.*, 2013a)

C 1-1 45 0.7%	C 1-2 26 0.5%	C 1-3 34 0.8%	C 1-4 18 0.7%	C 1-5 25 0.7%		
C 2-1 32 0.7%	C 2-2 29 0.7%	C 2-3 22 0.9%	C 2-4 35 1.8%	C 2-5 24 1.7%		
C 3-1 39 1.6%	C 3-2 41 1.8%	C 3-3 35 1.9%	C 3-4 42 2.7%	C 3-5 32 1.9%		
C 4-1 24 1.1%	C 4-2 28 2.2%	C 4-3 48 3.8%	C 4-4 52 6.6%	C 4-5 39 5.3%		
C 5-1 32 2.3%	C 5-2 27 1.9%	C 5-3 49 2.6%	C 5-4 32 5.7%	C 5-5 46 49.5%	Urban engines	Dynamic cities
					Strong cities	Weak cities

NB : première ligne : type de villes selon une classification automatique par réseaux neuronaux, seconde ligne : nombre de villes dans la classe.



Sources : (Diappi *et al.*, 2013a, pp.13-16 ; 2013b)

Ainsi, malgré la différence de nature des sources concernant les fonctions urbaines et leur évolution (délimitation juridique de la ville, non harmonisation, hétérogénéité des critères de classification, différences de méthodes, différence de périmètre géographique d'étude), nous pouvons retrouver un modèle d'organisation fonctionnelle proche des autres cas rencontrés ailleurs dans le monde, avec une répartition régulière de places centrales diversifiées, des villes spécialisées dans la fonction d'un cycle économique correspondant à des zones de localisation héritées et enfin des villes affichant une spécialisation très forte dans les domaines économiques du tourisme, de l'éducation ou du transport.

Au final, cette seconde partie de chapitre a permis d'observer que l'utilisation du concept de système de villes et sa délimitation géographique à l'ex-Union soviétique de 1840 à 2010 avait un sens. Nous répondons donc « oui » à la question de savoir s'il est possible de parler de système de villes post-soviétiques. Nous avons aussi montré qu'il était intéressant d'utiliser les modèles spatiaux d'organisation de ces villes à l'échelle du système, en convoquant la distribution rang-taille, des mesures d'espacement et l'utilisation de typologies fonctionnelles. Ces modèles servent de descripteurs d'une structure et permettent la comparaison avec d'autres systèmes de villes dans le monde, et révèlent aussi les écarts de ce cas particulier à des modèles théoriques (concavité de la distribution rang-taille, concentration du semis de villes dans les territoires marqués par l'immensité, importance des villes spécialisées dans l'extraction de ressources). Ces propriétés concernant la déviation du système post-soviétique vis-à-vis des modèles généraux, que l'on pourrait considérer comme des écarts (ou « résidus ») à ces modèles, font l'objet de la dernière partie de ce chapitre. Nous tentons de distinguer dans ces résidus la part explicable par des facteurs rencontrés dans d'autres parties du monde et la part attribuable uniquement aux conditions géo-historiques de l'ex-Union soviétique. Comme « *dans bien des travaux utilisant des modèles, ceux-ci fournissent une mise en ordre indispensable qui prépare d'autres types de raisonnements susceptibles de pousser plus loin la démarche explicative.* » (Durand-Dastès, 2001, p.49).

2.3. Un système intermédiaire

« Il est possible de rendre raison de la diversité observée des coutumes de deux façons : d'une part, en remontant aux causes responsables des lois particulières que l'on observe dans tel ou tel cas ; d'autre part, en dégagant des principes ou des types qui constituent un niveau intermédiaire entre la diversité incohérente et un schéma universellement valable. » (Aron, 1976, p.29)

Nous avons déjà utilisé l'expression de « système intermédiaire » pour rendre compte du caractère comparable du cas post-soviétique et de sa position intermédiaire en termes de structuration (hiérarchique notamment) par rapport aux systèmes de peuplement récents et anciens (Cottineau, 2013). Il nous semble que cette qualification convient également pour aborder la part du « banal » et de l'original, du général et du particulier dans l'évolution des villes post-soviétiques.

La démarche que nous avons suivie jusqu'à présent « consiste à utiliser le modèle pour prendre en charge les effets banals [...], les résidus mettant en valeur des effets spécifiques, qui seraient, autrement, restés parfaitement masqués par les effets banals. » (Durand-Dastès, 2001, p.35). Le banal correspond ici à l'évolution du fonctionnement « classique » d'un groupe de villes en interaction, telle qu'on peut la généraliser à partir de l'observation d'un grand nombre de cas d'étude particuliers. La part du général et du particulier peut être approximée par les écarts entre la modélisation et l'observation :

« On qualifie souvent ces écarts de “résidu”, jusqu'à ce qu'ils représentent ce qui “reste” à expliquer, une fois que l'on a fait intervenir le pouvoir explicatif des hypothèses du modèle. Les retouches que l'on peut opérer sur le modèle conduisent à des améliorations ou à des détériorations de l'adéquation entre simulation et réalité ; elles sont donc riches d'enseignements, à la fois sur le contenu des hypothèses et sur la façon dont le modèle a servi à les mettre en œuvre. [...] Il est mis fin aux retouches sur le modèle quand il devient impossible d'en opérer qui soient capables d'améliorer les ajustements entre simulation et observations. Les écarts qui persistent peuvent être, ainsi, considérés comme “incompressibles”, du moins dans le cadre où l'on s'est placé ». (Durand-Dastès, 2001, pp.32-33).

Ce sont ces écarts incompressibles que nous attribuerons à l'expérience russe et soviétique. Pour synthétiser, « *the rapid urbanization of the Soviet Union is part of a world-wide process of urbanization, modernization, specialization, inter-dependance, and economic development, but it has special features associated with Socialist planning in the Soviet Union* » (Harris, 1970, p.26). Cette démarche nous semble plus intéressante en termes d'explication que celle dont nous avons fait la revue en début de chapitre, et qui postule *a priori* la spécificité des villes de l'ex-Union soviétique. Nous proposons donc de raffiner les modèles spatiaux de description de la structure du système de villes post-soviétiques en mobilisant la théorie évolutive des villes pour construire des « modèles de résidus », c'est-à-dire des facteurs communs à différentes périodes et différents espaces permettant d'expliquer des déviations typiques aux modèles généraux.

2.3.1. La théorie évolutive des villes pour expliquer certains résidus

« Cette économie peut s'appréhender à la fois comme un système, doté de sa propre cohérence, et comme un processus de développement s'inscrivant dans une réalité historique, connecté à l'origine sur une trajectoire spécifique, celle de l'économie russe, et débouchant sur la réalité contemporaine. » (Sapir, 1997, p.99)

La théorie évolutive des villes de D. Pumain (1997a) est le résultat de l'observation et de l'étude de systèmes de villes à travers le monde et à travers le temps. La pratique d'harmonisation de données et de comparaison des propriétés de systèmes de villes est constitutive de nombre de travaux de l'équipe P.A.R.I.S. (Moriconi-Ebrard, 1993 ; Pumain *et al.*, 2006d ; Bretagnolle *et al.*, 2007 ; Bretagnolle, Pumain, 2010 ; Pumain *et al.*, 2014), et l'un des axes structurants du projet GeoDiverCity, dans lequel nous avons été intégrée. Cette observation prolongée et comparée de villes aux histoires et aux contextes géographiques différents a mené à proposer quatre registres d'explication pour rendre compte de certaines déviations typiques aux modèles généraux d'organisation des systèmes de villes. Nous présentons ces quatre « modèles de résidus » et ce qu'ils permettent d'apporter à l'explication de l'évolution des villes post-soviétiques : la prise en compte de l'ancienneté du peuplement sur le niveau de hiérarchie, le système d'encadrement territorial sur la concavité de la courbe rang-taille, le processus de colonisation d'un territoire immense sur l'espacement des villes, et enfin la présence de ressources localisées dans la spécialisation des profils fonctionnels.

2.3.1.1. Hiérarchie et ancienneté du peuplement

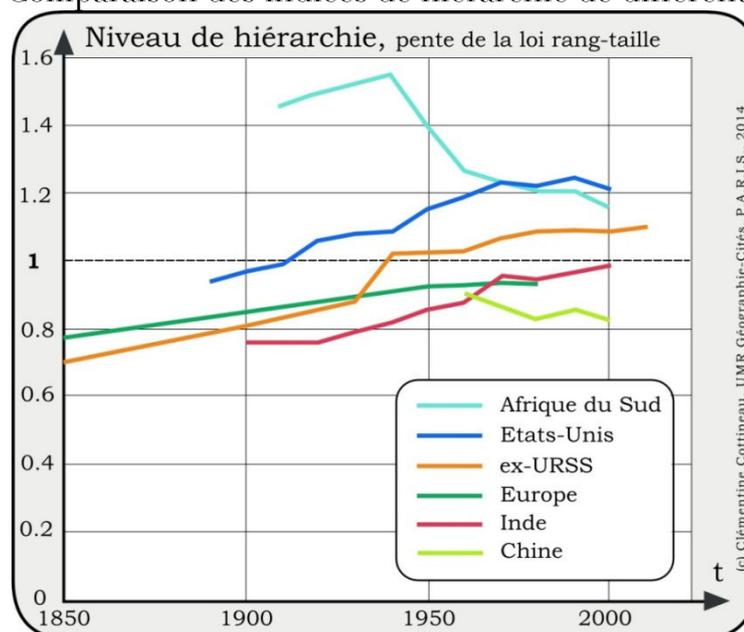
La comparaison des niveaux de hiérarchie révélés par la pente de la droite rang-taille (dans un repère bi-logarithmique), à travers le monde et le temps, a permis d'infirmar la relation souvent mise en avant entre développement économique, social et humain avancé et égalisation des tailles de villes¹³, et au contraire de mettre en valeur le lien entre ancienneté du peuplement et différenciation des tailles de villes. En l'occurrence, les territoires peuplés et urbanisés depuis longtemps ont tendance à afficher un indice de hiérarchie plus faible que les territoires récemment colonisés et/ou urbanisés (Moriconi-Ebrard, 1993 ; Pumain *et al.*, 2006d ; Bretagnolle *et al.*, 2007 ; Pumain *et al.*, 2014).

Cela peut être expliqué par la vitesse moyenne des transports au moment du développement des villes et de leur mise en relation. Ainsi, l'Europe, l'Inde ou la Chine ont vu les premières villes s'espacer à une vitesse pedestre d'un jour. Après la transition urbaine, il reste donc un grand nombre de villes proches et de petites tailles. Les indices de hiérarchie y sont faibles, inférieurs à 1 jusqu'à aujourd'hui (figure 2.3.1, tableau 2.3.1). À l'inverse, les États-Unis ou l'Afrique du Sud ont développé leur réseau urbain en s'appuyant sur un réseau de transport ferroviaire puis automobile. La distance-temps d'une journée pour connecter deux villes voisines (Pumain, 2006a) correspond alors à un espacement plus grand des villes, à un réseau de petites villes moins dense, et permet le développement de villes plus grandes. L'indice de hiérarchie est alors plus élevé (supérieur à 1 durant le XX^e siècle, et de l'ordre de 1.2 aujourd'hui dans ces deux pays).

La position de l'ex-URSS vis-à-vis de ces deux types d'exemple apparaît bien comme intermédiaire, avec un coefficient de hiérarchie proche de 1, situé entre celui des États-Unis et ceux de l'Europe, l'Inde et la Chine depuis un siècle. On constate aussi avec l'exemple de la Russie que depuis 1939, cet indicateur est systématiquement plus élevé dans la partie asiatique que dans la partie européenne, la plus anciennement peuplée avec Kiev fondée au VII^e siècle, tandis que le Transsibérien entre en service pour relier la côte pacifique en 1904 (Heller, 1997 ; tableau 2.3.2). L'inversion de l'inégalité avant 1939 n'est pas significative étant donné le mauvais ajustement de la loi puissance et le trop faible nombre de villes de la partie asiatique au début du XX^e siècle. L'intérêt de cette comparaison réside aussi dans la constatation d'un mouvement commun de hiérarchisation et d'une convergence des valeurs de l'indice dans les deux parties de la Russie, malgré l'inégalité qui persiste en lien avec l'ancienneté du peuplement urbain.

¹³ Et son corollaire : la hiérarchie plus importante des pays en développement.

Figure 2.3.1. Comparaison des indices de hiérarchie de différents systèmes de villes



Sources : (Bretagnolle *et al.*, 2000 ; 2008 ; Vacchiani-Marcuzzo, 2005 ; Swerts, 2013a ; DARIUS, 2014). Bases de données harmonisées, seuil : 10 000 habitants (sauf la Chine : 100 000).

Tableau 2.3.1. Comparaison des indices de hiérarchie de différents systèmes de villes

Année	États-Unis		Afrique du Sud		Ex-URSS		Inde		Europe		Chine	
	N	Pente	N	Pente	N	Pente	N	Pente	N	Pente	N	Pente
2010					1929	1.10						
2000	931	1.21	220	1.15	1877	1.09	3545	0.99			641	0.83
1990	835	1.25	144	1.20	1822	1.09	2664	0.97			454	0.86
1980	836	1.22	109	1.21	1598	1.09	2209	0.95	4970	0.94	353	0.83
1970	835	1.23	86	1.23	1377	1.07	1646	0.96	4575	0.94		
1960	794	1.19	61	1.27	1133	1.03	1366	0.88	4090	0.93	154	0.91
1950	721	1.15	41	1.40			1075	0.86	3632	0.93		
1940	693	1.09	19	1.57	695	1.02	849	0.82				
1930	665	1.08			456	0.88	701	0.79				
1920	565	1.06	15	1.47			592	0.76				
1910	510	0.99	14	1.44			552	0.76				
1900	389	0.97			315	0.81	579	0.76				
1890	336	0.94										
1850					125	0.70			1706	0.78		
1840					91	0.72						
1800									1583	0.69		
1700									603	0.80		
1600									606	0.75		

Sources : cf. figure 2.3.1.

Tableau 2.3.2. Évolution de l'indice de hiérarchie
selon l'ancienneté du peuplement en Russie

Périmètre		Russie	Partie européenne	Partie asiatique
2010	Pente	1,13	1,13	1,16
	n	981	736	245
	R ² (%)	98,7	98,8	98,6
2002	Pente	1,11	1,11	1,14
	n	958	720	238
	R ² (%)	98,7	98,8	98,5
1989	Pente	1,11	1,11	1,13
	n	926	698	228
	R ² (%)	98,6	98,8	98,4
1979	Pente	1,10	1,10	1,14
	n	863	668	195
	R ² (%)	98,7	98,9	98,3
1970	Pente	1,07	1,07	1,12
	n	807	634	173
	R ² (%)	99,0	99,2	98,2
1959	Pente	1,03	1,03	1,07
	n	695	554	141
	R ² (%)	99,2	99,4	98,3
1939	Pente	1,03	1,03	1,07
	n	411	340	71
	R ² (%)	98,6	99,1	95,8
1926	Pente	0,89	0,90	0,87
	n	264	231	33
	R ² (%)	98,4	98,7	87,8
1897	Pente	0,83	0,85	0,66
	n	161	145	16
	R ² (%)	97,6	97,7	90,0
1856	Pente	0,77	0,80	0,45
	n	67	61	6
	R ² (%)	91,7	92,1	90,0
1840	Pente	0,87	0,90	0,29
	n	48	44	4
	R ² (%)	91,3	91,8	96,9

Source : DARIUS, 2014

2.3.1.2. Hiérarchie et politique

« Les observations [...] ont conduit davantage à considérer les grandes villes comme un élément spécifique de systèmes urbains communs, plutôt que comme un élément commun de systèmes urbains spécifiques. »
(Moriconi-Ebrard, 1993, p.275)

Le second « modèle de résidus » proposé dans le cadre de la théorie évolutive des villes, c'est-à-dire dans une approche qui considère les villes dans leurs interactions, mais aussi leur insertion historique dans un ensemble territorial particulier, est celui qui vise à comprendre les variations de la distribution rang-taille autour d'une droite, et donc à rendre compte de la concavité ou de la convexité de la distribution dans un repère bilogarithmique.

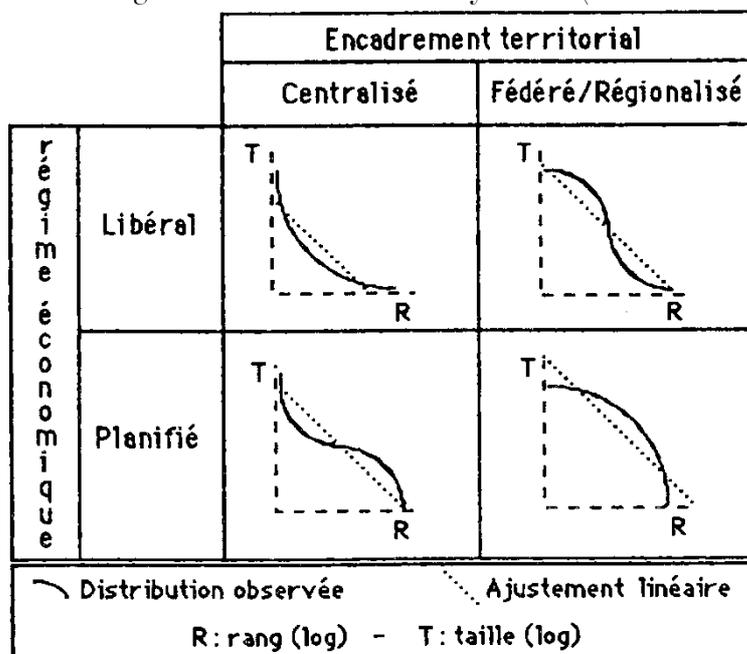
Une revue exhaustive des cas de déviation au modèle log-linéaire dans le monde est celle de F. Moriconi-Ebrard à l'échelle des pays en 1950 et 1990. Il distingue deux facteurs de déviation correspondant au type d'administration territoriale et politique : le type de régime économique (libéral ou planifié) et le type d'encadrement territorial (centralisé ou fédéré/régionalisé). Les régimes libéraux ont tendance à favoriser la croissance des plus grandes villes à un niveau plus élevé que prévu par un modèle linéaire, tandis que les régimes planifiés donnent des villes de petites tailles plus peuplées. D'autre part, la centralisation de l'encadrement territorial tend à favoriser un système macrocéphale, tandis que la régionalisation donne lieu à un sommet de la hiérarchie urbaine avec plusieurs villes de tailles comparables. La combinaison des deux caractéristiques politiques propose quatre formes possibles sur la figure 2.3.2.

Ce cadre d'analyse permet de situer *a priori* la forme de la distribution rang-taille des villes post-soviétiques dans le cadran Sud-Ouest de la figure, avec un régime planifié et un encadrement territorial centralisé.

« De fait, quelques décennies de régime planifié ont eu une influence considérable sur la forme de la distribution hiérarchique. Cette distribution est concave vers le bas dans les grandes régions de la CEI (-0,124 en Russie, -0,229 en Kazakhie, -0,068 en Ukraine, -0,212 en Biélorussie, et -0,023 en Ouzbékïe), en Roumanie (-0,165), en Bulgarie (-0,157), dans l'ex-Yougoslavie (-0,167), en Chine (-0,045), au Viet Nam (-0,028). De même, la distribution des villes cubaines, bien que concave vers le bas, l'est beaucoup moins que celle des ses voisins, le Guatemala ou la République dominicaine, pays comparables par le niveau de

développement, la dimension territoriale et l'effectif de population. Les politiques d'aménagement volontaristes ont un effet tout à fait remarquable, y compris dans les pays non socialistes. » (Moriconi-Ebrard, 1993, p.176)

Figure 2.3.2. Association théorique entre forme d'encadrement et forme de la distribution rang-taille des villes d'un système (Moriconi-Ebrard, 1993)



Nota : Les déformations des distributions observées ont volontairement été exagérées.

Source : (Moriconi-Ebrard, 1993, p.195)

Tableau 2.3.3. Évolution des indices de concavité au cours du temps

Date de recensement	Ajustement polynomial de degré 2 : $\log P_i = \alpha (\log R_i)^2 + \beta \log R_i + \gamma$				
	n	R ² (en %)	α	β	γ
1840	91	96.0	0.145	-1.100	2.588
1856	125	97.6	0.092	-0.939	2.596
1897	315	99.1	-0.042	-0.669	2.954
1926	456	99.4	-0.082	-0.570	3.131
1939	695	99.7	-0.153	-0.394	3.369
1959	1133	99.8	-0.133	-0.440	3.594
1970	1377	99.5	-0.155	-0.371	3.688
1979	1598	99.5	-0.164	-0.332	3.738
1989	1822	99.4	-0.169	-0.302	3.765
2002	1877	99.4	-0.169	-0.297	3.750
2010	1929	99.4	-0.165	-0.320	3.787

Source : DARIUS, 2014. Le paramètre « α » est celui qu'interprète F. Moriconi-Ebrard lorsqu'il compare les niveaux de concavité des ajustements rang-taille dans le monde.

Bien que le caractère entièrement centralisé de l'ex-URSS soit discutable, au vu de la décentralisation de fait qui existait dans l'organisation de la production notamment, on voit que ce modèle de relation entre hiérarchie et organisation politique permet de comprendre l'influence de l'administration territoriale sur la forme de la hiérarchie urbaine (tableau 2.3.3) et de ne pas attribuer à la seule expérience historique soviétique une caractéristique liée avant tout à des formes d'organisation politique et économique, particulières mais répandues dans plusieurs régions du monde.

De même, les particularités apparues précédemment dans l'étude de l'espace des villes ne semblent pas être le résultat unique des utopies communistes urbaines des années 1920, mais peuvent s'expliquer pour partie et de manière comparative en prenant en compte l'impact de la colonisation d'un territoire immense.

2.3.1.3. Espace et colonisation d'un territoire immense

« La périphérie [...] est aujourd'hui le problème central de la Russie. »
(Vardomskii, 2003, p.86, traduit du russe)

Le caractère impérial du régime russe se manifeste clairement durant le XIX^e siècle par la dynamique de conquête de nouveaux territoires et de leur colonisation sous l'égide du tsar. *« Poursuivant la politique de Catherine, Alexandre [1er] se préoccupe de coloniser rapidement le Sud de la Russie. De 1803 à 1805, plus de cinq mille colons s'installent en Nouvelle-Russie »* (Heller, 1997, p.634). La colonisation s'oriente aussi vers l'Asie centrale et l'Est (Sibérie et Extrême-Orient), orientant des mouvements de population qui ne se retourneront pas avant les années 1990 (Vardomskii, 2003 ; Blum, 2004). *« La véritable colonisation [de la Sibérie et de la steppe asiatique] date de la construction du Transsibérien, qui atteint l'Ob' en octobre 1896 »* (Blanc, 1916, p.124). En un temps extrêmement court, l'Empire russe intègre donc un territoire immense qu'il colonise par le chemin de fer, alors que la transition urbaine se prépare.

La résultante en est un réseau très lâche de villes distantes de centaines de kilomètres, et concentrées dans un couloir de peuplement autour du tracé du Transsibérien, correspondant à l'oecumène (cf. figure 2.2.6).

« The ecumene has been defined as the area with a rural density of population of more than 10 persons per square kilometer [...] Within it

are located 97 per cent of the Soviet cities of more than 100 000 population in 1967 [...] The 6 cities outside the ecumene are mining centers or ports in the vast forests or tundras of the north land » (Harris, 1970, p.11).

L.S. Vardomskii (2003), s'intéressant à la relation entre développement urbain et développement régional, note les spécificités du peuplement de l'espace russe :

- la rareté des hommes et de la vie économique dans la majorité du territoire (17 millions de km² pour la Russie actuelle) ;
- la structure en archipel autour de quelques grands centres urbains « noyés dans un grand vide », la *glubinka* ;
- la périphéricité de la majorité des villes, pesant sur les coûts de transports et la force des relations économiques.

On incline cependant à penser que « *la question des distances reste fondamentale, en dépit de l'expansion des liaisons aériennes et des télécommunications.* » (Brunet, 1996, p.234), et que l'immensité joue ici un rôle similaire à celui qu'elle montre dans les parties peu peuplées des États-Unis, du Brésil ou au Canada, dans ce dernier cas « *inversée en longitude comme dans un miroir : la puissance des héritages qui viennent des modalités du peuplement et de l'écologie reste considérable dans des espaces aussi étendus et aussi extrêmes, quelles qu'aient été leurs oppositions radicales par ailleurs* » (Brunet, 1996, p.273).

La structure du semis urbain serait donc pour partie comparable à celle de l'Ouest des États-Unis ou aux villes de l'Amérique latine, avec ses abandons de villes et villages au gré de la colonisation (Morse, 1962), que l'on retrouve aujourd'hui en ex-URSS où des villes aussi grandes que Norilsk sont programmées pour disparaître (Bayou, Le Bourhis, 2008). La comparaison avec d'autres systèmes de villes et l'identification de processus géohistoriques partagés semble plus cohérente dans ce cas que la référence à une volonté d'égalisation de la distance aux centres urbains dans un ensemble communiste. Cette politique a pu être vantée et mise en avant politiquement, mais il semble que le mécanisme d'occupation et de valorisation d'un immense territoire prévale, même si cette colonisation a fait l'objet d'un volontarisme important (et de mouvements forcés de populations).

Enfin, l'immensité est maîtrisée en archipel (Kaganskii, 2004) autour de centres situés à proximité de gisements de ressources naturelles, qui comme ailleurs ont un impact fort sur la spécialisation économique et fonctionnelle des villes.

2.3.1.4. Spécialisation et gisements de ressources localisées

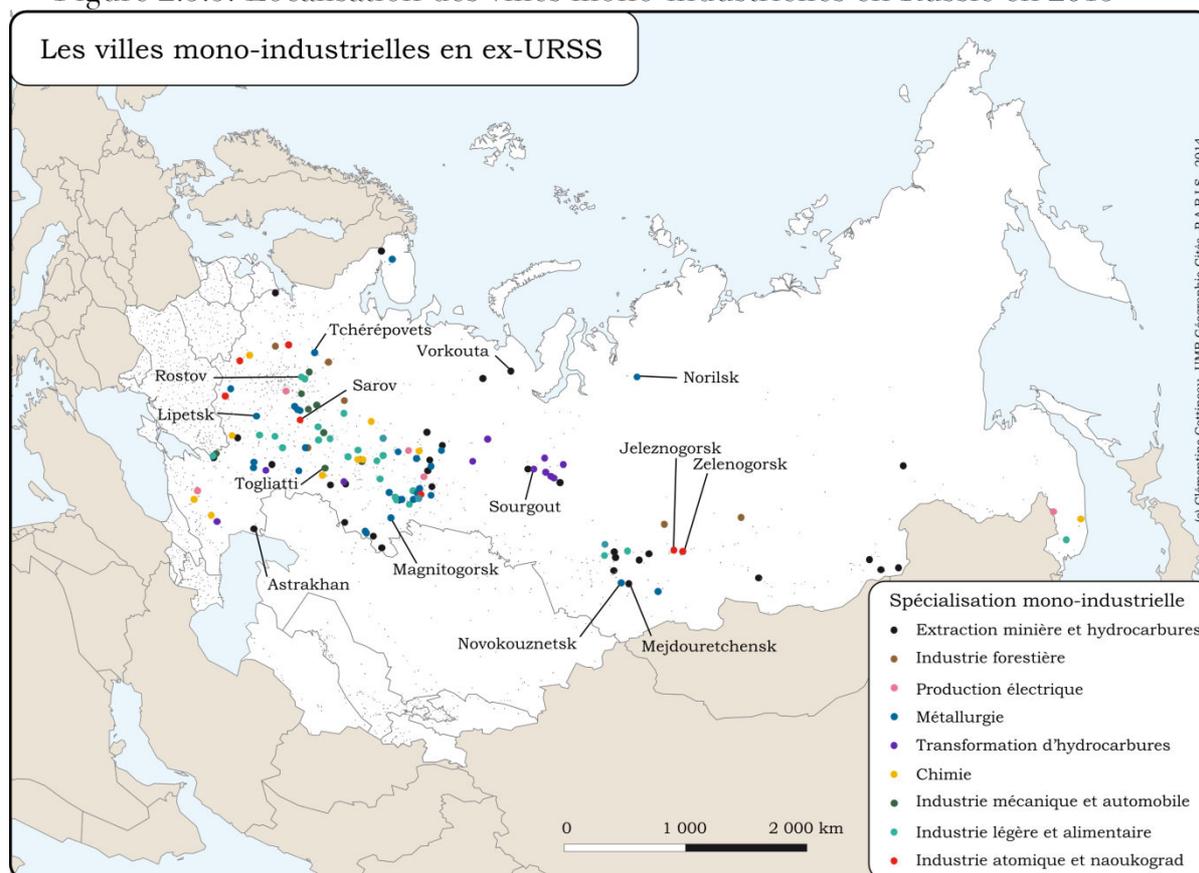
Les spécialisations prononcées de villes dans l'extraction de matières premières sont typiques de grands pays aux sous-sols riches. Cette spécialisation poussée des villes de petites tailles, comme en ex-URSS, est attestée au Brésil depuis le XVI^e siècle autour des mines (Godfrey, 1991), en Australie (Martinez-Fernandez, Wu, 2009), en Afrique du Sud, aux États-Unis (Black, Henderson, 2003) et dans l'Europe du XIX^e siècle.

L'importance de la spécialisation semble aussi tenir au cycle d'innovations en cours et à l'importance que représentent les matières premières dans les exportations du pays. Ainsi, la présence de bassins charbonniers a joué un rôle très fort dans la concentration et la différenciation fonctionnelle des villes de l'Europe en cours de première industrialisation. Dans le cas de l'ex-URSS, le grand nombre de villes monospécialisées dans l'extraction des nombreuses ressources du sous-sol apparaît comme particulier en comparaison avec l'Europe ou les États-Unis du XX^e siècle (Harris, 1970), mais beaucoup moins lorsqu'on le compare à des systèmes économiques dans lesquels l'exportation de ressources primaires joue encore un rôle majeur (Brésil, Afrique du Sud). Les villes situées sur un bassin charbonnier sont au nombre de 418 (sur 1929 en 2010), même si toutes ne sont pas forcément spécialisées dans l'extraction du charbon. 432 villes situées sur un gisement d'hydrocarbures. À ces gisements principaux, il faut ajouter les villes nées de l'exploitation de ressources naturelles plus rares, par exemple en Russie (Lappo, 1994) :

- **l'or** : Aldan, Tommot (Iakoutie), Artyomovsk (Krasnoyarsk), Baleï (Tchita), Beryozovskii (Sverdlovsk), Bodaïbo (Irkoutsk), Gornyak (Altai), Magadan, Plast (Tchéliabinsk) ;
- **le fer** : Bakal (Tchéliabinsk), Kirs (Kirov), Perm, Sim (Tchéliabinsk), Vernyi Taguil (Sverdlovsk) et la plupart des villes commençant par « Jelezno- » ;
- **le cuivre** : Chermoz (Perm), Gaï (Orenbourg), Polevskoi (Sverdlovsk) ;
- **le diamant** : Mirnyi, Oudatchnik (Iakoutie), Terek (Kabardino-Balkirie) ;
- **l'apatite** : Apatity (Mourmansk), Kirovsk (Mourmansk) ;
- **la bauxite** : Boksitogorsk (Léningrad), Severoouralsk (Sverdlovsk) ;
- **le molybdène** : Sorsk (Khakassie), Tyrnyaouz (Kabardino-Balkirie) ;
- **le nickel** : Norilsk (Krasnoyarsk), Zapolyanyi (Mourmansk) ;
- **l'amiante** : Ak-Dovourak (Touva), Asbest (Sverdlovsk) ;
- **l'argent** : Salair (Kemerovo).

Enfin, les villes spécialisées recouvrent aussi les centres de tourisme : sur la mer Noire (Sotchi en Russie, Evpatoria en Crimée) ou près de sources minérales (Kislovodsk ou Piatigorsk dans le Caucase russe); les ports (Nakhodka, Sébastopol); la base de lancement spatial (Baïkonour au Kazakhstan), etc. (figure 2.3.3).

Figure 2.3.3. Localisation des villes mono-industrielles en Russie en 2013



Source : DARIUS, 2014. D'après la liste des 342 villes « mono-industrielles » de la Fédération de Russie, publiée le 16 Juillet 2013.

Au final, pour ces quatre particularités (niveau de hiérarchie, forme de la distribution des tailles en fonction du rang, irrégularité du peuplement et spécialisation fonctionnelle marquée par les ressources primaires), nous avons trouvé des exemples à travers le monde et le temps qui permettent de relativiser la spécificité de l'ensemble territorial russe et soviétique, et qui peuvent s'expliquer par des caractéristiques d'un niveau de généralité intermédiaire.

Toutefois, certains aspects restent propres à l'expérience impériale russe, à l'expérimentation soviétique et à la configuration actuelle des quinze Nouveaux États Indépendants. Ce sont ces aspects que nous tentons d'isoler dans la fin de ce chapitre.

2.3.2. Ce qui reste singulier

Au regard de tous les éléments présentés précédemment sur les villes russes, soviétiques et post-soviétiques ainsi que de l'information apportée par les modèles, nous voyons se dégager quatre types de spécificités qui ne sont attribuables qu'aux conditions géohistoriques propres à l'Empire russe, l'Union soviétique, et les quinze États qui en sont issus depuis fin 1991 :

- tout d'abord, le fait que l'urbanisation aie été pensée en fonction d'un objectif à l'échelle macro-géographique du système entier ;
- certains aspects sociaux et paysagers des villes de l'ex-URSS ;
- la sur-représentation des villes nouvelles ;
- l'importance des chocs et « catastrophes » (Polyan *et al.*, 2001) sur l'organisation structurelle du système de villes post-soviétiques.

Dans un premier temps, l'aspect téléologique de l'urbanisation soviétique est une propriété qui ressort nettement des écrits de géographes soviétiques, et notamment dans l'ouvrage de B.S. Khorev (1975), pour qui même l'étude du peuplement urbain doit être faite en fonction d'un objectif attribué à l'urbanisation : celui d'aménager au mieux les forces productives socialistes. C'est cet objectif qui motive aussi les travaux de Davidovitch et Perevendtsev sur la production marginale et le coût marginal d'un habitant dans différentes catégories de tailles de villes, afin d'obtenir la ville dont le nombre d'habitants serait optimal. Comme le résumait R. French et F. Hamilton : « *socialist urban models are of what is intended, blueprints for a planned future.* » (1979, p.19).

Le second type de singularité est lié à l'organisation intra-urbaine des villes, avec une composante systémique et une composante historique d'héritage des conditions de l'urbanisation russe : il s'agit du caractère rural de la population et des paysages urbains, et de leur monotonie. Nous avons rappelé plus haut les conséquences de l'afflux de migrants ruraux sur la composition de la société des villes russes et post-soviétiques et leurs singularités paysagères. Ces caractéristiques héritées sont aujourd'hui en mutation mais conservent une identité particulière : « *Urban landscapes formed under socialism are being adapted and remodelled to new conditions shaped by the political, economic and cultural transition to capitalism (Sýkora, 2009a). Cities in former communist countries can no longer be seen as socialist cities. Their development is now largely governed by market forces and democratically elected governments. Yet, they are not fully developed capitalist cities either.* » (Sýkora, Bouzarovski, 2012, p.44).

La prégnance des villes nouvelles durant l'époque soviétique, créées en grand nombre, de l'ordre du millier en quelques décennies, a été notée comme une spécificité importante qui a contribué à la particularité des mobilités internes au pays ainsi qu'à la monotonie des paysages (avec les mêmes formes urbaines et jusqu'aux toponymes redondants).

L'importance des chocs ou « catastrophes » (Polyan *et al.*, 2001) : révolution, guerre civile et « dékoulakisation » (Blum, 2004), guerres mondiales, famines, déportations, thérapie des chocs, etc. ont enfin imprimé à l'urbanisation de l'espace post-soviétique des traits démographiques et sociaux très singuliers. Le choc probablement le plus traumatique, la Seconde Guerre mondiale, a bouleversé la pyramide des âges et des sexes et bousculé la répartition des hommes et des activités. Ainsi, des peuples ont été déportés loin de leur région d'origine, les industries délocalisées vers l'Est (Werth, 2001), créant de nouveaux pôles urbains de recherche et d'industrie, etc. La guerre froide a mis l'accent sur les industries atomiques et d'armement, alimentant la création de villes nouvelles isolées et fermées consacrées à la recherche de pointe et la constitution de milieux sociaux inédits. Enfin, la structure démographique particulière des années 1980, héritée des classes creuses formées par la guerre, a été mise en relief et accentuée par les restructurations économiques des années 1990 et engendre le défi probablement le plus important du XXI^e siècle en Russie et dans les pays européens de l'ex-URSS : la décroissance démographique et la baisse de la population des villes (Steinführer, Haase, 2007 ; Vichnevski, 2009 ; Becker *et al.*, 2012).

Nous entrevoyons à ce point l'intérêt d'explorer plus en détail les échelles régionales et les trajectoires méso-géographiques des villes après ce premier travail exploratoire à l'échelle du système. En effet, les phénomènes de villes nouvelles et de décroissance démographique sont spatialement et hiérarchiquement différenciés, comme nous le montrerons dans le chapitre suivant.

2.4. Conclusion

Ce chapitre a permis d'entrer dans la problématique du général et du particulier, en relevant tous les éléments énoncés comme faisant de l'urbanisation pré-/post-/soviétique un cas à part, puis en utilisant les modèles spatiaux comme « filtres à généralité ». Ces modèles ont permis de dégager par comparaison avec d'autres systèmes dans le temps et dans le monde ce qui relève de l'interaction de villes en général, ce qui relève de déviations typiques à ce fonctionnement général, et enfin, ce qui relève en propre de l'expérience historique et des conditions géographiques de la Russie, de l'ex-URSS et des Nouveaux États Indépendants.

Ainsi, alors que de nombreux auteurs mettent en avant la spécificité de la planification soviétique et du contrôle politique exercé durant l'URSS pour rendre compte de la structure hiérarchique, de l'espacement et de la différenciation fonctionnelle des villes, nous avons montré que le niveau de hiérarchie et la tendance du système à se hiérarchiser étaient tout à fait comparables avec les observations faites dans d'autres systèmes de villes (lorsqu'on les observe avec les mêmes modèles de données harmonisées et historiques). Là où ce modèle général ne s'applique pas parfaitement, nous retrouvons encore un lien comparable entre formes de déviations et type de peuplement et d'encadrement territorial.

Nous avons vu que le discours sur la régularité du peuplement urbain socialiste était contredit par les mesures d'espacement des villes durant tout le XX^e siècle, et que cet espacement paraissait plutôt le fruit de la colonisation d'un espace immense par les réseaux ferrés, ainsi que de l'importance des ressources naturelles du sous-sol dans l'économie extensive de l'espace post-soviétique.

Nous avons enfin levé les possibles ambiguïtés concernant la pertinence d'utiliser le concept de système de villes dans les limites de l'ex-URSS entre le milieu du XIX^e siècle et aujourd'hui.

De cet examen macro-géographique ressortent quelques faits stylisés empiriques de l'urbanisation post-soviétique dont nous chercherons par la modélisation statistique et informatique à compléter les premiers éléments d'explications proposés ici. Ces faits stylisés sont les suivants :

- la structure hiérarchique des villes post-soviétiques et leur hiérarchisation ;
- la courbure concavo-convexe de la distribution rang-taille ;
- l'espacement irrégulier et concentré des villes sur le territoire ;
- la spécialisation urbaine forte dans les matières premières.

Le premier registre d'explication proposé dans les chapitres suivants sera celui de la modélisation statistique, avec une exploration des trajectoires urbaines et la recherche de facteurs de croissance et de décroissance de certains types de villes en fonction de leurs caractéristiques régionales, économiques, administratives ou locales.

Chapitre 3.

Les trajectoires de l'urbanisation dans l'espace post-soviétique

Sommaire du Chapitre 3

3.1. Trajectoire macro-géographique : l'urbanisation tardive et accélérée de l'ex-URSS	166
3.1.1. L'urbanisation tardive de l'Empire russe	168
3.1.2. Le boom de l'industrialisation dans les années 1920-1930	170
3.1.3. La période stable de la fin de l'URSS	175
3.1.4. Apparition de la décroissance démographique et des divergences régionales	178
3.1.5. Une urbanisation européenne ?	179
3.2. Les décalages temporels de la transition urbaine dans les régions de l'ex-URSS	183
3.2.1. Plusieurs régimes démographiques dans l'ex-Empire russe	183
3.2.2. Le modèle de la transition urbaine	188
3.2.3. Un modèle commun mais des temporalités différentes	189
3.2.3.1. L'urbanisation des régions d'ex-URSS entre 1959 et 2010	190
3.2.3.2. 108 transitions urbaines	192
3.2.3.3. L'effet des chocs des années 1990 et de la décroissance démographique	200

3.3. Diversité mais cohérence des trajectoires de villes dans l'espace post-soviétique	205
3.3.1. 1856-1959 : un siècle de poussée vers l'Est	206
3.3.2. Nouveau cycle économique et densification du territoire en temps de paix : 1959-1989	211
3.3.3. Éclatement de l'URSS et divergence des trajectoires urbaines depuis 1989	217
3.3.4. Cohérence temporelle des trajectoires urbaines	224
3.4. Conclusion	228

Chapitre 3.

Les trajectoires de l'urbanisation dans l'espace post-soviétique

« During the Soviet period the USSR has been transformed from a predominantly rural society (18 per cent urban in 1926) to a predominantly urban one (56 per cent urban in 1969). The rapid urbanization of the Soviet Union is part of a world-wide process of urbanization and economic development but this process has had special features in the USSR associated with Socialist planning and industrialization in a series of Five-Year Plans. » (Harris, 1970, p.401)

Nous avons jusqu'à présent majoritairement étudié des propriétés statiques et la structure du système de villes dans l'espace post-soviétique. Le cadre systémique suggère pourtant de considérer la dynamique avec attention. C'est pourquoi nous nous attachons dans ce chapitre à rendre compte de l'évolution de ces villes en interaction. Il s'agit de décrire une transformation urbaine, ses variations dans le temps et dans l'espace. L'usage et la discussion de modèles statistiques pour expliquer ces évolutions font l'objet des chapitres suivants.

Pour le moment, nous nous employons à décrire la dynamique de l'urbanisation à plusieurs échelles, afin de formuler des hypothèses sur les facteurs candidats à l'explication des différentiels de croissance et de décroissance des villes, et des types de trajectoires démographiques qu'elles ont suivis depuis un siècle et demi. Cette dynamique est donc abordée dans un premier temps de manière descriptive, en tentant de couvrir, selon les dimensions spatiale et temporelle de l'urbanisation, les différents aspects de la « grande mutation soviétique » (Lewin, 1989) et la diversité des trajectoires qui en a résulté. Si la trajectoire urbaine historique de l'ex-Union soviétique est par définition particulière et unique, nous n'abandonnons pas la recherche de

configurations plus générales, en usant, quand cela paraît nécessaire, de modèles et de comparaisons.

Nous partons de l'échelle macro-géographique pour caractériser la forme et le rythme de l'urbanisation, ainsi que la transition historique d'un peuplement majoritairement rural et dispersé à une forme concentrée de l'habitat dans des centres urbains hiérarchisés. Nous déclinons ensuite les variations régionales de cette transition en distinguant plusieurs régimes démographiques et les temporalités variées associées à ce moment historique de l'urbanisation. Enfin, nous présentons la diversité des trajectoires des villes au cours de différentes périodes, et notamment la plus récente, avec la distinction forte et nouvelle existant entre villes en croissance et villes en décroissance démographique.

3.1. Trajectoire macro-géographique : l'urbanisation tardive et accélérée de l'ex- URSS.

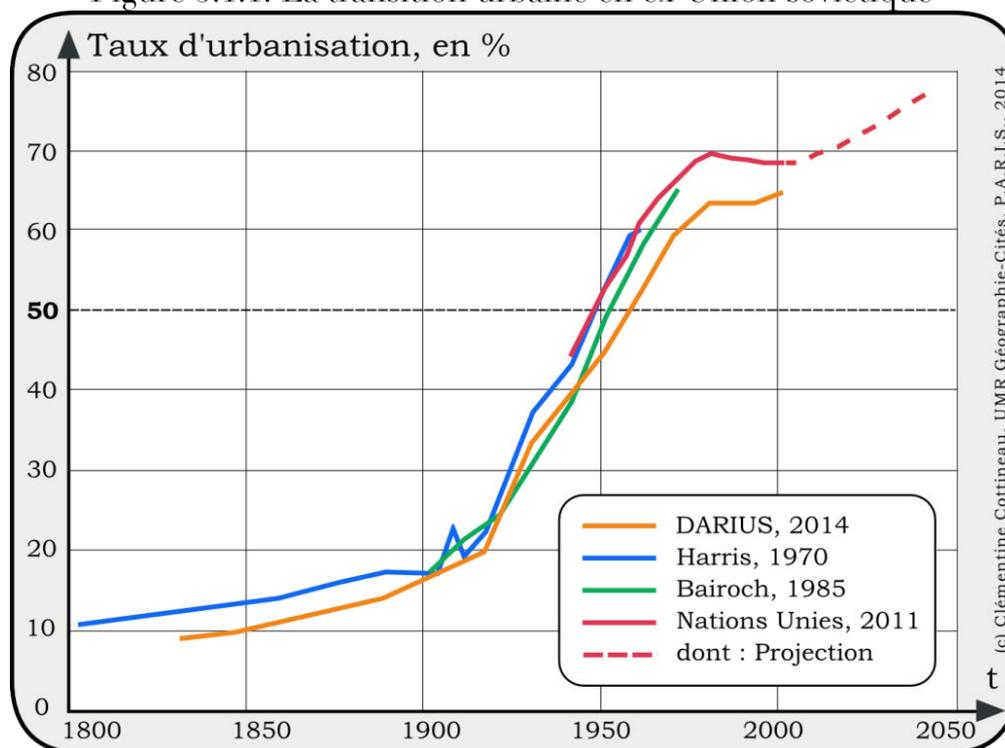
Les deux derniers siècles ont représenté à l'échelle mondiale une transformation majeure du peuplement humain par les villes. En effet, la concentration des personnes dans les villes, et dans des villes de plus en plus grandes, est un événement historique majeur, composé de transformations visibles ou non, qui a abouti depuis le tournant du XXI^e siècle au fait que le monde est désormais majoritairement urbain, avec trois milliards de citadins (United Nations, 2012). À l'échelle des États, la transition urbaine (Zelinsky, 1971) s'est déroulée de manière décalée, en commençant par l'Angleterre et l'Europe occidentale il y a un siècle, le continent américain et l'ex-Union soviétique (entre autres) au XX^e siècle. Aujourd'hui, elle se poursuit dans de nombreuses régions d'Asie et d'Afrique. La transition s'y déroulera donc principalement au XXI^e siècle.

Nous reviendrons sur ce modèle et la régularité de sa forme, mais précisons dès à présent que la transition urbaine, par analogie avec la transition démographique (Landry, 1934 ; Notestein, 1945) dans la forme du processus comme dans sa généralisation à partir de l'exemple européen au XIX^e siècle (Teitelbaum, 1975 ; Kelley, Williamson, 1984) , décrit le « *moment où le taux d'urbanisation non seulement augmente plus vite que durant les périodes précédentes, mais surtout lorsque cette augmentation se maintient durant plusieurs périodes successives, reflétant l'enclenchement d'un processus irréversible qui l'amène rapidement,*

en un siècle environ, à des valeurs proches de 80% de population urbaine. » (Pumain, 2003a, p.109).

Dans le cas de l'ex-Union soviétique, quelle que soit la définition spatiale de l'urbain considérée, on identifie ce moment à l'intervalle de temps compris entre les années 1920 et les années 1980 (figure 3.1.1.). Nous revenons donc dans cette première section sur la phase de déclenchement de la transition urbaine à partir d'un peuplement encore majoritairement rural jusqu'à la chute de l'Empire russe. Puis nous décrivons l'explosion démographique et urbaine associée à l'industrialisation massive de l'URSS dans les années 1920 et 1930, avant le ralentissement de la croissance urbaine durant les années d'après-guerre. Enfin, la situation inédite de décroissance urbaine et de baisse du taux d'urbanisation dans les années 1990 et la question d'une urbanisation « européenne » font l'objet de la fin de cette section consacrée à l'échelle macro-géographique.

Figure 3.1.1. La transition urbaine en ex-Union soviétique



Sources : DARIUS, 2014. Délimitation de l'URSS de 1840 à 2010.

(Harris, 1970, pp.232-233). Délimitation de l'Empire russe : 1811 à 1913, URSS : 1917 à 1969.

(Bairoch, 1985, p.390). Délimitation de l'URSS de 1910 à 1980.

(Nations Unies, 2012). Délimitation de l'URSS de 1950 à 2050.

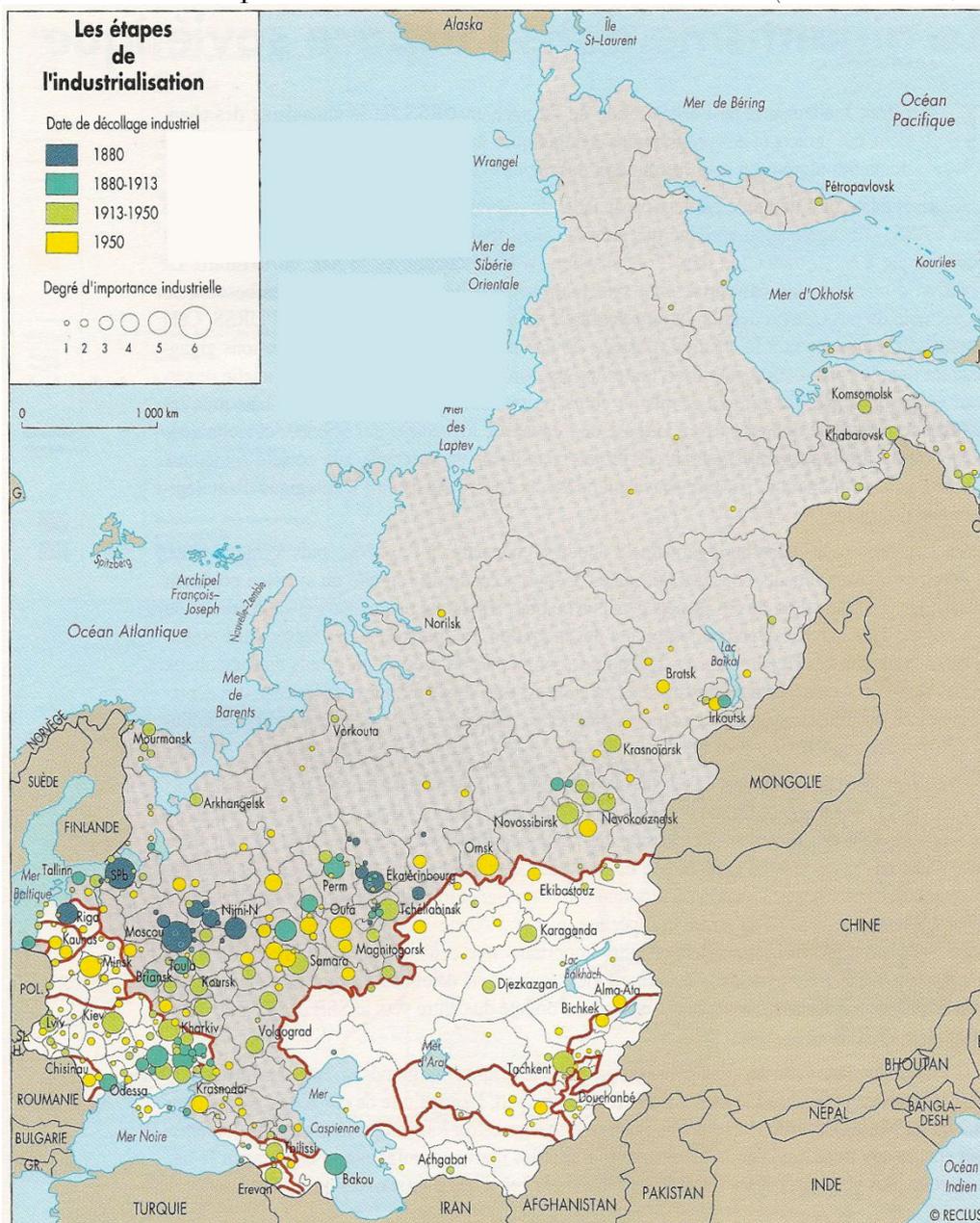
3.1.1. L'urbanisation tardive de l'Empire russe

« La Russie du XIX^e siècle : un pays économiquement très arriéré ; un pays à forte dominance agricole ; un pays où le servage a persisté jusqu'en 1861. Tout cela est vrai dans les grandes lignes, mais ne veut pas dire que, dans cette vaste Russie qui, en 1913, avait autant d'habitants que tout le reste de l'Europe vers 1810, la vie urbaine soit demeurée inchangée. Il y a d'abord cette forte croissance de la population : la plus rapide de toutes celles des pays européens. Environ 53 millions d'habitants vers 1800 ; 81 millions en 1860 ; et 161 millions en 1913. Cela seul a suffi pour entraîner le gonflement des villes existantes et l'émergence d'un certain nombre d'autres. Mais beaucoup plus importante est la rupture de 1861 : la tentative d'une modernisation de la société russe imposée par le pouvoir central. » (Bairoch, 1985, pp.379-380)

Ainsi, jusqu'à la Révolution russe, le taux d'urbanisation¹ se situe entre 10% et 20% (figure 3.1.1). Cela signifie que la société impériale russe est encore très majoritairement une société rurale (Hooson, 1968 ; Polyan *et al.*, 2001 ; Vendina, 2007). Elle change pourtant à un rythme soutenu, par la modernisation économique et politique de la seconde moitié du XIX^e siècle. On assiste en effet durant cette période à l'abolition du servage (1861), à la construction et la densification du réseau ferré², au développement du commerce et des premières industries (Hooson, 1968 ; Browser, 1990 ; Werth, 2001 ; cf. villes en bleu sur la figure 3.1.2.).

¹ Ce taux correspond au rapport entre le nombre total d'urbains et le nombre total d'habitants.

² La longueur du réseau est doublée entre 1887 et 1900 (Werth, 2001, p.14).

Figure 3.1.2. Les étapes de l'industrialisation en ex-URSS (Brunet *et al.*, 1995)

Source : (Brunet *et al.*, 1995, p.51)

L'industrie se diffuse en deux vagues : jusqu'en 1880, l'industrie textile et différentes manufactures sont présentes dans le centre de la Russie, à Moscou, Saint-Pétersbourg, Riga, Nijni-Novgorod, Ivanovo (où les premières manufactures textiles datent du XVIII^e siècle ; Lappo, 1994, p.150), et le travail des métaux dans l'Oural autour d'Ekaterinbourg (au moment où les réseaux ferrés s'unifient de ce centre vers Perm, Tioumen ou Tobolsk ; Lappo, 1994, p.131). La deuxième vague touche entre 1880 et 1913 le bassin charbonnier du Donbass et le gisement de fer de Krivoï Rog, les grands ports comme Bakou, Tallinn, Odessa ou Novorossiïsk désormais connectés par le réseau ferré (à

l'heure où l'ouverture commerciale de la Russie en Europe est maximale ; Hooson, 1968 ; Heller, 1997), ainsi que des places centrales relativement importantes de la Russie centrale : Briansk, Toula, Kazan, Perm, Ijevsk, Irkoutsk ou encore Tomsk. « *In some ways this strengthening of the internal economy and increasing nodality produced by the railways probably benefited important inland regional and administrative centres more than ports.* » (Hooson, 1968, p.263).

Les premières villes apparaissent certes en Russie kiévienne au tournant du X^e siècle (si l'on considère les forts et forteresses précédents comme pré-urbains ; Rozman, 1976). Le commerce produit l'intégration d'un marché national à partir du XVII^e siècle et la mise en place d'un système de places centrales hiérarchisées au XVIII^e siècle (Rozman, 1976). Il faut toutefois attendre la fin du XIX^e pour voir l'urbanisation montrer les premiers signes de décollage, avec une croissance de la population et des villes, mais aussi des migrations de ruraux vers les villes, de leur mise en relation par terre et par mer, mais surtout une accélération de la croissance qui caractérise véritablement le début de la transition urbaine :

« *[Between the late 1870s and the late 1890s] industrial production was at the center of urban economic activity only in the older Urals manufacturing towns and in the industrial settlements of northern Russia and the Ukraine. Industrialization, although profoundly altering the country's economic development, remade the urban landscape only in these regions. Mechanized textile factories dominated the skyline of some new towns, but more frequently they created distinct factory communities on the outskirts of older cities.* » (Browser, 1990, p.63)

3.1.2. Le boom de l'industrialisation-urbanisation dans les années 1920-1930

« *The emphasis on coal mining under the leadership of Stalin is revealed in the names of Stalino (now Donetsk) in the Donbas, Stalinsk (now Novokuznetsk) in the Kuzbas, and Stalinogorsk (now Novomoskovsk) in the Moscow Coal Basin. Stalinabad (now Dushanbe), capital of the Tadzhik SSR, was one of the new political centers and Stalingrad (now Volgograd) an industrial city on the Volga River.* » (Harris, 1970, p.410)

Le véritable boom urbain date de l'industrialisation massive des années 1920 et 1930 (figure 3.1.1.). « *De 1926 à 1939, la population urbaine s'accroît de 30 millions, dont au moins 23, peut-être 25 millions, étaient des paysans ayant quitté leur village depuis la collectivisation.* » (Werth, 2001, p.281). La mise en perspective de C. Harris sur ce que représente cet exode rural est frappante : « *For the 32-year period between 1927 and 1959 the net rural-urban migration within the Soviet Union is estimated at 43 million persons. This flow is of the same magnitude as the total net overseas migration from Europe to the Americas, Africa, and Oceania during the entire 19th century and the 20th century up to World War II* » (Harris, 1970, pp.8-9). Tout aussi impressionnant durant cette période est le nombre de villes nouvelles³. Le nombre total de villes est multiplié par 2.3 entre 1897 et 1939, passant de 306 à 711, tandis que le nombre d'urbains est presque quadruplé (tableau 3.1.1.). « *La remarquable croissance de la population urbaine en Union Soviétique durant les 12 ans de la période intercensitaire (Décembre 1926-Janvier 1939) a conduit à une augmentation de la part de population urbaine de 18 à 33%, qui a pris trois décennies aux États-Unis (de 1856 à 1887) et probablement près d'un siècle dans la plupart des pays européens* » (Harris, 1970, p.240, traduit de l'anglais).

Tableau 3.1.1. Évolution de l'urbanisation
de l'espace post-soviétique, 1840-2010

Date	1840	1856	1897	1926	1939	1959	1970	1979	1989	2002	2010
Nombre de villes	91	130	306	470	711	1147	1383	1599	1825	1887	1929
Population urbaine totale (en millions)	3	4	13	23	49	84	117	144	170	169	173
Taux (en %) d'urbanisation	4.6	5.3	10.1	15.6	28.9	40.4	48.3	55.1	59.3	59.2	60.6

Source : DARIUS, 2014.

Là plus encore que durant la période impériale, le moteur de l'urbanisation est clairement identifié par les différents auteurs comme étant l'industrialisation (Harris, 1970 ; Lappo, Polyan, 1999 ; Vendina, 2007 ; Becker *et al.*, 2012 ; cf. encadré 3.1.1). Celle-ci commence en effet à se diffuser dans les marges de l'URSS et vers des villes plus petites (figure 3.1.2.), plus ou moins conformément au modèle de diffusion des innovations (Hägerstrand, 1968 ; Pred, 1977). Cette croissance du nombre d'urbains et du nombre de villes est accentuée par la politique volontariste de migration (voire autoritaire, dans le cas des prisonniers et déportés) vers les nouvelles zones de peuplement de l'Est, du Nord et du Sud (cf. Chapitre 2).

³ Nous considérons comme nouvelles les villes qui apparaissent véritablement entre ces dates, ainsi que les centres déjà peuplés qui dépassent durant cette période le seuil de 10 000 habitants.

Encadré 3.1.1. L'industrialisation massive et le Premier Plan Quinquennal

« La XVI^e Conférence du Parti (avril 1929), puis le V^e Congrès des Soviets (mai 1929) avaient adopté la variante « optimale » [...] du I^{er} Plan quinquennal [...] qui] prévoyait un accroissement de 136% de la production industrielle, de 110% de la productivité du travail, une baisse des coûts industriels de 35%. Les grands projets mis en chantiers en 1927/1928, notamment la centrale hydroélectrique du Dniepr (Dnieproges), la ligne de chemin de fer Turkestan-Sibérie (Turksib), devaient être achevées dès 1930 ; plus de 1200 usines seraient construites. [...] Priorité dans ce Plan était donnée à l'industrie lourde, qui bénéficiait de 78% des investissements en capital. [...] Le XVI^e Congrès du Parti (juin-juillet 1930) consacra la victoire des partisans d'un rythme toujours plus rapide (« Le Plan en quatre ans ! »). Kouïbychev y affirma qu'il faudrait doubler chaque année les investissements en capital et faire croître annuellement la production de 30% ! [...] Au cours du I^{er} Plan, le nombre des ouvriers (industrie et construction) passa de 3,7 à 8,5 millions. Le chômage ouvrier fut résorbé en deux ans, la grande majorité des nouvelles recrues ouvrières furent des paysans fuyant la collectivisation. » (Werth, 2001, pp.245-249)

On n'usurpe pas le sens du mot « boom » en considérant le sommet de croissance atteint en moyenne par la démographie des villes entre 1926 et 1939. Durant ces douze années, la moyenne des taux de croissance annuels moyens des villes approche les 4% (tableau 3.1.2), soit un doublement de population en 18 ans à ce rythme ou encore un décuplement en soixante ans⁴.

Tableau 3.1.2. Croissance urbaine en ex-URSS : 1840-2010

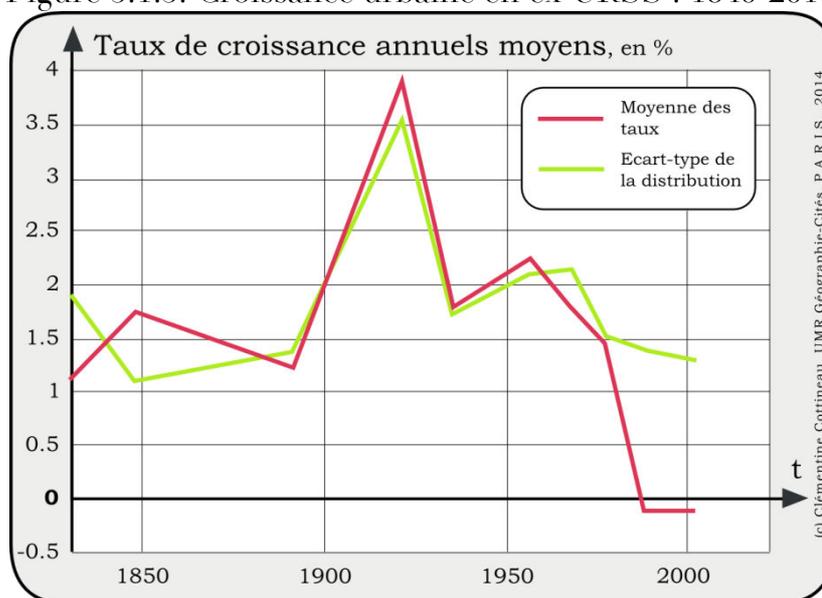
Taux de croissance annuels moyens (en %)*	1840	1856	1897	1926	1939	1959	1970	1979	1989	2002
Moyenne	1.12	1.76	1.23	3.90	1.79	2.25	1.78	1.45	-0.10	-0.11
Écart-type	1.87	1.12	1.38	3.59	1.72	2.11	2.14	1.53	1.38	1.28

* Les dates correspondent aux bornes temporelles inférieures des périodes sur lesquelles sont calculés ces taux. La dernière période correspond à l'intervalle 2002-2010. DARIUS, 2014.

⁴ Afin de calculer ces taux qui traduisent l'effet cumulatif de la croissance, il suffit de renverser la formule du taux de croissance annuel moyen $TVAM_{m,n} = ((P_n/P_m)^{1/(n-m)} - 1) * 100$ pour que la durée, c'est-à-dire la différence (n-m), s'exprime en fonction du rapport entre la population finale et la population initiale (P_n/P_m). Cela donne : $n-m = \log(P_n/P_m) / \log((TVAM_{m,n}/100) + 1)$.

Ce taux est considérablement élevé par rapport aux taux de croissance annuels moyens observés avant et après cette période (tableau 3.1.2 et figure 3.1.3), et si on le compare à l'aune mondiale et temporelle d'autres systèmes de villes. Par exemple, l'Europe n'a pas dépassé les 2% de croissance urbaine annuelle moyenne, y compris durant la révolution industrielle (Pumain, 1982a) ; en Inde, ce taux atteint 3% au maximum entre 1931 et 2001. Seule la Chine rivalise avec un tel taux de croissance urbaine entre 1982 et 2000, voire le dépasse dans les années 1960 et 1970 avec un taux moyen de +5% par an dans les villes de plus de 10 000 habitants (Swerts, 2013a, p.129).

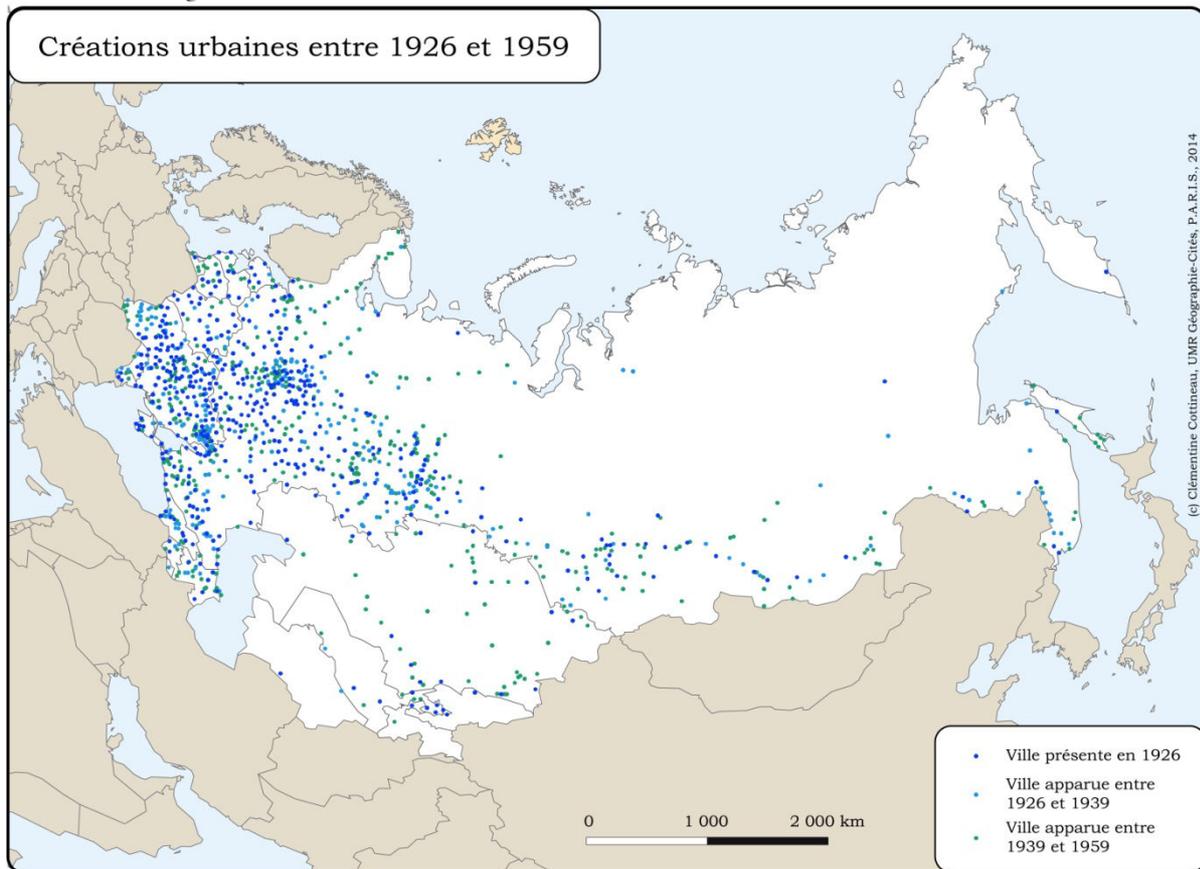
Figure 3.1.3. Croissance urbaine en ex-URSS : 1840-2010



Source : DARIUS, 2014.

Les villes nouvelles viennent densifier le réseau existant autour des zones déjà urbanisées (région Centre autour de Moscou, Oural), des bassins charbonniers (Donbass, Kouzbass), du tracé du Transsibérien et des autres grandes voies de chemin de fer dans le Nord et en Asie centrale, mais jouent aussi un rôle dans la colonisation et l'appropriation des espaces nouvellement peuplés de manière sédentaire : la Sibérie, l'Extrême-Orient, les « terres vierges » kazakhes, le Grand Nord (figure 3.1.4.).

Figure 3.1.4. Créations urbaines entre 1926 et 1959 en URSS



Source : DARIUS, 2014.

Ce boom urbain précède la Seconde Guerre mondiale qui, sur le plan humain, politique, démographique et géographique, a des conséquences extraordinaires. Si l'on dresse un bilan succinct des principaux effets géo-démographiques, on note que :

- 26 à 27 millions de soviétiques perdent la vie (Blum, 2004, p.120), soit quatorze fois plus que les pertes russes de la Première Guerre mondiale (Gatrell, Harrison, 1993) ;
- Des millions de personnes sont déplacées pour une période plus ou moins longue. Ainsi, les évacuations concernent 11 millions de personnes entre 1941 et 1942 (Werth, 2001, p.337), tandis que l'enfermement touche 1.7 million de soviétiques en 1940 (Blum, 2004, p.118) ;
- De nombreuses villes sont (entièrement ou partiellement) détruites. Léninegrad/Saint-Pétersbourg et Stalingrad/Volgograd, pour ne citer que les plus célèbres, sont assiégées et bombardées pendant des mois. N. Werth (2001, p.365) dénombre 1 700 villes et bourgs ainsi que 32 000 entreprises détruits. La production de biens « civils » est inférieure en 1945 à 50% de ce qu'elle était en 1940 (Gatrell, Harrison, 1993, p.440) ;

- Des industries entières sont délocalisées vers l'Est du pays, après la création en juin 1941 d'un Conseil pour l'Évacuation permettant de réagir économiquement à l'occupation d'immenses territoires vitaux pour la production alimentaire et industrielle de l'URSS (Werth, 2001, p.336). L'accueil temporaire des industries ou centres de recherche sèmera dans certaines villes et régions les prémises de spécialisations parfois plus durables (à Novossibirsk ou Kazan par exemple).

Les conséquences de la Seconde Guerre mondiale passent cependant inaperçues sur la courbe globale de la transition urbaine, en raison notamment du choix des autorités de ne pas procéder à un recensement de la population avant 1959 (cf. Chapitre 1). En revanche, nous verrons plus loin qu'à une échelle désagrégée (c'est-à-dire au niveau des régions ou des villes), la répartition de la croissance entre 1939 et 1959 rend partiellement compte des pertes humaines et des redistributions spatiales de la population et de l'activité économique.

3.1.3. La période stable de la fin de l'URSS

« Ce pays a connu une révolution sociale pendant que Brejnev dormait. » (Walker, 1986 ; cité par Lewin, 1989, p.175)

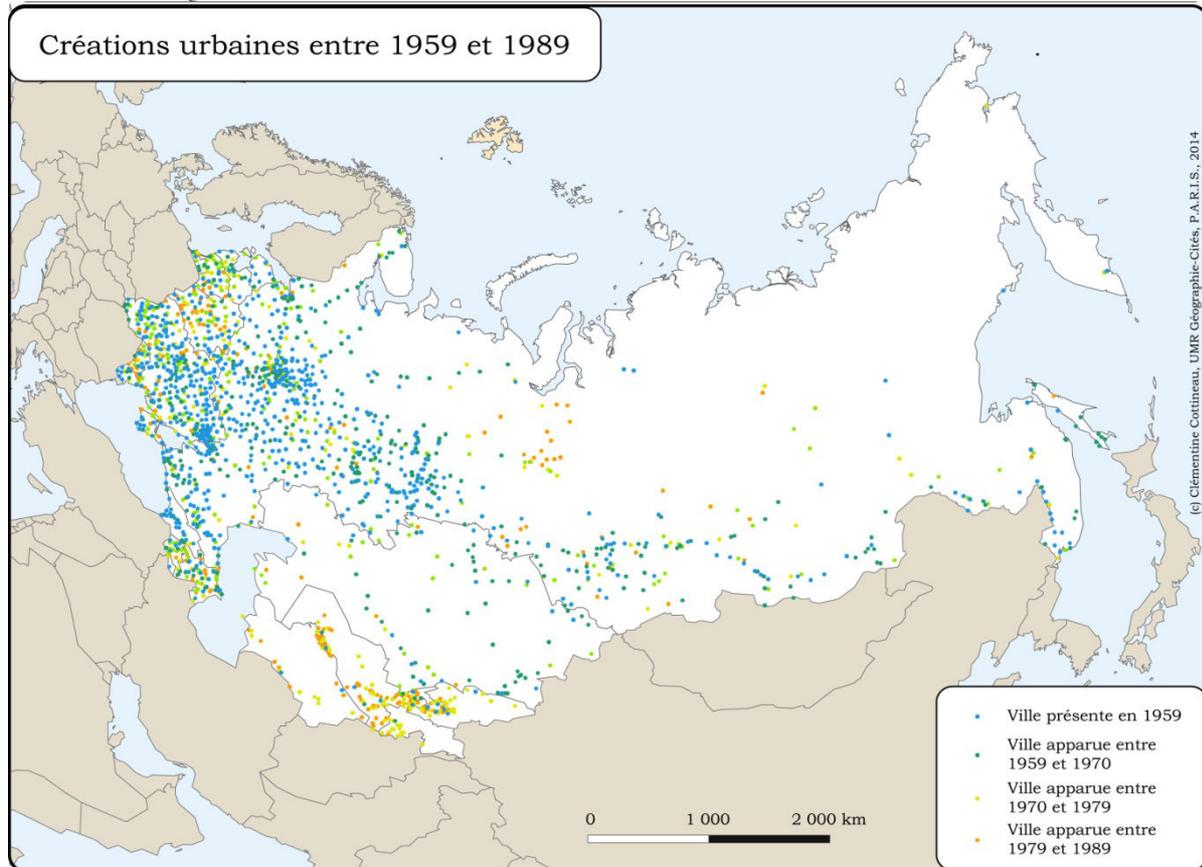
Entre 1945 et 1991⁵, l'URSS connaît sa première (et unique) période de relative stabilité, de « *normalité* » prolongée (Stuart, Gregory, 1977 ; Becker *et al.*, 2012), c'est-à-dire une période exempte de catastrophes (Polyan *et al.*, 2001), de chocs exogènes et/ou endogènes extraordinaires pourtant si fréquents dans ce pays (Nefedova, Treivish, 2003). Cette stabilité politique laisse place à un bouleversement social et culturel relativement silencieux, mais qui modifie durablement les relations inter-personnelles et les relations au pouvoir, avec la formation d'une société civile et de nombreuses sub-cultures dans les villes de l'ex-URSS (Lewin, 1989).

C'est en effet durant cette période que la population soviétique devient majoritairement urbaine : les urbains représentent 40% de la population totale en 1959 et 60% en 1989 (tableau 3.1.1). Le rythme de croissance des villes reste élevé mais ralentit. Ainsi, elles croissent en moyenne à un taux de 2.3% par an dans les années 1960, puis 1.8% par an durant la décennie 1970 et 1.5% entre 1979 et 1989 (tableau 3.1.2). C'est à partir de ce moment que s'industrialisent les villes restées en-dehors du mouvement : en Biélorussie, en Lituanie, et en Moldavie, dans les

⁵ Ou entre 1959 et 1989 si l'on se repère en base censitaire.

viles secondaires de l'Asie centrale, dans les marges Sud et Nord de la Russie ainsi que dans les nouveaux centres de la production ultra-spécialisée de la Défense et de l'Atome (figure 3.1.2). De nouvelles villes apparaissent aussi sur les gisements d'hydrocarbures de Sibérie occidentale (à partir du gisement de Samotlor en 1964 ; Vaguet, 2007), d'Azerbaïdjan et d'Asie centrale. Le réseau urbain de la Biélorussie, des États Baltes et du Sud de l'Ukraine se densifie (figure 3.1.5).

Figure 3.1.5. Créations urbaines entre 1959 et 1989 en URSS



Source : DARIUS, 2014.

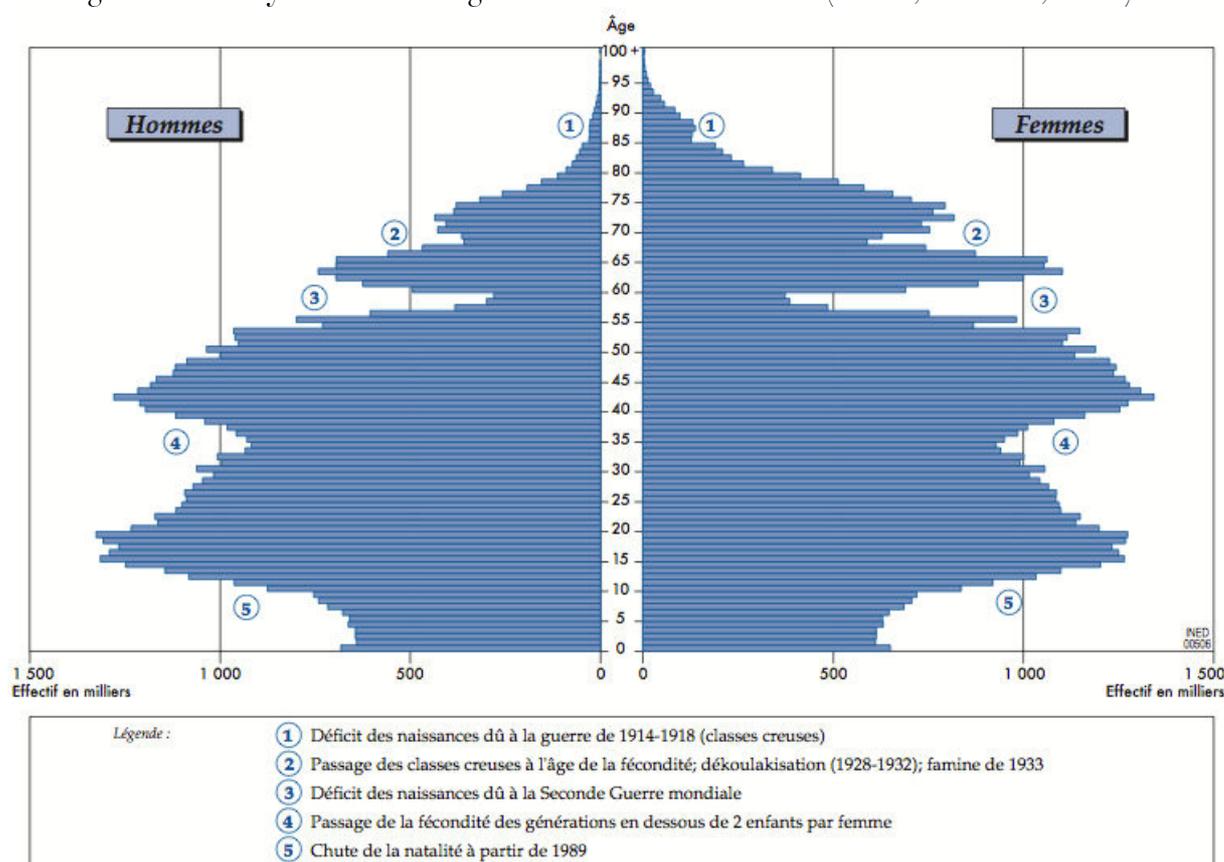
Pourtant, cette période de croissance régulière de la population, notamment urbaine, porte déjà les composantes de la décroissance qui se manifeste par la suite. En effet, la pyramide des âges et des sexes est durablement déséquilibrée et peuplée de classes creuses par les chocs des guerres, de la Révolution et de la famine de 1930 (figure 3.1.6). De plus, les démographes rappellent que les facteurs d'une natalité faible et d'une mortalité élevée sont en place dès les années 1960 :

« Bien entendu, la situation de la mortalité est [aujourd'hui] catastrophique, mais son origine est tout autant due à une lente dégradation engagée au début des années 1970, que les ruptures récentes n'ont pas encore

interrompue en profondeur. Les jeunes femmes et les jeunes hommes repoussent, sans aucun doute, leur projet de constitution d'une famille, mais le mariage et la première naissance étaient si précoces auparavant que les transformations s'apparentent plus à un réajustement qu'à une réelle crise. » (Blum, 2004, p.222)

« La détérioration du système de soins n'est pas récente : à la fin des années 1960, un virage a été manqué pour réorienter la politique sanitaire de la lutte contre les maladies infectieuses vers une politique de prévention des maladies cardio-vasculaires et de prise en charge des maladies chroniques. [...] La baisse de l'espérance de vie a été continue depuis le milieu des années 1960, mis à part quelques retournements temporaires pendant les années Gorbatchev et Eltsine. » (Blum, Lefèvre, 2006, p.2)

Figure 3.1.6. Pyramide des âges de la Russie en 2002 (Blum, Lefèvre, 2006)



Source : (Blum, Lefèvre, 2006, p.3), d'après le recensement de la population russe de 2002.

3.1.4. Apparition de la décroissance démographique et des divergences régionales

À l'échelle de l'espace post-soviétique, on observe une baisse inédite du nombre d'urbains de 170 millions en 1989 à 169 millions en 2002. Ils augmentent à nouveau jusqu'à 173 millions en 2010 (tableau 3.1.1). Le taux d'urbanisation suit la même trajectoire, et seul le nombre de villes continue d'augmenter, ce qui indique un rétrécissement en moyenne des villes existantes. Le taux de croissance est de -0.1% par an depuis 1989 (tableau 3.1.1). Ce taux moyen cache des disparités individuelles de dynamiques urbaines mais la décroissance affecte la majorité des villes d'ex-URSS pendant les décennies 1990 et 2000 (tableau 3.1.3).

Tableau 3.1.3. Évolution de la décroissance urbaine dans le système post-soviétique

Période	1840-1856	1856-1897	1897-1926	1926-1939	1939-1959	1959-1970	1970-1979	1979-1989	1989-2002	2002-2010
Nombre de villes	91	130	306	470	711	1147	1383	1599	1825	1887
Nombre de villes ayant perdu des habitants	26	6	54	42	72	123	173	136	1092	1187
En % du total	28.6	4.6	17.6	8.9	10.1	10.7	12.5	8.5	59.8	62.9

Source : DARIUS, 2014

L'ampleur du phénomène, avec 60% des villes touchées par un rétrécissement démographique, est unique dans l'histoire de l'urbanisation russe et soviétique, mais aussi à l'échelle mondiale (Slepukhina, 2014 ; Cottineau, 2015). Ainsi en Europe, malgré la difficulté de traiter des données récentes et harmonisées (Avila de Sousa *et al.*, 2012), les *shrinking cities* ont représenté environ un tiers des trajectoires de grandes villes entre 1996 et 2001 (Commission européenne, 2007), et moins de 25% des villes d'Europe de l'Ouest⁶ entre 2000 et 2005 (Turok, Mykhnenko, 2007). Par exemple, le phénomène ne concerne que 19.5% des 354 aires urbaines françaises entre 1975 et 2007 (Wolff *et al.*, 2013). À des fins de comparaison, en utilisant des données urbaines non harmonisées sur la base de délimitations juridiques⁷, nous avons calculé la proportion de municipalités de plus de 20 000 habitants décroissantes en Allemagne et au Japon. Elle est du même ordre en ex-URSS et au Japon (57.5% entre 1990 et 2005), mais moitié plus faible en Allemagne (30% sur la même période, mais 46%

⁶ Sur la base d'un effectif de 310 agglomérations urbaines.

⁷ Source : Base de données CityPop, www.citypopulation.de.

des agglomérations de plus de 10 000 habitants entre 2000 et 2010 ; Châtel, 2011). Pourtant, avec le Japon, l'Allemagne est l'exemple de décroissance urbaine le plus cité et étudié depuis vingt ans (Oswalt, 2006).

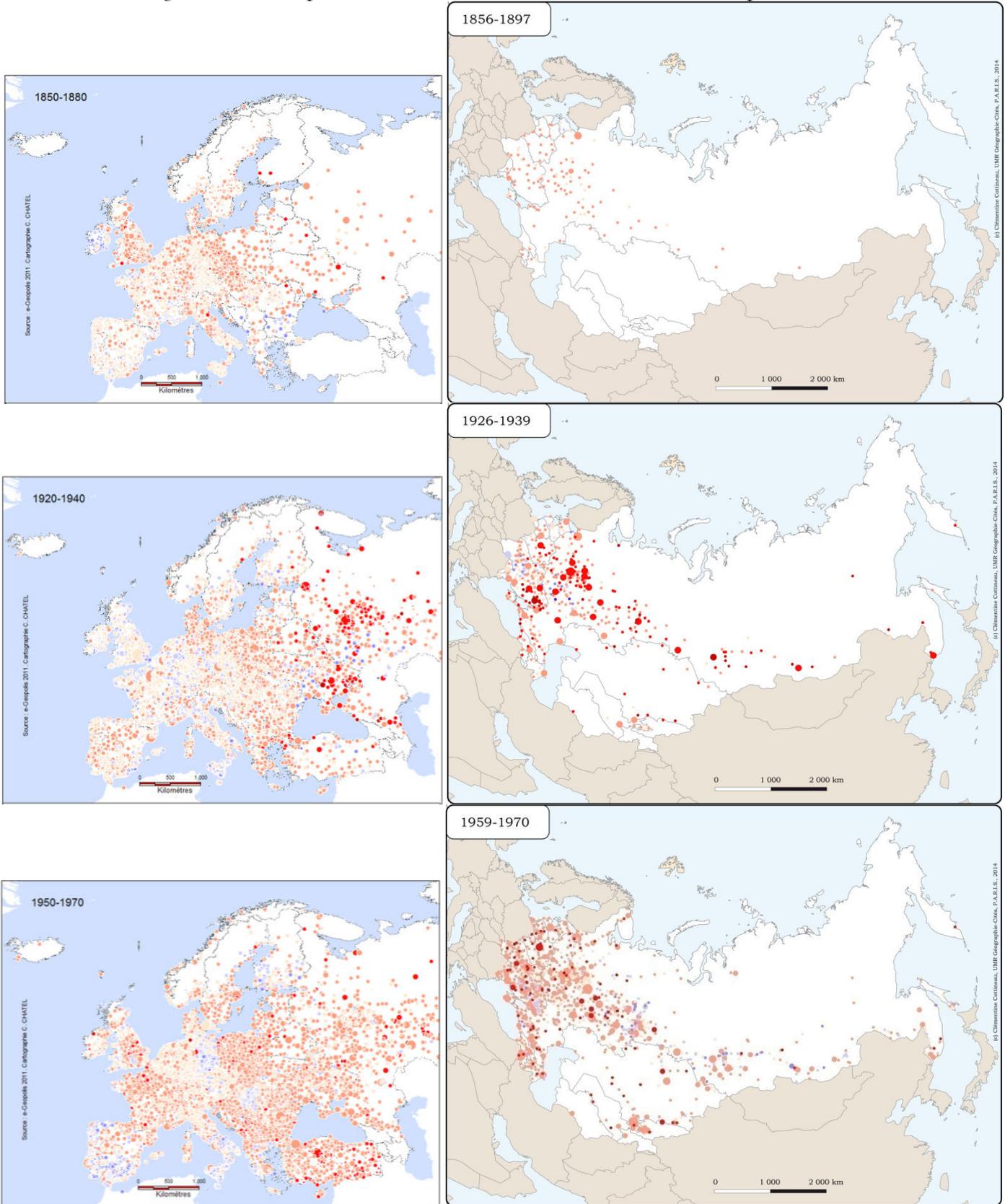
Cette situation est donc tout à fait nouvelle et représente un enjeu important des politiques à venir, que ce soit à l'échelle continentale de l'Europe, à l'échelle des États les plus touchés par la décroissance démographique en ex-URSS (Ukraine, Russie, Géorgie, Arménie, Estonie, Lettonie, Lituanie, Moldavie), comme à l'échelle des villes elles-mêmes, pour entretenir des parcs de logements vacants et maintenir des niveaux suffisants de services (Baron *et al.*, 2010 ; Averkieva, 2014 ; Slepukhina, 2014).

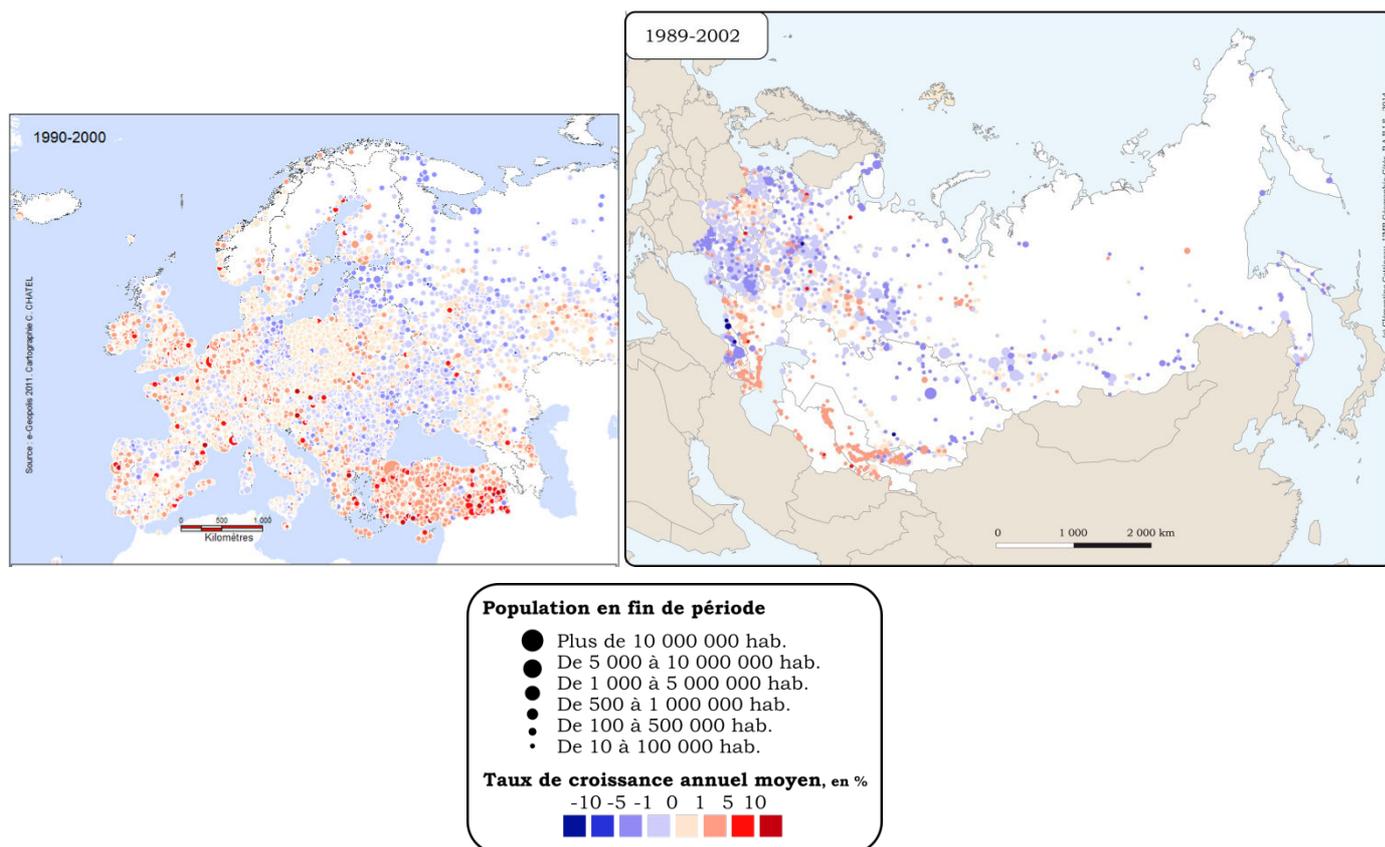
3.1.5. Une urbanisation européenne ?

En conclusion de cet aperçu macro-géographique de l'urbanisation séculaire dans l'espace post-soviétique, nous posons la question de savoir si les dynamiques décrites précédemment s'inscrivent dans le cadre plus large de l'urbanisation européenne, en comparant les temporalités et répartitions spatiales de la croissance urbaine au cours du grand XX^e siècle dans ces deux ensembles qui se recoupent en partie.

Nous avons produit des cartes de la croissance urbaine en ex-URSS sur un format de légende et de période comparable aux cartes de C. Châtel sur l'urbanisation européenne aux XIX^e et XX^e siècles, à partir des agglomérations de la base de données harmonisées Europolis (Châtel, 2012, pp.470-471), afin de déterminer si les répartitions spatiales de la croissance et de la décroissance au cours du temps montraient une homogénéité ou au contraire des discontinuités importantes. Ces cartes sont mises en regard dans la figure 3.1.7 pour les périodes 1850-1880, 1920-1940, 1950-1970 et 1990-2000, c'est-à-dire les quatre périodes de l'urbanisation que nous avons identifiées, correspondant aux quatre étapes de la transition urbaine en ex-URSS.

Figure 3.1.7. Répartition de la croissance urbaine en Europe et ex-URSS





Sources : Europe (Châtel, 2012, pp.470-471). Ex-URSS : DARIUS, 2014.

Nous voyons assez nettement qu'au XIX^e siècle, les systèmes européen et russe sont structurellement très différents. À la densité du semis de villes européennes répond un archipel très lâche de villes dans l'Empire russe (Pologne comprise). Toutefois, les rythmes de croissance sont assez comparables dans les deux ensembles : entre 0 et +5% par an, avec quelques villes dépassant ce taux. En termes de répartition, on constate une tendance plus forte des villes européennes à l'auto-corrélation spatiale positive, avec des grappes de villes croissant à un rythme similaire, tandis que la répartition est plus aléatoire côté russe.

Dans les années 1920 et 1930, les deux ensembles se distinguent assez nettement par leur rythme de croissance, même si l'Ukraine ou la Turquie et le Caucase apparaissent comme des gradients entre l'Europe et l'URSS. La discontinuité est plus nette entre les États Baltes fraîchement indépendants et la Russie et la Biélorussie. Les villes dépassant les 5%, voire 10%, de croissance annuelle moyenne à cette période sont nettement plus fréquentes en URSS, où la rareté des petites villes est bien visible en comparaison de l'Europe.

Les deux cartes suivantes sont plus délicates à comparer, puisque C. Châtel se base sur des estimations décennales pour les périodes 1950-1960 et 1960-1970, tandis que nous faisons le choix de retenir la période inter-censitaire

plus cohérente pour l'ex-URSS de 1959-1970. Ainsi, nous voyons les villes européennes croître assez fortement avec le rattrapage de l'après-Guerre et le baby-boom, tandis qu'en 1959, le rattrapage est déjà bien amorcé, voire amorti, en URSS. Hormis la dorsale européenne en croissance faible si ce n'est négative, toute l'Europe et l'Asie soviétique affichent une dynamique commune de croissance démographique. Il est assez paradoxal que cette similarité soit la plus claire durant cette période où l'Europe est coupée par le Rideau de fer séparant les deux blocs de la Guerre froide.

Enfin, dans les années 1990, la discontinuité la plus forte apparaît entre l'Europe continentale et la Turquie, dont la croissance urbaine est très rapide, avec un nombre conséquent de villes croissant à un rythme supérieur à 10% par an. La croissance lente est majoritaire sur le reste du continent, et parsemée de zones de décroissance urbaine (dans les espaces périphériques du Royaume-Uni, de France, d'Espagne ou d'Italie, ou de l'ex-RDA). À ce niveau, on remarque que la continuité est beaucoup plus forte entre l'Europe centrale et l'espace post-soviétique qu'entre l'Ukraine, la Russie et le Caucase ou l'Asie centrale.

Sans prétendre trancher sur l'« européenneité » de l'urbanisation post-soviétique, nous pouvons remarquer que jusqu'à la Seconde Guerre mondiale, les systèmes européen et (pré-) soviétique sont dans une dynamique de croissance similaire mais à des stades d'avancement différents, au même titre que la Turquie. Le rattrapage de la transition urbaine a lieu dans l'enceinte fermée de l'URSS et de ses satellites européens. À son terme, les deux ensembles démographiques semblent connectés, et plutôt fragmentés à une échelle régionale que de part et d'autre de l'ancien Rideau de fer.

Cet emboîtement d'échelles nous invite donc à analyser l'urbanisation récente à un niveau géographique plus fin. Nous faisons donc un détour par les grandes régions démographiques et urbaines de l'ex-URSS avant de nous intéresser aux trajectoires individuelles des villes.

3.2. Les décalages temporels de la transition urbaine dans les régions de l'ex-URSS

« [en 1926] les comportements face à la science et la technique, la médecine, le droit et l'individu étaient beaucoup plus similaires en Russie et en Occident qu'en Russie et ses provinces d'Asie centrale. »
(McAuley, 1984, p.12)

Ainsi, nous avons vu que les rythmes et les niveaux de l'urbanisation en ex-URSS connaissent des variations, et une première distinction par grandes régions géo-démographiques semble pertinente, au moins entre la partie européenne de l'ensemble d'une part, et l'Asie centrale de l'autre. En affinant l'analyse, on peut aussi distinguer le Caucase, la Sibérie et l'extrême-Orient, la Biélorussie, les États Baltes et l'Ukraine, Nord et Sud-Kazakhstan...

Cette partie vise donc à prendre en compte un niveau intermédiaire aux échelles de la ville et du système de villes, en étudiant la différenciation régionale des transitions urbaines. En termes démographiques, les disparités de développement, de croissance démographique et d'urbanisation sont liées pour la plupart à l'histoire de la colonisation russe au XIX^e siècle, poursuivie et encadrée par le régime soviétique au XX^e siècle. Nous détaillons donc succinctement les étapes de l'intégration politique de régions démographiques différentes, et les conséquences relevées dans la littérature sur l'industrialisation et l'urbanisation, avant de présenter le modèle de transition urbaine dont nous nous servons par la suite pour mesurer les décalages temporels et variations de rythmes de la transition urbaine dans les régions de l'ex-URSS.

3.2.1. Plusieurs régimes démographiques dans l'ex-Empire russe

« Les khanats de Boukhara, de Khiva et de Kokand, rattachés à la Russie au cours de la conquête de l'Asie centrale, formaient des sociétés archaïques, d'autosubsistance et donc faiblement intégrées, instables, car dévastées par des guerres continues. Le développement économique et culturel de la Russie présentait un contraste saisissant et les contemporains prédisaient avec la

force de l'évidence l'important bénéfique que les sociétés centre-asiatiques retireraient de leur rattachement à la Russie. » (Vichnevski, 1995, p.102)

Jusque dans les années 1920, l'Asie centrale représente un ensemble de protectorats plus ou moins bien intégrés, aux marges de l'Empire russe, majoritairement ruraux (McAuley, 1984). À ce « contraste saisissant » entre Russie et Asie centrale s'ajoute le fait que la slavisation et la modernisation sont restreintes aux villes, tandis que la majorité des campagnes reste « archaïque et indigène ». En effet, l'histoire de l'urbanisation est aussi fortement liée à l'histoire de la conquête impériale russe et à l'abolition du servage, qui « condui[t] des centaines de milliers de Russes à peupler les terres kazakhes » (Blum, 2004, p.212), puis caucasiennes, baltes et sibériennes.

L'intégration à l'URSS et la modernisation du Caucase et de l'Asie centrale vont de pair avec leur institutionnalisation. Ainsi, Turkménistan et Ouzbékistan sont détachés de la RSFSR⁸ en 1920. Le Tadjikistan est dissocié de l'Ouzbékistan en 1929, tandis que la Transcaucasie impériale éclate en trois républiques – Arménie, Géorgie et Azerbaïdjan – un an plus tard. Enfin, 1930 est aussi l'année durant laquelle Kazakhstan et Kirghizie sont promus de républiques autonomes à républiques fédérées (Werth, 2001, pp.188-192). Cette intégration territoriale et politique est un « double tournant dans la destinée de l'Asie centrale. Sur le plan géographique, elle n'appartenait désormais plus au monde islamique turco-perse dont elle avait constitué la périphérie nord pendant des siècles avant de devenir la périphérie sud de l'Empire russe. [...] Aussi l'entrée dans un nouvelle sphère d'influence signifiait-elle également pour l'Asie centrale un tournant historique, l'adhésion à des processus de modernisation qui, même s'ils se développaient avec difficulté, prenaient racine en Russie » (Vichnevski, 1995, p.102).

De fait, si la disparité de développement est criante entre les marges de l'ancien Empire russe et son centre dans les années 1920-1930⁹, l'industrialisation et les nombreuses politiques soviétiques de modernisation, en agissant sur les comportements démographiques, ont permis aux différentes régions d'ex-URSS de connaître un mouvement de convergence de plusieurs décennies¹⁰. Des systèmes de santé et d'éducation performants et unifiés permettent de réduire la mortalité et de réduire le nombre de naissances dans toute l'URSS. Dans le même temps, l'industrie et l'intégration économique par la planification – même partielle – entraînent un processus de développement économique et humain de l'ensemble politique. « Le système soviétique est parvenu à actionner le mécanisme de la modernisation en Asie centrale. Toutefois, il n'a pu mener cette entreprise à bien. [...] L'influence néfaste du caractère inachevé de l'industrialisation, de l'urbanisation et de la transition démographique – trois aspects intrinsèquement liés du développement – s'est

⁸ République Socialiste Fédérative Soviétique de Russie.

⁹ Ainsi en 1926, seulement 8% de la population centre-asiatique est alphabétisée, contre 43% en Russie (McAuley, 1984).

¹⁰ Jusqu'en 1960 seulement pour certains (McAuley, 1984 ; Blum, 2004).

nettement manifestée, notamment par la disparité entre croissance démographique et évolution du nombre d'emplois. » (Vichnevski, 1995, pp.117-118).

A. Blum (2004) suggère qu'une partie de la divergence repérée depuis les années 1960 dans les caractéristiques démographiques de l'Asie centrale vis-à-vis de la Russie est due précisément à l'« *orientation uniforme et homogène* » (p.155) d'un système de santé s'appliquant à des comportements de mortalité pourtant différenciés : « *en fixant des objectifs essentiellement techniques, en ne se souciant pas des besoins locaux, en restreignant la médecine à une conception technique des soins, elle limite, et même interrompt ces progrès. [...] la politique sanitaire soviétique a en quelque sorte oublié que l'on ne traite pas de la même manière une situation sanitaire et médicale d'ancien régime et une situation moderne.* » (Blum, 2004, p.155). C'est un facteur important selon lui dans l'explication de la très basse espérance de vie constatée encore aujourd'hui dans la plupart des pays issus de l'ex-Union soviétique. Il ajoute :

« Les différences de comportements d'une république à l'autre, d'un espace socioculturel à l'autre n'ont pas été modifiées par l'intégration dans un ensemble politique commun appelé Union soviétique. Les espaces géographiques extérieurs aux frontières de l'Union soviétique avaient beau être hermétiquement fermés à toute circulation, les comportements sociaux qui fondent les attitudes démographiques leur sont restés attachés. Une histoire commune n'a pas réussi à bouleverser ces bases ni à couper ces ensembles régionaux constitutifs de l'Union soviétique de leur aire traditionnelle d'appartenance culturelle. [...] Les diverses ruptures survenues au cours de l'histoire de l'Union soviétique, si elles ont provoqué de nombreuses catastrophes démographiques, sont restées sans effet sur les tendances de long terme. » (Blum, 2004, pp.146-147)

Ce constat démographique est renforcé par le profil économique de spécialisation des États issus de l'URSS. Ainsi, alors que l'Union soviétique dans son ensemble comptait 52% d'actifs dans l'industrie en 1985, ce taux tombait à 20.6% en Asie centrale – soit moins que les voisins iranien ou turc –, voire entre 15 et 20% au Tadjikistan ou Turkménistan (tableau 3.2.1). Ces contrastes régionaux sont à mettre en relation avec les niveaux d'urbanisation à la même époque (tableau 3.2.2.), qui montrent un décalage fort entre des niveaux matures du taux d'urbanisation côté européen à l'exception de la Moldavie, et des espaces encore majoritairement ruraux au Sud de l'URSS en 1989 – avec des taux inférieurs à 40% aux Tadjikistan, Kirghizistan, Turkménistan et Ouzbékistan.

Tableau 3.2.1. Spécialisations nationales industrielles en URSS

Zone géographique	Part d'actifs dans l'industrie, en %	Zone géographique	Part d'actifs dans l'industrie, en %
Asie centrale	20.6	U.R.S.S.	52.0
Ouzbékistan	20.9	Iran	33.0
Kirghizistan	27.1	Turquie	29.0
Tadjikistan	18.5	Pakistan	16.0
Turkménistan	14.7	Afghanistan	14.0

Source : (Vichnevski, 1995, p.105). Année de référence : 1985.

Tableau 3.2.2. Taux d'urbanisation nationaux en URSS en 1989

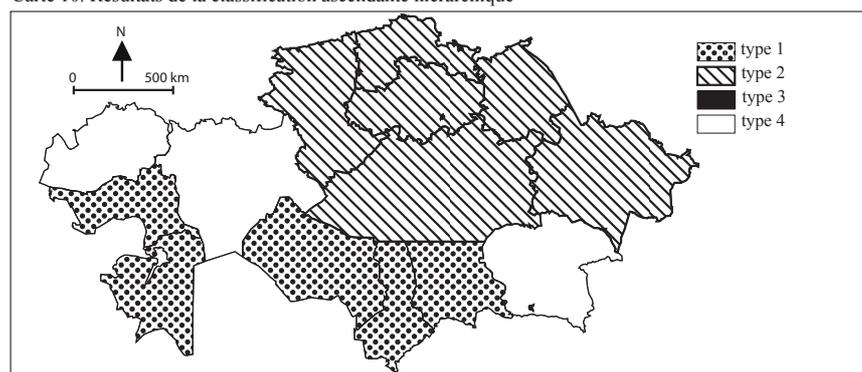
Zone géographique	Taux d'urbanisation, en %	Zone géographique	Taux d'urbanisation, en %
Asie centrale	40.7	U.R.S.S.	58.7
Kazakhstan	50.4	Russie	66.4
Azerbaïdjan	46.9	Lettonie	61.9
Géorgie	46.4	Estonie	61.4
Moldavie	42.1	Lituanie	60.2
Ouzbékistan	38.6	Bélarus	59.0
Turkménistan	36.9	Ukraine	58.2
Kirghizistan	32.6	Arménie	58.2
Tadjikistan	28.0		

Source : DARIUS, 2014.

On note donc que les contrastes régionaux de dynamique démographique, économique et urbaine persistent jusqu'à la fin de l'URSS et encore aujourd'hui. « *Ils restituent chaque région à son aire culturelle traditionnelle d'appartenance* » (Blum, 2004, p.161), avec toutefois un impact des migrations massives comme au Kazakhstan, où le Nord du pays est peuplé en majorité de russophones ayant importé avec eux leur modèle démographique.

En effet, à une échelle plus fine au sein des ensembles régionaux tels que l'Asie centrale, voire des différents pays, on constate des disparités, des gradients et des discontinuités démographiques. Ainsi, le Kazakhstan, « *“pont démographique” entre la Russie et le reste de l'Asie centrale* » (Seys, 2009, p.244), semble lui-même composé de plusieurs régions démographiques correspondant plus ou moins bien à l'occupation « ethnique » et aux aires d'influence culturelles voisines. Sur la base d'une classification ascendante hiérarchique combinant 25 indicateurs démographiques (fécondité, mortalité, migrations, nuptialité, divortialité, avortement), O. Seys distingue dans le Kazakhstan de 2007 « *4 grandes régions ayant des identités démogéographiques claires* :

Carte 10. Résultats de la classification ascendante hiérarchique



Source : QRSA (Agence statistique de la République du Kazakhstan).

- *Type 1* : le Sud et l'Ouest du pays. Ces régions connaissent un excédent naturel très élevé dû à une fécondité forte (I.C.F. supérieur ou égal à 3) dans un cadre familial plus traditionnel. [...]

- *Type 2* : le Nord et l'Est du pays apparaissent comme des régions avec une dynamique totalement opposée. L'excédent naturel y est proche de zéro dans le cadre de modèles familiaux plus européens avec une fécondité et une nuptialité faibles alors que la divortialité et la proportion de naissances hors mariage y sont plus élevées. [...]

Entre ces deux Kazakhstan, l'un européen et l'autre centrasiatique, deux espaces intermédiaires apparaissent :

- *Type 3* : bien qu'elles s'inscrivent dans leurs régions démographiques, l'une au nord, l'autre au sud, les deux villes d'Almaty et d'Astana montrent des dynamiques propres en termes de migration et de mortalité [...]

- *Type 4* : Les régions d'Oral, d'Aqtöbe et d'Almaty sont dans une situation démo-géographique de transition entre le Nord et le Sud du pays. Le niveau des indicateurs y est intermédiaire que ce soit en matière de fécondité, de mortalité, de formation et de dissolution de la famille ou encore d'accroissement migratoire. » (Seys, 2009, pp.257-258)

De même au sein de la Russie, les disparités économiques et démographiques régionales étaient fortes jusqu'à la chute de l'URSS. Depuis, elles connaissent à la fois une tendance à la divergence économique et politique (Zimin, 2004) et à la convergence des infrastructures techniques et sociales (Bradshaw, Vartapetov, 2003). Ces auteurs, au-delà du simple constat, insistent sur l'importance des transferts fiscaux nationaux sur l'atténuation de la divergence globale des régions russes.

Le modèle de la transition urbaine, appliqué aux différentes régions de l'ex-URSS, permet de décrire les différences de rythme et de temporalité de l'urbanisation à cette échelle.

3.2.2. Le modèle de la transition urbaine

Nous avons déjà évoqué l'origine du modèle de transition urbaine proposé par Zelinsky (1971), qui décrit le passage, en quelques décennies généralement, d'un peuplement en majorité rural à une société principalement établie dans les villes.

« Ce modèle insiste sur la relation entre la transition démographique et le processus d'urbanisation : l'accroissement rapide de la population en début de transition démographique favoriserait l'exode rural et l'accroissement naturel rapide des populations urbaines. Quatre phases sont identifiées :

Phase A : croissance lente du taux d'urbanisation, assimilable à une stagnation

Phase B : accélération de type exponentiel

Phase C : au-delà d'un certain seuil, décroissance de l'accélération

Phase D : le seuil de saturation du taux d'urbanisation est atteint, la croissance devient quasi nulle.

Les phases B et C correspondent à la transition urbaine, qui désigne donc la période relativement brève à l'échelle de l'histoire au cours de laquelle un pays bascule d'une majorité de population rurale à une majorité de population urbaine. La diversité des taux d'urbanisation actuels peut être interprétée : d'une part par des décalages chronologiques dans le démarrage de l'urbanisation ; d'autre part, par les vitesses différentes de la transition urbaine. » (Dureau, 2004, p.210).

Cette transition peut se produire à partir du moment où les techniques d'agriculture sont suffisamment performantes pour permettre à une petite fraction de la population de nourrir l'ensemble des habitants des villes et des campagnes. Ainsi, la transition urbaine *« ne peut se comprendre que parce que les campagnes ont connu de profondes mutations, dans le secteur de la production agricole, mais aussi parce qu'elles ont été confrontées à une importante croissance naturelle, disposant ainsi d'un important excédent de main-d'œuvre et de populations »* (Steck, 2006, p.270), en lien avec la transition démographique.

De plus, les migrations de ruraux vers les villes sont catalysées lorsque le différentiel des salaires et des niveaux de vie – accès à l'éducation, à la santé, à divers services culturels – entre les différentes localisations est tel que la migration vers la ville est le comportement le plus rationnel et le plus fréquemment adopté par les jeunes générations. Ainsi, bien que démographes et économistes restent en désaccord sur l'importance relative des forces d'attraction (*pull*) et de répulsion (*push*) qui déplacent les ruraux vers les villes, il s'agit des deux hypothèses les plus fréquemment convoquées pour expliquer le déclenchement et l'évolution du processus de transition urbaine (Kelley, Williamson, 1984).

«Plusieurs aspects du processus historique d'urbanisation peuvent l'apparenter à un processus de diffusion spatiale des innovations. Un premier indice en est donné par la forme caractéristique de la courbe d'évolution de la part de la population urbaine dans la population totale, qui prend partout la forme d'une courbe logistique, tout comme une courbe d'évolution de la fraction d'une population qui adopte une certaine innovation.» (Pumain, 2003a, p.109)

Cette courbe logistique du taux d'urbanisation au cours du temps est caractérisée par trois paramètres interprétables en termes d'amplitude, de rapidité et de temporalité de la transition :

$$U_t = K / (1 + \exp (r * (t - t)))$$

Avec : U_t le taux d'urbanisation à l'année t , K l'asymptote de la courbe (taux maximal vers lequel tend le taux d'urbanisation), r la raideur de la courbe, et t le point médian, c'est-à-dire l'année durant laquelle la population devient majoritairement urbaine, autrement dit le moment où le taux d'urbanisation atteint 50%.

Nous l'utilisons pour comparer les différentes régions de l'ex-URSS en comparant leurs positions relatives dans un modèle commun au cours des cinquante dernières années.

3.2.3. Un modèle commun mais des temporalités différentes

«Le modèle de la transition urbaine est évoqué par de nombreux auteurs : permettant de classer les pays selon la phase d'urbanisation dans laquelle ils se trouvent, ce modèle est effectivement commode pour établir des comparaisons internationales.» (Dureau, 2004, p.209).

Les différentes régions d'ex-URSS suivent en majorité une forme logistique de transition urbaine mais présentent une diversité de rythmes que révèle l'étude des paramètres du modèle. Après avoir présenté les principes théoriques de ce modèle (section 3.2.3.1), nous l'appliquons aux 108 « régions » identifiées dans le Chapitre 1 (section 3.2.3.2) avant de nous concentrer sur les conséquences de la décroissance démographique sur la poursuite de ce schéma général dans l'espace post-soviétique (section 3.2.3.3).

3.2.3.1. L'urbanisation des régions d'ex-URSS entre 1959 et 2010

Les données qui permettent d'étudier l'évolution du taux d'urbanisation à l'échelle des régions ont été décrites dans le Chapitre 1. Les régions correspondent à l'échelon national dans la base DARIUS pour douze républiques soviétiques et États post-soviétiques, et pour les trois plus grandes républiques – Russie, Ukraine, Kazakhstan – à l'échelon sub-national¹¹. Les données que nous avons recueillies et harmonisées couvrent la période 1959-2010. Les taux d'urbanisation sont calculés comme les rapports entre la somme de population des agglomérations de plus de 10 000 habitants à chaque date d'observation et la population totale de la région (tableau 3.2.3 & figure 3.2.1). « *L'accent mis sur cette période s'explique par le fait que la transition urbaine pour la majorité des régions [de la Russie européenne] s'est déroulée durant la seconde moitié du [XX^e] siècle* » (Popov, 2001, p.161, traduit du russe).

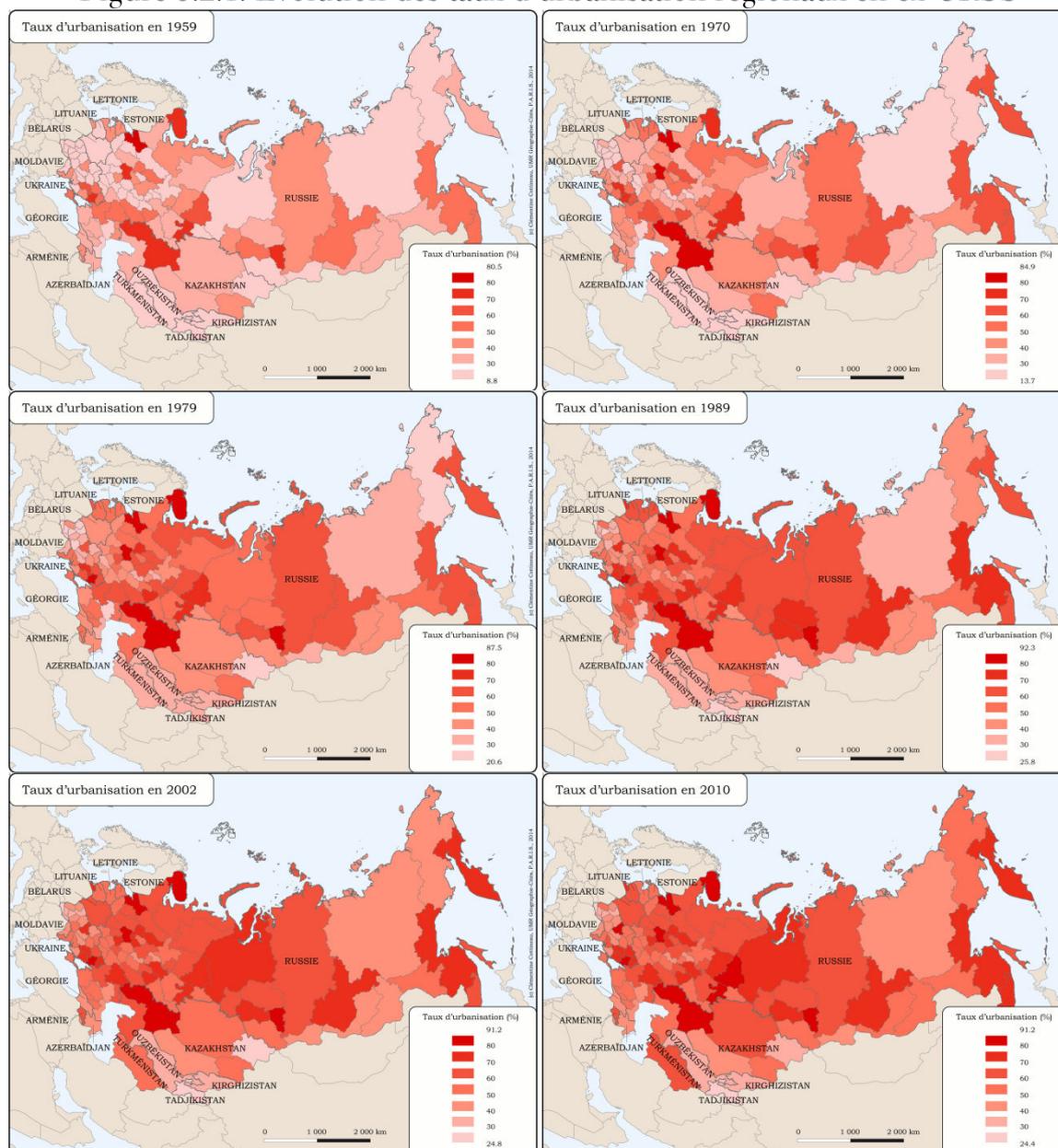
Tableau 3.2.3. Évolution des taux d'urbanisation nationaux en ex-URSS

Taux d'urbanisation, en %	1959	1970	1979	1989	2002	2010
<i>URSS</i>	39.4	48.0	54.4	58.7	58.7	60.7
<i>Asie Centrale</i>	26.2	30.7	37.9	40.7	40.6	42.3
Russie	45.2	55.4	62.1	66.4	67.2	69.6
Bélarus	22.5	35.9	47.3	59.0	62.9	68.2
Arménie	40.7	52.9	58.6	58.2	63.0	63.1
Turkménistan	14.8	16.0	32.3	36.9	50.2	61.5
Ukraine	36.7	45.6	52.1	58.2	58.1	60.8
Lituanie	26.9	40.8	51.5	60.2	59.2	60.1
Estonie	44.2	54.3	59.0	61.4	58.8	59.5
Lettonie	41.7	51.6	59.7	61.9	58.1	58.9
Kazakhstan	34.1	42.0	46.1	50.4	51.8	55.5
Géorgie	34.0	38.9	42.9	46.4	43.3	49.5
Azerbaïdjan	36.2	41.6	44.5	46.9	47.2	46.5
Moldavie	17.7	24.5	29.7	42.1	38.3	44.2
Ouzbékistan	24.5	26.8	34.6	38.6	37.0	37.0
Kirghizstan	14.0	19.3	32.6	32.6	31.7	31.8
Tadjikistan	16.7	18.7	29.0	28.0	27.4	26.8

Source : DARIUS, 2014

¹¹ De plus, et afin d'éviter des taux d'urbanisation supérieurs à 100%, nous avons agrégé les villes à statut de région avec l'unité administrative englobante : Moscou et l'oblast de Moscou, Saint-Pétersbourg et l'oblast de Léningrad, Kiev et l'oblast de Kiev, Sébastopol et la Crimée, Almaty et l'oblys d'Alma-Aty, ainsi qu'Astana et sa région. C'est aussi le choix fait pour la Russie européenne par P. Popov (2001).

Figure 3.2.1. Évolution des taux d'urbanisation régionaux en ex-URSS



Source : DARIUS, 2014.

Si tous les pays et macro-régions ont connu une augmentation de la proportion d'urbains, les disparités restent très importantes entre la Russie à 70% urbaine et les pays ruraux d'Asie centrale, avec des variations ethniques importantes :

« En 1959, près de la moitié de la population soviétique vivait dans des villes ; en 1979, il s'agissait de plus de 60%. Le processus d'urbanisation a été plus lent en Asie centrale et, en 1979 encore, 60% de la population vivait dans les campagnes. Comme on peut s'y attendre, l'expérience des groupes immigrants et indigènes est très différente à cet égard. En 1970, les trois

quarts de la population indigène vivait dans des régions rurales contre moins de 20% des Russes et des autres Slaves. » (McAuley, 1984, p.13)

En outre, McAuley (1984) suggère que le retard d'urbanisation de l'Asie centrale a été accentué par l'intégration économique soviétique, puisque la politique des années 1930-1950 a eu l'effet de spécialiser à l'extrême l'Asie centrale dans l'agriculture. En 1940 par exemple, 90% du coton brut de l'URSS y était produit, mais seulement 3% des tissus en coton.

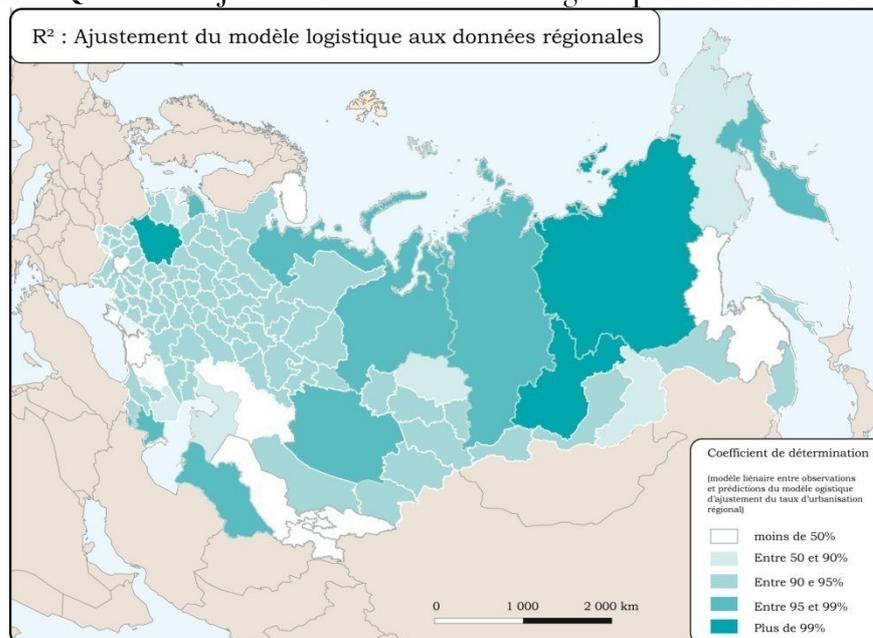
Au regard des cartes de la figure 3.2.1, on constate donc une urbanisation générale de l'ex-URSS, correspondant à une convergence des régions vers un système de peuplement majoritairement urbain, malgré la persistance d'écarts toujours importants entre certaines régions rurales du Sud (Caucase et Asie centrale) et le Nord européen très urbain. D'autre part, un même taux d'urbanisation recouvre des significations différentes : des villes densément peuplées et réparties dans le réseau de places centrales du Centre de la Russie, ou bien un archipel très lâche de villes dans les régions de Sibérie et d'Extrême-Orient, marquées par un tissu rural très mince (cf. Polyan *et al.*, 2001). Enfin, le boom des villes du pétrole et du gaz, en Sibérie occidentale par exemple, ne signifie pas non plus le développement d'une culture urbaine et de tous les attributs de densité et d'hétérogénéité de la ville, puisque l'activité est entièrement tournée vers l'extraction et les habitants sont principalement masculins et résidents temporaires (Vaguet, 2007).

3.2.3.2. 108 transitions urbaines¹²

L'évolution du taux d'urbanisation est bien décrite par un modèle logistique dans la plupart des régions russes, européennes et caucasiennes, avec une qualité d'ajustement du modèle aux données supérieure à 90% (figure 3.2.2).

¹² Le travail faisant l'objet de cette section sur la recherche d'un ajustement logistique des transitions urbaines des 108 régions entre 1959 et 2010 a été mené avec Paul Chapron, post-doc à Géographie-cités au sein du programme GeoDiverCity.

Figure 3.2.2. Qualité d'ajustement du modèle logistique de la transition urbaine



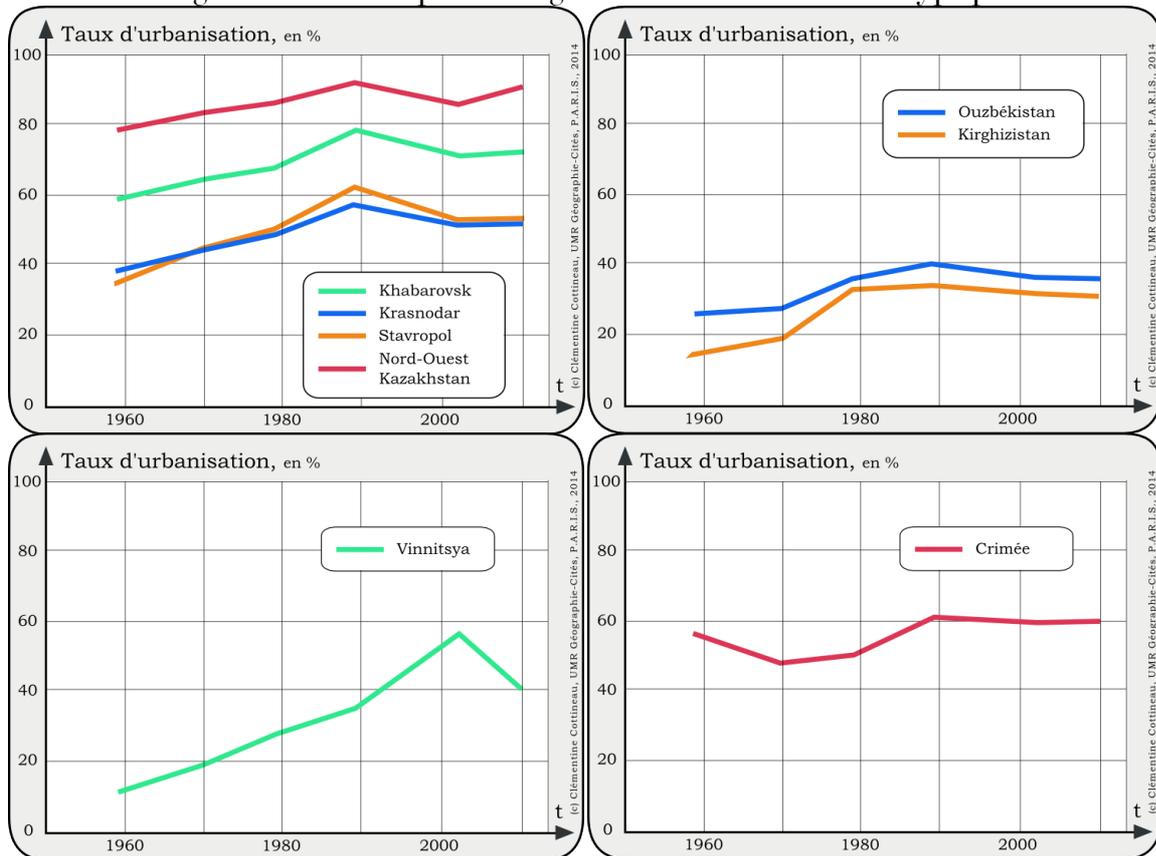
Source : DARIUS, 2014.

Au contraire, l'urbanisation de certaines régions les *oblasts* de Khabarovsk/Birobidjan en Extrême-Orient russe, de Mourmansk dans le grand Nord, des régions de Crimée et Krasnodar au bord de la mer Noire, ou les républiques d'Ouzbékistan, du Tadjikistan et du Kirghizistan s'écarte de la forme d'évolution logistique. Si l'on s'intéresse à l'évolution du taux d'urbanisation dans les huit régions dont l'ajustement est inférieur à 50%, on repère quatre types de particularités (figure 3.2.3).

Dans les *krai* de Krasnodar et Stavropol, le Nord-Ouest du Kazakhstan et l'oblast de Khabarovsk/Birobidjan, à des niveaux d'urbanisation différents, on observe une même forme de transition classique jusqu'en 1989, dont l'accélération au cours de la période 1979-1989 est brisée net après la chute de l'URSS. De plus, le taux d'urbanisation recule dans ces régions entre 1989 et 2002, avant de remonter très lentement ou stagner jusqu'en 2010. La crise politique de 1991 a eu pour certains ménages l'effet d'un retour temporaire à la campagne, notamment dans les régions propices à l'agriculture comme le Sud de la Russie (Krasnodar, Stavropol ; cf. Ioffe, Nefedova, 2001). Dans l'oblast de Khabarovsk, cette chute du taux d'urbanisation dans les années 1990 correspond à la décroissance de toutes les villes de la région sauf Bikin (19 000 habitants), tandis que dans le même temps la population totale a continué de croître (de 1.598 à 1.627 millions d'habitants), suggérant aussi dans cette région un déplacement de certains ménages hors des villes. Dans le Nord-Ouest du Kazakhstan, on peut expliquer ce recul du taux d'urbanisation par le départ massif des Russes installés au Kazakhstan après l'indépendance de celui-ci (Seys, 2009), et la sur-représentation des Russes chez les urbains du Kazakhstan (McAuley, 1984 ; Vichnevski, 1995). Ainsi, sans que des urbains ne deviennent

ruraux, le départ des urbains russes a abouti à une part plus importante des ruraux dans la population totale de cette région kazakhe. Les *oblys* d'Aqtöbe et du Kazakhstan occidental ont en effet perdu 83 000 habitants entre 1989 et 2002, et les Russes y représentaient encore autour de 30% de la population totale en 2007 (Seys, 2009).

Figure 3.2.3. Des profils régionaux d'urbanisation atypiques



Source : DARIUS, 2014.

En Ouzbékistan et au Kirghizistan, on s'éloigne du modèle logistique de transition urbaine, par la forme et les niveaux d'urbanisation observés. En effet, moins de 40% des Ouzbeks et autour de 30% des Kirghizes sont urbains en 2010, des proportions comparables aux valeurs des années 1980. Le décollage n'a donc pas encore eu lieu, probablement du fait de la forte spécialisation agricole induite par le fonctionnement intégré de l'URSS et ses héritages actuels (Vichnevski, 1995). La période 1959-2010 n'est donc pas pertinente pour évaluer le mouvement de transition vers un peuplement urbain pour ces deux ensembles territoriaux.

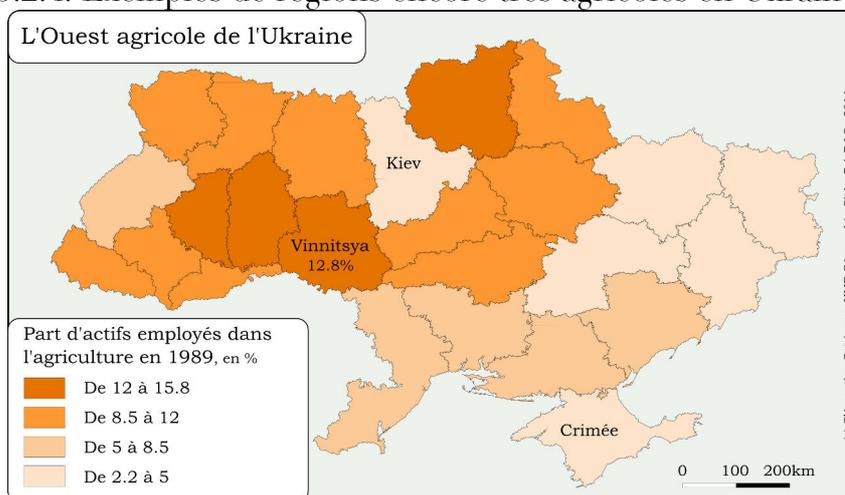
La région de Vinnitsya en Ukraine offre un profil d'urbanisation original, avec un décollage lent, une accélération dans les années 1990 puis un recul important depuis 2002, aboutissant à un taux d'urbanisation de 40% en 2010. Il s'agit d'une région encore majoritairement rurale, dont 12.8% des actifs étaient

employés dans un kolkhoze en 1989 (contre 6.9% à l'échelle de l'Ukraine, figure 3.2.4). L'hypothèse que nous formulons est que le processus temporaire de départ des villes vers les campagnes est le même qu'en Russie mais différé dans le temps et peut-être plus durable dans un pays plus agricole :

« Dans le contexte des années 1990 – recours massif aux importations et abandon à elles-mêmes des structures anciennes – la restructuration du secteur agricole, bien qu'en tête des priorités, est finalement différée au profit d'autres secteurs économiques, principalement ceux de l'énergie et des industries minières liées aux monopoles naturels.

La crise financière de 1998, renchérisant les produits alimentaires d'importation au-delà d'un pouvoir d'achat amputé par l'inflation, entraîne une réorganisation des structures de production dirigée par les entreprises de transformation en plein renouvellement. » (Hervé, 2013, p.115)

Figure 3.2.4. Exemples de régions encore très agricoles en Ukraine en 1989



Source : Recensement ukrainien de 1989.

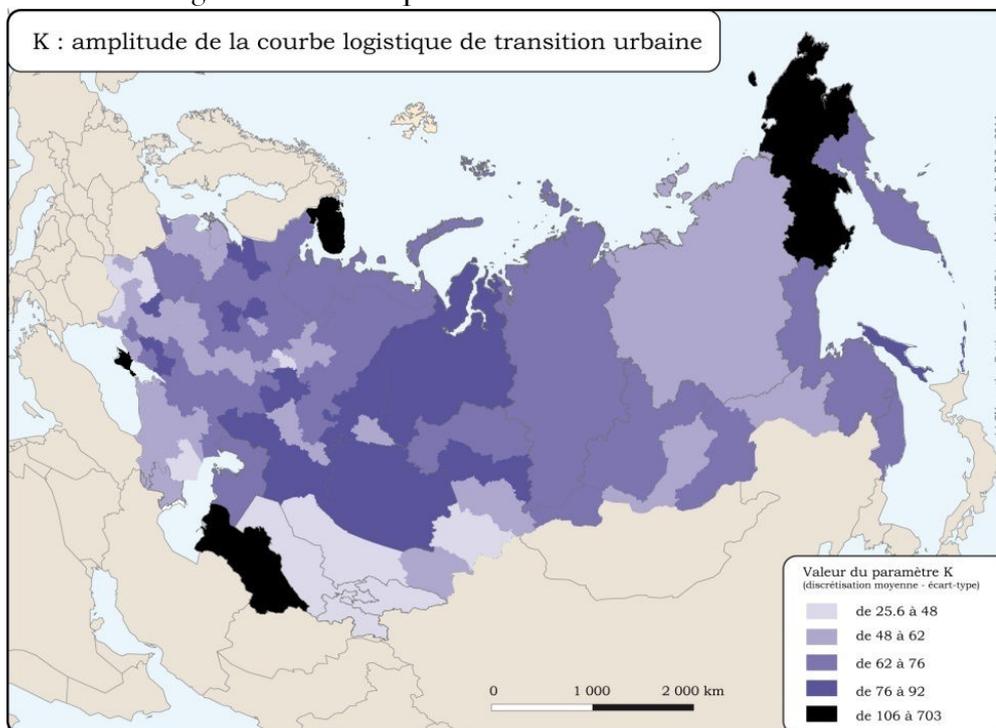
Enfin, la Crimée présente un profil d'urbanisation qui ne correspond absolument pas à une transition urbaine. En effet, la région (alors russe) est la troisième plus urbanisée en 1897 (avec un taux supérieur à 40%, cf. Popov, 2001, p.151). La région est offerte à l'Ukraine par Khrouchtchev en 1954. On observe entre 1959 et 1970 une baisse du taux d'urbanisation, qui remonte ensuite de 50 à 60% dans les années 1970 et 1980 avant de stagner jusqu'en 2010. Ce taux de 60% peut être considéré comme le niveau saturé de l'urbanisation pour la Crimée, et la baisse de la part d'urbains dans les années 1960 pourrait correspondre au retour des Tatars de Crimée déportés pour collaboration après-guerre (Werth, 2001).

Pour les 100 autres régions de l'ex-Union soviétique entre 1959 et 2010, la forme logistique de la transition urbaine rend compte de plus de 50% des variations du taux d'urbanisation, et généralement plus de 90%. Nous nous

attachons donc, pour conclure l'analyse à cette échelle, à étudier les variations des paramètres de cette courbe logistique dans l'espace post-soviétique.

L'asymptote K de la transition, soit le taux d'urbanisation vers lequel tend la région au cours du temps, se situe généralement autour de 60%, et différencie principalement les pays ou régions n'ayant pas achevé leur transition urbaine (l'Asie centrale et l'Est du Kazakhstan, avec des valeurs inférieures à 50) et les régions caractérisées par les taux d'urbanisation les plus élevés en 2010 (les régions urbaines de Moscou, Saint-Petersbourg, Kiev ou les régions désertiques avec une population rurale très faible, comme le Nord du Kazakhstan, l'Île de Sakhaline ou la Sibérie occidentale ; figure 3.2.5).

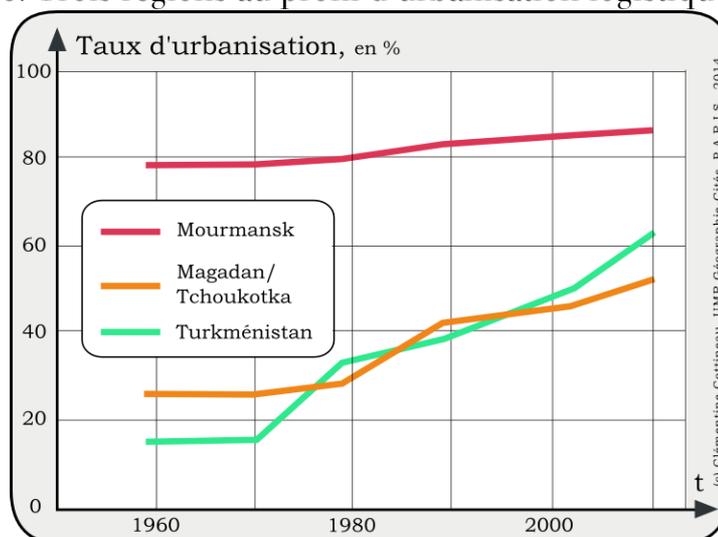
Figure 3.2.5. Amplitude de la transition urbaine



Source : DARIUS, 2014.

Enfin, quatre régions possèdent des valeurs aberrantes (>100) pour ce paramètre : la Crimée, Mourmansk, le Turkménistan et l'agrégation Tchoukotka/Magadan. Nous avons déjà évoqué le cas particulier de la Crimée, dont l'évolution du taux d'urbanisation entre 1959 et 2010 ne correspond pas à la transition urbaine et suit une courbe très loin du « S » classique. Pour les trois autres régions périphériques d'ex-URSS, on différencie les cas de Magadan/Tchoukotka et du Turkménistan, pour lesquels le taux d'urbanisation est encore en croissance très forte entre 2002 et 2010, décrivant une transition urbaine non achevée, et l'oblast de Mourmansk, dont le taux de saturation urbaine est situé très haut dans cette région polaire où la population rurale est presque inexistante (figure 3.2.6).

Figure 3.2.6. Trois régions au profil d'urbanisation logistique particulier

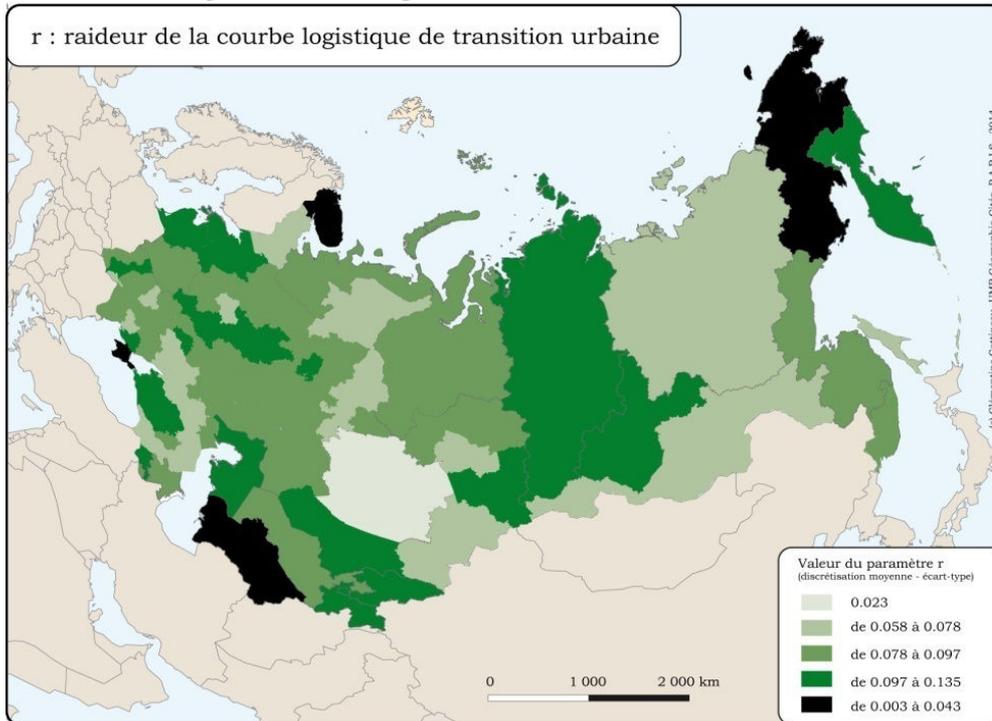


Source : DARIUS, 2014.

Le terme r de l'expression logistique décrit la raideur de la courbe du taux d'urbanisation, c'est-à-dire la rapidité avec laquelle le peuplement devient majoritairement urbain dans une région donnée. Plus ce terme est élevé, plus la transition est rapide. On remarque que ce terme varie d'un ordre de grandeur entre la région la moins rapide (le Nord du Kazakhstan) et les régions d'urbanisation très rapide (le Kamtchatka, l'Estonie, le Kirghizistan). La répartition de ce paramètre ne révèle pas d'auto-corrélation spatiale (le test est non-significatif), bien que des groupes de régions apparaissent rapides : les États baltes et la Sibérie, ou lents : l'Extrême-Orient par exemple (figure 3.2.7).

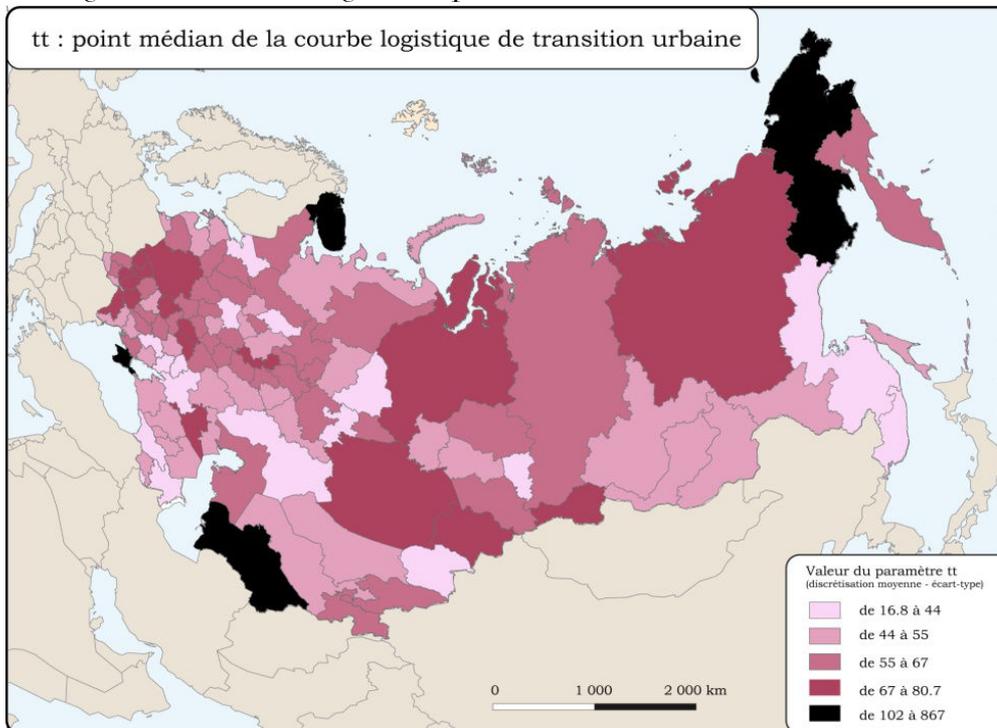
Enfin, le dernier paramètre de la courbe logistique distingue les régions par période d'urbanisation. Les premières régions étant entrées dans la phase C de la transition urbaine apparaissent avec les valeurs les plus faibles, et les plus récemment urbanisées avec les valeurs les plus élevées à l'exception des valeurs aberrantes (figure 3.2.8).

Figure 3.2.7. Rapidité de la transition urbaine



Source : DARIUS, 2014.

Figure 3.2.8. Décalages temporels dans les transitions urbaines



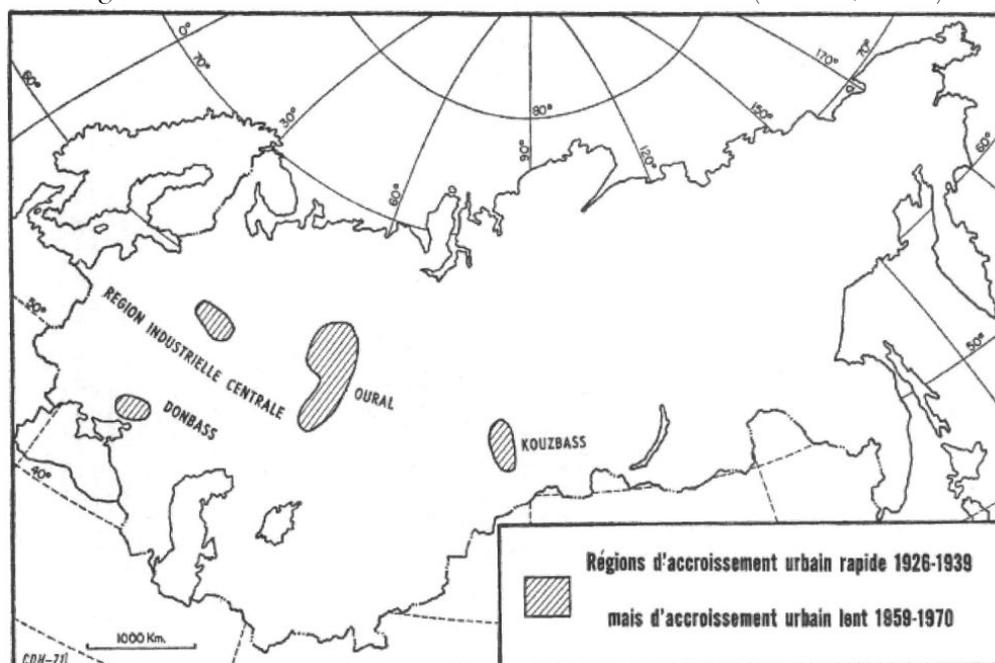
Source : DARIUS, 2014.

L'étude des temporalités de transitions urbaines régionales a été faite de manière systématique par P. Popov (2001, pp.161-168) pour la Russie européenne. Il propose une catégorisation temporelle en cinq types de régions :

- précoces, c'est-à-dire ayant passé le seuil de 50% d'urbains avant 1941 : Moscou, Saint-Pétersbourg et Mourmansk.
- relativement précoces, entre 1941 et 1960, donc avant notre intervalle temporel d'étude : régions industrielles du Centre, du Nord, de la Volga et de l'Oural.
- moyennes, entre 1961 et 1970 : Kalouga, Tver, Oulianovsk ou le Tatarstan.
- tardives, après 1971 : régions agraires des Terres Noires principalement.
- n'ayant pas encore effectué leur transition urbaine dans le Caucase-Nord.

Nous retrouvons, avec les valeurs du paramètre tt les plus basses, les régions les plus anciennement urbanisées de Russie européenne, ainsi que les régions ukrainiennes du Donbass, l'oblast métallurgique de Tchéliabinsk et deux régions périphériques du Kazakhstan. Il s'agit des régions repérées aussi comme précoces par C. Harris dès 1971 avec l'indicateur de croissance de la population urbaine (figure 3.2.9).

Figure 3.2.9. L'accroissement urbain en URSS (Harris, 1971)



Source : (Harris, 1971, p.25)

Les générations suivantes de régions devenant majoritairement urbaines forment des auréoles autour de ces premiers foyers, bien qu'une nouvelle fois et malgré la difficulté d'interpréter ce type de calcul avec des mailles

administratives aussi hétérogènes aucune auto-corrélation spatiale ne soit décelée par l'indice de Moran. Ainsi, les zones les plus tardivement urbanisées sont les régions occidentales de l'Ukraine et de la Biélorussie, le Nord-Est du Kazakhstan et de la Russie.

Concernant la région atypique de Mourmansk, bien que l'ajustement logistique affiche une valeur aberrante, P. Popov rappelle qu'elle représente un exemple de région dont l'aridité et le peuplement tardif ont favorisé des taux d'urbanisation très élevés, pratiquement inconnus dans les régions plus anciennement habitées de manière sédentaire :

« Fondé en 1916, le port de Romanov sur Mourman (future Mourmansk) s'est révélé une impulsion suffisante pour faire rentrer rapidement ce territoire peu peuplé dans le groupe des territoires urbanisés. La part des citadins atteignait déjà 53% au recensement de 1926, et au début des années 1960 elle avait atteint un stade d'urbanisation mature. Dès lors, la tendance à la croissance se transforma en stagnation autour de 90% (91.9% en 1999). L'avance de la région la plus septentrionale de Russie européenne en termes d'urbanisation est typique du peuplement à ces latitudes. Les localités rurales sont rares, leur réseau distant, et toute la structure de peuplement s'est formée autour des villes et des bourgs, centres industriels et d'extraction, et bases de la Flotte du Nord. » (Popov, 2001, p.163, traduit du russe)

Le modèle de la transition urbaine est intéressant pour rendre compte du caractère « banal » de l'évolution urbaine dans la plupart des régions d'ex-URSS durant les 50 dernières années. De plus, les écarts à ce modèle (en termes d'ajustement comme de valeurs de paramètres) permettent de mettre en relief des cas particuliers d'urbanisation, que ce soit en raison de leur temporalité, de leur rythme ou de leur dynamique démographique et/ou spatiale. Nous consacrons une dernière section à la période la plus récente (les années 1990 et 2000) pour décrire plus précisément un écart fréquent au modèle de la transition urbaine, introduit par la dislocation territoriale de l'URSS, les retours migratoires de l'Est et la décroissance démographique.

3.2.1.3. L'effet des chocs des années 1990 et de la décroissance démographique

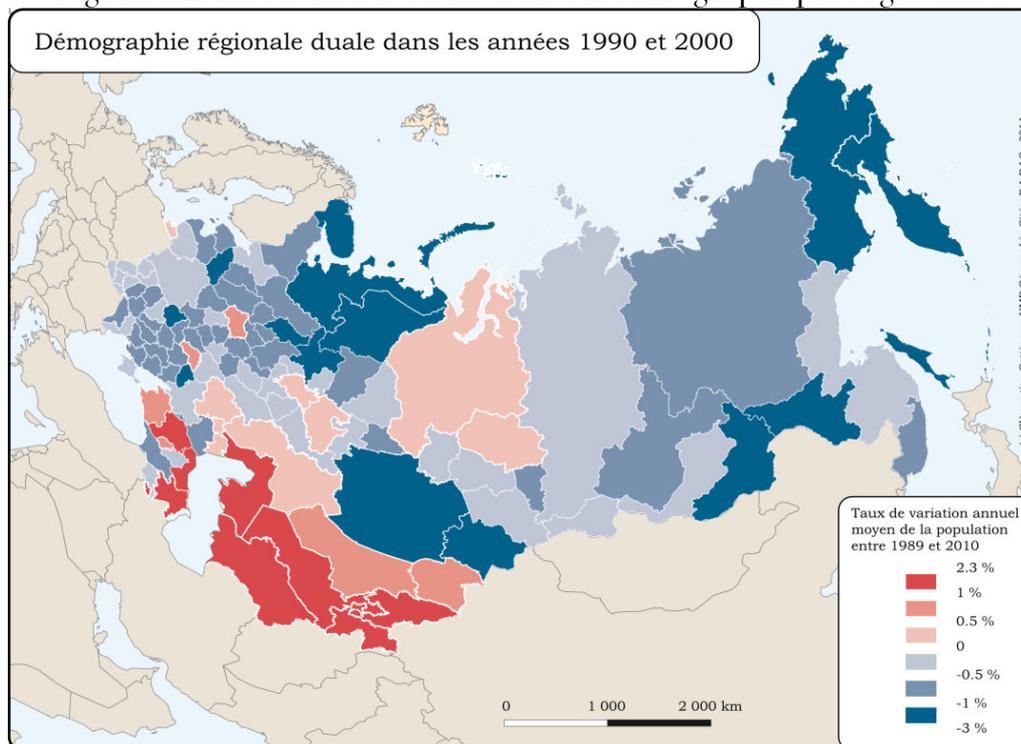
Le lien entre trajectoire démographique régionale et urbaine semble direct et univoque en période de croissance, où les différences de comportement démographique naturel entre les villes d'une région et le reste de la population sont compensées par le fait que la région est une sorte de réservoir de migrants potentiels vers les villes ; les deux niveaux croissant alors à un rythme similaire.

De fait, la relation n'est pas toujours si directe, et peut s'inverser dans le cas des villes en décroissance.

« *En Europe centrale et orientale (Allemagne incluse), les villes décroissantes connaissent globalement des évolutions similaires à celles de leur région d'appartenance, ce qui signifie qu'elles ne peuvent pas compter sur leur environnement régional pour inverser leur tendance. En Europe occidentale en revanche (Allemagne exclue), les rares villes décroissantes se situent dans des régions dynamiques (Rotterdam, Le Havre, Gênes, Palerme, Bilbao), ce qui à la fois souligne l'originalité urbaine du phénomène de décroissance de cette partie de l'Europe et permet aux villes concernées d'envisager des stratégies de revitalisation dans un cadre régional.* » (Cunningham-Sabot et al., 2010a, p.92).

L'ex-Union soviétique est caractérisée depuis les années 1990 par une chute spectaculaire de la population dans la majeure partie de son territoire. En effet, la baisse de la population affecte l'ensemble des régions et Nouveaux États Indépendants (NEI) de la partie européenne, une part très importante des régions russes et ce d'autant plus qu'elles se situent dans des espaces très périphériques et peu denses (Kontorovich, 2000) et le Nord du Kazakhstan. L'Asie centrale et une partie du Caucase connaissent au contraire une croissance démographique significative ($> 1\%$ par an) depuis 1989 (figure 3.2.10).

Figure 3.2.10. Variation de l'évolution démographique régionale



Source : DARIUS, 2014.

La décroissance démographique qui caractérise une grande partie du territoire de l'ex-URSS coïncide temporellement avec le démantèlement de l'ensemble politique de 1991 et les différentes crises économiques et politiques qui ont suivi. « *Penser qu'il s'agit d'une crise démographique conjoncturelle – que l'on associe souvent à la crise globale que la Russie a connue dans les années 1990 –, permet d'espérer que la sortie de crise aura inévitablement une influence bénéfique sur la situation démographique.* » (Vichnevski, 2009, p.5). Pourtant, les causes de la baisse de natalité, d'une mortalité élevée et de flux migratoires réduits sont « *le résultat d'une tendance historique profonde et irréversible [...] Les objectifs utopiques et irréalistes doivent être abandonnés. Il s'agit d'accepter et de s'adapter à une situation nouvelle et irrévocable, de faire évoluer les institutions sociales en fonction de cette situation et de repenser certaines approches politiques nées dans un contexte radicalement différent.* » (Vichnevski, 2009, p.6).

A. Vichnevski analyse la natalité, la mortalité et les migrations russes au XX^e siècle pour justifier la continuité des processus démographiques et le caractère structurel de la décroissance actuelle. Ainsi, la baisse de la natalité comme dans la plupart des pays industrialisés d'ailleurs est constante depuis les années 1920, atteint un niveau de non-renouvellement des générations au cours des années 1960 et cette tendance s'accroît dans les années 1990. La mortalité, anormalement élevée pour un pays de son niveau de développement économique depuis les années 1960, stagne depuis, en raison d'un système de santé défaillant, d'« *une situation socio-économique globalement défavorable ; par la faible importance de la santé et de la longévité dans l'échelle des valeurs de la société russe ; et par l'absence d'une stratégie appropriée de lutte contre la mortalité prématurée* » (Vichnevski, 2009, p.14), c'est-à-dire principalement l'alcoolisme et l'insécurité routière.

« La baisse de la fécondité durable a conduit à ce que, dès le milieu des années 1960, elle n'a plus assuré le remplacement des générations et le taux net de reproduction est descendu en dessous de 1, ce qui a marqué le début de la crise démographique russe. La dépopulation peut se développer longtemps sous une forme latente, avec un maintien de l'accroissement naturel de la population qui n'est pourtant dû qu'à l'inertie, et qui n'est permis que par la croissance démographique contenue dans la structure par âges de la population. Ce potentiel limité s'épuise progressivement et, si la fécondité n'est pas à même d'assurer le renouvellement des générations pendant une durée suffisamment longue, la décroissance naturelle de la population devient inévitable. » (Vichnevski, 2009, p.16)

Enfin, la politique migratoire extérieure n'est pas suffisamment ouverte pour permettre une compensation du solde naturel par le solde migratoire. Ce processus de dépopulation est accentué et différencié dans l'espace par le jeu de deux boucles de rétroaction positives (Grasland, 2010) : le vieillissement des régions en décroissance et leur faible attractivité migratoire renforcent la

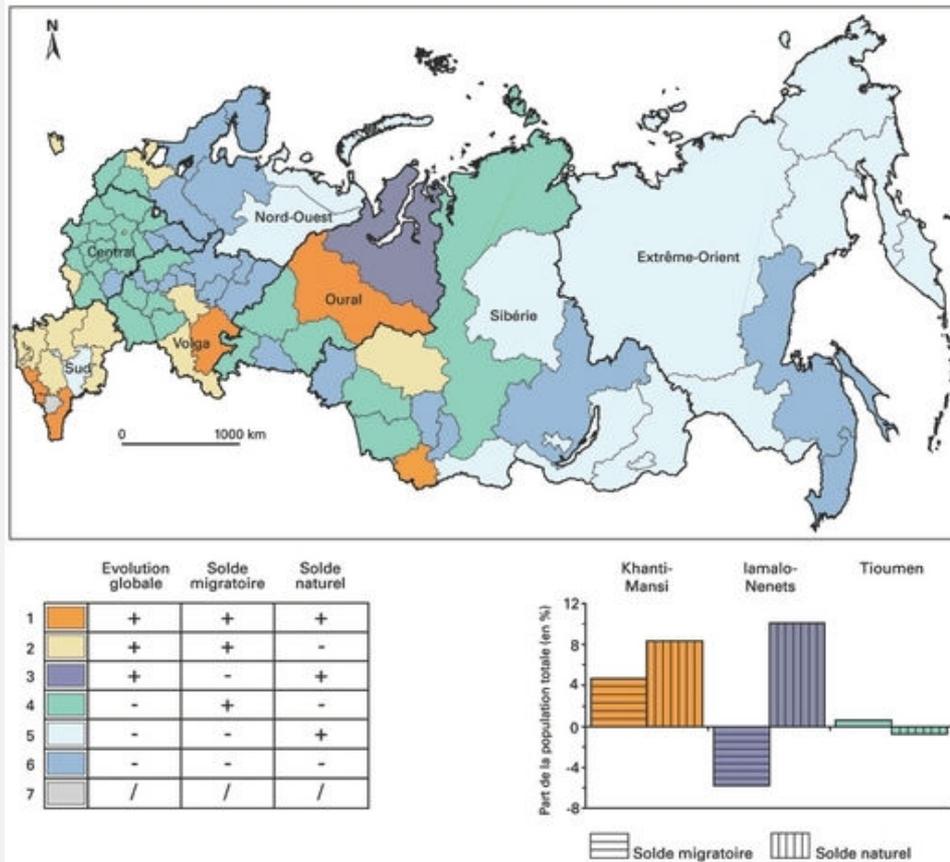
décroissance démographique et posent de nouveaux problèmes de santé¹³ et d'acceptation des migrants (Kontorovich, 2000).

Ainsi, dans la Russie des années 1990, les régions les plus en déclin sont caractérisées par le trio faible densité, composante naturelle décroissante et solde migratoire négatif (cf. Gaye, 2006 ; encadré 3.2.1). La répartition de ces indicateurs de dynamisme démographique suit deux logiques spatiales de gradient : un gradient Nord-Sud de dynamisme naturel, valable aussi à l'échelle de l'ex-Union soviétique, avec un Sud où les naissances dépassent les décès, et un Nord où l'inverse se produit ; et un gradient Est-Ouest de dynamisme migratoire, avec un Est que l'on quitte et un Ouest que l'on rejoint en moyenne.

Ce contexte démographique général et régional est donc une composante importante à prendre en compte pour comprendre les trajectoires des villes – et notamment durant les vingt dernières années –, ce à quoi nous nous appliquons dans la section suivante.

¹³ « Dans les régions ou espaces peu denses, voire en rétraction, l'offre de soins est elle aussi déclinante et repose souvent sur une population médicale vieillissante qui n'est pas remplacée » (Baudet-Michel et al., 2010, p.287)

Encadré 3.2.1.
Les trajectoires démographiques des régions russes
dans les années 1990



Source : (Gaye, 2006, p.68)

« La composante ouest-est de ce gradient renvoie principalement à la forte inversion des flux migratoires internes. [...] La composante nord-sud du gradient du déclin de la situation démographique, à l'Ouest de l'Oural, relève de facteurs différenciés selon les régions. Les soldes migratoires positifs qui s'étendent du district fédéral Central à celui du Sud sont expliqués d'une part par les flux des migrations internes de Sibérie et d'Extrême-Orient et de ceux du Nord-Ouest marqué également par l'arrêt de sa mise en valeur dirigée et la dégradation des conditions de vie. D'autre part, ils relèvent également des fortes arrivées d'immigrants, pour des raisons politiques mais aussi économiques, des républiques méridionales de la CEI. Ces immigrants se sont ainsi fixés de Rostov jusqu'à la république de l'Altai. Ces soldes migratoires se conjugent avec les inégalités du solde naturel qui sont l'expression des disparités des structures d'âge et des différences ethniques des régions. » (Gaye, 2006, pp.67-68).

3.3. Diversité mais cohérence des trajectoires de villes dans l'espace post-soviétique

La comparaison des trajectoires de population des villes permet de révéler à la fois des tendances générales de croissance et de décroissance, mais aussi d'entrevoir des facteurs plus spécifiques jouant potentiellement sur ces dynamiques, et des histoires et événements particuliers à certaines villes. Étant donné le grand nombre de villes en jeu, il serait long et fastidieux, voire contre-productif, de tenter d'étudier chaque trajectoire individuelle pour en dégager le caractère général et particulier. Les précédentes études ayant mobilisé les trajectoires urbaines procèdent de deux autres manières :

- Soit en identifiant *a priori* des types de trajectoires et en dénombrant ensuite les villes évoluant selon ces types prédéfinis (Turok, Mykhnenko, 2007) ;
- Soit en opérant des classifications automatiques sur les effectifs de population permettant de regrouper les trajectoires par profils *a posteriori* (Bretagnolle *et al.*, 2000 ; Rozenblat, Cicille, 2003 ; Becker *et al.*, 2012 ; Cottineau, 2013 ; Swerts, Pumain, 2013b ; Wolff *et al.*, 2013).

Nous favorisons la seconde approche pour deux raisons. Tout d'abord, cette méthode permet de différencier des profils croissants (ou décroissants) mais à des rythmes différents, ce qui est généralement la règle en période de transition urbaine où la majorité des villes connaissent une succession de périodes de croissance et se distinguent par leur rythme. D'autre part, elle est plus adaptée à l'étude d'intervalles irréguliers. En effet, alors que I. Turok et V. Mykhnenko s'intéressent à des chiffres de population de villes européennes tous les cinq ans au cours des cinquante dernières années, nous nous basons sur des intervalles censitaires. Ainsi, la succession de phases de croissance et de décroissance peut être gommée à l'intérieur d'intervalles longs, et notamment entre les recensements de 1939 et 1959. En effet, la période correspondant à la Seconde Guerre mondiale est une phase de décroissance démographique pour la majorité des villes, et est suivie par un retour de croissance durant l'après-guerre, mais qui n'est pas visible sur les trajectoires du fait de la volonté de ne pas conduire de recensement en 1946 (cf. Chapitre 1).

Nous procédons donc à des classifications ascendantes hiérarchiques menées sur les populations de villes au cours de trois périodes successives et cohérentes à l'échelle de l'ex-URSS : le décollage industriel du siècle 1856-1959 ; la fenêtre temporelle de stabilité du système entre 1959 et 1989 ; et la période de

décroissance démographique de 1989 à 2010. Nous avons mené l'analyse à l'aide du programme Trajpop, développé sur le logiciel R Studio et rendu accessible en ligne¹⁴ par Robin Cura dans le cadre du projet GeoDiverCity (2011). Il permet de mener une Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) et une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) avec distance du Khi^2 . Les résultats de la CAH permettent de former des classes de trajectoires démographiques de villes, d'après l'évolution de leur profil sur toute la période, comparée à celle des autres villes, et abstraction faite de leur taille. Une application aux villes de la Fédération de Russie a déjà été analysée précédemment (Cottineau, 2013). Le programme ne prenant en compte que les tableaux complets¹⁵, un arbitrage est nécessaire entre la taille de l'effectif d'analyse et la durée de la période étudiée. 130 trajectoires de villes sont donc étudiées sur la période 1856-1959 ; 1 148 à partir de 1959 ; et 1 825 entre 1989 et 2010. Après avoir étudié les dynamiques observées durant ces trois périodes, nous étudions la cohérence des trajectoires suivies successivement par les villes post-soviétiques et esquissons tout au long de l'analyse une liste des possibles facteurs favorisant la poursuite de certaines trajectoires, en fonction d'attributs urbains comme le statut administratif, le site, la position sur les réseaux de transport, etc.

3.3.1. 1856-1959 : un siècle de poussée vers l'Est

La première analyse de trajectoires, menée sur 130 villes présentes dès 1856, permet de distinguer parmi de nombreux profils de croissance urbaine les villes réellement « boostées » par la colonisation et l'industrialisation massive du début du XX^e siècle, et les villes de l'Ouest déjà importantes au milieu du XIX^e siècle, perdant du poids dans le système urbain tout au long de la période post-révolutionnaire (figure 3.3.1).

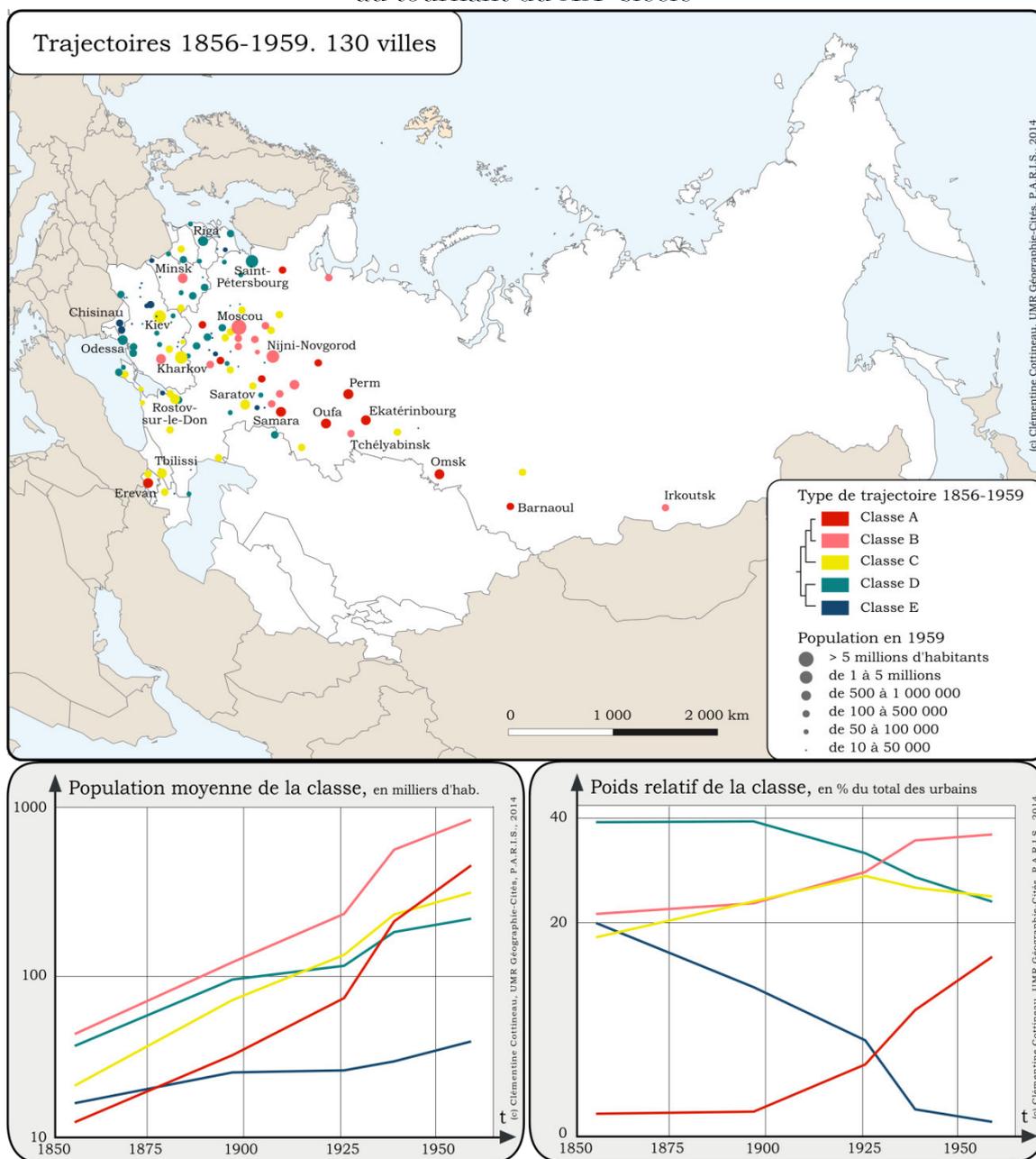
Durant cette période de forte de croissance de la quasi-totalité des villes, la première différenciation se fait entre les villes gagnant globalement du poids dans le système entre 1856 et 1959 (classes A, B et C) et les autres (classes D et E) (cf. graphique de droite). Parmi ces dernières, les villes de la classes D se maintiennent jusqu'en 1897, tandis que la classe E est de moins en moins importante tout au long du siècle. Au sein des villes gagnantes, le profil C caractérise des villes en croissance continue et régulière entre chaque intervalle censitaire (cf. graphique semi-log de gauche), tandis que les villes des classes A et B se ressemblent par leur croissance accentuée durant l'urbanisation massive des

¹⁴ <http://trajpop.parisgeo.cnrs.fr/>

¹⁵ C'est-à-dire des effectifs de villes peuplées sur toute la période choisie, sans prendre en compte les villes nouvelles : créées ou dépassant le seuil de 10 000 habitants au cours de l'intervalle de temps considéré.

années 1920 et 1930, et se différencie par l'ampleur de cette tendance, plus marquée dans la classe A.

Figure 3.3.1. Classification de 130 trajectoires urbaines au tournant du XX^e siècle



Ainsi, les 12 villes de la classe A multiplient en moyenne leur population par 32 en 103 ans, passant d'une taille très modeste (14 000 habitants en moyenne en 1856) à un niveau de grande ville en 1959 (450 000 hab.). Les plus grandes villes qui représentent cette tendance sont des grandes capitales régionales et industrielles situées sur le chemin de colonisation russo-soviétique, avec d'Ouest

en Est : Samara, Oufa et Perm, Ekaterinbourg, Omsk (tableau 3.3.1). On remarque aussi dans cette classe :

- Pétrozavodsk, à l'Est de Saint-Pétersbourg, fondée par Pierre le Grand au XVIII^e siècle et avant-poste de technique industrielle au XIX^e siècle. « *En 1916, Pétrozavodsk est reliée au chemin de fer sur la ligne Pétrograd¹⁶-Mourmansk. Au XIX^e et début du XX^e siècle, la ville est connue comme un lieu d'exil politique.* » (Lappo, 1994, p.352, traduit du russe). Elle devient capitale de la Carélie en 1920.

- Erevan, la capitale de l'Arménie depuis 1918, passée en 40 ans du rang de ville moyenne (34 000 habitants au recensement de 1897) au rôle de capitale politique, économique et culturelle d'une des 15 républiques soviétiques, avec 250 000 hab. en 1939, et plus du double vingt ans plus tard.

Avec un profil de croissance démographique similaire (en moins exacerbé), les 16 villes de la classe B sont en moyenne les plus peuplées au milieu du XIX^e siècle. En dehors de Moscou, trois agglomérations atteignent déjà 100 000 habitants au tournant du XX^e siècle : Nijni-Novgorod, Dniépropétrovsk et Kazan. À l'exception d'Irkoutsk à l'Est et Arkhanguelsk au Nord, ces villes se concentrent dans le centre historique de la Russie, autour de Moscou (Kolomna, Mourom, Vladimir, Iaroslavl par exemple). Il s'agit du cœur économique au XIX^e siècle (le cœur politique se situant alors à Saint-Pétersbourg), en avance sur le reste du pays quant au développement de l'industrie manufacturière. Cette zone devient aussi le centre politique lorsque Moscou retrouve son statut de capitale en 1924, et bénéficie manifestement des politiques d'industrialisation des années 1920 et 1930. Les deux exceptions sont de fondation plus ancienne que les villes de la classe A, dont elles partagent pourtant la localisation périphérique :

- Arkhanguelsk, fondée en 1584, est spécialisée dans la transformation et l'exportation maritime du bois durant cette période, et constitue une porte sur l'Arctique (Lappo, 1994).
- La fondation d'Irkoutsk en 1661, et l'attribution de son statut de ville dès 1686 en font l'un des premiers avant-postes défensifs dans la conquête de la Sibérie. « *La position sur la route du Baïkal, mais aussi de la Mongolie et de la Chine, les richesses des forêts et du sous-sol permettent une croissance rapide de sa population* » (Lappo, 1994, p.147, traduit du russe) dès le XVII^e siècle. La trajectoire de croissance d'Irkoutsk est qualifiée de « soviétique » par T. Becker *et al.*, à la manière d'Abakan¹⁷, au vu des groupes d'âges sur-représentés au cours du temps : « *While possessing some small organic population, these cities tended to grow through major influxes of working-age adults, often at the orchestration of the State.* » (Becker *et al.*, 2012, p.10).

¹⁶ Toponyme de Saint-Pétersbourg entre 1921 et 1924.

¹⁷ Non présente en 1856 dans notre base de données, alors que leurs trajectoires s'étendent de 1897 à 2002.

La classe C, composée de 27 villes, comprend de grandes métropoles du XIX^e siècle (Kiev, Kharkov, Rostov-sur-le-Don), qui continuent de croître à un rythme important après la Révolution (elles multiplient leur population par 14 en moyenne entre 1856 et 1959), mais perdent relativement de l'importance à partir des années 1920. Réparties assez régulièrement sur le territoire de l'ex-Union soviétique, elles reproduisent à l'échelle urbaine la trajectoire moyenne de l'ensemble du système.

Tableau 3.3.1. Population des cinq plus grandes agglomérations de chaque classe de trajectoire (en milliers d'habitants)

Classes	Villes	1856	1897	1926	1939	1959
A 12 villes	Samara	24	90	172	408	902
	Ekatérinbourg	17	43	137	432	864
	Perm	16	45	85	336	688
	Omsk	16	37	111	289	581
	Oufa	13	49	98	250	547
B 16 villes	Moscou	381	1072	2242	4875	7186
	Nijni-Novgorod	39	109	263	834	1256
	Dniepropétrovsk	23	126	237	748	955
	Kazan	56	130	175	448	776
	Minsk	26	91	124	237	516
C 27 villes	Kiev	62	248	494	847	1116
	Kharkov	31	174	423	887	1034
	Tbilissi	38	160	284	522	773
	Saratov	62	157	246	445	690
	Rostov-sur-le-Don	27	156	408	562	680
D 37 villes	Saint-Pétersbourg	554	1369	1731	3192	3267
	Odessa	101	404	411	602	675
	Riga	70	282	326	348	582
	Tallinn	65	50	127	161	282
	Mikolaiv	44	92	101	178	261
E 38 villes	Chisinau	63	108	111	112	216
	Jitomir	29	66	69	95	116
	Tiraspol	23	63	49	68	106
	Elets	23	47	43	51	78
	Tartu	42	30	53	57	74

Source : DARIUS, 2014.

Les 37 villes de la classe D illustrent bien le tournant historique pris par l'espace russe puis soviétique entre le milieu du XIX^e et le milieu du XX^e siècle. Il s'agit de la seconde classe en termes de taille de villes en début de période (40 000 habitants en moyenne en 1856). Ces villes correspondent aux centres

majeurs de l'époque : Saint-Pétersbourg, la capitale impériale, Riga et Odessa, les deux grands ports de l'Empire. Ces villes de l'Ouest sont les perdantes démographiques de l'Union soviétique et subissent les pertes les plus considérables de la Seconde Guerre mondiale. D. Hooson (1968) analyse la non-sélection de ces villes anciennes dans la compétition soviétique comme une fonction de leur situation conjoncturelle et non structurelle. Il explique ainsi la perte de poids de Saint-Pétersbourg face à Moscou, ou d'Odessa face à Rostov-sur-le-Don comme le résultat de la fermeture de l'Union soviétique au commerce international, qu'il prédit comme réversible :

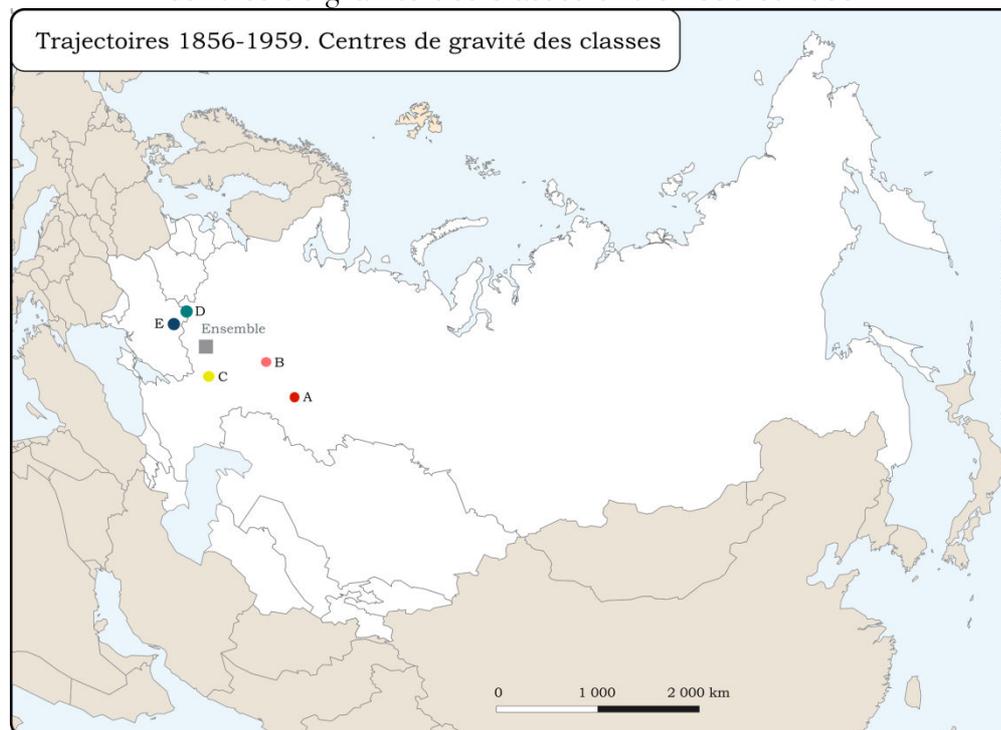
« The present tendencies towards expansion of international trade, more attention to consumer goods with a high demand for skilled labour, a greater mobility of labour owing to more affluence, education and freedom of movement and an increased interest – economic and otherwise – in Europe, should favour the renewed growth of such cities as Odessa, Leningrad and Riga, for example. Thus, quite apart from its intrinsic interest, to gain some understanding of the pre-Soviet roots may now be becoming even more necessary to the appreciation of the geographical processes at work in the Soviet cities of today and tomorrow. » (Hooson, 1968, pp.275-276).

Enfin, la dernière classe identifiée comprend une quarantaine de petites villes (42 000 habitants en moyenne en 1959) n'ayant (que) doublé leur population en 100 ans¹⁸. Situées dans les mêmes zones que les villes de la classe précédente, elles s'en différencient par l'antériorité de leur déclin relatif.

L'étude des trajectoires de ce siècle suggère donc l'importance jouée par le processus de colonisation : la répartition des centres de gravité de classes de trajectoire montre bien cette relation positive entre croissance urbaine forte et localisation orientale (figure 3.3.2). Les phases de croissance très fortes semblent aussi liées à l'exploitation des ressources naturelles et au développement du chemin de fer ; ainsi que l'attribution de statut politique et administratif. Enfin, les événements historiques (guerre, famine ukrainienne, etc.) et la compétition régionale des villes semblent être de bons candidats à l'explication de la différenciation des trajectoires du début du XX^e siècle en ex-URSS.

¹⁸ Contre 10 fois pour l'ensemble des villes.

Figure 3.3.2. Trajectoires de croissance et colonisation, centres de gravité des classes entre 1856 et 1959



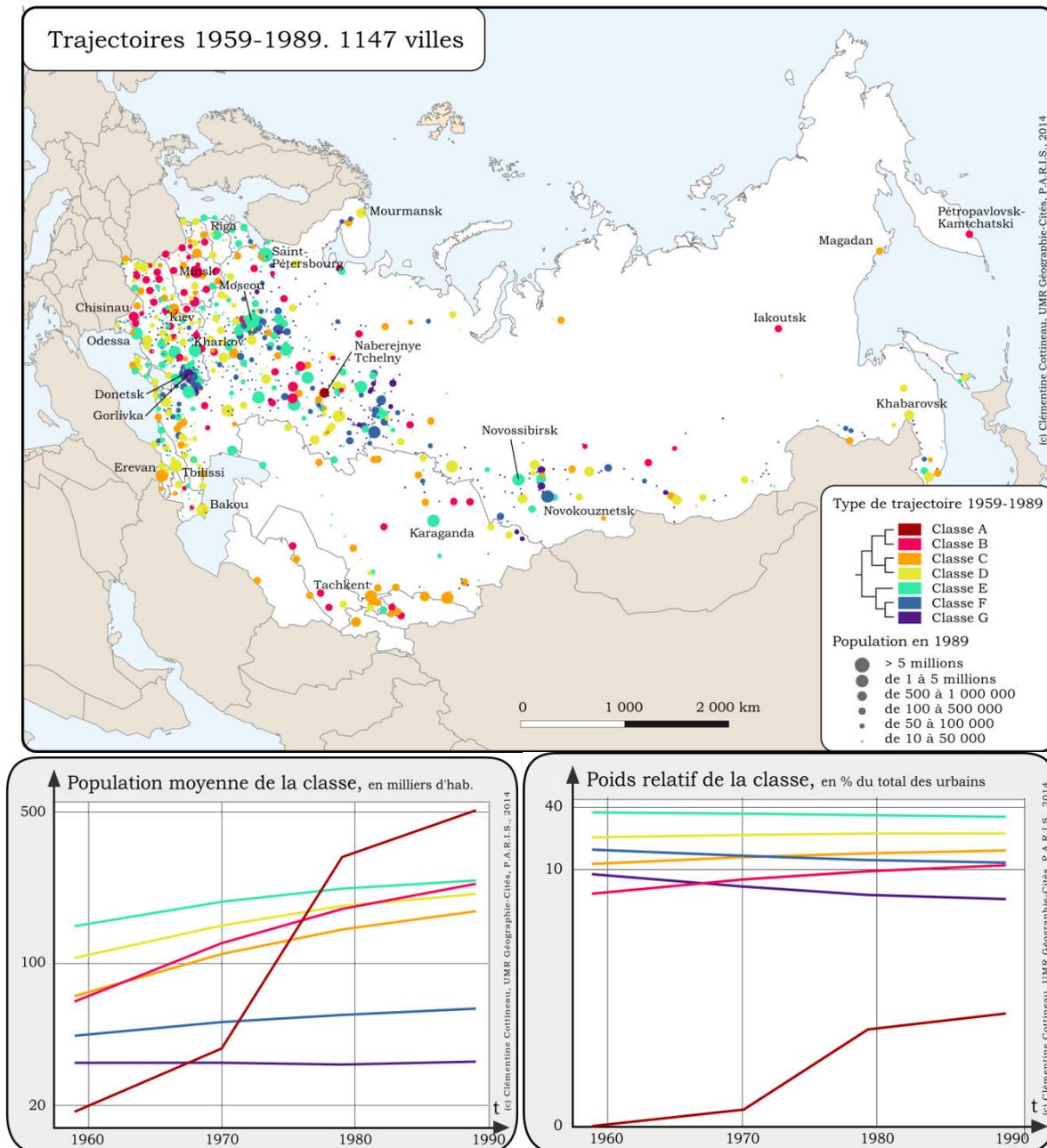
Source : DARIUS, 2014.

3.3.2. Nouveau cycle économique et densification du territoire en temps de paix : 1959-1989

Les trajectoires de la période 1959-1989 concernent 1 147 villes, et révèlent l'impact d'une nouvelle vague de croissance urbaine. En effet, la classification oppose un groupe de villes « neuves » dans la périphérie de l'Union soviétique (classes A à D), à un groupe de villes qui avaient connu la croissance la plus forte durant la période précédente (classes E à G), et dont l'évolution est beaucoup ralentie, voire arrêtée durant ces 30 années (les villes de la classe G sont aussi peuplées en moyenne en 1989 qu'en 1959) (Figure 3.3.3).

Étant donnée la concentration des villes croissant le moins autour des gisements de charbon et de minerais de Donbass, du Kouzbass et de l'Oural, ainsi qu'autour du vieux centre industriel, on peut aussi supposer l'influence d'un changement de cycle économique et d'une redistribution de la croissance (Sanders, 1992 ; Pumain, 1997a). Les nouvelles villes émergentes seraient ainsi spécialisées dans les activités du nouveau cycle : les hydrocarbures, la défense et les biens de consommation.

Figure 3.3.3. Classification de 1 147 trajectoires urbaines durant la seconde moitié du XX^e siècle

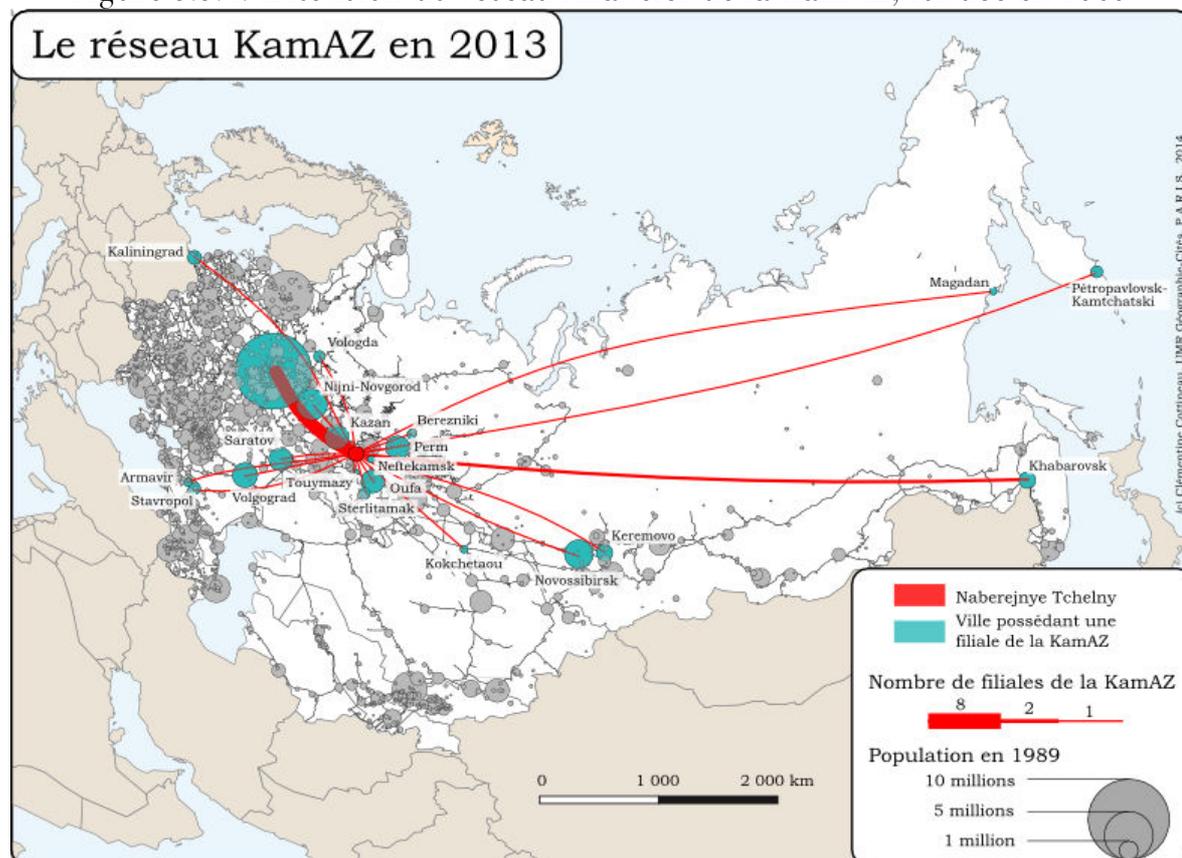


Source : DARIUS, 2014.

Parmi les villes gagnantes de la période 1959-1989, une ville se détache de manière singulière des trajectoires de toutes les autres : il s'agit de Naberejnye Tchelny (nommée Brejnev entre 1982 et 1988), qui constitue la classe A à elle toute seule (tableau 3.3.2). Dotée d'un statut urbain en 1930 avec moins de 10 000 habitants, elle doit son expansion spectaculaire dans les années 1970 à la fondation en 1969 de l'usine de camions KamAZ, et de la construction subséquente d'une multitude de quartiers d'habitation planifiés (Lappo, 1994). L'entreprise géante KamAZ emploie aujourd'hui encore 14 000 personnes

(données de décembre 2004¹⁹), a réalisé un chiffre d'affaires de 2.6 millions de dollars en 2011 et possède en 2013 une cinquantaine de filiales dans Naberejnye Tchelny et 82 filiales dans 24 agglomérations différentes de Russie et du Kazakhstan (figure 3.3.4).

Figure 3.3.4. Extension du réseau financier de la KamAZ, fondée en 1969



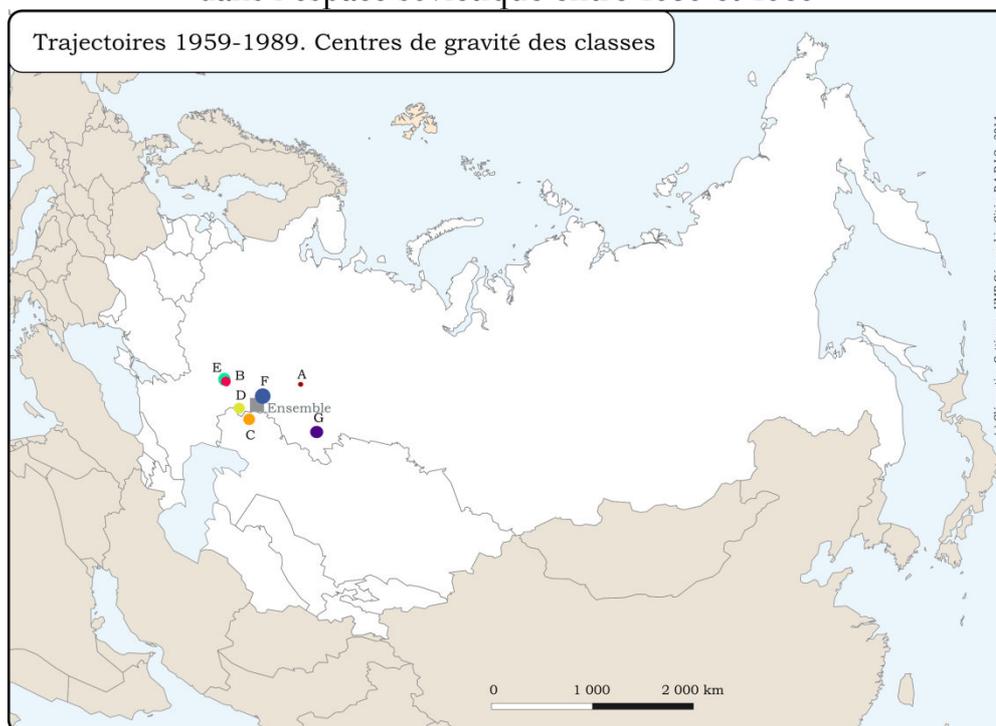
Source : ORBIS, 2013 ; DARIUS, 2014. Les données ORBIS, bien qu'anachroniques pour l'étude de la période 1959-1989, représentent tout de même une source d'information intéressante sur l'entreprise (cf. Annexe 3.1).

La classe B se compose de villes ayant plus que triplé leur population en 30 ans, passant de 63 000 habitants en moyenne en 1959 à 225 000 en 1989. Ces 74 villes gagnantes de la stabilité soviétique sont nombreuses à l'Ouest de l'URSS (figure 3.3.5), dans les républiques biélorusse (Minsk, Gomel, Moguilev, Brest, Grodno), ukrainienne (Vinnitsya, Soumi, Tchernigov, Tcherkassy) et moldave (Chisinau, Tiraspol, Ribnita, Ungheni). En Russie, leur localisation est plus périphérique, dans le Nord (Tchérepovets, Severodvinsk, Vélikiï Novgorod), la région de la Volga (Oulianovsk, Togliatti, Balakovo) ou plus à l'Est en Sibérie (Bratsk, Oust-Koul') ou Extrême-Orient (Iakoutsk, Pétropavlovsk-Kamtchatski). Le développement des villes de l'Ouest suggère l'importance du rattrapage d'après-guerre qui passe, notamment pour la Biélorussie, par la reconstruction

¹⁹ ORBIS, 2013. Cf. Annexe 3.1. pour la description de cette base de données.

de rails, routes et de lignes électrifiées rayonnant depuis la capitale Minsk, vers Varsovie, Riga, Vilnius, Odessa et Saint-Pétersbourg (Richard, 2002). En effet, la partie occidentale de l'URSS était à l'époque de la guerre froide le centre d'un « bloc de l'Est » qui s'étendait en Europe jusqu'au Rideau de fer. La position centrale des villes de cet espace semble donc un atout de croissance non négligeable dans les échanges socialistes, et les nœuds de transport y apparaissent encore plus favorisés. En Asie centrale, les villes de Namangan, Boukhara et Nukus (Ouzbékistan) ; de Pavlodar et Djezkazgan (Kazakhstan) ou Och (Kirghizistan) apparaissent aussi très croissantes entre 1959 et 1989, alors que l'urbanisation décolle dans ces régions. Un peu plus tôt, dans les années 1950, les chemins de fer du Sud et le Transsibérien sont reliés ; tandis que les années 1960 et 1970 voient l'électrification des lignes du Nord-Kazakhstan (Tsélinograd/Astana-Karaganda suite à la politique khrouchtchévienne d'exploitation des terres vierges, puis vers le Sud), permettant l'intégration économique de l'Asie centrale. Concernant les villes de la périphérie russe, on note plutôt l'importance des ressources minérales et des événements administratifs, comme la promotion de Petropavlovsk-Kamtchatski au rang de capitale de l'oblast du Kamtchatka nouvellement créé en 1956 (Lappo, 1994).

Figure 3.3.5. Dispersion spatiale comparable des types de trajectoires urbaines dans l'espace soviétique entre 1959 et 1989



Source : DARIUS, 2014.

Les 141 villes de la classe C partagent la taille moyenne de départ des villes de la classe précédente, mais se caractérisent par une répartition plus orientale et une croissance plus faible (multiplication par 2.5 en 30 ans). À l'instar de Kiev,

Tachkent ou Erevan (tableau 3.3.2), on trouve dans cette classe un grand nombre de capitales de républiques ou de régions hors de Russie. La part relative de ces villes se maintient à un niveau très similaire de 1959 à 1989.

En ce sens, cette classe C ressemble à la classe D, la plus proche dans l'arbre de classification hiérarchique. Celle-ci compte 175 villes, en moyenne plus peuplées en début (200 000 habitants en 1959) et en fin de période (100 000 habitants en 1989) que les villes de la classe C, c'est-à-dire à un niveau de grandes villes. Leur répartition est très régulière dans l'espace de l'ex-URSS, à l'exception de l'Asie centrale où elles sont peu présentes. Cette trajectoire est celle d'une évolution moyenne de villes déjà développées qui continuent leur croissance de manière régulière au cours de cette période. Le centre de gravité de cette classe se situe aussi à proximité de celui de l'ensemble des villes présentes en 1959 (figure 3.3.5).

Parmi les classes de villes qui perdent de l'importance relative dans le système, on trouve des grandes villes dans la classe E (140 000 habitants en moyenne en 1959, multipliés par 1.6 en 30 ans), plus petites dans les classes F et G (respectivement 43 000 et 32 000, multipliés par respectivement 1.3 et 1).

Les villes de la classe E sont concentrées dans les régions les plus anciennement urbanisées et industrialisées de l'Union soviétique (Centre, Oural, pays baltes), traduisant un phénomène de maturation et de croissance plus « normale » de la population urbaine. La présence de Moscou, Saint-Pétersbourg et de villes proches du million d'habitants dans cette classe suggère aussi l'effet d'un investissement volontairement plus limité dans les villes déjà grandes au profit des plus petites, même si ces grandes villes continuent de croître d'elles-mêmes grâce à leur centralité, leur attractivité pour les migrants, etc.

Enfin, la localisation des villes des classes F et G renforce le constat précédent en faisant très clairement ressortir les bassins miniers du Donbass, du Kouzbass et de l'Oural, et des régions d'industrie ancienne (Centre, Oural). Ces caractéristiques suggèrent un effet de cycle économique en défaveur de ces villes. Ce lien entre spécialisation économique et trajectoire démographique est difficile à démontrer empiriquement en raison de la rareté des données harmonisées à la fois sur les secteurs d'activité, le temps et un grand nombre de villes, mais a bien été mis en avant pour les villes françaises (Guérin-Pace, 1990 ; Sanders, 1992 ; Paulus, 2004). Dans le cas qui nous intéresse, l'industrie textile du Centre et l'extraction de charbon semblent devenir des spécialisations synonymes de déclin à partir de 1959, après avoir « boosté » les villes les plus spécialisées dans ces activités lors de la période précédente. Au contraire, les spécialisations avantageuses à partir des années 1960 sont les transports, l'industrie lourde, la défense et le secteur atomique, l'extraction d'hydrocarbures, etc. La croissance est donc redistribuée dans le système au profit des villes ayant capté ce cycle d'innovations économiques le plus rapidement et le plus fortement.

Au final, durant cette période de stabilité, le développement et la densité du réseau ferroviaire et routier semblent avoir joué un rôle positif déterminant dans la croissance des villes nouvellement reliées ou renforcées dans une position de centralité. La centralité géopolitique, la spécialisation économique et la présence de ressources apparaissent aussi comme bons candidats à l'explication de la croissance urbaine des années 1960, 1970 et 1980. À l'échelle de l'Union soviétique, et contrairement aux périodes antérieure et successive, l'étude des centres de gravité ne révèle aucun gradient significativement structurant : ceux-ci apparaissent relativement concentrés et proches les uns des autres (figure 3.3.5).

Tableau 3.3.2. Population des cinq plus grandes agglomérations de chaque classe de trajectoire (en milliers d'habitants)

Classes	Villes	1959	1989	Classes	Villes	1959	1989
A 1 ville	Naberejnye Tchelny	19	500	E 224 villes	Moscou	7186	11625
					Saint-Pétersbourg	3267	5005
					Nijni-Novgorod	1256	1955
					Kharkov	1034	1710
					Novossibirsk	973	1661
B 74 villes	Minsk	516	1612	F 304 villes	Donetsk	1234	1722
	Chisinau	216	727		Tchéliabinsk	952	1377
	Toglyatti	121	685		Novokouznetsk	896	1104
	Oulianovsk	213	651		Nijni-Taguil	397	516
	Tchéboksary	104	534		Ivanovo	356	508
C 141 villes	Kiev	1116	2664	G 228 villes	Gorlivka	531	562
	Tachkent	1038	2438		Leninsk-Kouznetski	270	320
	Erevan	529	1343		Chakhty	231	267
	Almaty	464	1166		Torez	242	250
	Douchambé	237	658		Stakhanov/Bryanka	227	244
D 175 villes	Bakou	872	1597				
	Tbilissi	773	1428				
	Volgograd	689	1324				
	Omsk	581	1170				
	Oufa	547	1082				

Source : DARIUS, 2014.

3.3.3. Éclatement de l'URSS et divergence des trajectoires urbaines depuis 1989

L'éclatement de l'URSS en décembre 1991 correspond au début de la manifestation considérable de la décroissance urbaine. Nous avons rappelé que cette baisse de la population et de la population urbaine provenait de causes structurelles antérieures à la crise politique. Toutefois, la croissance négative est, dans cet espace, l'événement urbain majeur des vingt dernières années. En termes de trajectoires, la principale différenciation concerne donc les villes majoritairement croissantes (classes A, B et C) et les villes à la trajectoire majoritairement décroissante, alors qu'ensemble, les 1825 villes présentes dès 1989 se sont maintenues à une taille moyenne de 93-94 000 habitants entre 1989 et 2010 (figure 3.3.6). L'ampleur de la (dé-)croissance permet de distinguer 9 types de trajectoires urbaines différentes, caractérisées par des régularités de taille et de localisation.

Les 20 villes de la classe A se caractérisent par une croissance très importante, puisque leur population est multipliée en moyenne par 2.5 durant les vingt années succédant au dernier recensement soviétique. Principalement situées en Asie centrale, et plus particulièrement au Turkménistan, leur trajectoire démographique traduit une divergence profonde d'avec la dynamique globale de l'ex-URSS. Il convient certes de rappeler que pour le Turkménistan et l'Ouzbékistan, la fiabilité des données récentes n'est pas parfaite (cf. Chapitre 1). Toutefois, la croissance des villes centre-asiatiques correspond à la phase explosive de la transition urbaine, combinée au dynamisme de l'exploitation d'hydrocarbures, très présents dans ces deux pays.

Achgabat est la plus grande représentante de la classe A. Avec 410 000 habitants en 1989, la capitale du Turkménistan atteint le million d'habitants en 2010 (cf. tableau 3.3.3). « *Achgabat est à l'origine une ville nouvelle de l'époque tsariste. Mais c'est finalement moins la fondation de la ville que sa transformation qui fait d'elle une ville hors du commun et permet d'envisager ses mutations comme des réinventions* » (Fenot, Gintrac, 2007, p.1). Détruite puis reconstruite à plusieurs reprises, elle a été la vitrine du premier président S. Niazov, symbole luxueux de la rupture soviétique et de la richesse du pays basée sur les hydrocarbures, avec son architecture postmoderne faite de marbre et d'éléments symbolistes, éclectiques et kitsch (Gintrac, 2010). Elle reste pourtant duale et schizophrène : « *ainsi, après quinze années de mutation, Achgabat présente une double identité : d'un côté la ville vitrine, accaparant les espaces publics, et de l'autre une ville à l'abandon, dont les habitants tentent de survivre en s'appuyant sur l'héritage soviétique.* » (Fenot, Gintrac, 2007, p.3).

La seconde grande représentante de cette classe de villes très croissantes est la nouvelle capitale du Kazakhstan : Astana. « *D'abord fondée sous le nom d'Akmolinsk en 1830, la localité acquiert en 1862 le statut de ville pour devenir en 1961 « la cité des terres vierges » – en russe Tselinograd – en conséquence de la politique volontariste de mise en valeur agricole, menée sous l'impulsion de N. Khrouchtchev. Tselinograd est donc ainsi devenue une ville à l'activité agro-industrielle. Après l'indépendance, au russe Tselinograd, on préféra le kazakh Akmola. Enfin, on choisit le nom d'Astana (1998), pour se départir du passé russo-soviétique et confirmer la vocation centralisatrice de la ville.* » (Fauve, 2007, p.1). Le « projet pharaonique » de la construction de cette ville dans une zone marécageuse hostile du Nord-Kazakhstan et sa ré-appropriation au moment de l'indépendance face à Almaty, qui reste le centre économique du pays, ancrent Astana dans une stratégie politique et lui accordent une trajectoire exceptionnelle. Astana est aussi un moteur pour sa région en déprise démographique suite au départ de nombreux Russes et Ukrainiens, remplacés par des fonctionnaires, kazakhs pour la plupart (Fauve, 2007).

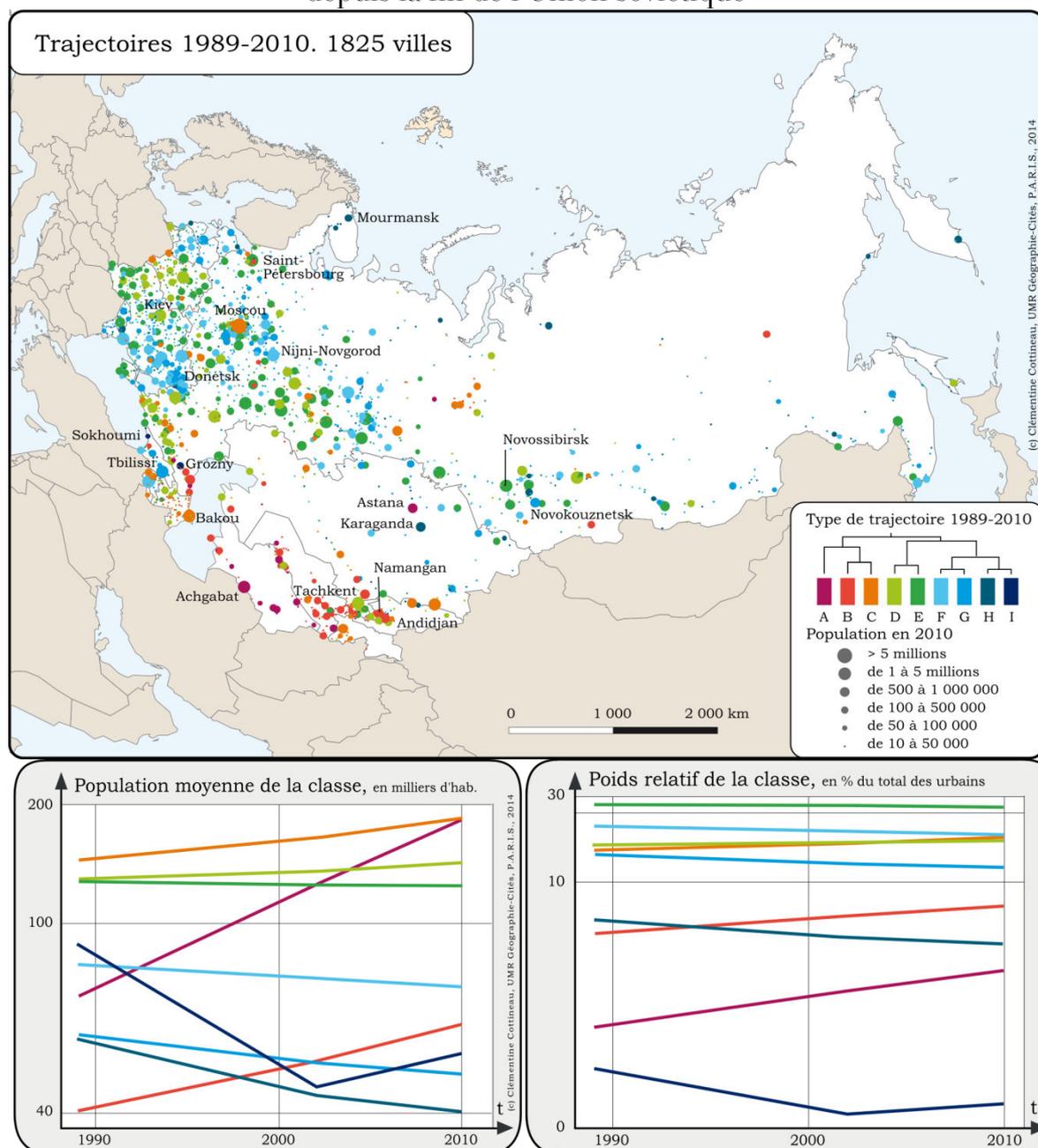
On voit donc que les villes de cette classe particulièrement croissante correspondent à un régime démographique centre-asiatique dynamique, bénéficient de la présence de ressources du sous-sol, mais aussi de décisions politiques singulières.

La classe B partage plus ou moins le même centre de gravité que la classe A, c'est-à-dire très au Sud, à la frontière entre Ouzbékistan et Turkménistan (figure 3.3.7). Elle représente plus de villes (158), en moyenne moins peuplées (40 000 habitants en 1989) et à la trajectoire moins croissante (leur population n'est multipliée « que » par 1.6 en 21 ans). Elles représentent toutefois près de 10% de la population urbaine totale en 2010. On trouve parmi ces villes les capitales régionales ouzbèkes de Namangan, d'Andidjan, de Navoï et Djizzakh, mais aussi de nombreuses villes du Turkménistan et du Caucase russe. Leur dynamisme démographique semble étroitement lié à celui de leurs régions, plus fécondes et moins urbanisées que le reste de l'ex-URSS au tournant du XXI^e siècle. Il n'est cependant pas certain que ce dynamisme démographique soit le signe de prospérité économique (Slepukhina, 2014).

Avec des villes d'une taille beaucoup plus importante (entre 150 et 200 000 habitants en moyenne tout au long de la période) et des taux de croissance plus mesurés, la classe C suggère d'une part l'inertie démographique des grandes métropoles, qui continuent de croître malgré un contexte global déclinant (Moscou, Almaty), et d'autre part des facteurs plus classiques de dynamisme démographique, comme la croissance démographique globale, le statut de capitale et la phase intermédiaire de la transition urbaine (Bakou, Douchambé, Bichkek) ou l'extraction d'hydrocarbures en Russie (Tioumen, Sourgout, Nefte-

Ougansk). Tout cela participe à l'explication de la localisation encore principalement méridionale des villes de la classe C, à l'exception des villes pétrolières et gazières de Sibérie occidentale, révélatrices de la transition territoriale liée au cycle du pétrole en faveur des régions extractrices de part et d'autre de l'Oural (Marchand-Vaguet, 2005).

Figure 3.3.6. Classification de 1 825 trajectoires depuis la fin de l'Union soviétique



Source : DARIUS, 2014.

Du côté des villes stagnantes et/ou déclinantes, on distingue les grandes villes stagnantes des classes D et E (130 000 habitants en moyennes en 1989) des

villes plus petites et en décroissance démographique prononcée entre 1989 et 2010 (classes F à I).

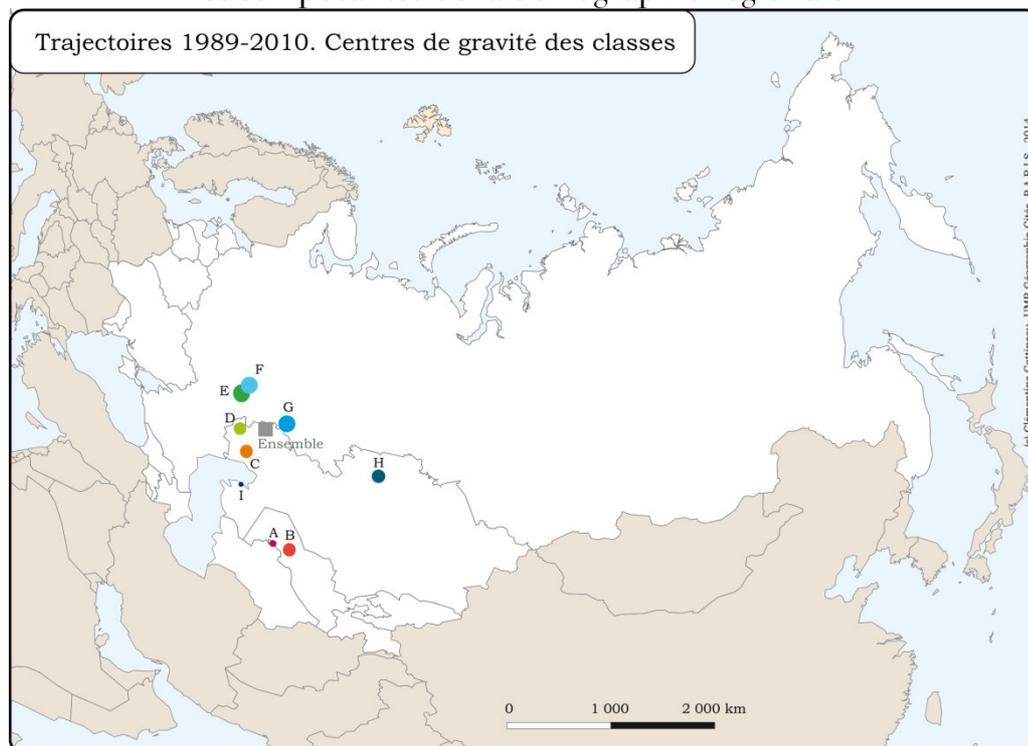
La classe D regroupe 196 villes en croissance faible, grandes capitales millionnaires nationales (Kiev, Tachkent, Minsk) et régionales (Volgograd, Kazan, Rostov-sur-le-Don). Leur localisation apparaît globalement occidentale (cf. figure 3.3.7), et concentrée dans trois zones principales : le Nord de l'Ukraine et la Biélorussie ; la partie occidentale du Caucase russe autour du kraï de Krasnodar ; et l'okroug fédéral de la Volga.

Légèrement plus occidentales, et représentatives du profil moyen, les 372 villes de la classe E constituent le second contingent privilégié des grandes capitales régionales russes (Saint-Pétersbourg, Novossibirsk, Ekaterinbourg, Samara, etc.) et ukrainiennes (Lvov, Mikolaïev, Vinnitsiya, Sevastopol, etc.). Ces villes structurantes de l'organisation territoriale des Nouveaux États Indépendants conservent exactement le même poids dans le système tout au long de la transformation post-soviétique.

Parmi les 402 villes de la classes F, en décroissance depuis 20 ans, on trouve à nouveau principalement des villes russes, ukrainiennes et baltes. Leur centre de gravité est en effet le plus septentrional et occidental de toutes les classes de trajectoires récentes (figure 3.3.7). Toutefois, dans ces pays globalement en déclin démographique sur la période, les villes de la classe F ne sont pas uniformément réparties : il s'agit de l'Est de l'Ukraine, et plus particulièrement le Donbass ; du Centre, de l'Oural et de la Sibérie en Russie.

Avec une trajectoire similaire bien qu'accentuée, la classe G présente un niveau de population moyenne plus faible (50 000 habitants en moyenne en 2010, contre 60 000 en 1989). Bien que globalement voisines des villes de la classe précédente, les villes représentées par cette classe de trajectoire sont surreprésentées en Sibérie et en Extrême-Orient, déplaçant le centre de gravité vers l'Est. On pense, pour expliquer cette relation, aux retours de migrants vers la partie européenne de la Russie, qui se déroule depuis la chute du régime soviétique.

Figure 3.3.7. Centres de gravité des classes de trajectoires et composantes de la démographie régionale



Source : DARIUS, 2014.

Enfin, si les villes de la classe H affichent des profils de déclin démographique prononcé, les 8 villes de la classe I peuvent véritablement être qualifiées de villes en crise.

Les premières sont caractérisées par une baisse d'un tiers de leur population en vingt ans. Cette situation extraordinaire et inquiétante pour la pérennité du peuplement concerne la quasi-totalité des villes isolées des très hautes latitudes (Mourmansk, Norilsk, Vorkouta, Magadan, etc.). En effet, elles sont établies à l'origine pour exploiter des ressources tarissables, peuplées par la force (GOULAG) et les incitations financières notamment, créant un renouvellement constant de main-d'œuvre (Vaguet, 2007 ; Bayou, Le Bourhis, 2008). La question de leur pérennité est posée aux autorités locales en termes de soutenabilité à la fois financière et sanitaire : il ne fait pas bon vivre dans des conditions aussi extrêmes. Cette basse qualité de vie concerne autant la santé que les aménités et le coût de la vie depuis l'arrêt des subventions nationales (Kontorovich, 2000). À cela s'ajoute un urbanisme non-adapté aux conditions climatiques et aux enjeux de réchauffement et de fonte du pergélisol. Ainsi dans le cas de Norilsk, ville fermée de 1956 à 1991 et depuis 2001, les 83 000 salariés de Norilsk Nickel et le reste de la population souffrent de 10 mois de températures négatives, de la pollution réduisant de dix ans une espérance de vie déjà courte, sans bénéficier depuis 1992 des avantages monétaires et en nature autrefois

attractifs (Bayou, Le Bourhis, 2008). Le plan démographique de la ville, élaboré par les cadres de l'entreprise métallurgique Norilsk Nickel, prévoit donc la fin de la ville et sa taille optimale d'ici là !

« Le présupposé de départ est celui d'une longévité pour l'entreprise, et donc pour la ville, d'un siècle environ, compte tenu des données géologiques et de l'évolution prévisible de la demande mondiale portant sur ses productions. De là, découle l'évaluation optimale de la population par la Stratégie, établie à 180 000 personnes d'ici à 2020. L'enjeu est donc l'essor de la ville dans un contexte de réduction drastique de sa population. » (Bayou, Le Bourhis, 2008, p.40)

On trouve aussi des villes de cette catégorie en nombre important dans le Nord du Kazakhstan, ancien front pionnier déserté par les colons russes, dans le bassin charbonnier du Kouzbass, l'Île de Sakhaline et les stations de petite taille du Transsibérien dans sa partie sibérienne et extrême-orientale. C'est ce qui explique la position très à l'Est du centre de gravité de cette classe de trajectoires très décroissantes.

Les 8 villes en crise de la classe I correspondent à des trajectoires heurtées et particulièrement décroissantes. Trois d'entre elles sont géorgiennes, dont Sokhoumi/Akwa, capitale de la région séparatiste abkhaze. Les années 1990 ont été synonymes de guerre en Géorgie et en Tchétchénie, ce qui explique les pertes de population de ces villes et de Grozny, dont la population est divisée par deux entre 1989 et 2002. Au Kazakhstan, la rétrogradation administrative d'Arkalyk et l'arrêt du programme spatial soviétique ont entraîné un recul net de sa population.

Au final, l'étude des trajectoires urbaines récentes révèle d'une part l'impact des événements locaux et décisions politiques nationales, principalement pour les trajectoires extrêmes et un petit nombre de villes ; et d'autre part l'importance de potentiels facteurs plus généraux de croissance et de décroissance. Comme le montre la répartition des centres de gravité des classes de trajectoires, les deux gradients démographiques identifiés par A. Gaye (2006) pour les régions russes des années 1990 semblent jouer le même rôle dans l'explication des trajectoires urbaines post-soviétiques : le gradient Nord-Sud, associé à la composante naturelle de la démographie, différencie les villes des régions de plus forte fécondité et de transition urbaine retardée du Sud aux villes plus décroissantes du Nord ; le second gradient oppose les villes en crise d'où partent les anciens colons à l'Est aux villes plus dynamiques sur le plan migratoire côté européen. De plus, les capitales et les villes d'une certaine taille semblent présenter des trajectoires moins volatiles et plus croissantes. Enfin, la géographie des ressources du sous-sol et des transports semble indispensable

pour comprendre la répartition de la croissance urbaine dans les limites de l'ex-URSS.

Tableau 3.3.3. Population des cinq plus grandes agglomérations de chaque classe de trajectoire (en milliers d'habitants)

Classes	Villes	1989	2010	Classes	Villes	1989	2010
A 20 villes	Achgabat	410	1035	F 402 villes	Nijni-Novgorod	1955	1723
	Astana	277	613		Donetsk	1722	1492
	Tchardjou	167	427		Kharkov	1710	1547
	Dashougouz	111	275		Dniepropétrovsk	1578	1357
	Mary	92	209		Erevan	1343	1243
B 158 villes	Namangan	414	603	G 372 villes	Tbilissi	1428	1252
	Andidjan	399	555		Novokouznetsk	1104	924
	Chymkent	393	603		Riga	935	730
	Makhatchkala	387	759		Toula	735	621
	Nukus	288	444		Gorlivka	562	428
C 162 villes	Moscou	11625	14425	H 135 villes	Karaganda	1001	733
	Bakou	1597	1937		Mourmansk	561	382
	Almaty	1166	1413		Léninsk-Kouznetski	320	234
	Douchambé	658	796		Tiraspol	312	230
	Bichkek	651	873		Pétropavlovsk-Kamtchatski	281	180
D 196 villes	Kiev	2664	2862	I 8 villes	Grozny	400	272
	Tachkent	2438	2601		Sokhoumi	121	64
	Minsk	1612	1850		Arkalyk	62	28
	Volgograd	1324	1397		Janatas	53	21
	Kazan	1268	1314		Krasnozavodsk	30	13
E 372 villes	Saint-Pétersbourg	5005	4849				
	Novossibirsk	1661	1687				
	Ekatérinbourg	1498	1496				
	Samara	1408	1328				
	Tchéliabinsk	1377	1330				

Source : DARIUS, 2014.

3.3.4. Cohérence temporelle des trajectoires urbaines

Bien que les périodes d'études des trajectoires soient hétérogènes (100, 30 et 20 ans), c'est-à-dire recouvrant une partie, un ou plusieurs cycles d'innovations dans les fonctions urbaines. Il nous paraît cependant intéressant de terminer ce chapitre par le croisement des différents types de trajectoires, afin de savoir si la croissance et la poursuite de certaines trajectoires sont plutôt redistribuées à chaque période dans le système, ou bien au contraire si les villes connaissent un phénomène de *lock-in*²⁰ au sein de certaines classes de trajectoire. Cela permet d'explorer l'hypothèse selon laquelle la croissance urbaine différenciée traduit un processus d'auto-corrélation temporelle.

Les classes de trajectoire ont été rangées par ordre du plus ou moins croissant pour chaque couple de période dans des tableaux de contingence où chaque case indique le nombre de villes présentes dans une classe de trajectoire de la première période et une classe de trajectoire de la seconde. Dans le premier cas, entre les trajectoires 1856-1959 et 1959-1989, la simple vue du tableau de contingence n'indique pas de tendance claire dans la poursuite privilégiée d'un type de trajectoire en fonction de la trajectoire suivie antérieurement (tableau 3.3.4). Ainsi, parmi les avant-postes de la colonisation et de l'encadrement territorial de la fin du XIX^e et début du XX^e siècle (classe A entre 1856 et 1959), on trouve des villes qui poursuivent des trajectoires fortement croissantes : Saransk dans la classe B entre 1959 et 1989, Lipetsk et Erevan dans la classe C. Les autres villes connaissent une évolution plus moyenne dans les classes D (les villes sibériennes d'Omsk ou Barnaoul) et E (les grandes capitales russes comme Ekaterinbourg, Samara ou Perm). Certes, aucune ne perd significativement de l'importance durant la période précédente, mais il convient de rappeler que seulement 12 villes composent cette classe A. Dans les autres types de trajectoire, la répartition semble assez homogène, avec une présente proportionnellement plus forte dans les profils moyens (D et E) entre 1959 et 1989 ; alors que les villes apparaissant au cours de la période sont plus présentes dans la classe F.

Bien que ce tableau de contingence ne soit pas adapté à l'utilisation correcte d'un test du χ^2 , nous donnons à titre d'information les résultats d'un tel test et la répartition des résidus qui en sont issus²¹. Avec une *p-value* inférieure à 10^{-9} , le test serait significatif, et présenterait une surreprésentation des trajectoires de type D entre 1959 et 1989 à partir de presque toutes les trajectoires antérieures, et une sous-représentation symétrique des trajectoires de déclin relatif à partir de toutes les trajectoires antérieures (figure 3.3.8). Au

²⁰ fixation, blocage

²¹ En effet, une des conditions d'utilisation non-remplie de ce test est la présence d'effectifs supérieurs à 5 dans au moins 80% des cases du tableau de contingence.

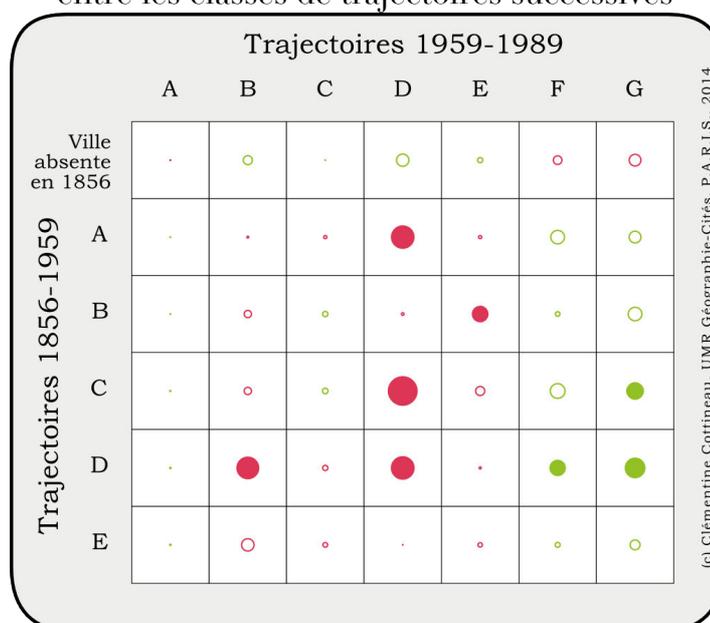
contraire, les villes apparues après 1856 auraient tendance, bien que de manière non-significative, à suivre de manière préférentielle les trajectoires F et G de déclin relatif entre 1959 et 1989. Sans pouvoir conclure à partir de ces résultats non robustes, nous pouvons simplement émettre l'hypothèse d'une stabilité des villes anciennes, souvent dotées d'une taille importante et de statuts administratifs d'encadrement territorial, moins prompts à des fluctuations extrêmes d'une période à l'autre. Ainsi, le passage d'une trajectoire à l'autre ne présente ni bifurcation complète, ni auto-corrélation temporelle parfaite sur cet intervalle de temps.

Tableau 3.3.4. Tableau de contingence des trajectoires 1856-1959 et 1959-1989

Effectifs		Trajectoires 1959-1989							
		A	B	C	D	E	F	G	Total
Trajectoires 1856-1959	Ville absente en 1856	1	56	124	135	189	288	224	1017
	A		1	2	6	3			12
	B		2	1	3	7	3		16
	C		3	2	12	8	2		27
	D		7	6	13	8	3		37
	E		5	6	6	9	8	4	38
	Total		1	74	141	175	224	304	228

Source : DARIUS, 2014

Figure 3.3.8. Écarts à l'hypothèse d'indépendance entre les classes de trajectoires successives



Source : DARIUS, 2014

En rose : écarts positifs. En vert : écarts négatifs.
Cercles pleins : résidus significatifs (>2 ou <-2 , test du χ^2).

Concernant le passage des trajectoires 1959-1989 aux trajectoires les plus récentes, le phénomène de *lock-in* semble plus probable, avec une majorité de villes qui reproduisent successivement le même type de trajectoire (tableau 3.3.5). Ainsi, bien que ce test soit discutable pour les mêmes raisons que précédemment, l'analyse du Khi^2 semble révéler une forte sur-représentation des trajectoires corrélées positivement dans le temps (il s'agit des résidus positifs positionnés sur la diagonale, en orange sur la figure 3.3.9). Cela signifie donc que les villes ayant le plus crû avant la chute de l'URSS sont les mêmes que celles qui ont connu des trajectoires fortement croissantes lors de ces vingt dernières années. On relativise alors la notion de rupture temporelle associée à l'événement géopolitique majeur que représente la chute de ce régime politique dans le domaine de la dynamique urbaine et/ou sociale (Lewin, 1989 ; Blum, 2004).

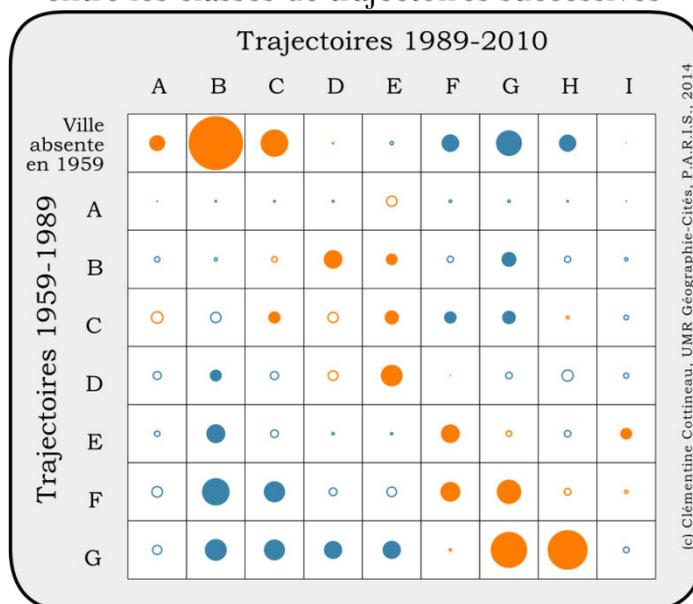
Tableau 3.3.5. Tableau de contingence des trajectoires 1959-1989 et 1989-2010

Effectifs		Trajectoires 1989-2010									
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	Total
Trajectoires 1959-1989	Ville absente en 1959	15	130	97	75	131	112	86	29	3	678
	A					1					1
	B		5	9	17	23	12	5	3		74
	C	4	6	20	22	42	19	16	12		141
	D		7	10	26	58	39	29	6		175
	E	1	5	14	22	43	72	52	12	3	224
	F		2	8	25	49	95	95	28	2	304
	G		3	4	9	25	53	89	45		228
Total		20	158	162	196	372	402	372	135	8	1825

Source : DARIUS, 2014.

Il existe aussi des villes pour lesquelles la chute de l'URSS a constitué une bifurcation majeure. Nous avons noté leurs particularités précédemment : dans le cadre de l'essor des capitales d'États nouvellement indépendants (Achgabat, Astana) par exemple. Au contraire, une inflexion négative de trajectoires démographiques affecte les villes isolées qui ont perdu le soutien et les subventions nécessaires à la fixation de leur population (Magadan ou Norilsk par exemple), mais aussi les villes du complexe militaro-industriel et spatial (Mourmansk, Baïkonour, etc.) ainsi que les villes ayant subi des conflits. Il est intéressant de noter que malgré leurs trajectoires spectaculaires, ces villes ne représentent pas la majorité de l'évolution urbaine post-soviétique, marquée au contraire par une surprenante continuité.

Figure 3.3.9. Écarts à l'hypothèse d'indépendance entre les classes de trajectoires successives



Source : DARIUS, 2014. P-value < $2.2 * 10^{-16}$

En orange : écarts positifs. En bleu : écarts négatifs.

Cercles pleins : résidus significatifs (≥ 2 ou < -2 , test du χ^2).

3.4. Conclusion

Ce chapitre a permis de présenter la dynamique de l'urbanisation de l'ex-URSS à plusieurs échelles historiques et géographiques. Quelles que soient ces échelles, la dialectique du général et du particulier semble ici encore intéressante pour qualifier les trajectoires urbaines.

Nous avons montré que sur le temps long et à des échelles très agrégées, le processus d'urbanisation suivait une forme logistique générique, associée à des temporalités et des rythmes propres à la fois à l'URSS et à ses différentes composantes démographiques régionales. En l'occurrence, la transition urbaine russe fut tardive, mais accélérée. Elle se différencie en fonction des différents régimes démographiques : naturel entre un Nord mature et peu fécond et un Sud n'ayant pas achevé sa transition démographique ; et migratoire selon un gradient Est-Ouest correspondant à l'histoire de la colonisation et du front pionnier russe.

De la même manière, les trajectoires individuelles des villes présentent des caractéristiques que l'on peut rapprocher d'autres cas d'étude dans le monde et des inflexions propres aux événements locaux, régionaux et nationaux ayant affecté leur histoire territoriale de façon particulière. Ainsi, assez classiquement, les capitales semblent plus stables dans leur croissance que les villes non-capitales, les cycles de développement et de valorisation de certains types de ressources paraissent favoriser puis défavoriser successivement les villes les plus spécialisées dans leur exploitation. À l'inverse, certaines trajectoires urbaines sont incompréhensibles sans le recours à une explication russe, soviétique, post-soviétique ou locale. Un résultat nous semble particulièrement intéressant : il s'agit de l'absence de rupture généralisée dans les trajectoires démographiques de part et d'autre de la rupture politique de 1991.

Les intuitions et hypothèses d'explication de la dynamique d'urbanisation égrenées tout au long de ce chapitre vont désormais être testées par la modélisation statistique et informatique, de manière concurrente et complémentaire (cf. Chapitre 4 et 5).

Chapitre 4.

De DARIUS à MARIUS, D'un régime explicatif à l'autre

Sommaire du Chapitre 4

4.1. Des modèles d'explication statistique	235
4.1.1. Le modèle de Gibrat : un pouvoir explicatif limité	236
4.1.1.1. Les trois hypothèses vérifiées dans l'espace post-soviétique	236
4.1.1.2. Simulation d'un modèle de Gibrat sur les données MARIUS	239
4.1.1.3. Discussion sur l'apport de Gibrat dans l'explication de la croissance urbaine	240
4.1.2. L'approche par facteurs : conforter des intuitions par la covariation	242
4.1.2.1. Analyse bivariée des types de trajectoires urbaines	253
4.1.2.2. Régressions multiples sur les taux de croissance : à la recherche d'une explication statistique multi-dimensionnelle	261
4.1.2.3. Une analyse multiniveaux pour différencier les hypothèses sur la croissance urbaine en fonction des composantes territoriales de l'espace post-soviétique	276
4.1.3. Des corrélations aux hypothèses sur les causes de la croissance urbaine	289
4.1.3.1. Le primat des interactions économiques	289
4.1.3.2. La pregnance de l'encadrement territorial	290
4.1.3.3. Une particularité géographique : le poids des ressources naturelles	290
4.1.3.4. L'héritage démographique d'un empire	291
4.1.3.5. Centralité et accessibilité : la boucle de rétroaction positive entre transport et croissance urbaine	291
4.1.3.6. Les événements géohistoriques de l'ex-Union soviétique : gouvernance et géographie politique	292

4.2. De la modélisation statistique à la modélisation informatique pour l'explication géographique, de DARIUS à MARIUS	293
4.2.1. Des modélisations. Complémentarité épistémologique d'approches statistiques et simulatrices pour l'explication	294
4.2.1.1. Le problème de l' « explication » statistique	295
4.2.1.2. L'explication par « génération » et le problème de la validation	297
4.2.1.3. Complémentarité des approches dans une démarche abductive	303
4.2.2. L'héritage Simpop et ce que l'on attend d'un modèle de simulation	305
4.2.2.1. Simpop et la modélisation d'agents-villes en géographie	305
4.2.2.2. Simpop2 et Eurosim : modélisation et comparaison de systèmes de villes	307
4.2.2.3. SimpopLocal : un nouveau départ dans la modélisation de systèmes de peuplement	310
4.2.2.4. MARIUS : modélisation incrémentale pour reproduire les trajectoires des villes d'un système (post-soviétique)	314
4.2.3. De DARIUS à MARIUS, l'intérêt d'une multi-modélisation	319
4.2.3.1. MARIUS : pas un mais des modèles à évaluer	320
4.2.3.2. EBIM : l'évaluation au cœur du processus	328
4.3. Conclusion	333

Chapitre 4.

De DARIUS à MARIUS, D'un régime explicatif à l'autre.

Au terme du chapitre précédent, nous avons conclu à une dynamique longue du système des villes post-soviétiques qui suivait une trajectoire d'urbanisation similaire à de nombreux autres ensembles urbains aux XIX^e et XX^e siècles, avec une croissance logistique du taux d'urbanisation à l'échelle de l'ensemble du système et de la majorité des régions. De même, la décroissance d'une majorité de villes en ce début de XXI^e siècle peut être considérée comme une dynamique de long terme liée à la seconde transition démographique, accentuée par les transformations de l'espace post-socialiste (Steinführer, Haase, 2007). L'étude des trajectoires nous a cependant suggéré que les fluctuations de court terme de la croissance pouvaient être liées à des facteurs plus singuliers, pour certains types de villes. La dynamique de niveau macro-géographique du système des villes n'est pas que le résultat d'un processus qui serait analogue à ceux observés dans les sciences de la matière, déterminé dans son ensemble et aléatoire dans ses manifestations locales, elle inclut aussi des familles de micro-évolutions interprétables, s'approchant ainsi des histoires individuelles des villes (Guérin-Pace, 1990). L'objectif de ce chapitre est d'identifier des facteurs candidats à l'explication des différentiels de croissance et de décroissance des villes. Pour ce faire, nous proposons le recours complémentaire à deux registres d'explication.

Tout d'abord, nous recherchons des facteurs statistiques par l'étude de covariations entre certains attributs des villes et les successions de fluctuations de croissance qu'elles ont suivies depuis un siècle et demi. Cette exploration nous amène à proposer une hiérarchie d'hypothèses candidates à l'explication de la croissance et de la décroissance démographique pré-/post-/soviétique dans les villes au XX^e siècle.

La seconde approche, nourrie par cette modélisation statistique, est celle d'une recherche d'explication de l'évolution urbaine par la simulation d'un système de villes. Nous procédons pour ce faire à l'évaluation de mécanismes générateurs correspondant aux hypothèses de croissance et de décroissance des villes. La dernière partie de ce chapitre vise pour cela à proposer une méthodologie de construction incrémentale d'une famille de modèles multi-agents, nourrie par l'observation empirique, reproductible, réutilisable, et basée sur l'évaluation. Cette dernière partie est le résultat d'un travail d'équipe au sein du laboratoire Géographie-cités et du programme ERC GeoDiverCity. En effet, la conceptualisation méthodologique d'une famille de modèles a été développée dans le cadre d'une collaboration interdisciplinaire avec Paul Chapron, post-doc en informatique, complétée et implémentée pour être expérimentée à grande échelle avec Romain Reuillon, chercheur en informatique. Enfin, la discussion de la méthode a bénéficié des recherches précédemment menées sur la modélisation des systèmes de villes dans l'équipe P.A.R.I.S. du laboratoire Géographie-cités par Denise Pumain, Lena Sanders, Arnaud Banos, Anne Bretagnolle, Clara Schmitt, Sébastien Rey-Coyrehourcq, Mathieu Leclaire, Guillaume Chérel et Robin Cura, avec qui le travail en équipe a aussi bénéficié considérablement à ce projet, par les échanges épistémologiques, méthodologiques, techniques, théoriques et bibliographiques avec chacun d'entre eux tout au long de la préparation de cette thèse¹.

¹ Afin de rendre justice à l'apport de chacun d'eux plus spécifiquement dans la suite des résultats présentés dans ce manuscrit, nous préciserons systématiquement la nature de leur participation. Pour le reste, leur influence d'ensemble reste significative mais les réflexions et interprétations présentées sont personnelles.

4.1. Des modèles d'explication statistique

Dans une acception large de l'explication en géographie, L. Sanders (2000 ; 2001) propose de caractériser l'usage des modèles statistiques en fonction de la démarche employée et de son rapport à l'explication. Ainsi, la fouille de données avec des explorations *data-driven* se place dans une perspective descriptive permettant de « *mettre sur la piste de nouvelles questions et peut-être de nouvelles explications* » (2000, p.23), tandis que dans une démarche hypothético-déductive, « *les hypothèses sont clairement formulées a priori, il s'agit d'hypothèses explicatives, et le modèle de régression est l'outil utilisé pour valider ou réfuter ces hypothèses* » (2000, p.23). De fait, les outils utilisés dans ces deux démarches sont souvent les mêmes, et ce sont les interprétations qui diffèrent (éventuellement). De plus, « *l'association de ces deux types d'opérations intellectuelles est fréquente : il y a des a priori dans l'analyse des données et des références empiriques dans les cheminements conceptuels et déductifs, si bien qu'entre les modèles, il est davantage question de gradation que d'opposition rigoureuse.* » (Durand-Dastès, 2001, p.59). L'aller-retour entre les différentes fonctions des modèles statistiques en analyse spatiale et en géographie est donc fréquente et fructueuse (Sanders, 2000). Ce qui nous semble le plus discriminant dans l'utilisation des modèles statistiques pour « expliquer » la répartition spatiale du phénomène de la croissance dans un système de villes est donc moins l'objectif ou la démarche que la nature de l'explication sous-jacente. En ce sens, il convient de rappeler que l'explication d'un phénomène au sens statistique se base sur la **covariation** : « *l'hypothèse que l'on teste statistiquement est que les deux phénomènes ont les mêmes répartitions spatiales, cette covariation pouvant ou non être le résultat d'une relation de causalité* » (Sanders, 2000, p.21).

Ainsi, dans tous les modèles que nous évaluons dans cette première partie, afin d'identifier des facteurs potentiels de croissance et/ou de décroissance, nous ne pouvons franchir la barrière de la causalité, et encore moins de sa direction dans une relation de covariation par nature symétrique. Par exemple, le fait que les villes les plus accessibles soient aussi les plus centrales et importantes ne permet pas de dire si l'une des deux caractéristiques est la cause de l'autre, et si c'est l'accessibilité qui accroît la concentration des fonctions de centralité pour une ville ou bien si c'est la centralité d'une ville qui facilite son raccordement aux réseaux de transport et donc accentue son accessibilité. Une explication statistique de cette covariation peut appuyer des propositions théoriques et traiter ce phénomène comme un processus de co-évolution des réseaux de transport et des systèmes de villes (Bretagnolle, 2009) ; mais l'outil statistique seul ne

permet pas de trancher le débat causal dans la relation ville-transport, et d'autres méthodes doivent être mobilisées (Schmitt, 2014a).

Avant d'explorer la base de données DARIUS pour y rechercher des covariations correspondant à des hypothèses quant aux facteurs de différenciation de la croissance dans le système de villes post-soviétiques au XX^e siècle, nous présentons le modèle de R. Gibrat (1931) et les résultats de son application au cas des villes qui nous intéressent. Ce modèle en effet se présente comme un défi à notre démarche explicative, puisqu'il a tendance à être performant pour reproduire la distribution de la croissance dans les systèmes de villes sur le temps long, avec une parcimonie extrême. Pourtant, son apport explicatif est très restreint, car il consiste en un processus aléatoire. Il représente donc un bon étalon pour comparer et évaluer nos modèles (statistiques comme informatiques), que l'on jugera selon leur capacité à reproduire les distributions de croissance observées « au moins aussi bien que le modèle de Gibrat », tout en apportant un élément explicatif dans le choix des hypothèses (cf. Chapitre 5).

4.1.1. Le modèle de Gibrat : un pouvoir explicatif limité

Le modèle de Gibrat (1931) postule qu'une distribution de taux de croissance aléatoirement répartis entre les villes d'un système, indépendamment de leur taille et indépendamment dans le temps et dans l'espace, aboutit à une distribution log-normale des tailles de villes c'est-à-dire statistiquement proche de la structure hiérarchique décrite par la loi de Zipf selon une forme de distribution puissance (Eeckhout, 2004) et ce, quelle que soit la distribution initiale des tailles de peuplement. Il est fondé sur l'idée de croissance proportionnelle par processus stochastique. La population des villes s'accroissant en moyenne proportionnellement à leur taille, mais avec des variations de taux aléatoires et limitées, il s'opère une concentration progressive des habitants et une hiérarchisation des tailles de villes très comparable aux observations empiriques. Les hypothèses postulées par R. Gibrat ont été vérifiées pour de nombreux systèmes de villes, même si l'on rencontre fréquemment une tendance à la corrélation légèrement positive avec la taille des villes et parfois significativement positive entre taux de croissance successifs (Robson, 1973 ; Guérin-Pace, 1990 ; Pumain, 1992b).

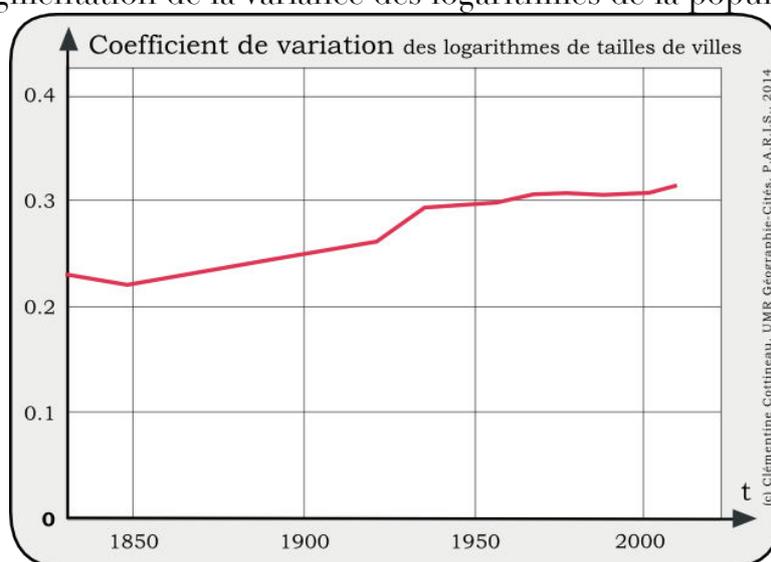
4.1.1.1. Les trois hypothèses vérifiées dans l'espace post-soviétique

Dans le cas des villes de l'ex-Union soviétique, nous avons testé ces trois hypothèses et retrouvons le même type de résultats que ceux obtenus avec les systèmes de villes français, européen, sud-africain, indien ou chinois

(Guérin-Pace, 1990 ; Bretagnolle *et al.*, 2000 ; Vacchiani-Marcuzzo, 2005 ; Cottineau, 2013 ; Swerts, 2013a).

« *Le processus défini par Gibrat suppose dans un premier temps que la variance des logarithmes de la population augmente au cours du temps ; ceci signifie que la concentration de la population dans les plus grandes villes s'accroît au cours du temps.* » (Guérin-Pace, 1990, p.135). De même que dans le cas français étudié par F. Guérin-Pace, nous vérifions cette hypothèse en constatant que le coefficient de variation des logarithmes des tailles de villes augmente au cours du temps (figure 4.1.1). Ainsi, la dispersion relative de la distribution augmente, traduisant un processus de hiérarchisation, déjà observé au moyen de la « loi » de Zipf (cf. Chapitre 2.2.2).

Figure 4.1.1. Première hypothèse de Gibrat :
l'augmentation de la variance des logarithmes de la population

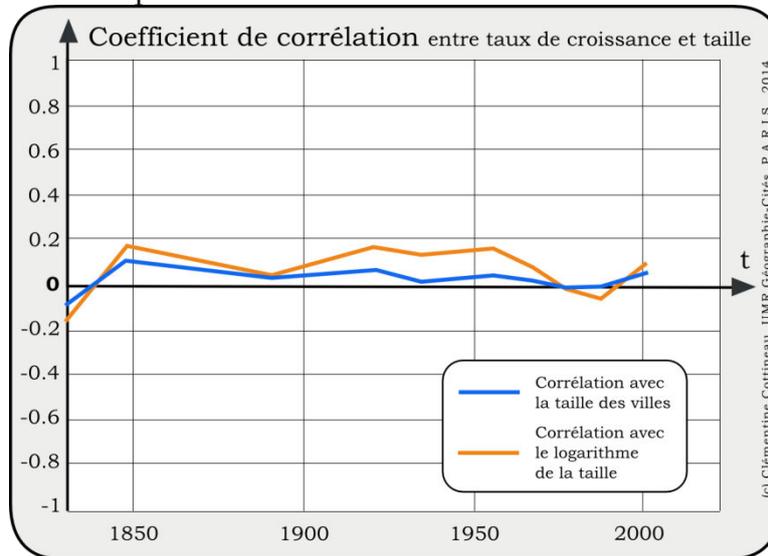


Source : DARIUS, 2014.

Dans un second temps, l'indépendance entre la taille des villes et leur taux de croissance annuels moyens au cours du temps est vérifiée, que l'on prenne en compte la population d'une ville ou son logarithme (figure 4.1.2). En effet, les coefficients de corrélation ne dépassent jamais 0.2 en valeur absolue, ce qui correspond à des coefficients de détermination systématiquement inférieurs à 3%, donc non-significatifs. Ainsi, malgré certaines intuitions quant à l'avantage de croissance des métropoles, des capitales et des villes très peuplées au terme de l'analyse des trajectoires urbaines (cf. Chapitre 3.3), cette relation n'est pas vérifiée statistiquement sur l'ensemble du système au cours du temps, et la seconde hypothèse du modèle de Gibrat se vérifie aussi dans ce cas. Il faut cependant noter que, comme dans d'autres systèmes, la corrélation ne fluctue pas autour de zéro mais a tendance à rester plutôt du côté des valeurs positives, ce qui indique

une tendance à une poussée de croissance d'autant plus forte que les villes sont grandes (Guérin-Pace, 1990 ; Bretagnolle *et al.*, 2000 ; Vacchiani-Marcuzzo, 2005 ; Swerts, 2013a).

Figure 4.1.2. Seconde hypothèse de Gibrat :
L'indépendance entre taille et taux de croissance



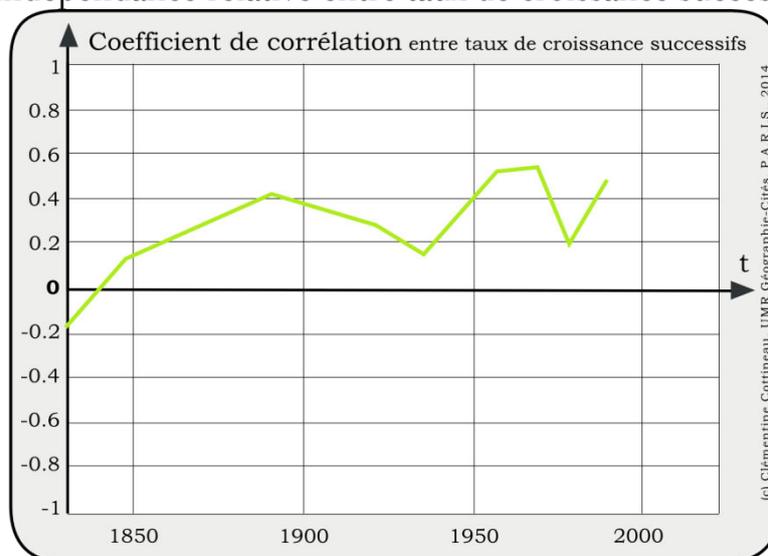
Source : DARIUS, 2014.

En abscisses : début de la période pour les taux de croissance.

Enfin, la corrélation statistique entre taux de croissance annuels moyens successifs révèle une indépendance au cours du temps, avec cependant quelques périodes durant lesquelles la corrélation est positive, bien que peu significative (figure 4.1.3). Ainsi, entre les taux de croissance annuels moyens de 1970-1979 et de 1979-1989, le coefficient de détermination atteint un maximum de 30.3%. Toutefois, si l'on peut considérer que la troisième hypothèse de Gibrat s'applique dans le cas des villes de l'espace post-soviétique, on constate que la déviation au modèle va dans le même sens que dans les autres systèmes de villes, avec une sélection de certaines villes croissant fortement d'une période sur l'autre (et inversement, des villes qui persistent dans une situation de décroissance forte).

Il est intéressant de noter que la réduction du périmètre spatial à la Russie seulement ne modifie pas les conclusions présentées pour le périmètre post-soviétique (Cottineau, 2013).

Figure 4.1.3. Troisième hypothèse de Gibrat :
L'indépendance relative entre taux de croissance successifs



Source : DARIUS, 2014.

En abscisses : début de la période pour les taux de croissance.

4.1.1.2. Simulation d'un modèle de Gibrat sur les données DARIUS

Afin de valider la capacité du modèle de Gibrat à reproduire la distribution des tailles de villes observées dans le système post-soviétique, nous avons mené une simulation de ce modèle fondée sur des paramètres observés et évalué la distance aux données empiriques. La simulation ne permettant pas d'intégrer les villes « nouvelles », la période étudiée a été choisie comme un compromis entre un nombre de villes suffisamment grand en début de période et une période suffisamment longue. Nous retenons donc une simulation de croissance de 1 145 villes sur les dernières 51 années (1959-2010). Les paramètres de la loi normale dans laquelle sont tirés aléatoirement les taux de croissance des villes sont ceux décrivant la distribution empirique : il s'agit des moyennes et écarts-types des taux de croissance annuels moyens empiriques des 1 145 villes selon les cinq intervalles inter-censitaires (figure 4.1.4)².

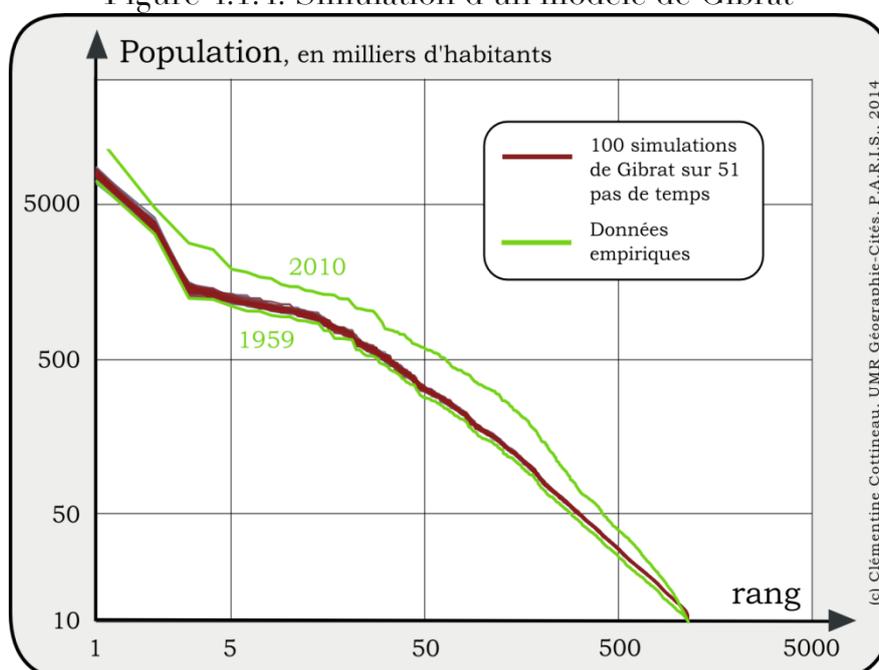
On remarque tout d'abord que les 100 répliques de cette simulation sont extrêmement proches les unes des autres, et qu'elles forment globalement une translation très voisine de la distribution rang-taille des villes en 1959. La grande majorité des villes voit ainsi sa population fortement sous-estimée en 2010 : le modèle de Gibrat ne parvient pas à engendrer la croissance de la population urbaine totale observée. D'autre part, les seules villes dont la population est surestimée par le modèle sont celles de la queue

² L'application « Gibrat Simulator » développée par Robin Cura (2014) permet de mener ce type de simulation. Elle est accessible en ligne : <http://shiny.parisgeo.cnrs.fr/gibrat/>

de la distribution. Or ce phénomène ressemble à un artefact lié au fait qu'en 2010, il existe dans cette partie de la distribution des villes plus grandes mais qui n'apparaissent pas ici du fait que l'on ne s'intéresse qu'aux villes déjà présentes en 1959, et non à toutes celles qui ont dépassé le seuil de 10 000 habitants entre 1959 et 2010.

Au final, même si la corrélation entre données simulées et données observées dépasse systématiquement 99%, on conclut que le modèle de Gibraltar tend à sous-estimer la population des villes de l'espace post-soviétique, tout en conservant la forme de la distribution.

Figure 4.1.4. Simulation d'un modèle de Gibraltar



100 répliques d'une simulation dont les paramètres décrivent la distribution des taux de croissance annuels moyens de la population de 1 145 villes présentes depuis 1959.

Période	Moyenne, %	Ecart-type, %
1959-1970	2.22	2.11
1970-1979	1.50	1.71
1979-1989	1.11	1.12
1989-2002	-0.43	1.11
2002-2010	-0.39	1.10

Source : DARIUS, 2014.

4.1.1.3. Discussion sur l'apport de Gibraltar dans l'explication de la croissance urbaine

Ainsi, ce modèle, validé sur la base de nombreux exemples à travers le monde et dans le temps, permet de reproduire la forme de la distribution des tailles de villes, en sous-estimant la population notamment des grandes villes

(pour l'Angleterre du XIX^e siècle, cf. Robson, 1973 ; et pour la France de 1831 à 1982, cf. Guérin-Pace, 1990). Il est dit adapté à la description de la croissance urbaine américaine (Ioannides, Overman, 2003 ; Eeckout, 2004), française et japonaise (Guérin-Pace, Pumain, 1990 ; Eaton, Eckstein, 1997), brésilienne (Resende, 2004) et même mondiale (Moriconi-Ebrard, 1993).

Il est parfois décrit comme un modèle « explicatif » de la croissance urbaine. Ce qu'il reste pourtant à expliquer, même lorsqu'il est validé, c'est le moteur de la distribution des taux de variation annuels moyens de la population à chaque période. X. Gabaix (1999) décompose ce taux de croissance en trois composantes (plus ou moins) indépendantes de la taille des villes : un effet d'appartenance territoriale, un effet de composition sectorielle de l'économie urbaine, et un effet local lié aux politiques publiques menées dans la ville. Cette hypothèse d'explication est séduisante mais on peut déplorer le fait que cette proposition théorique n'est pas appuyée sur des résultats empiriques³. Un autre modèle d'explication du processus de croissance aléatoire distribuée « à la Gibrat » a été avancé par J. Eeckout (2004) : ce modèle microéconomique fait intervenir des chocs technologiques qui affectent les villes de manière aléatoire, et entraînent une croissance de l'économie puis de la population attirée par les nouvelles opportunités. Il n'en reste pas moins que ces chocs sont eux aussi aléatoirement distribués, et donc l'avancée explicative nous semble restreinte. Enfin, B. Berry (1961) considère que la croissance aléatoire des villes représente la résultante d'une diversité de facteurs qui agissent sur la population et se compensent dans une certaine mesure.

« Globalement, les hypothèses de Gibrat sont celles qui se rapprochent le plus de l'évolution du système urbain français [...]. Toutefois, les hypothèses de Gibrat sont insuffisantes pour comprendre les mécanismes de la croissance différentielle des villes. » (Guérin-Pace, 1990, p.142)

À la suite de F. Guérin-Pace, nous ne pouvons donc que constater la puissance de ce modèle parcimonieux quant à la reproduction des dynamiques de croissance des villes d'un système sur le temps long dans la littérature. Nous constatons aussi la pauvreté de son pouvoir explicatif et cherchons donc à construire des modèles plus riches en termes d'explication, que nous évaluerons par comparaison avec le modèle de Gibrat. Pour cela, nous identifions dans la section suivante une série de caractéristiques urbaines et régionales susceptibles d'influencer la dynamique démographique des villes de l'espace post-soviétique entre le XIX^e et le XXI^e siècle, avant d'estimer les covariations entre ces facteurs potentiels et les taux de croissance observés au cours du temps.

³ dans cet article tout au moins.

4.1.2. L'approche par facteurs : conforter des intuitions par la covariation.

Suite aux intuitions issues de l'analyse des classifications de trajectoires dans le Chapitre 3 et en lien avec la théorie évolutive des systèmes de villes, nous identifions dix attributs urbains observables susceptibles d'influer sur la croissance et la décroissance des villes depuis le XIX^e siècle. On peut ranger ces attributs dans cinq catégories (tableau 4.1.1.) que nous présentons et justifions dans la suite de cette section. Nous avons précisé dans la troisième colonne une hypothèse sur l'impact de ces facteurs au cours du temps, en notant comme « ancien » les facteurs représentatifs d'un cycle d'innovations émergent au XIX^e ou durant la première moitié du XX^e siècle, et comme « récent » les facteurs que l'on suppose associés à un cycle d'innovations contemporain (fin du XX^e et début du XXI^e siècle), générant donc plus de croissance actuellement pour les villes caractérisées par la présence de cet attribut.

Tableau 4.1.1. Facteurs potentiels de croissance urbaine en ex-URSS

Catégorie de facteur	Attribut urbain observable	Hypothèse sur le cycle d'innovation
1. Fonctions urbaines	Statut de capitale régionale	-
	Villes mono-industrielles	Ancien
2. Accessibilité	Proximité au réseau ferré	Ancien
	Présence d'un aéroport	Récent
3. Ressources naturelles localisées	Gisement de charbon	Ancien
	Gisement d'hydrocarbures	Récent
4. Situation géographique	Est/Ouest	-
	Nord/Sud	-
5. Dynamique régionale	Croissance démographique	-
	Taux d'urbanisation	-

Les cinq registres de facteurs sont détaillés dans les pages 244 à 252.

La théorie évolutive des villes (Pumain, 1997a), qui nous sert de cadre conceptuel, postule que la croissance urbaine dans un système de villes procède de leur mise en relation (par compétition et coopération), qui par l'échange et la communication, permet de diffuser le moteur de la création de richesses qu'est l'innovation (Sanders, 1992).

Si ce processus et son évolution sont très difficilement observables de manière exhaustive et sur le temps long, on peut approcher la mise en relation des villes historiquement par la construction de réseaux de communication interurbains et leur manifestation : « *Certains de ces réseaux sont organisés hiérarchiquement, de droit (l'administration) ou de fait (la distribution), d'autres non, et la possibilité de leur captage par une ville quelconque du système n'est pas exclue a priori. Une spécialisation réussie à un moment donné résulte de l'exploitation de l'avantage initial conféré par l'adoption précoce d'une innovation économique, sociale ou politique appelée à se développer.* » (Pumain, 1997a, p.131). Nous considérons donc dans un premier temps certaines fonctions urbaines comme des *proxy* de ces spécialisations et de l'avantage qu'elles confèrent aux villes dans la captation et l'adoption précoces d'innovations.

En second lieu, l'échange et la communication ont besoin du support des réseaux de transport et de communication. C'est pourquoi nous identifions un second registre de facteurs potentiellement explicatifs de la croissance urbaine et de sa différenciation dans les villes d'ex-URSS.

Troisièmement, si les échanges et l'accélération des vitesses de communication visent précisément pour les villes à se libérer de la contrainte des ressources locales et tirer parti de leur rente de situation, il est toutefois raisonnable de supposer que de nombreuses villes ont crû et croissent en exploitant une rente de site, par l'exploitation d'une ressource localisée. La rente tirée de l'exploitation de cette ressource est toutefois fortement liée au cycle d'innovations dominant et à la nécessité de cette ressource dans les activités innovantes d'une époque.

Au terme de l'analyse du Chapitre 2, nous avons présenté le système des villes de l'espace post-soviétique comme une manifestation particulière et singulière d'un modèle général de système de villes. En accord avec la théorie évolutive des villes, on admet que « *l'objet dont elle s'occupe, qui se transforme au cours du temps, procède de ses formes antérieures, tout en acquérant des propriétés nouvelles.* » (Pumain, 1997a, p.127). Ainsi, l'histoire et la géographie politique de ce territoire nous semblent des facteurs potentiellement importants pour expliquer les différentiels de croissance urbaine en ex-URSS : en l'occurrence, la direction Ouest-Est de la colonisation de peuplement aux XIX^e et XX^e siècles (soutenue par ailleurs par la structuration du réseau de transport avec la liaison ferroviaire transsibérienne achevée au tournant du XX^e siècle). De même, nous avons rappelé dans le Chapitre 3 que l'intégration des territoires caucasiens et centre-asiatiques dans les empires russe et soviétique n'a pas abouti à une convergence des comportements démographiques. La différenciation Nord-Sud porte aussi des oppositions climatiques fortes dans cet ensemble territorial immense.

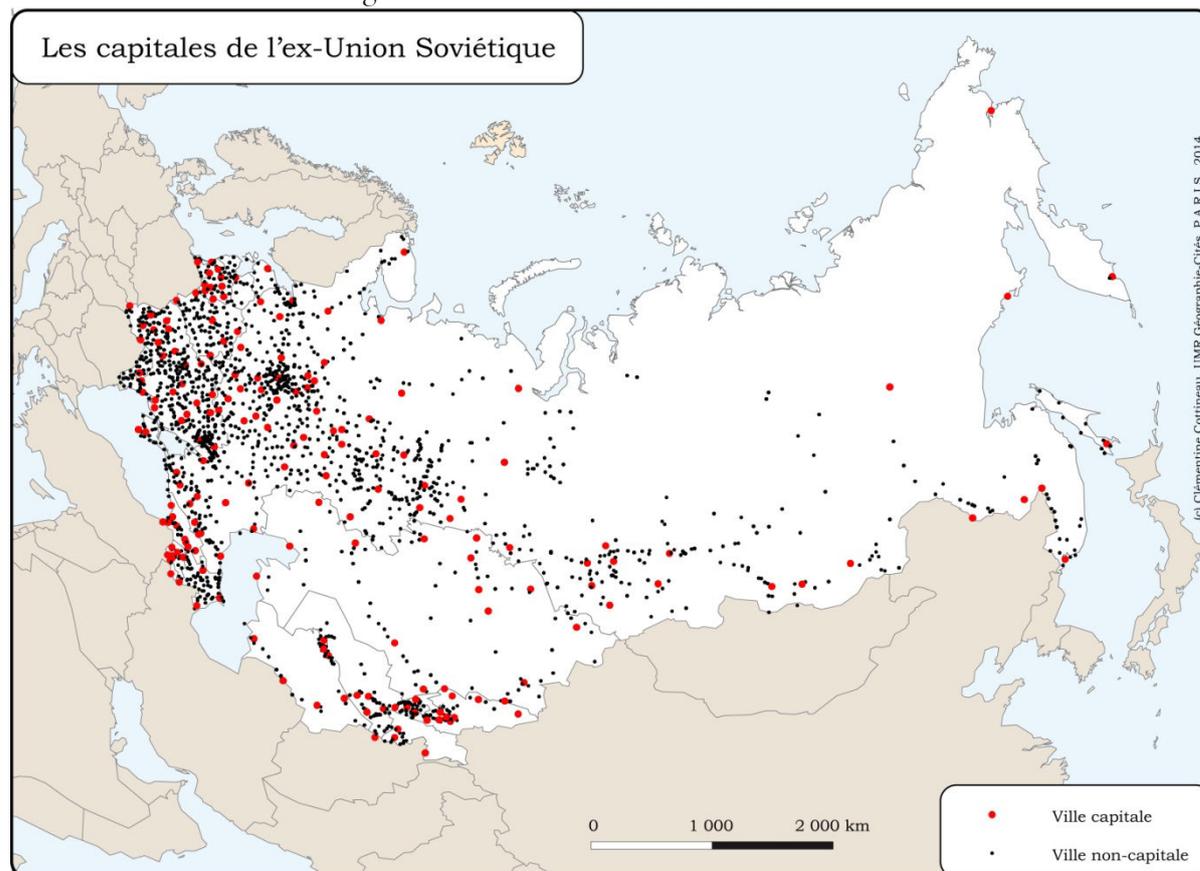
Enfin, l'immensité du territoire correspondant au périmètre soviétique semble plaider en faveur de la prise en compte d'une échelle intermédiaire permettant de rendre compte de l'« espace relationnel » des villes post-soviétiques. Le niveau de la région (tel que défini précédemment en fonction de critères spatiaux et démographiques, cf. Chapitre 1.4.3) et ses caractéristiques nous paraissent potentiellement intéressants à considérer pour tenter de rendre compte de la croissance des villes et constituent le dernier registre de facteurs pour cette modélisation statistique.

1. Les fonctions urbaines : marqueurs de la capacité à capter l'innovation

Les données accessibles permettant de caractériser les fonctions urbaines des villes de l'ex-Union soviétique sur 150 ans sont peu nombreuses. Le statut de capitale paraît un bon estimateur des fonctions centrales, traduisant la présence dans la ville d'attributs et d'activités de gouvernement et de contrôle orientant la politique hiérarchique d'accessibilité et concentrant les emplois de gestion administrative du territoire.

Les villes capitales sont au nombre de 190 en 2010, et présentent par définition une répartition très régulière sur le territoire de l'ex-Union soviétique (figure 4.1.5). Nous posons l'hypothèse qu'en raison de cet avantage en termes de connexion et de contrôle sur le réseau d'échanges interurbains, les villes capitales sont susceptibles de croître plus fortement que les autres villes, et ce tout au long de la période étudiée. De plus, « *le régime [soviétique] a assez correctement équipé les capitales de région : le développement de cités naguère purement industrielles (Ivanovo, Kourgan, Briansk, Volgograd, Tchéliabinsk) en témoigne.* » (Eckert, 2007, p.141).

Figure 4.1.5. Fonctions centrales

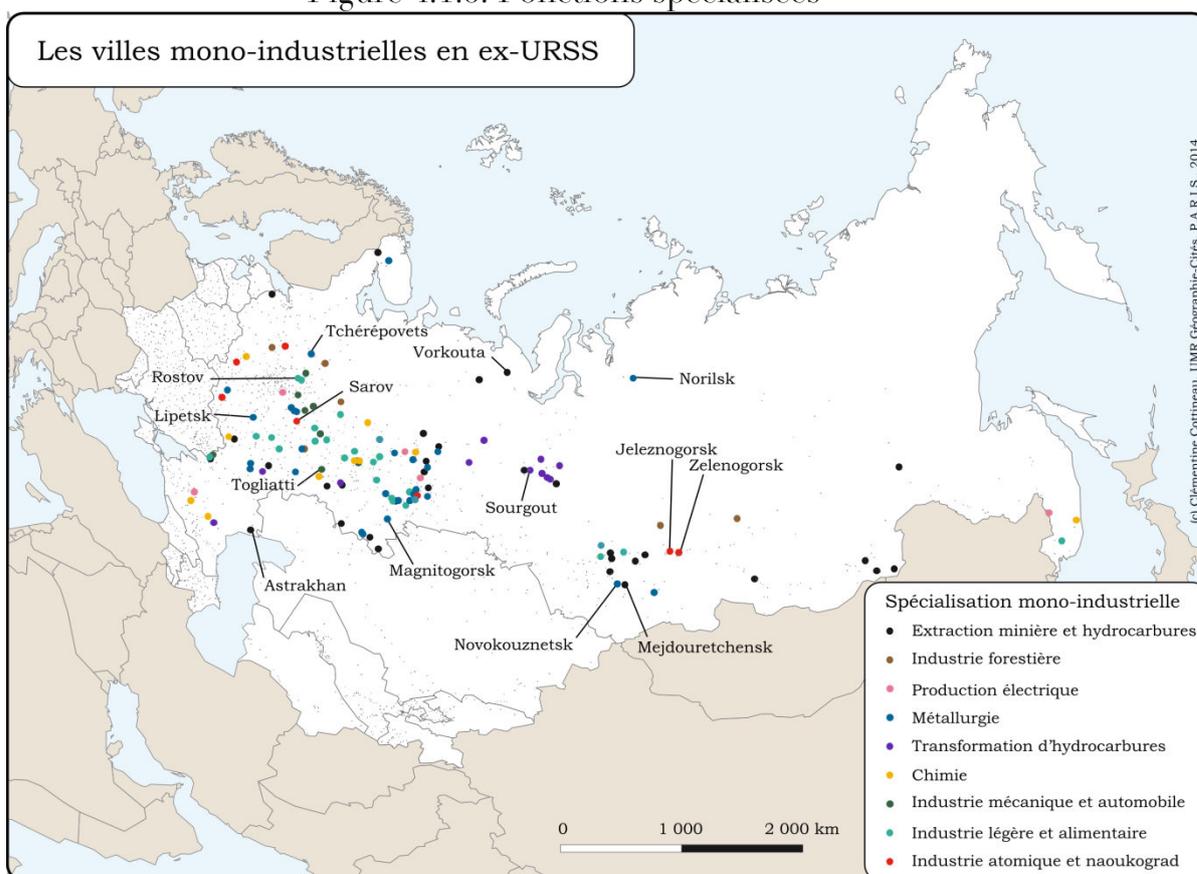


Source : DARIUS, 2014 ; d'après les recensements de la population.

Contrairement à de nombreux autres ensembles territoriaux, les statistiques d'emplois par secteur d'activité ne sont pas disponibles à l'échelon urbain en ex-URSS (cf. Chapitres 1 et 2). L'estimation des spécialisations économiques doit donc se faire par approximation. Nous avons retenu ici la liste des villes mono-industrielles publiée en 2013 par la Fédération de Russie (figure 4.1.6). Ces villes sont caractérisées par la prédominance d'une ou d'un petit nombre d'entreprises dans l'emploi global de la ville. Les spécialisations industrielles dominent cette liste, qui présente deux inconvénients majeurs : tout d'abord, elle n'est pas disponible pour les autres pays de l'espace qui nous intéresse ; d'autre part, il s'agit d'une liste politique permettant l'attribution de subventions administratives aux entités administratives urbaines qui y sont inscrites. La présence sur la liste est donc soumise à un certain arbitraire, au pouvoir de négociation de la ville et ne garantit pas l'exhaustivité⁴.

⁴ Une discussion de cette liste nous a été précieusement présentée par la géographe Ksénia Averkieva (de l'académie des sciences de Moscou) lors de l'école d'été organisée par Isolde Brade (IfL, Leipzig) dans le cadre du projet ira.urban à Rostov-sur-le-Don en Mai 2014.

Figure 4.1.6. Fonctions spécialisées



Source : DARIUS, 2014. D'après la liste des 342 villes « mono-industrielles » de la Fédération de Russie, publiée le 16 Juillet 2013.

Toutefois, l'identification de spécialisations extrêmes permet de rendre compte de l'avantage acquis par certaines villes à un moment donné dans la captation d'innovations au cours du cycle industriel. Celui-ci émerge dans l'Empire russe à la fin du XIX^e siècle, atteint son apogée au milieu du XX^e et semble aujourd'hui dans sa phase de déclin (cf. Chapitre 3.1). Nous supposons donc que les villes « mono-industrielles » seront caractérisées par une croissance plus importante relativement au reste du système durant la phase de croissance du cycle économique, et par une croissance plus faible au cours de la période récente.

2. Accessibilité et support des communications : les infrastructures de transport.

« *La construction progressive d'un système de peuplement de plus en plus hiérarchisé, avec des contrastes de plus en plus grands entre les dimensions de ses éléments, est donc une conséquence, non pas de l'organisation optimale des circulations dans un territoire à un moment donné [...] mais bien de l'adaptation progressive, historique, d'un système initialement bâti en fonction d'une certaine vitesse de circulation et qui s'est transformé sous l'effet de vitesses plus rapides.* » (Pumain, 1997a, p.130).

Nous choisissons de considérer non seulement la connexion à une infrastructure de transport comme un facteur potentiellement important pour une ville, quant à sa capacité à s'informer, diffuser et recevoir les innovations ; mais aussi la différenciation des infrastructures en termes de vitesse associée. Deux réseaux paraissent prépondérants dans la mise en relation des villes de l'espace post-soviétique (sa constitution en système et son fonctionnement quotidien) au cours des deux derniers siècles : il s'agit du réseau ferré d'abord (Hooson, 1968 ; Browser, 1990), puis de l'aérien (Guimerà *et al.*, 2005).

L'information concernant la structure actuelle de ces réseaux de transport est relativement aisée à obtenir, mais présente le désavantage de ne pas renseigner sur la constitution du réseau et l'historique du raccordement des villes. Des exemples de ce long travail existent pour la France (Thévenin *et al.*, 2013), les États-Unis et l'Afrique du Sud (Bretagnolle *et al.*, 2011), afin de tenter de valider l'hypothèse d'une co-évolution et d'une boucle de rétroaction positive entre la croissance du réseau de transport et celle du système urbain (Bretagnolle, 2009). Ce travail n'a pas été faisable dans le cadre thématique et temporel de cette thèse. Nous disposons donc d'une information parfois anachronique sur l'accessibilité des villes de l'ex-URSS, à savoir que 1 633 villes sur 1 929 sont situées à moins de 10 kilomètres d'un tronçon ferroviaire, et que 257 villes disposent d'un aéroport, quelle que soit sa taille et son niveau de relations nationales ou internationales (figure 4.1.7). Cette présence d'un aéroport permet de faire l'hypothèse que les villes qui en disposent sont potentiellement connectées entre elles dans l'espace relationnel d'une journée, qui est l'étalon temporel des interactions spatiales dans un système de villes (Pumain, 1997a).

Figure 4.1.7. Infrastructures et support des communications



Source : DARIUS, 2014. D'après les données ferroviaires de l'USGS et aéroportuaires du site *flightstats*. <http://pubs.usgs.gov/of/2001/ofr-01-104/fsucoal/html/data1.htm>
<http://www.flightstats.com/go/Airport/airportsOfTheWorld.do>

L'hypothèse soumise aux modèles statistiques sera celle d'une croissance plus forte des villes connectées par un réseau de transport par rapport aux autres villes, et d'un avantage différencié dans le temps entre les villes connectées au rail et les villes aéroportuaires.

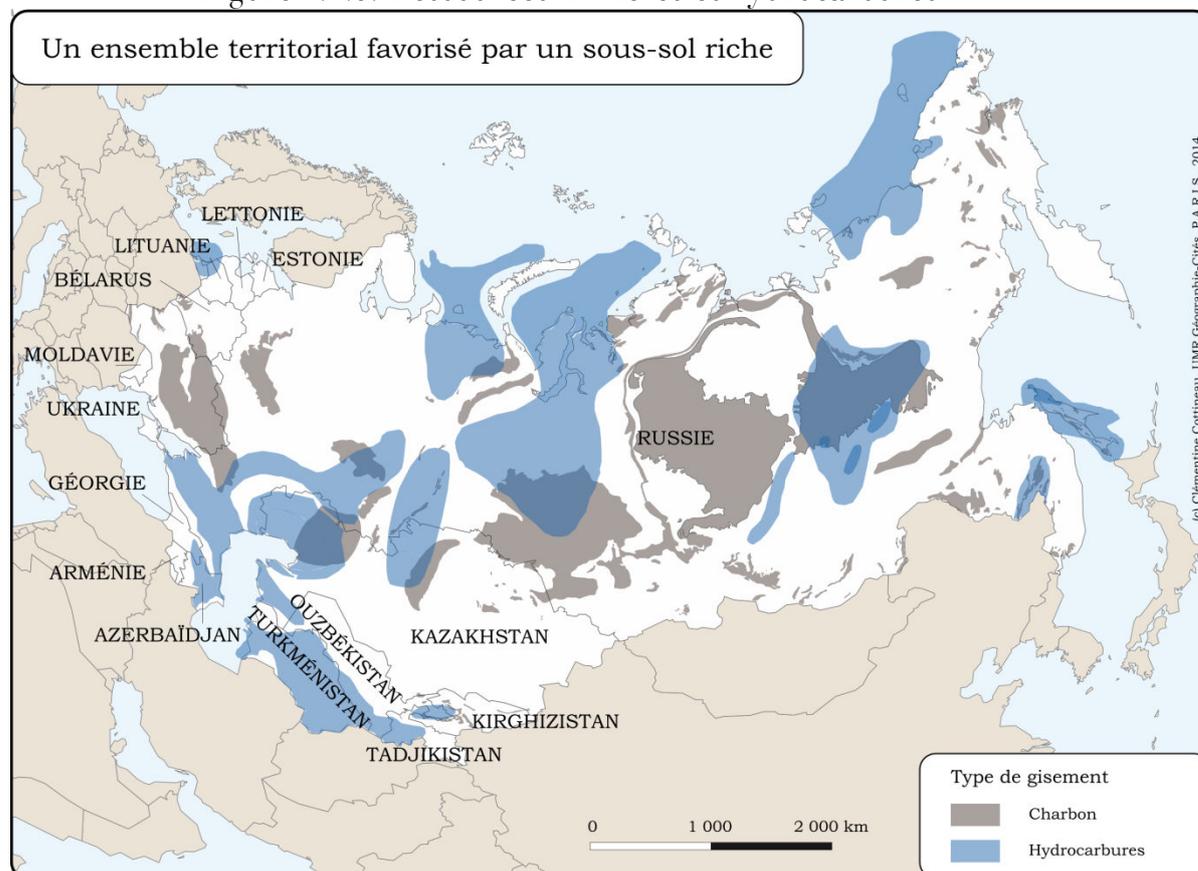
3. Ressources naturelles localisées

Dans un système de villes en général, mais *a fortiori* encore plus dans des pays très fortement dépendants des ressources naturelles pour leur production nationale et leurs exportations (Zimin, 2004 ; Vaguet, 2007 ; Garinina, 2009), les gisements de ressources naturelles sont de bons candidats pour expliquer une partie des différentiels de croissance urbaine au cours du temps. En effet, à l'échelle locale, certaines villes sont décrites comme entièrement dépendantes de l'exploitation d'une ou plusieurs ressources minières. Construites et peuplées en fonction de cette exploitation, l'influence de la ressource localisée semble déterminante dans la trajectoire de croissance de la ville, notamment par l'attraction et le

renouvellement d'une main-d'œuvre jeune dans les zones du Grand Nord russe (Kontorovich, 2000 ; Marchand-Vaguet, 2005 ; Bayou, Le Bourhis, 2008).

Les gisements de charbon et d'hydrocarbures nous semblent de bons représentants pour décrire des ressources largement répandues sur le territoire, et stratégiques pour deux cycles d'innovations successifs : le charbon de la fin du XIX^e siècle à la première moitié du XX^e, et les hydrocarbures depuis, en lien avec la hausse de leur valeur marchande dans les années 2000-2010. En 2010, 419 villes sont situées sur une zone de gisement charbonnier, et 431 sur une zone d'exploitation potentielle d'hydrocarbures (figure 4.1.8).

Figure 4.1.8. Ressources minières et hydrocarbures



Source : DARIUS, 2014. D'après les données de (Flanagan, Schear, 2008, p.178) pour les hydrocarbures et (Tyjnov, Molchanov, 1976) pour les bassins charbonniers, numérisés par l'USGS (cf. Chapitre 1.4.1).

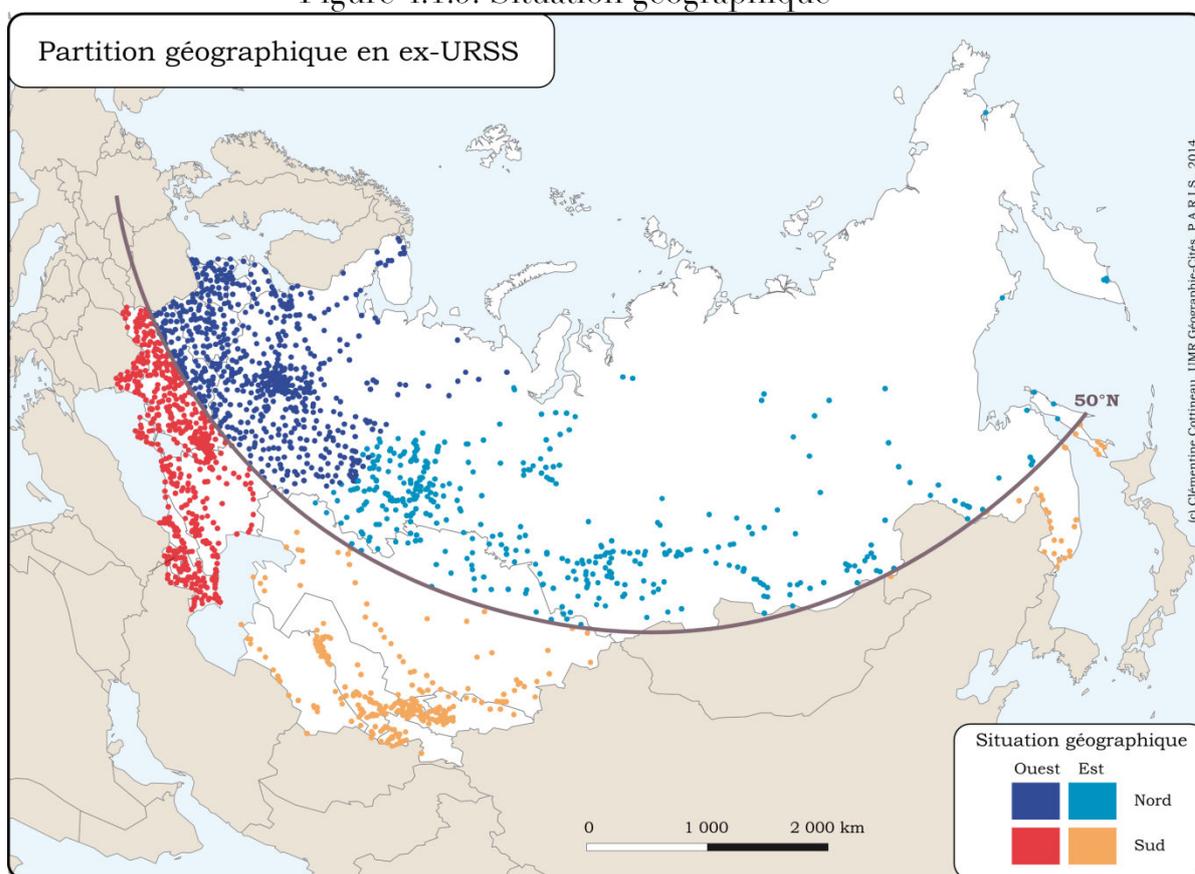
Nous posons donc l'hypothèse d'une croissance relativement plus forte pour les villes du charbon en début de période, suivie d'une croissance relativement plus faible aujourd'hui (voire d'une décroissance plus accentuée, à l'image des villes minières de la Ruhr ou du Nord de la France

depuis quelques décennies). Au contraire, les villes du pétrole et du gaz sont supposées connaître une croissance significativement plus forte depuis les années 1990 en raison de l'ouverture économique et de l'exportation de ces ressources très demandées à l'échelle mondiale.

4. Situation et géohistoire du territoire de l'ex-URSS

Le quatrième registre de facteurs de croissance, lié à la situation géographique des villes, sert de *proxy* à l'histoire de la colonisation (d'Ouest en Est) ainsi que de l'intégration impériale et de la différenciation climatique de part de d'autre du 50^e parallèle Nord.

Figure 4.1.9. Situation géographique



Source : DARIUS, 2014. Limite Est/Ouest : l'Oural, d'après (Kolossoff, 2007).

« Dans les pays de peuplement plus récent, une première phase de l'évolution s'est aussi traduite par une diffusion spatiale suivant le front de colonisation, avec une création de nouveaux sites, mais les modalités de l'évolution sont devenues semblables à celles des pays anciennement peuplés dès lors que le territoire accessible a été entièrement occupé. » (Pumain, 1997a, p.129). La situation orientale est

donc supposée covarier positivement avec des croissances urbaines plus fortes aux XIX^e et XX^e siècles, et négativement aujourd’hui, alors que les subventions à l’Est ont été supprimées et ne compensent plus le coût élevé de l’approvisionnement des régions isolées de l’Est (Kontorovich, 2000). La dichotomie Nord/Sud est censée prendre en compte la différence de régimes démographiques évoquée dans le Chapitre 3 et son importance dans l’opposition des rythmes de croissance urbaine, notamment depuis la chute de l’URSS. On suppose donc qu’une ville du Sud croît systématiquement plus vite qu’une ville du Nord depuis vingt ans, grâce à la composante naturelle de sa démographie ou de celle de sa région. On dénombre une majorité de villes dans la moitié Nord de l’ensemble territorial de l’ex-URSS, et une localisation occidentale dans 65% des cas (tableau 4.1.2).

Tableau 4.1.2. Répartition géographique de l’effectif urbain

Ouest	Est	
714	379	Nord
539	297	Sud

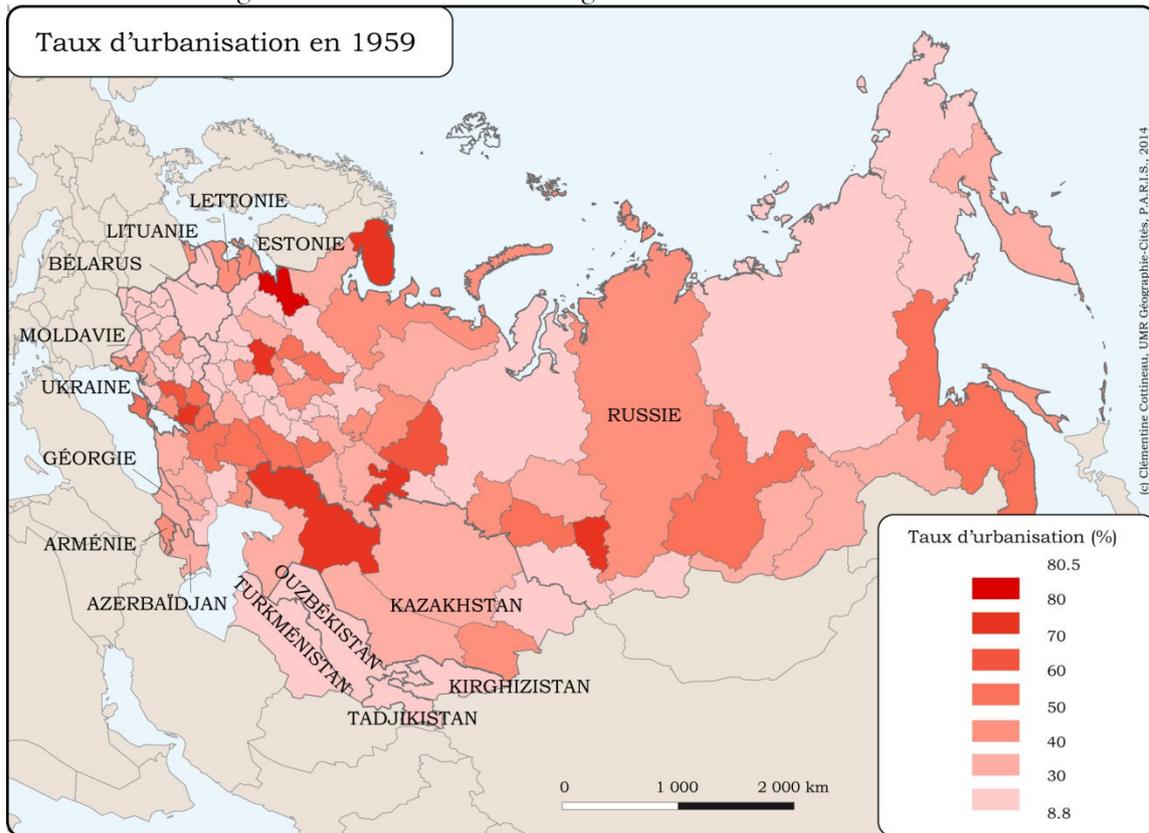
Source : DARIUS, 2014.

Toutefois, ces critères liés à la localisation géographique participent autant de la démarche d’explication de la différenciation de croissance des villes que de sa description. Nous pensons donc pouvoir nous passer éventuellement de ces attributs, en prenant en compte les caractéristiques du niveau géographique supérieur que représente la région.

5. La dynamique de niveau supérieur : croissance urbaine et contexte régional

On suppose pour ce registre de facteurs de croissance potentiels que la dynamique du niveau régional a une influence sur la démographie urbaine. L’hypothèse triviale que l’on pose est qu’une ville appartenant à une région qui gagne des habitants sera susceptible de croître plus rapidement, en participant à cette croissance naturelle et migratoire. De manière moins triviale, on suppose qu’une ville située dans une région faiblement urbanisée bénéficie d’un « réservoir » local de ruraux candidats à la migration vers la ville et croît donc plus vite.

Figure 4.1.10. Contexte régional de l'urbanisation



Source : DARIUS, 2014

Les deux variables retenues à l'échelle régionale concernent donc le taux de croissance annuel moyen de la population et le taux d'urbanisation. Ces deux variables sont disponibles pour toutes les régions de l'ex-URSS entre 1959 et 2010 (figure 1.4.10).

Nous avons donc présenté dix attributs urbains que nous pensons susceptibles d'expliquer (au sens statistique) les différentes trajectoires démographiques des villes d'ex-URSS depuis 1840. Un premier test de ces hypothèses est proposé dans la section suivante, par analyse bivariée entre ces facteurs et les trajectoires présentées dans le Chapitre 3 (4.1.2.1.) avant de rendre l'analyse multidimensionnelle (4.1.2.2.) et multiniveaux (4.1.2.3.) en considérant les taux de croissance annuels moyens successifs comme variable « à expliquer ».

4.1.2.1. Analyse bivariée des types de trajectoires urbaines

Nous cherchons ici à identifier les attributs urbains statistiquement associés à la poursuite de l'une ou l'autre des trajectoires urbaines de la fin du chapitre 3. Ces types de trajectoires sont qualitativement différenciés mais nous avons pu voir qu'à chaque période, ils s'ordonnaient selon un gradient d'ampleur de croissance/décroissance urbaine. On peut donc les maintenir ordonnés de cette façon pour obtenir une première idée d'un « sens » de la relation entre un facteur potentiel et une dynamique de croissance plus ou moins importante (tableau 4.1.3).

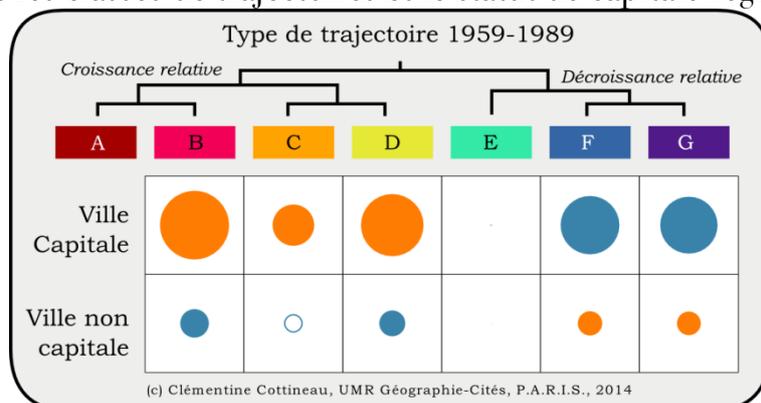
Un premier traitement préalable à l'analyse bivariée des trajectoires consiste à exclure des tests statistiques les classes de trajectoires dont l'effectif est exceptionnellement faible et donc non-comparable aux effectifs des autres classes (pour la pertinence et la robustesse de l'utilisation des tests de Khi^2 et d'analyse de variance). Cette exclusion concerne donc une ville durant la période 1959-1989 : il s'agit de Naberejnye Tchelny, donc nous avons vu qu'elle constituait à elle seule le type de croissance explosive de la classe A. De même, les 20 villes très croissantes et 8 villes très décroissantes des classes A et I ont été sorties de l'analyse bivariée des 1 825 trajectoires urbaines entre 1989 et 2010.

Les méthodes statistiques utilisées sont des tests de Khi^2 entre les types de trajectoires et les huit premiers facteurs potentiels identifiés, qui correspondaient tous à des variables qualitatives de type « présence/absence » dans la ville. Les deux derniers facteurs – taux de croissance annuel moyen de la population régionale et taux d'urbanisation régional –, quantitatifs continus, sont associés aux types de trajectoire par analyse de variance. Les résultats de significativité de ces tests sont disponibles dans le tableau 4.1.3., ainsi qu'un « sens » de la relation, indiquant en positif la surreprésentation des villes caractérisées par l'attribut urbain en question parmi les classes de trajectoires les plus croissantes ; et en négatif leur surreprésentation parmi les trajectoires décroissantes.

Il ressort de ces analyses que l'attribut urbain le plus significativement associé à la croissance des villes sur toutes les périodes est le statut de **capitale régionale**. En effet, avec un taux d'erreur inférieur à 10^{-7} quel que soit l'intervalle de temps considéré, les villes capitales sont systématiquement surreprésentées parmi les classes de villes les plus croissantes. On peut voir cette surreprésentation entre 1959 et 1989 (figure 4.1.11.) : les écarts à l'hypothèse d'indépendance sont significativement positifs entre les villes des classes de trajectoires B, C et D et les villes capitales, ainsi qu'entre les classes décroissantes en relatif et les villes non-capitales. D'autre part, les

viles capitales apparaissent significativement sous-représentées parmi les trajectoires décroissantes (ce qui est un peu moins vrai dans l'autre sens). La répartition des écarts à l'indépendance est similaire pour les périodes antérieure et postérieure (Annexe 4.1).

Figure 4.1.11. Écarts à l'hypothèse d'indépendance entre les classes de trajectoires et le statut de capitale régionale



Source : DARIUS, 2014. Orange : écarts positifs. Bleu : écarts négatifs. La surface du cercle est proportionnelle à la valeur absolue du résidu. Disques : résidus significatifs (>2 ou <-2 , test du χ^2).

Le second attribut caractérisant le profil fonctionnel des villes la **mono-industrie** s'avère moins significativement corrélé aux types de trajectoires russes, que ce soit dans le temps (la relation est non-significative pour la période 1856-1959) et au sein de chaque période. Ainsi, les écarts à l'indépendance montrent sur les deux derniers intervalles temporels une surreprésentation des villes ultra-spécialisées dans la ou les trajectoires les plus décroissantes et une sous-représentation parmi le profil moyen de trajectoires démographiques urbaines.

Néanmoins, ce facteur semble jouer dans le sens escompté : les villes très spécialisées dans une industrie unique suivent plutôt des trajectoires de croissance faible ou négative depuis les années 1960, traduisant potentiellement un essoufflement de ce cycle d'innovation dans l'espace russe à partir de la seconde moitié du XX^e siècle.

Tableau 4.1.3. Significativité des relations statistiques
entre facteurs potentiels de croissance et types de trajectoires urbaines

Catégorie de facteur	Attribut urbain observable	Significativité de la relation (p-value)	Sens de la relation	Nombre d'observations
1. Fonctions urbaines	Statut de capitale	*** (6.847e-09)	+	130
		*** (< 2.2e-16)	+	1146
		*** (2.757e-08)	+	1797
	Mono-industrie	n.s.		68
** (0.01051)		-	649	
*** (0.00941)		-	787	
2. Accessibilité	Chemin de fer < 10 km	n.s.		130
		n.s.		1146
		*** (2.056e-10)	-	1797
	Présence d'un aéroport	<i>absurde</i>		
*** (< 2.2e-16)		+	1146	
	*** (7.007e-06)	+	1797	
3. Gisement de Ressources	Charbon	n.s.		130
		*** (0.00139)	-	1146
		*** (2.435e-10)	-	1797
	Hydrocarbures	n.s.		130
n.s.			1143	
*** (< 2.2e-16)		+	1782	
4. Situation géographique	Orientale	n.s.		130
		*** (1.013e-11)	-	1146
		*** (< 2.2e-16)	+/-	1797
	Méridionale	n.s.		130
*** (0.001438)		+	1146	
	*** (< 2.2e-16)	+	1797	
5. Dynamique régionale	TVAM de la population régionale	n.d.		
		*** (< 2.2e-16)	+	1146
		*** (< 2.2e-16)	+	1797
	Taux d'urbanisation	n.d.		
*** (< 2.2e-16)		-	1146	
	*** (< 2.2e-16)	-	1797	

Source : DARIUS, 2014. « TVAM » = Taux de Variation Annuel Moyen. « n.s. » = non-significatif. « n.d. » = pas de données. *** = significatif avec un taux d'erreur < 1%. ** = < 5%.

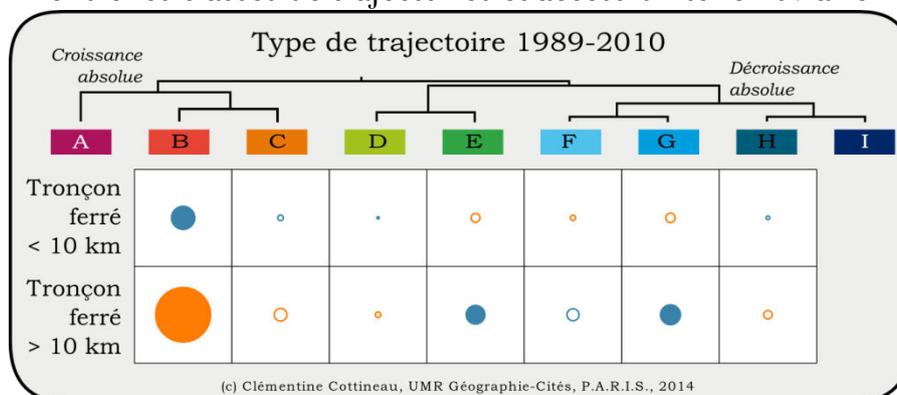
Pour les écarts à l'indépendance de toutes relations bivariées significatives : cf. Annexe 4.1.

1^{ère} ligne : trajectoires 1856-1959. 2^e ligne : 1959-1989. 3^e ligne : 1989-2010

Dans le second registre de facteurs potentiellement explicatifs de la croissance urbaine dans l'espace post-soviétique, approximant l'accessibilité des villes en fonction de la vitesse des moyens de transports accessibles, nous constatons une faible association entre proximité du réseau ferré et type de trajectoire au cours du temps, mais une relation significative avec la présence d'un aéroport depuis 1959 (tableau 4.1.3).

Le sens de la relation entre **accessibilité ferroviaire** et croissance contredit en partie l'intuition que l'on pouvait en avoir, puisqu'entre 1989 et 2010, les villes distantes *de plus de 10 kilomètres* d'un tronçon ferré sont significativement surreprésentées parmi les villes qui ont suivi les trajectoires les plus croissantes (c'est même le résidu le plus significatif, cf. figure 4.1.12). Il s'agit de préciser dès à présent que cette faible relation tient probablement au fait que beaucoup de villes sont distantes de moins de 10 kilomètres d'un tronçon ferré et donc qu'il existe une diversité très grande de trajectoires parmi ces villes, qui ne se différencient probablement pas par le simple rattachement au rail mais par la centralité et l'intermédiarité de leurs connexions ferroviaires. D'autre part, nous considérons un réseau statique et ne pouvons par conséquent pas évaluer le surplus de croissance d'un rattachement au réseau à une période donnée. Pour conclure sur la relation négative entre trajectoire très croissante et accessibilité par le train, on peut esquisser l'hypothèse que les accessibilités de transport ne sont pas uniquement cumulatives dans le temps, mais qu'il y aurait aussi substitution dans l'avantage accordé aux villes selon la vitesse des transports accessibles à un moment donné. Dans le cas des villes soviétiques puis post-soviétiques, le rattachement au train deviendrait le signe d'une accessibilité lente et caractéristique d'un cycle obsolète face à la connexion aéroportuaire.

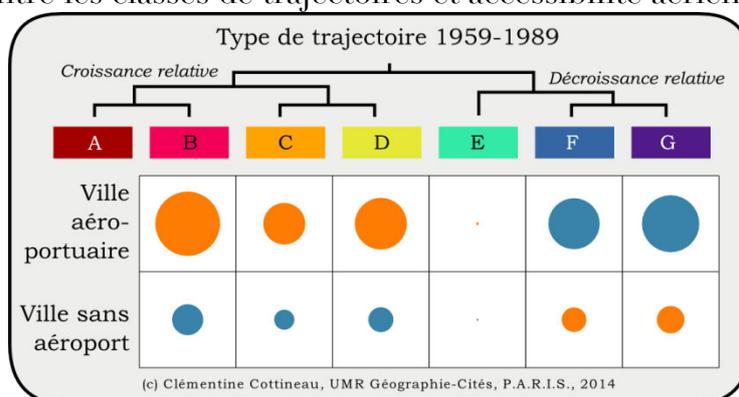
Figure 4.1.12. Écarts à l'hypothèse d'indépendance entre les classes de trajectoires et accessibilité ferroviaire



Source : DARIUS, 2014. En orange : écarts positifs. En bleu : écarts négatifs. Disques : résidus significatifs (>2 ou <-2 , test du χ^2).

Les villes de trajectoires croissantes sont en effet surreprésentées parmi les villes possédant un **aéroport** (par exemple entre 1959 et 1989, figure 4.1.13). Inversement, on trouve parmi les villes sans aéroport des écarts à l'indépendance significativement positifs dans les catégories de trajectoires les plus décroissantes (classes F et G entre 1959 et 1989). Notre hypothèse de relation entre la présence de cet attribut urbain d'accessibilité et la poursuite d'une trajectoire plutôt croissante est donc confirmée statistiquement, et ce, significativement depuis 1959.

Figure 4.1.13. Écarts à l'hypothèse d'indépendance entre les classes de trajectoires et accessibilité aérienne



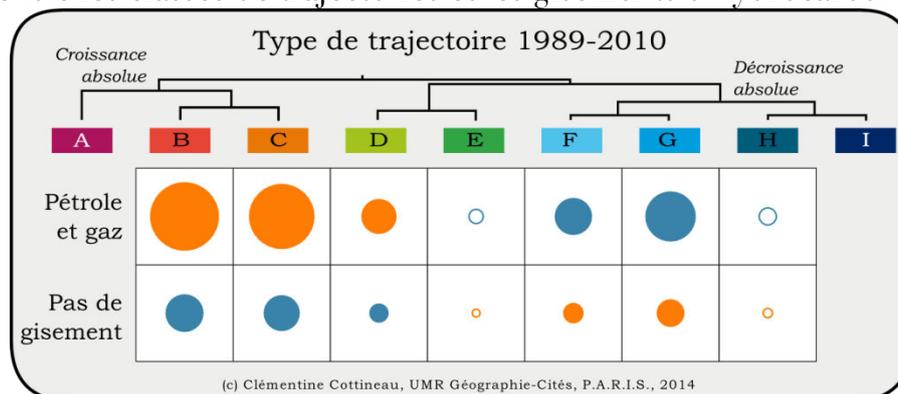
Source : DARIUS, 2014. En orange : écarts positifs. En bleu : écarts négatifs. Disques : résidus significatifs (>2 ou <-2 , test du χ^2).

L'accessibilité reste donc un bon candidat à l'explication des différentiels de croissance, en lien avec l'évolution des cycles d'innovations caractérisant les vitesses de déplacement.

Concernant le registre des facteurs liés aux **ressources** du sous-sol, censées rendre compte des différences d'opportunités liées au site de la ville en fonction des cycles d'innovations économiques nécessitant l'exploitation privilégiée de matières premières, nous obtenons des résultats en accord avec nos prédictions : la localisation sur une zone de gisement de charbon est associée statistiquement avec des trajectoires décroissantes (depuis 1959) tandis que la localisation sur un gisement d'hydrocarbures covarie positivement avec des trajectoires croissantes (entre 1989 et 2010 seulement, comme prévu). Il faut cependant noter que durant la première période (1856-1959) — probablement trop longue, mélangeant l'effet de plusieurs cycles d'innovation et permettant l'étude d'un effectif trop réduit de villes —, aucun des deux facteurs liés aux ressources n'est significativement associé à un type de trajectoire démographique (tableau 4.1.3).

Si les villes des **bassins charbonniers** montrent une tendance nette à être aussi les villes plus systématiquement décroissantes, la relation est encore plus claire pour les hydrocarbures depuis 1989 (figure 4.1.14) : la surreprésentation des villes des **bassins d'hydrocarbures** est d'autant plus forte que la classe de trajectoire est croissante (si l'on ordonne les classes D, C et B par rythme de croissance).

Figure 4.1.14. Écarts à l'hypothèse d'indépendance entre les classes de trajectoires et les gisements d'hydrocarbures



Source : DARIUS, 2014. En orange : écarts positifs. En bleu : écarts négatifs. Cercles pleins : résidus significatifs (>2 ou <-2 , test du χ^2).

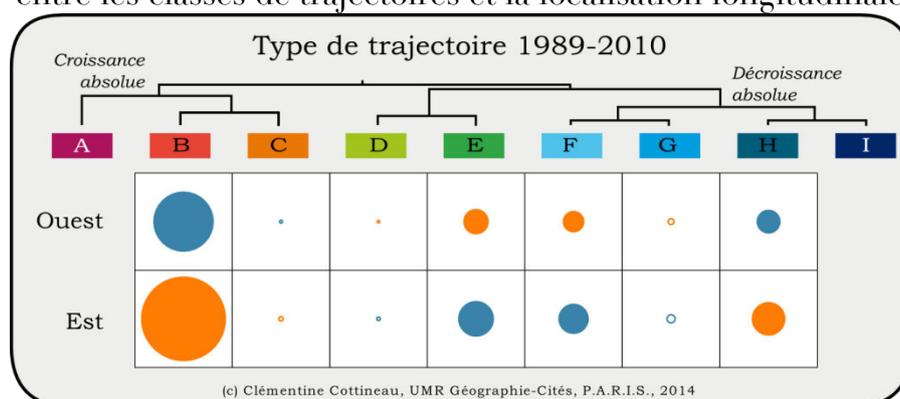
Bien que nous ayons rappelé précédemment que la situation géographique (grossièrement approchée par les qualificatifs « Nord/Sud/Est/Ouest ») fait autant partie des éléments explicatifs que des configurations à expliquer, leur analyse bivariée avec les classes de trajectoire révèle deux comportements différents. Le **gradient Nord-Sud** différencie nettement les trajectoires croissantes des trajectoires décroissantes (en relatif entre 1959 et 1989 ; en absolu après 1989), avec des villes d'autant plus croissantes qu'elles se situent au Sud du 50^e parallèle (cf. Annexe 4.1). Ce résultat nous conforte dans l'idée d'une différenciation forte de l'espace, en lien avec la variété des régimes démographiques mise en valeur dans le chapitre précédent.

En revanche, la relation n'est pas linéaire entre la **dichotomie Est-Ouest** et les types de trajectoires (figure 4.1.15) : les villes de l'Est sont significativement surreprésentées à la fois parmi les villes de trajectoires très croissantes et très décroissantes ; tandis qu'il y a une surreprésentation des villes du profil moyen parmi les villes situées à l'Ouest de l'ex-URSS depuis 1989. Il est intéressant de noter que cette surreprésentation des villes de l'Est parmi les villes très croissantes n'apparaît pas pour la période précédente. La localisation à l'Est, dont on supposait qu'elle recouvrait les mouvements migratoires de colonisation puis de retour après la chute de l'URSS, semble donc couvrir aussi des aspects liés au dynamisme démographique de l'Asie centrale (classée « Est ») ainsi que les explosions urbaines liées aux

hydrocarbures (répartis préférentiellement à l'Est du territoire post-soviétique).

Ce registre de facteurs de situation géographique n'apporte donc pas beaucoup d'informations en propre. Nous faisons le choix de conserver ces catégories pour décrire et analyser la répartition des résidus plutôt que pour nourrir le modèle statistique explicatif à suivre.

Figure 4.1.15. Écarts à l'hypothèse d'indépendance entre les classes de trajectoires et la localisation longitudinale



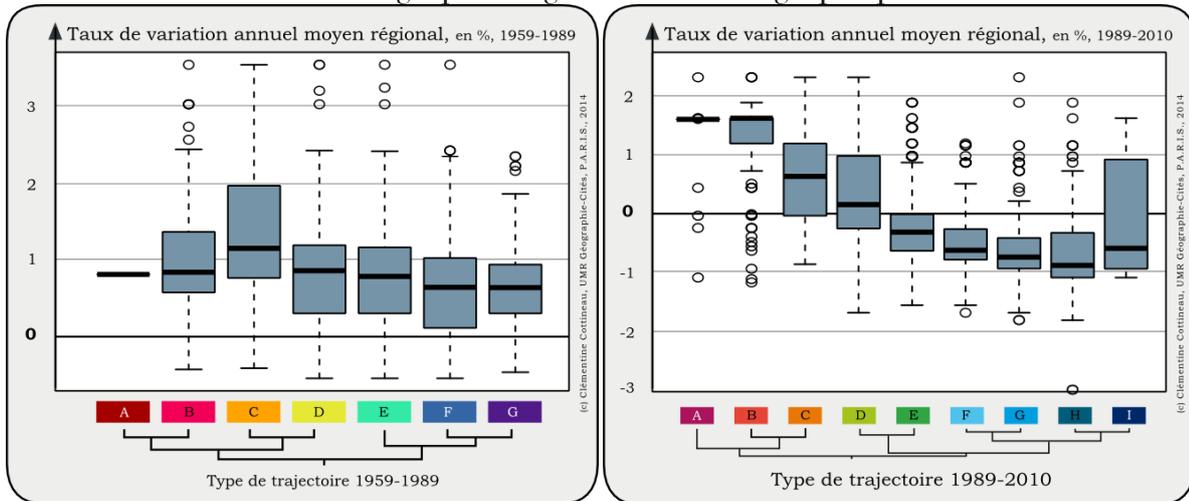
Source : DARIUS, 2014. En orange : écarts positifs. En bleu : écarts négatifs.

Disques : résidus significatifs (>2 ou <-2 , test du χ^2).

En l'occurrence, l'effet que nous tentons de révéler dans la différenciation Nord-Sud relève de caractéristiques démographiques contextuelles et devrait selon notre hypothèse être mieux pris en charge par des attributs de niveau régional : la dynamique de croissance de la population totale et le niveau d'urbanisation.

Nous avons déjà parlé, à propos de la décroissance urbaine, du lien non univoque qu'il existe entre trajectoire régionale et trajectoires urbaines. Dans le cas des villes de l'espace post-soviétique, une analyse de variance révèle des variations significatives entre types de trajectoires et **taux de variation annuel moyen régional** durant les deux dernières périodes.

Figure 4.1.16. L'adéquation de plus en plus marquée entre démographie régionale et démographie urbaine



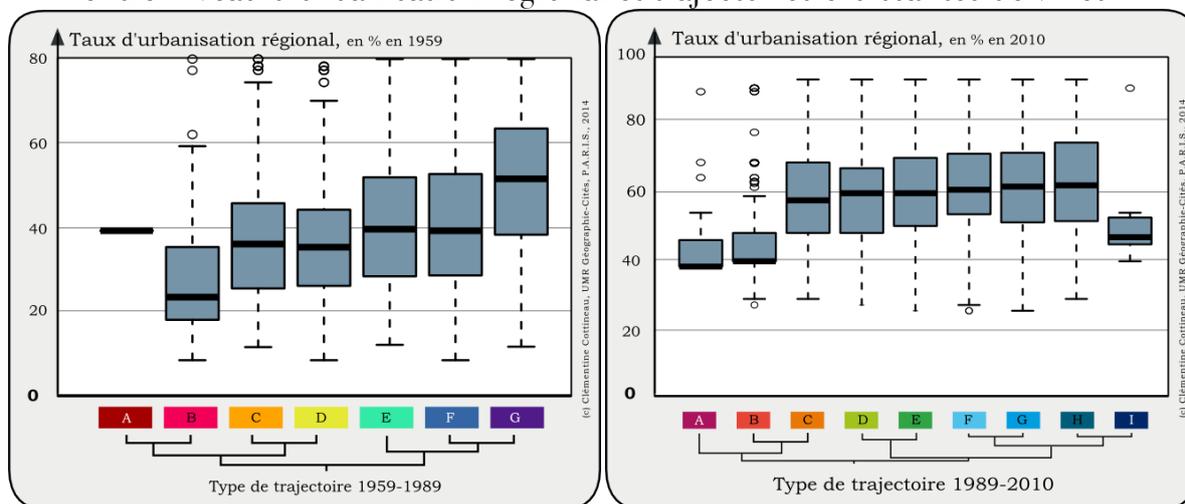
Source : DARIUS, 2014.

On voit cependant qu'une diversité importante de trajectoires urbaines co-existent au sein d'une même région entre 1959 et 1989, tandis que la concordance démographique entre les deux niveaux géographiques est particulièrement marquée entre 1989 et 2010 (figure 4.1.16). Ainsi, les villes des trajectoires décroissantes (F, G et H par exemple) se situent en grande majorité dans des régions dont la population totale décroît. On peut tirer de cette observation l'idée que la composante naturelle prend une place plus importante dans la croissance urbaine depuis 1989, et qu'il est de plus en plus rare de trouver des villes en forte croissance dans des régions à la démographie déprimée (surtout lorsque la transition urbaine est déjà achevée). Au contraire, on continue de trouver des déclin urbains marqués dans des régions pourtant croissantes : il s'agit des destins particuliers de villes que nous avons déjà notés dans le chapitre précédent.

De même, bien que l'analyse de la variance indique deux relations tout aussi significatives entre types de trajectoires et **taux d'urbanisation régional** entre 1959 et 1989 et entre 1989 et 2010, on constate que l'ordonnement des taux d'urbanisation en fonction des types de trajectoires est plus systématique dans les années 1960 à 1980 que durant la période suivante (figure 4.1.17) : les villes aux trajectoires les plus croissantes appartiennent en moyenne à des régions peu urbanisées, tandis que les villes les moins croissantes présentent un taux d'urbanisation régional moyen deux fois plus élevé (50% pour les villes de la classe G contre moins de 25% pour les villes de la classe B ; figure 4.1.17, graphique de gauche). Cette observation est conforme à notre hypothèse mais ne se vérifie pas après 1989, où la plupart des régions sont déjà matures du point de vue de la transition urbaine, et où

on note simplement des trajectoires extrêmes dans les régions encore peu urbanisées (classes A et B très croissantes, et classe I des villes en crise).

Figure 4.1.17. Baisse de la covariation entre niveau d'urbanisation régional et trajectoires croissantes de villes



Source : DARIUS, 2014.

Ainsi, l'analyse bi-variée confirme la plupart des hypothèses sur les facteurs de croissance urbaine potentiels. Le statut administratif ressort comme étant le plus stable et le plus prégnant tout au long du « grand XX^e siècle ». Au contraire, des effets de cycle sont observables avec les réseaux de transport, les ressources et le niveau d'urbanisation régional. Enfin, la situation géographique ne semble pas pertinente pour expliquer la différenciation des trajectoires urbaines. Nous tentons à présent de combiner ces différentes variables au sein d'une régression multiple sur les taux de croissance urbains successifs afin d'identifier les redondances entre variables et la robustesse de ces différents facteurs « toutes choses étant égales par ailleurs ».

4.1.2.2. Régressions multiples sur les taux de croissance : à la recherche d'une explication statistique multi-dimensionnelle

Suite aux analyses bivariées produites précédemment, nous cherchons à analyser l'effet combiné des différentes variables sur les trajectoires de croissance. Nous avons vu que les intervalles de temps à partir desquels ont été classées les trajectoires avaient tendance à être trop larges pour rendre compte de cycles de diffusion d'innovations fonctionnelles et d'accessibilité. Pour cette raison, nous utilisons dans la suite de l'analyse le taux de variation

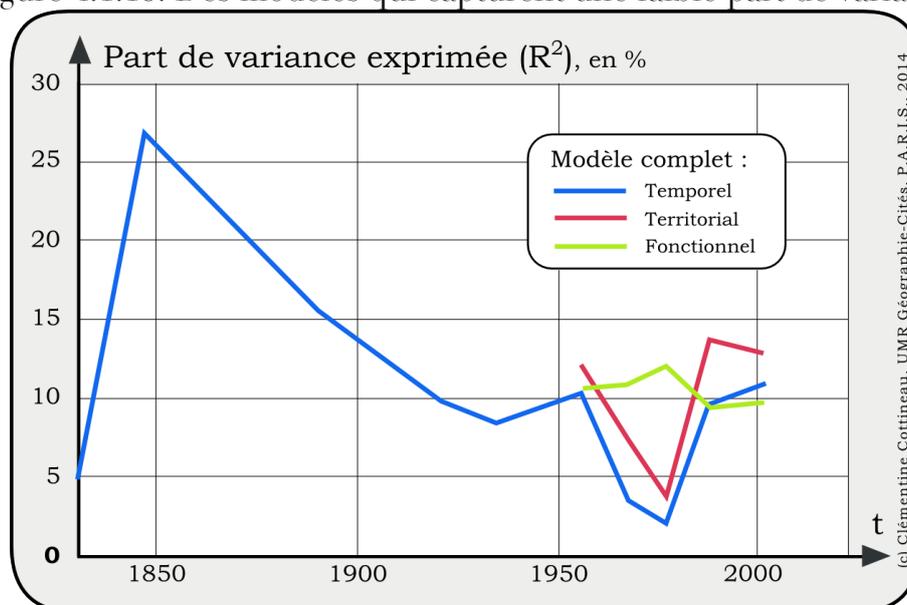
annuel moyen de la population comme variable quantitative continue « à expliquer » sur les 10 intervalles censitaires dont nous disposons. Il a déjà été rappelé que la plupart des facteurs potentiels d'explication sont statiques, tandis que les variables régionales correspondent à des évolutions intercensitaires entre 1959 et 2010.

Ces contraintes nous amènent à proposer une comparaison de modèles de régression. Ces modèles ne se différencient pas par la sélection des variables opérées en fonction du pouvoir explicatif du modèle et du nombre de degrés de liberté comme dans une démarche « pas à pas ». Ils forment au contraire trois groupes appliqués chacun aux séries consécutives de taux de croissance avec la même sélection de variables, sur trois ensembles territoriaux et temporels différents. Cette démarche nous permet d'évaluer l'évolution temporelle d'un même ensemble de variables « explicatives », et de comparer trois de ces ensembles sur des périmètres spatio-temporels différents :

- **Les 10 modèles dits « temporels »** correspondent à des modèles parcimonieux, rendant compte des principaux facteurs de croissance obtenus au terme de l'analyse bivariée, durant la période de temps la plus longue possible. Ainsi, nous utilisons les critères du statut administratif de capitale régionale, de l'accès au réseau ferré et la localisation sur des bassins charbonniers et d'hydrocarbures pour estimer les taux de croissance des dix intervalles inter-censitaires, c'est-à-dire entre 1840 et 2010 dans le périmètre de l'ex-URSS.
- **Les 5 modèles qualifiés de « territoriaux »** couvrent aussi l'ensemble du territoire post-soviétique, et prennent en plus en compte les variables de niveau régional dans l'analyse (taux de variation annuel moyen de la population régionale et taux d'urbanisation régionale). Pour ce faire, la durée d'étude est réduite à 50 années, en partant de la période 1959-1970. Cela permet d'ajouter à l'ensemble des variables introduites dans le modèle celle de la présence d'un aéroport, absurde à tester sur les époques antérieures à la seconde moitié du XX^e siècle.
- **Les 5 modèles « fonctionnels »** sont les modèles comprenant le plus grand nombre de variables, puisqu'ils correspondent à la même sélection que les modèles territoriaux, la catégorie de villes mono-industrielles en plus, entre 1959 et 2010. Cette information n'étant disponible que pour les villes de Russie, ces modèles plus caractéristiques de la structure fonctionnelle des villes restreignent l'espace d'analyse à la moitié de l'effectif urbain : les villes russes.

Le premier résultat que nous tirons de l'étude de ces modèles est leur faible capacité à reproduire les taux de croissance urbains au cours du temps, malgré des critères de significativité validés (tableaux 4.1.4., 4.1.6 et 4.1.8). En effet, en dehors de la période 1856-1897, la part de variance prise en compte par les modèles ne dépasse pas 15%, et gravite plutôt autour de 10% (figure 4.1.18).

Figure 4.1.18. Des modèles qui capturent une faible part de variance



Source : DARIUS, 2014.

Nous remarquons toutefois que, si le modèle « territorial » est logiquement plus performant que le modèle « temporel », plus parcimonieux, sur les intervalles temporels où ils sont comparables (1959-2010), les séries « territoriales » et « fonctionnelles » apparaissent plus complémentaires que concurrentes dans leur pouvoir explicatif au cours du temps. Ainsi, au moment où les modèles n'incorporant pas la dimension « spécialisation industrielle » reproduisent le plus mal les dynamiques de croissance des villes de l'ex-Union soviétique, c'est-à-dire dans les années 1970 et 1980, le modèle appliqué à la Russie atteint son maximum d'intensité, et la situation s'inverse après 1989.

Nous présentons donc les estimations de coefficients obtenues par ces ajustements de mauvaise qualité globale, afin d'identifier d'éventuelles confirmations ou infirmations d'hypothèses statiques et dynamiques, avant de nous concentrer sur l'étude des résidus, qui composent encore la majorité de la variation des taux de croissance.

Tableau 4.1.4. Significativité des modèles « temporels »

Période	Part de variance exprimée (<i>Multiple R²</i> , en %)	Significativité (<i>p-value</i>)	Nombre d'observations
<i>1840-1856</i>	<i>4.8</i>	<i>0.427</i>	80
1856-1897	26.9	1.64e-07	120
1897-1926	15.6	7.03e-10	287
1926-1939	9.9	2.71e-09	442
1939-1959	8.5	2.37e-12	683
1959-1970	10.4	< 2.2e-16	1124
1970-1979	3.7	1.42e-10	1366
1979-1989	2.1	8.61e-07	1584
1989-2002	9.7	< 2.2e-16	1807
2002-2010	10.9	< 2.2e-16	1807

Source : DARIUS, 2014. En italique : modèle non-significatif.

La série de modèles « temporels » est de la forme :

$$TVAM_{m-n,i} = a_0 + b_1 CAP_i + b_2 RAIL_i + b_3 CHAR_i + b_4 GAS_i + \varepsilon_i$$

avec : $TVAM_{m-n,i}$ le taux de variation annuel moyen de la ville i , dans la région j , entre les années m et n , en %.

a_0 le TVAM estimé d'une ville non capitale, non connectée au rail, hors des bassins de ressources.

CAP_i prenant la valeur 1 si la ville i est capitale, 0 sinon.

$RAIL_i$ valant 1 si la ville i est située à moins de 10 km d'un tronçon ferré, 0 sinon.

$CHAR_i$ prenant la valeur 1 si la ville i est située sur un bassin charbonnier, 0 sinon.

GAS_i prenant la valeur 1 si la ville i est située sur un bassin d'hydrocarbures, 0 sinon.

ε_i le terme d'erreur résumant les informations non introduites dans le modèle.

Ces modèles s'avèrent significatifs sur toutes les périodes possibles (tableau 4.1.4) sauf la première (1840-1856), pour laquelle par ailleurs la fiabilité des données de population est la plus incertaine. C'est aussi avec un modèle de cette série que l'on obtient le meilleur ajustement, entre 1856 et 1897, avec 26.9% de la variance des taux de croissance prise en compte par les quatre variables « explicatives ». Toutefois, ce modèle offre des performances quasi-nulles entre 1970 et 1989, malgré un nombre de villes pourtant déjà conséquent.

Tableau 4.1.5. Coefficients estimés par les modèles « temporels »

Période	Intercept a_0	CAP	RAIL	CHAR	GAS
1840-1856	1.05	0.80 .	-0.43	-0.17	0.26
1856-1897	0.26	0.97 ***	0.94 *	0.19	0.32
1897-1926	-0.26	0.78 ***	1.11 ***	0.21	0.50 *
1926-1939	0.88	1.88 ***	2.21 **	1.15 **	0.50
1939-1959	0.67 **	0.99 ***	0.89 ***	0.06	0.29 .
1959-1970	1.96 ***	1.77 ***	0.18	-0.46 ***	-0.10
1970-1979	1.80 ***	1.18 ***	-0.16	-0.20	0.07
1979-1989	1.69 ***	0.45 ***	-0.36 **	-0.09	0.23 *
1989-2002	-0.16 *	0.24 *	-0.17 *	-0.17 *	0.93 ***
2002-2010	-0.05	0.71 ***	-0.25 **	-0.40 ***	0.61 ***

Source : DARIUS, 2014. Italique : modèle non-significatif. Gras : coefficients significatifs :
 “***” = avec un taux d’erreur < 0.1%. “**” = taux d’erreur < 1%. “*” = < 5%. “.” = < 10%.

Les estimations du terme a_0 reproduisent globalement la dynamique générale d’urbanisation des villes de l’ex-URSS au cours du temps, avec des taux de croissance forts au XX^e siècle pour les villes non dotées des attributs étudiés, et décroissants depuis 1989 (tableau 4.1.5). On peut toutefois noter que la période de boom des années 1920 et 1930 n’est pas perceptible ici, et donc que la forte croissance correspond surtout aux villes capitales, accessibles et/ou proches de ressources naturelles.

Le coefficient associé au statut de capitale régionale apparaît systématiquement très significatif, correspondant à entre 0.24 (entre 1989 et 2002) et 1.88 (entre 1926 et 1939) points de croissance supplémentaires par rapport à une ville non-capitale, toutes choses égales par ailleurs. Il est du même ordre de grandeur que celui obtenu pour les villes de plus de 100 000 habitants des pays en développement entre les années 1960 et 1990 : +0.589 (Preston, 1979) et +0.933 (Brockerhoff, 1999).

L’accessibilité ferroviaire exhibe un bel effet de cycle, puisque les villes proches de tronçons ferrés croissent en moyenne plus fortement entre 1856 et 1959, puis plus faiblement que les autres entre 1979 et 2010. Notamment, les années 1920 et 1930 correspondent à un avantage significatif majeur entre les deux catégories de villes (+2.2 points de croissance annuelle moyenne). L’observation d’un retournement de l’avantage conféré par l’accessibilité ferroviaire en termes de dynamique de population, approchée par l’analyse bivariée, est ici confortée.

De même, bien que moins systématiquement, l’effet de la présence de charbon autour de la ville change de sens entre les années 1920-1930 et la seconde moitié du XX^e siècle. C’est le moment où la présence

d'hydrocarbures devient significativement corrélée avec un surplus de croissance urbaine, toutes choses égales par ailleurs.

Les modèles « territoriaux » sont de la forme :

$$TVAM_{m-n,i,j} = a_0 + b_1 CAP_i + b_2 RAIL_i + b_3 AERO_i + b_4 CHAR_i + b_5 GAS_i + b_6 TVAM_{m-n,j} + b_7 TURB_{m,j} + \varepsilon_i$$

avec : $TVAM_{m-n,i,j}$ le TVAM de la ville i , dans la région j , entre les années m et n , en %.

CAP_i prenant la valeur 1 si la ville i est capitale, 0 sinon.

$RAIL_i$ valant 1 si la ville i est située à moins de 10 km d'un tronçon ferré, 0 sinon.

$AERO_i$ prenant la valeur 1 si la ville i possède un aéroport, 0 sinon.

$CHAR_i$ prenant la valeur 1 si la ville i est située sur un bassin charbonnier, 0 sinon.

GAS_i prenant la valeur 1 si la ville i est située sur un bassin d'hydrocarbures, 0 sinon.

$TVAM_{m-n,j}$ le TVAM de la région j , entre les années m et n , en %.

$TURB_{m,j}$ le taux d'urbanisation de la région j , à la date m , en %.

ε_i le terme d'erreur résumant les informations non introduites dans le modèle.

L'apport de ces modèles à l'explication statistique (*multiple R²*) varie de +2 à +4 points par rapport aux modèles précédents, malgré l'ajout de 3 variables, dont deux de niveaux régional (tableau 4.1.6). Ils restent globalement très significatifs.

Tableau 4.1.6. Significativité des modèles « territoriaux »

Période	Part de variance exprimée (<i>Multiple R²</i> , en %)	Significativité (<i>p-value</i>)	Nombre d'observations
1959-1970	12.2	< 2.2e-16	1121
1970-1979	7.3	< 2.2e-16	1363
1979-1989	3.8	7.99e-11	1581
1989-2002	13.8	< 2.2e-16	1804
2002-2010	12.9	< 2.2e-16	1804

Source : DARIUS, 2014.

Certains coefficients estimés par les modèles territoriaux présentent des résultats attendus : le statut de capitale est confirmé dans sa covariation positive avec la croissance ; une meilleure accessibilité ferroviaire et une localisation sur un bassin charbonnier sont associées à une croissance plus faible, tout choses égales par ailleurs, et une croissance plus forte caractérise les villes situées à proximité de ressources pétrolières et/ou gazières ; enfin, les villes des régions les plus urbanisées montrent une tendance à la croissance plus faible entre 1979 et 2010 (tableau 4.1.7).

Tableau 4.1.7. Coefficients estimés par les modèles « territoriaux »

Période	Intercept	CAP	RAIL	AERO	CHAR	GAS	TVAM _i	TURB _i
1959-1970	1.95 ***	0.91 ***	0.25	1.04 ***	-0.46 ***	-0.11	0.00	-0.003
1970-1979	1.81 ***	-0.03	-0.04	1.51 ***	-0.23 .	0.03	-0.05	-0.003
1979-1989	2.03 ***	-0.04	-0.32 **	0.62 ***	-0.10	0.17 .	-0.09 *	-0.006 *
1989-2002	0.73 ***	0.64 ***	-0.14 .	-0.50 ***	-0.12	0.88 ***	-0.14 ***	-0.015 ***
2002-2010	0.42 ***	0.77 ***	-0.23 **	-0.02	-0.38 ***	0.59 ***	-0.15 ***	-0.008 ***

Source : DARIUS, 2014. Italique : modèle non-significatif. Gras : coefficients significatifs :
 “***” = avec un taux d’erreur < 0.1%. “**” = taux d’erreur < 1%. “*” = < 5%. “.” = < 10%.

En revanche, l’effet significatif de la variable aéroportuaire est contre-intuitif entre 1989 et 2002 : les villes dotées d’un aéroport afficheraient une croissance amputée d’un demi-point en pourcentage, toutes choses étant égales par ailleurs. Nous savons certes que les années 1990 représentent une période de transition pour les villes post-soviétiques durant laquelle les facteurs « normaux » de la croissance démographique peuvent apparaître perturbés. Toutefois, il semble plus probable de considérer cette inversion de signe comme un effet statistique lié au mauvais ajustement du modèle, et l’étude des résidus nous sera d’une importance particulière pour ce modèle. Enfin, il est frappant de constater qu’une différence d’un point de croissance démographique régionale se traduit par une différence négative de 0.1 point de croissance dans la ville entre 1979 et 2010. Encore une fois, il est difficile de comprendre cette relation sans prendre en compte la répartition des résidus. Cette analyse sera développée après l’étude des modèles fonctionnels.

Les modèles « fonctionnels » sont de la forme :

$$TVAM_{m-n,i,j} = a_0 + b_1 CAP_i + b_2 MONO_i + b_3 RAIL_i + b_4 AERO_i + b_5 CHAR_i + b_6 GAS_i + b_7 TVAM_{m-n,j} + b_8 TURB_{m,j} + \varepsilon_i$$

avec : TVAM_{m-n,i,j} le TVAM de la ville i, dans la région j, entre les années m et n, en %.
 CAP_i prenant la valeur 1 si la ville i est capitale, 0 sinon.
 MONO_i valant 1 si la ville i est spécialisée dans une industrie unique, 0 sinon.
 RAIL_i valant 1 si la ville i est située à moins de 10 km d’un tronçon ferré, 0 sinon.
 AERO_i prenant la valeur 1 si la ville i possède un aéroport, 0 sinon.
 CHAR_i prenant la valeur 1 si la ville i est située sur un bassin charbonnier, 0 sinon.
 GAS_i prenant la valeur 1 si la ville i est située sur un bassin d’hydrocarbures, 0 sinon.
 TVAM_{m-n,j} le TVAM de la région j, entre les années m et n, en %.
 TURB_{m,j} le taux d’urbanisation de la région j, à la date m, en %.
 ε_i le terme d’erreur résumant les informations non introduites dans le modèle.

Appliqués à plusieurs centaines de villes russes, ces modèles significatifs captent une part stable de la variance des taux de croissance de la population des villes entre 1959 et 2010 : autour de 10% (tableau 4.1.8).

Tableau 4.1.8. Significativité des modèles « fonctionnels »

Période	Part de variance exprimée (<i>Multiple R</i> ² , en %)	Significativité (<i>p-value</i>)	Nombre d'observations
1959-1970	10.9	9.56e-13	637
1970-1979	10.9	1.05e-14	718
1979-1989	12.3	< 2.2e-16	754
1989-2002	9.7	4.58e-14	786
2002-2010	10.0	1.35e-14	786

Source : DARIUS, 2014.

Par rapport aux modèles précédents, l'ajout de la variable « mono-industrie » permet de révéler un nouvel effet probable de cycle de diffusion d'innovations entre la période soviétique et la période post-soviétique. En effet, le coefficient associé à cette variable passe d'une valeur positive à une valeur négative, indiquant un renversement de tendance pour les villes ultraspecialisées entre 1989 et 2002 (tableau 4.1.9). De plus, avec l'ajout de cette variable et la restriction du périmètre géographique, les variables liées à la ressource charbonnière et à l'urbanisation régionale cessent de jouer un impact statistique significatif. En revanche, la croissance démographique régionale est ici associée à un sens de relation attendu entre 2002 et 2010, puisque qu'une différence d'un point de croissance régionale est associée à une différence positive de 0.1 point à l'échelle de la ville, toutes choses égales par ailleurs. On retrouve ici aussi l'« anomalie » liée à l'accessibilité aéroportuaire en 1989 et 2002, et une nouvelle relation contre-intuitive entre statut administratif et croissance urbaine entre 1970 et 1989 : les coefficients sont alors significativement négatifs. On peut faire l'hypothèse que cet effet est désormais pris en charge par la présence aéroportuaire plus corrélée avec le statut administratif en Russie qu'en ex-URSS, où les capitales régionales sont moins systématiquement dotées d'un aéroport.

Tableau 4.1.9. Coefficients estimés par les modèles « fonctionnels »

Période	Intercept	CAP	MONO	RAIL	AERO	CHAR	GAS	TVAM _i	TURB _i
1959-1970	0.96 **	0.53	-0.10	0.38	1.32 ***	-0.19	0.03	0.09	0.006
1970-1979	0.80 .	-0.92 *	0.69 **	-0.06	2.37 ***	0.26	0.25	-0.02	0.008
1979-1989	1.03 ***	-0.71 **	0.66 ***	-0.31 *	1.42 ***	0.07	0.25 *	-0.03	0.002
1989-2002	-0.64 **	0.85 ***	-0.04	0.16	-0.47 **	0.04	0.79 ***	0.01	0.000
2002-2010	0.77 ***	0.40 **	-0.24 **	-0.01	0.31 *	-0.03	0.39 ***	0.09 *	0.002

Source : DARIUS, 2014. Italique : modèle non-significatif. Gras : coefficients significatifs :
 “***” = avec un taux d’erreur < 0.1%. “**” = taux d’erreur < 1%. “*” = < 5%. “.” = < 10%.

Pour résumer l’apport de ces modèles à l’explication statistique de la croissance urbaine dans l’espace post-soviétique entre 1840 et 2010, on retrouve dans la majorité des modèles les associations attendues entre croissance forte d’une part, et un profil de ville capitale, aéroportuaire dans une région faiblement urbanisée. On retrouve aussi les effets de cycles escomptés, avec l’obsolescence des avantages potentiellement liés à l’accessibilité ferroviaire, à l’exploitation de charbon et à la spécialisation mono-industrielle, remplacés par l’exploitation d’hydrocarbures et l’accessibilité aérienne comme attributs associés à une plus forte croissance. Cependant, l’effet démographique régional est contradictoire avec l’intuition que l’on peut en avoir dans les modèles territoriaux. Nous nous attachons donc à présent à l’étude des résidus des régressions, afin de tenter de repérer les particularités urbaines qui ne sont pas captées par ces modèles plutôt grossiers.

Bien entendu, nous ne présenterons pas ici l’analyse des résidus des 20 régressions multiples. Tous les éléments permettant de juger de la normalité de distribution de ces résidus et du respect des principes d’application de la méthode sont fournis en Annexe 4.2. Nous faisons le choix de nous concentrer sur cinq d’entre eux, prenant en compte plus de 10% de variance à 5 périodes différentes et répartis de manière équilibrée entre les trois séries, décrite dans le tableau 4.1.10. Ils permettront de comparer les apports et les limites de chaque série de modèles.

Tableau 4.1.10. Modèles sélectionnés pour l'étude des résidus

Période	1856-1897	1926-1939	1959-1970	1989-2002	2002-2010
1. Modèles temporels	R²=0.27	R²=0.10			
2. Modèles territoriaux			R²=0.12	R²=0.14	
3. Modèles fonctionnels					R²=0.10

Les résidus du modèle temporel 1856-1897 ne montrent, comme dans la plupart des modèles, ni homoscedasticité, ni auto-corrélation (cf. Annexe 4.2). La validation des hypothèses concernant leur distribution normale, leur variance constante et leur indépendance justifie le fait que l'on puisse interpréter les résultats des différentes régressions, malgré la faible part de variance prise en compte. De même, ces résidus ne sont pas corrélés linéairement avec la taille des villes ($r = 0.012$). Nous recherchons donc une explication de ces résidus du côté de leur répartition spatiale, en lien avec l'histoire de l'Empire russe lors de cette fin de XIX^e siècle. Les villes croissant plus que prévu en fonction des attributs urbains considérés se situent préférentiellement dans le Sud de l'Empire, autour de la mer Noire (figure 4.1.19). Cette zone correspond à l'enjeu territorial des guerres de Crimée contre l'Empire ottoman (Heller, 1997), et la victoire russe de 1878 pourrait expliquer une croissance plus forte des villes dès lors support du commerce avec le reste de l'Europe. Le centre de gravité géopolitique ayant basculé au Sud de l'Empire, la croissance des villes du Nord, surestimée par le modèle, serait alors moins forte que prévue (Tallinn par exemple).

Figure 4.1.19. Répartition spatiale
des résidus du modèle « temporel » 1856-1897

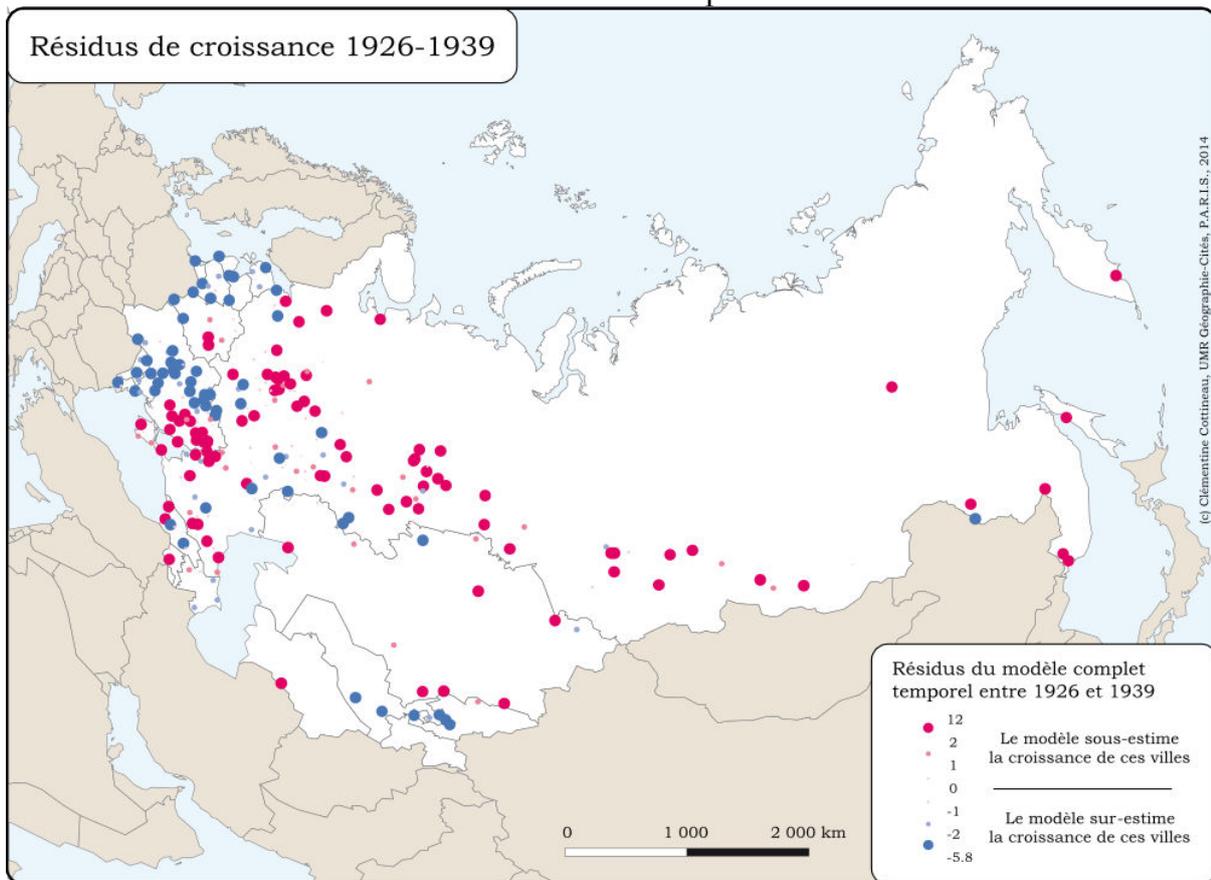


Source : DARIUS, 2014.

Ainsi, alors que nous nous attendions à trouver parmi ces résidus du XIX^e siècle l'effet de la colonisation vers l'Est, celui-ci n'est visible dans la répartition des résidus du modèle qu'entre 1926 et 1939 (figure 4.1.20). Suivant à nouveau une loi normale et étant non corrélés à la taille des villes ($r = 0.021$), ces résidus se distribuent assez systématiquement selon un gradient Est-Ouest : la croissance des villes occidentales de Russie et d'Ukraine est globalement sous-estimée, tandis que les villes de l'Est croissent plus que prévu par le modèle. Celui-ci n'intégrant pas d'éléments relatifs à la politique soviétique de peuplement et d'industrialisation de la Sibirie et de l'Extrême-Orient, il est assez évident de repérer des résidus positifs dans les zones de colonisation de l'Union (Nord, Oural, Sibirie et Extrême-Orient principalement). Les résidus négatifs correspondent dans ce modèle à des villes non-inclues dans le système territorial de l'URSS à l'époque considérée. Ainsi, les villes baltes appartiennent à ce moment à des États indépendants, tandis que les États du Sud de l'Asie centrale sont intégrés progressivement comme républiques socialistes soviétiques au cours des années 1930 (cf. Chapitre 3.2.1). Enfin, l'Ouest de l'Ukraine n'apparaît

pas sur la carte, étant rattaché durant cette période à la Pologne, tandis que la forte surestimation de la démographie urbaine pourrait correspondre aux effets combinés de la guerre civile et de la famine des années 1920 et 1930. Ces différences territoriales suggèrent ainsi que les facteurs de croissance ne sont pas forcément les mêmes dans les différents ensembles territoriaux, ou bien qu'ils ne se manifestent pas avec la même intensité sur la croissance urbaine.

Figure 4.1.20. Répartition spatiale des résidus du modèle « temporel » 1926-1939

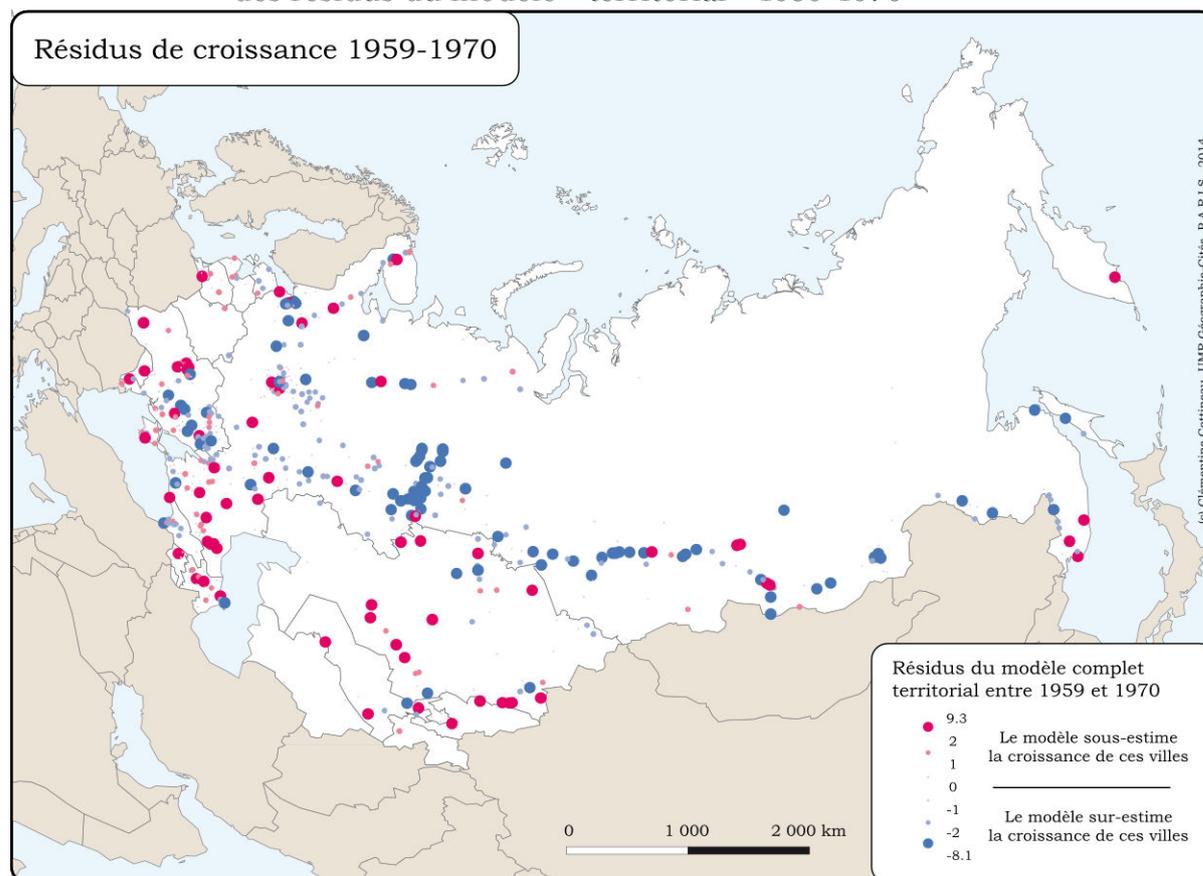


Source : DARIUS, 2014.

Entre 1959 et 1970, alors que commence la période de stabilité de l'urbanisation soviétique, l'ensemble du territoire est intégré à un même régime politique. On ne retrouve plus, dans la répartition des résidus, d'effet de gradient longitudinal. On repère toutefois quelques logiques dans leur distribution spatiale : le groupe des villes de l'Oural, d'industrie ancienne et liée à l'extraction de minerais, croît moins que prévu par le modèle en fonction des attributs administratifs, d'accessibilité, de ressources et de caractéristiques régionales. Cette remarque est aussi vraie dans le Donbass ukrainien et le Kouzbass russe. Nous avons déjà remarqué ces ensembles de villes, fortement croissantes durant la période précédente, et en

ralentissement après 1959 (figure 4.1.21 ; cf. Chapitre 3.2.3.2 et Harris, 1971). À l'inverse, la croissance des villes caucasiennes et centre-asiatiques est globalement sous-estimée par le modèle, de même que certains nœuds de transport sur le tracé du Transsibérien. Ainsi, les variables introduites dans le modèle sont probablement trop grossières et ne capturent pas les différenciations en termes d'accessibilité ou de croissance démographique régionale.

Figure 4.1.21. Répartition spatiale des résidus du modèle « territorial » 1959-1970

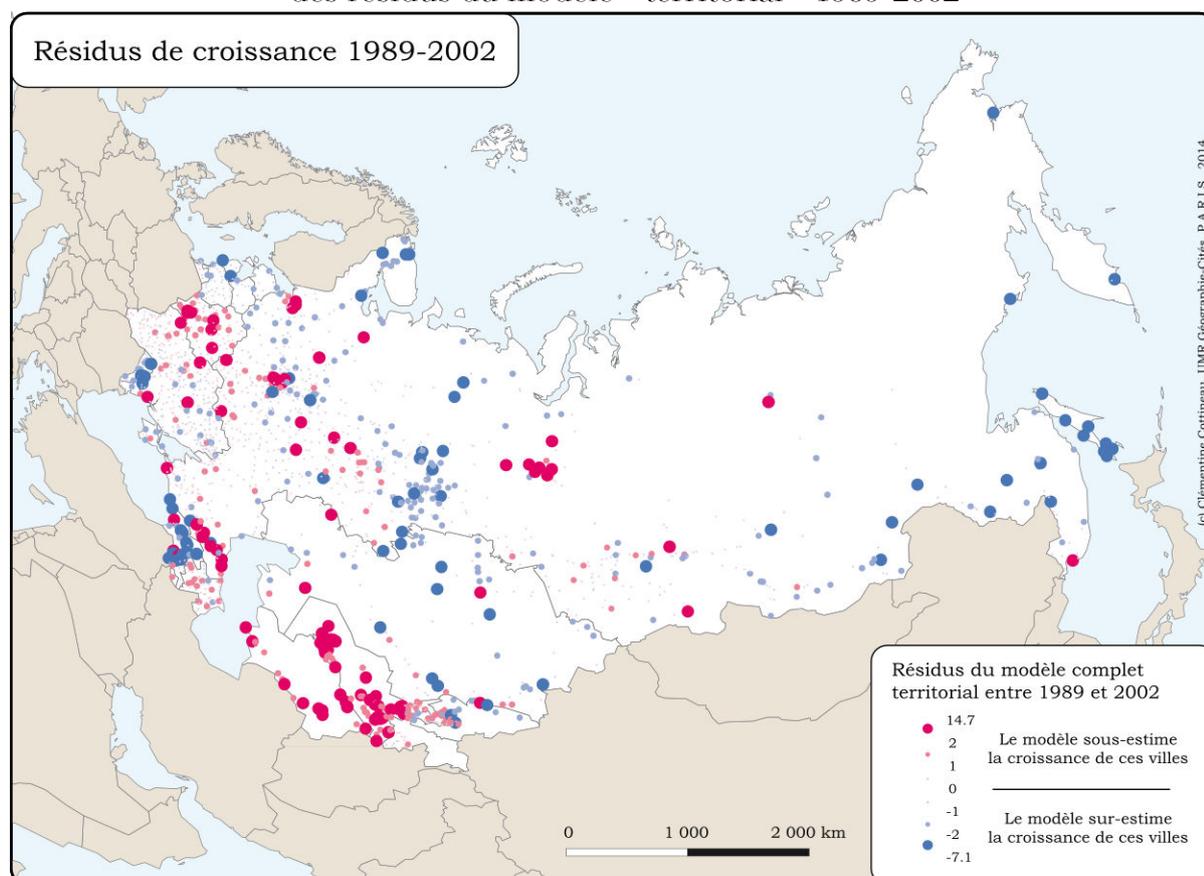


Source : DARIUS, 2014.

Entre 1989 et 2002, malgré l'introduction des variables régionales dans le modèle, les villes turkmènes et ouzbèkes présentent des croissances très mal estimées par le modèle, dont on a vu qu'elles représentaient les trajectoires d'explosion démographique (cf. Chapitre 3.3). La Biélorussie présente aussi des résidus positifs pour toutes ses villes (figure 4.1.22). À l'inverse, la Géorgie et la Moldavie, en crise dans les années 1990, et les pays baltes se caractérisent par des résidus systématiquement négatifs, tandis que les vastes Russie, Kazakhstan et Ukraine offrent une diversité de résidus. Néanmoins, cette variation territoriale des sens de résidus lors de la première période post-soviétique suggère un type d'explication proche de celui mobilisé pour les deux premières analyses de résidus (1856-1897 et 1926-

1939), à savoir que les facteurs introduits dans le modèle ne semblent pas jouer de la même façon pour les différents ensembles territoriaux⁵ et justifient selon nous l'approche multiniveaux qui sera développée dans la section 4.1.2.3. Enfin, le facteur de présence d'hydrocarbures seul ne semble pas à même de reproduire les taux de croissance des villes gazières de Sibérie occidentale. On observe aussi des croissances sous-estimées autour des deux capitales russes, sans que la corrélation des résidus avec la taille ne soit significative ($r = -0.012$).

Figure 4.1.22. Répartition spatiale des résidus du modèle « territorial » 1989-2002



Source : DARIUS, 2014.

En restreignant l'espace d'étude à la Russie pour tenir compte des villes mono-industrielles, nous conservons globalement les propriétés d'hétéroscédasticité, de normalité et d'indépendance des résidus vis-à-vis de la taille des villes (cf. Annexe 4.2). Toutefois, la croissance de la majorité des villes est surestimée par le modèle (figure 4.1.23), qui ne peut reproduire,

⁵ Cette réflexion a notamment été soulevée par la géographe moscovite Natalia Zoubarevitch lors d'une présentation des résultats des modèles de régression à l'école d'été ira.urban de Rostov-sur-le-Don en Mai 2014. Il nous semble intéressant de la vérifier systématiquement ici au moyen des résidus.

avec les hypothèses introduites, le déclin d'une ville comme Vorkouta par exemple, isolée dans le grand Nord, dans l'impasse d'une économie orientée vers l'extraction minière, et marquée par de lourds problèmes de gestion de la vacance de logement (Averkiewa, 2014). Font exception les villes situées à proximité des métropoles dynamiques de Moscou et Saint-Petersbourg, dénotant un probable effet métropolitain, ainsi que les villes déjà mentionnées de Sibirie occidentale, comme Nefte-Ougansk par exemple, dont le nom évoque par ailleurs l'impact particulièrement fort du pétrole (*neft* en russe) dans la croissance de cette ville. La croissance des villes du littoral de la mer Noire et de la république du Daguestan est aussi sous-estimée, suggérant la non prise en compte du facteur touristique dans le premier cas, et de la transition démographique dans le second.

Figure 4.1.23. Répartition spatiale
des résidus du modèle « fonctionnel » 2002-2010



Source : DARIUS, 2014.

Ainsi, pour conclure cette section, nous notons l'intérêt des analyses multivariées pour rendre compte de l'effet combiné de plusieurs attributs urbains sur la croissance des villes au cours du temps. Cet intérêt est double : les hypothèses sur les facteurs potentiels de croissance sont en partie validées, et l'étude des résidus suggère des explications non systématiques (le

contexte géopolitique et territorial de l'évolution urbaine) et surtout la prise en compte de l'effet d'appartenance à différents ensembles territoriaux. C'est à cette exigence qu'est consacrée la partie suivante : en utilisant les techniques de régression multiniveaux, nous tentons de différencier l'effet des mêmes variables en fonction d'appartenances territoriales différentes, particulièrement depuis le démantèlement de l'Union soviétique.

4.1.2.3. Une analyse multiniveaux pour différencier les hypothèses sur la croissance urbaine en fonction des composantes territoriales de l'espace post-soviétique.

Ainsi, la question qui reste ouverte au terme de l'analyse multivariée à l'échelle de la ville concerne l'effet contextuel potentiel des grandes régions de l'ex-Union soviétique. Plus précisément, nous présentons que les facteurs potentiels de croissance urbaine sont similaires dans les grands ensembles géographiques, mais que l'ampleur de leurs effets est de plus en plus variable à mesure que l'espace post-soviétique se désintègre. Nous pensons donc que deux niveaux géographiques sont à l'œuvre pour expliquer l'évolution de la croissance dans les villes de cet espace. Les modèles multiniveaux sont précisément construits pour répondre à ce genre de question. Plus globalement, ils sont conçus pour éviter les erreurs d'interprétation écologique (attribuer à des entités individuelles les corrélations statistiques observées à l'échelle agrégée) et atomiste (attribuer aux entités individuelles les facteurs et contraintes contextuels), en intégrant les deux niveaux dans un même modèle (Courgeau, Baccaini, 1997). Ces modèles ont été développés à partir des années 1980 et 1990 en sciences sociales. Leurs champs d'application privilégiés sont la démographie (Courgeau, Baccaini, 1997), les sciences de l'éducation (Bressoux, 2007 ; 2008 ; Szmargd, Leckie, 2011 ; Boularan, 2015) et la géographie de la santé (par exemple : Vallée, 2009). L'intérêt de leur usage dans notre cas d'étude s'est révélé évident, et s'est appuyé sur le guide technique produit par C. Szmargd et G. Leckie (2011) pour réaliser ces analyses avec le logiciel R.

En réaction à la conclusion issue de l'étude des résidus des modèles de régression multiple, nous cherchons donc à tester l'hypothèse d'un effet macro-régional sur la croissance urbaine. Nous avons en effet observé, surtout depuis 1989, la présence de résidus systématiquement positifs en Asie Centrale. Les modèles multiniveaux nous semblent donc de bons outils pour tester cette hypothèse, en considérant les deux niveaux géographiques de la ville et de la macro-région. Nous distinguons quatre macro-régions au regard de l'histoire et de la répartition de la croissance dans l'espace post-soviétique : l'Asie centrale (Kazakhstan, Ouzbékistan, Turkménistan,

Kirghizistan et Tadjikistan), le Caucase (Géorgie, Arménie et Azerbaïdjan), la Russie et la partie européenne de l'ex-URSS (Estonie, Lettonie, Lituanie, Biélorussie, Ukraine et Moldavie). Les modèles multiniveaux nous permettront donc de considérer l'effet contextuel de l'appartenance macro-régionale de trois façons :

- en considérant un résidu de niveau macro-régional (modèles *null* et 1) ;
- en permettant des ajustements différents des droites de régression multiple selon ces macro-régions (modèles 2) ;
- en incluant dans ces ajustements macro-régionaux les variables de niveau régional utilisées dans les régressions multiples (modèles 3).

Les modèles « *null* » sont de la forme :

$$\text{TVAM}_{m-n,i,j,k} = a_0 + r_{0,k} + \varepsilon_{i,k}$$

avec : $\text{TVAM}_{m-n,i,j,k}$ le TVAM de la ville i , située dans la région j , située dans la macro-région k , entre les années m et n , en %.

$r_{0,k}$ le résidu de la macro-région k résume l'effet de l'appartenance à k sur le TVAM d'une ville.

$\varepsilon_{i,k}$ le résidu de la ville i dans la macro-région k .

Le premier constat tiré de ces modèles est que la prise en compte du second niveau géographique est significative⁶ à toutes les périodes considérées. Ainsi, la part de variance prise en compte par l'appartenance macro-régionale varie de 2 à 56% selon les périodes, mais on confirme ici l'intuition que les comportements de croissance sont de plus en plus auto-corrélés spatialement (tableau 4.1.11). Ainsi, près de la moitié de la différenciation des taux de croissance urbaine entre 2002 et 2010 est attribuable à la localisation de la ville dans une des quatre grandes régions. Il est difficile de tenter une conclusion sur la relation entre cette différenciation macro-régionale et la désintégration de l'Union soviétique car bien que l'auto-corrélation soit plus forte aujourd'hui, elle augmente continument depuis les années 1970.

Tableau 4.1.11. Part de la variance attribuée à la différence d'appartenance macro-régionale

Périodes	1959-1970	1970-1979	1979-1989	1989-2002	2002-2010
% variance totale	7.82	2.37	6.56	13.52	45.86

⁶ Cette conclusion est liée aux tests significatifs de rapport de vraisemblances (*likelihood ratio test*) sur les valeurs de vraisemblance (*log likelihood*) des modèles linéaires à un et deux niveaux (cf. Szmargd, Leckie, 2011, pp.8-9).

Dans ce type de modèles, nous nous intéressons donc aux résidus de niveau 2, c'est-à-dire macro-régionaux (terme $r_{0,k}$ dans l'équation), après avoir vérifié à chaque fois que la distribution des résidus de niveau 1 (la ville) est normale. De fait, les distributions des résidus de niveau 1 sont toutes disponibles en Annexe 4.3, et globalement normales pour tous les modèles présentés.

Dans ces modèles « *null* » sans variable explicative, on retrouve la baisse globale de la croissance urbaine observée dans le Chapitre 3.1 avec les valeurs successives de la constante de la régression (terme a_0 dans l'expression du modèle, tableau 4.1.12).

Tableau 4.1.12. Résidus macro-régionaux des modèles « *null* »

Périodes	1959-1970	1970-1979	1979-1989	1989-2002	2002-2010
Intercept a_0	2.665	1.965	1.667	0.034	0.032
Asie Centrale	0.643	0.350	0.469	0.749	1.175
Caucase	0.151	0.002	0.102	-0.091	0.410
« Europe »	-0.056	0.022	-0.127	-0.435	-0.801
Russie	-0.738	-0.374	-0.443	-0.222	-0.784

Source : DARIUS, 2014.

On confirme aussi que les villes d'Asie centrale ont tendance, par rapport à cette baisse du taux de croissance annuel moyen, à croître toute choses égales par ailleurs de plus de 0.3 points de croissance que les villes des autres ensembles territoriaux depuis cinquante ans, et jusqu'à 1.2 points de plus entre 2002 et 2010. Nous avons déjà évoqué cette croissance démographique particulière de l'Asie centrale actuelle, en lien avec la transition démographique et urbaine non achevée dans cette macro-région (cf. Chapitre 3). Sa différence est ici quantifiée. De même, la Russie est la zone dans laquelle les villes croissent systématiquement moins depuis cinquante ans, entre -0.2 points (1989-2002) et -0.8 points depuis 2002. Cela en fait un marqueur privilégié de l'importance de la décroissance urbaine dans ce pays ces vingt dernières années. Enfin, le désavantage de croissance associé à la localisation en Europe est récent (mais de plus en plus marqué depuis les années 1980) ; tandis que les taux de croissance urbaine dans la partie caucasienne sont assez proches de ceux de l'ensemble de l'ex-URSS, et plutôt plus élevés entre 2002 et 2010, alors que le résidu est négatif dans les années 1990, marquées par la crise géorgienne notamment.

Nous pouvons donc explorer avec ce modèle vide l'effet macro-régional sur la croissance urbaine. Toutefois, son pouvoir explicatif est limité et ne permet pas de répondre à notre question, qui est de savoir si les

facteurs urbains identifiés dans la section précédente jouent le même rôle dans tous les espaces de l'ex-Union soviétique. Afin d'avancer vers le modèle nous permettant de répondre à cette question, nous introduisons dans les modèles « 1 » les attributs urbains précédemment analysés au niveau de la ville. En effet « *l'objectif d'une analyse multi-niveaux est d'étudier des processus individuels qui prennent place dans un espace différencié* » (Courgeau, Baccaini, 1997, p.834), dans notre cas : les processus de croissance des villes en fonction de leurs attributs dans des macro-régions différentes.

Ces modèles « 1 » sont de la forme :

$$\text{TVAM}_{m-n,i,j,k} = a_0 + b_1 \text{CAP}_{i,k} + b_2 \text{RAIL}_{i,k} + b_3 \text{AERO}_{i,k} + b_4 \text{CHAR}_{i,k} + b_5 \text{GAS}_{i,k} + r_{0,k} + \varepsilon_{i,k}$$

avec : $\text{TVAM}_{m-n,i,j}$ le TVAM de la ville i , située dans la région j , située dans la macro-région k , entre les années m et n , en %.

CAP_i prenant la valeur 1 si la ville i est capitale, 0 sinon.

RAIL_i valant 1 si la ville i est située à moins de 10 km d'un tronçon ferré, 0 sinon.

AERO_i prenant la valeur 1 si la ville i possède un aéroport, 0 sinon.

CHAR_i prenant la valeur 1 si la ville i est située sur un bassin charbonnier, 0 sinon.

GAS_i prenant la valeur 1 si la ville i est située sur un bassin d'hydrocarbures, 0 sinon.

$r_{0,k}$ le résidu de la macro-région k résume l'effet de l'appartenance à k sur le TVAM d'une ville.

$\varepsilon_{i,k}$ le résidu de la ville i dans la macro-région k .

Ainsi, dans ces modèles, on cherche à évaluer les résidus macro-régionaux après élimination des variables explicatives associées au niveau de la ville. Techniquement, cela revient à ajuster quatre modèles de régression (un par macro-région), en gardant pour chacun d'eux la même valeur de pente. Ces modèles sont évalués en fonction de la réduction de variance par rapport aux modèles vides précédents :

« Dans les modèles multiniveaux, il y a plusieurs composants de la variance et [...] il faut donc calculer autant de coefficients de détermination qu'il y a de composants de la variance. Du fait même que le modèle multiniveaux prend en compte la structure hiérarchisée des données et suppose par conséquent que différents processus sont générés aux différents niveaux de l'analyse, on cherche à établir le pouvoir explicatif du modèle à chacun des niveaux étudiés.

On part alors du modèle vide qui donne les valeurs de base à partir desquelles on va examiner la réduction de la variance résiduelle au fur et à mesure que de nouvelles variables sont introduites dans le modèle. L'écart entre la variance estimée par un modèle plus complet, divisé par la variance estimée par le modèle vide donne la part de variance expliquée. » (Bressoux, 2008, p.313)

La prise en compte des variables d'attributs au niveau des villes permet d'améliorer le pouvoir explicatif du modèle de 10% environ sur les cinq périodes étudiées (tableau 4.1.13). De plus, ces modèles permettent de réduire à la marge la part de variance résiduelle associée au niveau macro-régional.

Tableau 4.1.13. Part de la variance entre macro-régions réduite par les modèles « 1 » et pseudo-R²

Périodes	1959-1970	1970-1979	1979-1989	1989-2002	2002-2010
Part de la variance entre macro-régions	4.72 %	1.85 %	5.88 %	10.82 %	42.24 %
Réduction de variance résiduelle (pseudo-R ²)	-14.1 %	-7.5 %	-3.3 %	-10.7 %	-13.0 %

On retrouve avec ces modèles des valeurs estimées de coefficients similaires aux modèles à un niveau (tableau 4.1.14), reflétant les associations positives pour une ville entre une croissance forte et le fait d'être capitale, de posséder un aéroport et d'être située sur une zone de gisement d'hydrocarbures. Inversement, les facteurs potentiels associés aux cycles d'innovations obsolètes (accessibilité ferroviaire et bassins charbonniers) correspondent à des villes à la croissance plus faible. Ces covariations ne sont pas continument significatives mais restent relativement cohérentes sur l'intervalle de temps étudié.

Tableau 4.1.14. Estimation des coefficients de variables de niveau 1 dans les modèles « 1 »

Périodes	1959-1970	1970-1979	1979-1989	1989-2002	2002-2010
(Intercept)	2.12	1.76	1.79	-0.13	0.17
CAP = 1	0.71	-0.15	-0.22	0.55	0.33
RAIL = 1	0.25	-0.04	-0.28	-0.10	-0.03
AIRPORT = 1	1.07	1.55	0.68	-0.50	0.17
COAL = 1	-0.62	-0.32	-0.12	-0.09	-0.18
GAS = 1	0.11	0.18	0.25	0.87	0.40

Source : DARIUS, 2014. En gras : estimation significative.

L'apport de la modélisation multiniveaux consiste donc dans l'observation des résidus de niveau macro-régional, présentés dans le tableau 4.1.15⁷.

⁷ Pour la suite, les résidus régionaux sont reportés sur la figure 4.1.24.

Tableau 4.1.15. Résidus macro-régionaux des modèles « 1 »

Périodes	1959-1970	1970-1979	1979-1989	1989-2002	2002-2010
Intercept a_0	2.12	1.76	1.79	-0.13	0.17
Asie Centrale	0.277	0.160	0.410	0.649	1.098
Caucase	0.064	0.000	0.061	-0.296	0.281
« Europe »	0.239	0.181	-0.454	-0.164	-0.623
Russie	-0.580	-0.342	-0.784	-0.189	-0.757

Source : DARIUS, 2014

Ces résidus reflètent la même différenciation territoriale de la croissance, avec les villes centre-asiatiques plus systématiquement croissantes, les villes russes croissant moins fortement, et les villes européennes correspondant à des résidus de plus en plus faibles et négatifs depuis les années 1980. Ces modèles « à pente fixe » confirment donc les résidus des modèles précédents, et ne permettent pas de répondre à la question de savoir si l'effet des facteurs potentiels jouent de manière différente dans les quatre ensembles territoriaux. Pour cela, il faut des modèles autorisant la variation des pentes des régressions en fonction des macro-régions. Ce sont les modèles « 2 », qui conservent le même ensemble de variables explicatives que les modèles « 1 », introduites au niveau de la ville et de la macro-région.

Les modèles « 2 » sont de la forme :

$$TVAM_{m-n,i,j,k} = a_0 + b_1 CAP_{i,k} + b_2 RAIL_{i,k} + b_3 AERO_{i,k} + b_4 CHAR_{i,k} + b_5 GAS_{i,k} + r_{1,k} CAP_{i,k} + r_{2,k} RAIL_{i,k} + r_{3,k} AERO_{i,k} + r_{4,k} CHAR_{i,k} + r_{5,k} GAS_{i,j} + r_{0,k} + \varepsilon_{i,k}$$

avec : $TVAM_{m-n,i,j}$ le TVAM de la ville i , située dans la région j , située dans la macro-région k , entre les années m et n , en %.

CAP_i prenant la valeur 1 si la ville i est capitale, 0 sinon.

$RAIL_i$ valant 1 si la ville i est située à moins de 10 km d'un tronçon ferré, 0 sinon.

$AERO_i$ prenant la valeur 1 si la ville i possède un aéroport, 0 sinon.

$CHAR_i$ prenant la valeur 1 si la ville i est située sur un bassin charbonnier, 0 sinon.

GAS_i prenant la valeur 1 si la ville i est située sur un bassin d'hydrocarbures, 0 sinon.

$r_{0,k}$ le résidu de la macro-région k résume l'effet de l'appartenance à k sur le TVAM d'une ville.

$\varepsilon_{i,k}$ le résidu de la ville i dans la macro-région k .

Contre toute attente, ces modèles plus complets rendent compte de moins de variance résiduelle que les modèles « 1 » par rapport aux modèles vides, et la part de variance attribuable aux différences entre macro-régions y

est plus forte (tableau 4.1.16). Ainsi, en différenciant les effets régionaux en fonction d'effets différenciés des variables du niveau ville, les résidus attribuables en propre aux macro-régions en termes de croissance urbaine augmentent.

Tableau 4.1.16. Part de la variance entre macro-régions réduite par les modèles « 2 » et pseudo-R²

Périodes	1959-1970	1970-1979	1979-1989	1989-2002	2002-2010
Part de la variance entre macro-régions	25.60 %	2.46 %	9.46 %	13.72 %	44.70 %
Réduction de variance résiduelle (pseudo-R ²)	+ 7.3 %	-10.2 %	-2.7 %	-9.9 %	-10.3 %

Le tableau 4.1.17 permet d'étudier la variation des effets des facteurs potentiels de croissance en fonction des différents ensembles territoriaux macro-régionaux. Nous ne commentons que les estimations mises en exergue par la couleur orange, qui sont celles pour lesquelles la variation est la plus marquée. Dans les autres cas, la variable explicative semble jouer de manière similaire dans les quatre entités de niveau macro-géographique. Ainsi, entre **1959 et 1970**, l'Asie centrale montre une relation statistique particulière vis-à-vis de l'accessibilité au réseau ferré, puisqu'une ville centre-asiatique proche d'un tronçon ferré croît, toutes choses égales par ailleurs, de près d'1.4 point de croissance en moins qu'une ville centre-asiatique loin des rails. On peut expliquer cette étrangeté par le caractère statique de notre variable « proximité au rail » durant cette période de densification et d'électrification du réseau ferré dans le Sud de l'URSS (cf. Chapitre 3). Ce résidu n'est donc pas forcément pertinent à analyser.

Entre **1970 et 1979**, les différences les plus marquées sont entre Russie et partie européenne de l'URSS : dans ces deux ensembles, l'effet statistique de l'accessibilité ferroviaire et des ressources naturelles joue en sens inverse. En l'occurrence, les villes russes connaissent une croissance plus fortement associée à la présence de ressources qu'ailleurs (toutes choses égales par ailleurs), tandis que les infrastructures de transports semblent être plus systématiquement associées à des facteurs de croissance et les ressources naturelles à des facteurs de déclin urbain côté européen. On peut tenter de lier cette observation à des structures économiques que l'on sait différentes dans ces deux ensembles : la Russie étant un pays fortement dépendant de l'exportation de ressources naturelles, et la partie européenne plus industrielle et plus densément urbanisée (maillée par les réseaux de transports).

Dans les **années 1980**, la même inversion de sens persiste entre partie européenne et Russie dans l'accessibilité ferroviaire. Elle se double de l'effet « capitale » qui joue en sens contraire entre l'Europe (où la croissance des capitales est plus forte) et la Russie (où les capitales, toutes choses égales par ailleurs, ont une croissance amputée de 0.8 points). De même, alors que la présence d'un aéroport est associée à une croissance plus forte en Russie, cet attribut urbain a l'effet inverse côté européen. Cette différence de l'importance de l'aérien peut s'expliquer par la plus grande proximité des villes en Europe soviétique, alors que les connexions aériennes sont plus importantes pour mettre en relation les villes de l'immense archipel urbain russe. Enfin, durant cette période, la présence de charbon est associée à une croissance plus forte uniquement en Asie centrale, traduisant probablement le retard de développement de l'économie de cette région, plus spécialisée par le régime soviétique dans les activités à basse valeur ajoutée (Vichnevski, 1995).

La période intercensitaire consécutive à la chute de l'URSS (1989-2002) est celle pour laquelle les résidus des modèles à un niveau commencent à révéler des concentrations territoriales. Ces résidus macro-régionaux par facteur montrent la spécificité des villes capitales caucasiennes, pour lesquelles le statut administratif est associé à une croissance moindre. De même, les villes russes se singularisent par l'effet positif associé à la présence du rail et du charbon, alors que ces facteurs sont négatifs pour les autres ensembles.

Enfin, pendant la **dernière décennie**, ce sont les villes d'Asie centrale qui affichent un effet contraire des facteurs de croissance par rapport au reste de l'espace post-soviétique. En plus de croître toutes choses égales par ailleurs beaucoup plus rapidement (voire d'avoir une croissance positive, tout simplement), le charbon y reste un facteur d'effet nul ou légèrement positif (et non négatif comme dans les trois autres ensembles), tandis que l'accessibilité des infrastructures de transports, censée jouer un rôle positif, est associée à une croissance plus faible en Asie centrale. Cette opposition de l'effet des facteurs entre Asie centrale et le reste de l'espace post-soviétique confirme la spécificité des villes de cet ensemble intégré plus tardivement à l'Empire russe, maintenu dans des spécialisations économiques anciennes et au semis urbain très hétérogène (cf. Chapitre 2). La forte croissance urbaine persistant en ce début de XXI^e siècle nous semble liée au retard de la transition démographique et urbaine par rapport aux autres macro-régions, et nous invite à inclure dans le modèle des *proxy* de ces phénomènes, représentés par les taux de croissance régionaux et le taux d'urbanisation.

Tableau 4.1.17. Résidus régionaux et coefficients des modèles « 2 »
estimés au niveau macro-régional

1959-1970	Estimate	Asie centrale	Caucase	Europe	Russie
(Intercept)	2.38	3.761	1.928	2.488	1.328
CAP = 1	0.74	0.918	0.685	0.756	0.609
RAIL = 1	<i>0.03</i>	-1.399	0.640	0.512	0.373
AIRPORT = 1	0.89	1.066	0.727	0.458	1.317
COAL = 1	-0.74	-0.615	-0.901	-1.231	-0.209
GAS = 1	0.53	0.626	0.585	0.049	0.049
1970-1979	Estimate	Asie centrale	Caucase	Europe	Russie
(Intercept)	2.38	3.761	1.928	2.488	1.328
CAP = 1	1.67	1.732	1.650	2.024	1.282
RAIL = 1	<i>0.21</i>	0.385	0.141	1.254	-0.953
AIRPORT = 1	<i>0.15</i>	0.186	0.140	0.347	-0.063
COAL = 1	<i>1.06</i>	0.868	1.127	-0.058	2.293
GAS = 1	<i>-0.47</i>	-0.577	-0.435	-1.085	0.204
1979-1989	Estimate	Asie centrale	Caucase	Europe	Russie
(Intercept)	1.77	2.326	1.817	1.735	1.222
CAP = 1	<i>0.03</i>	0.069	0.147	0.706	-0.814
RAIL = 1	<i>-0.22</i>	-0.458	-0.202	0.018	-0.246
AIRPORT = 1	<i>0.29</i>	0.066	0.152	-0.391	1.327
COAL = 1	<i>0.04</i>	0.618	-0.010	-0.559	0.115
GAS = 1	0.28	0.394	0.278	0.220	0.220
1989-2002	Estimate	Asie centrale	Caucase	Europe	Russie
(Intercept)	<i>-0.13</i>	0.605	-0.379	-0.300	-0.440
CAP = 1	<i>0.51</i>	0.853	-0.177	0.595	0.768
RAIL = 1	<i>-0.18</i>	-0.320	-0.407	-0.066	0.076
AIRPORT = 1	-0.52	-0.834	-0.221	-0.499	-0.517
COAL = 1	<i>-0.30</i>	-0.605	-0.473	-0.155	0.017
GAS = 1	1.10	1.193	1.594	0.675	0.675
2002-2010	Estimate	Asie centrale	Caucase	Europe	Russie
(Intercept)	<i>0.16</i>	1.313	0.430	-0.466	-0.649
CAP = 1	<i>0.32</i>	0.639	0.084	0.053	0.488
RAIL = 1	<i>0.00</i>	-0.113	0.031	0.080	0.009
AIRPORT = 1	<i>0.06</i>	-0.398	0.079	0.348	0.223
COAL = 1	<i>-0.20</i>	0.006	-0.368	-0.370	-0.057
GAS = 1	0.43	0.531	0.476	0.344	0.344

Source : DARIUS, 2014. Gras : estimation significative. Framboise : coefficient positif.
Menthe : coefficient négatif. Orange, valeur de coefficient interprétée dans le texte.
Les chiffres par macro-région k correspondent à l'addition des coefficients b et r_k pour le
facteur considéré.

Ces derniers modèles les plus complets, « 3 », sont de la forme :

$$\text{TVAM}_{m-n,i,j,k} = a_0 + b_1 \text{CAP}_{i,k} + b_2 \text{AERO}_{i,k} + b_3 \text{CHAR}_{i,k} + b_4 \text{GAS}_{i,k} + b_5 \text{TVAM}_{m-n,j,k} + b_6 \text{TURB}_{m,j,k} + r_{1,k} \text{CAP}_{i,k} + r_{2,k} \text{AERO}_{i,k} + r_{3,k} \text{CHAR}_{i,k} + r_{4,k} \text{GAS}_{i,j} + r_{5,k} \text{TVAM}_{m-n,j,k} + r_{6,k} \text{TURB}_{m,j,k} + r_{0,k} + \varepsilon_{i,k}$$

avec : $\text{TVAM}_{m-n,i,j}$ le TVAM de la ville i , située dans la région j , située dans la macro-région k , entre les années m et n , en %.

CAP_i prenant la valeur 1 si la ville i est capitale, 0 sinon.

RAIL_i valant 1 si la ville i est située à moins de 10 km d'un tronçon ferré, 0 sinon.

AERO_i prenant la valeur 1 si la ville i possède un aéroport, 0 sinon.

CHAR_i prenant la valeur 1 si la ville i est située sur un bassin charbonnier, 0 sinon.

GAS_i prenant la valeur 1 si la ville i est située sur un bassin d'hydrocarbures, 0 sinon.

$\text{TVAM}_{m-n,j}$ le TVAM de la région j , entre les années m et n , en %.

$\text{TURB}_{m,j}$ le taux d'urbanisation de la région j , à la date m , en %.

$r_{0,k}$ le résidu de la macro-région k résume l'effet de l'appartenance à k sur le TVAM d'une ville.

$\varepsilon_{i,k}$ le résidu de la ville i dans la macro-région k .

Nous avons, par rapport aux modèles « 2 », ajouté l'effet du taux de croissance régionale et du taux d'urbanisation, et évacué la variable relative à la proximité au réseau de chemin de fer, qui n'apparaissait significative à aucune période au niveau de la ville, mais dont nous avons amplement commenté les résidus de niveau macro-régional. Malgré l'enrichissement du modèle et le nombre de degrés de liberté conséquent (36), les modèles « 3 » produisent une variance résiduelle supérieure à celle des modèles vides (tableau 4.1.18), où les résidus de niveau macro-régional représentent une part plus importante que dans les autres modèles (jusqu'à 2/3 entre 2002 et 2010).

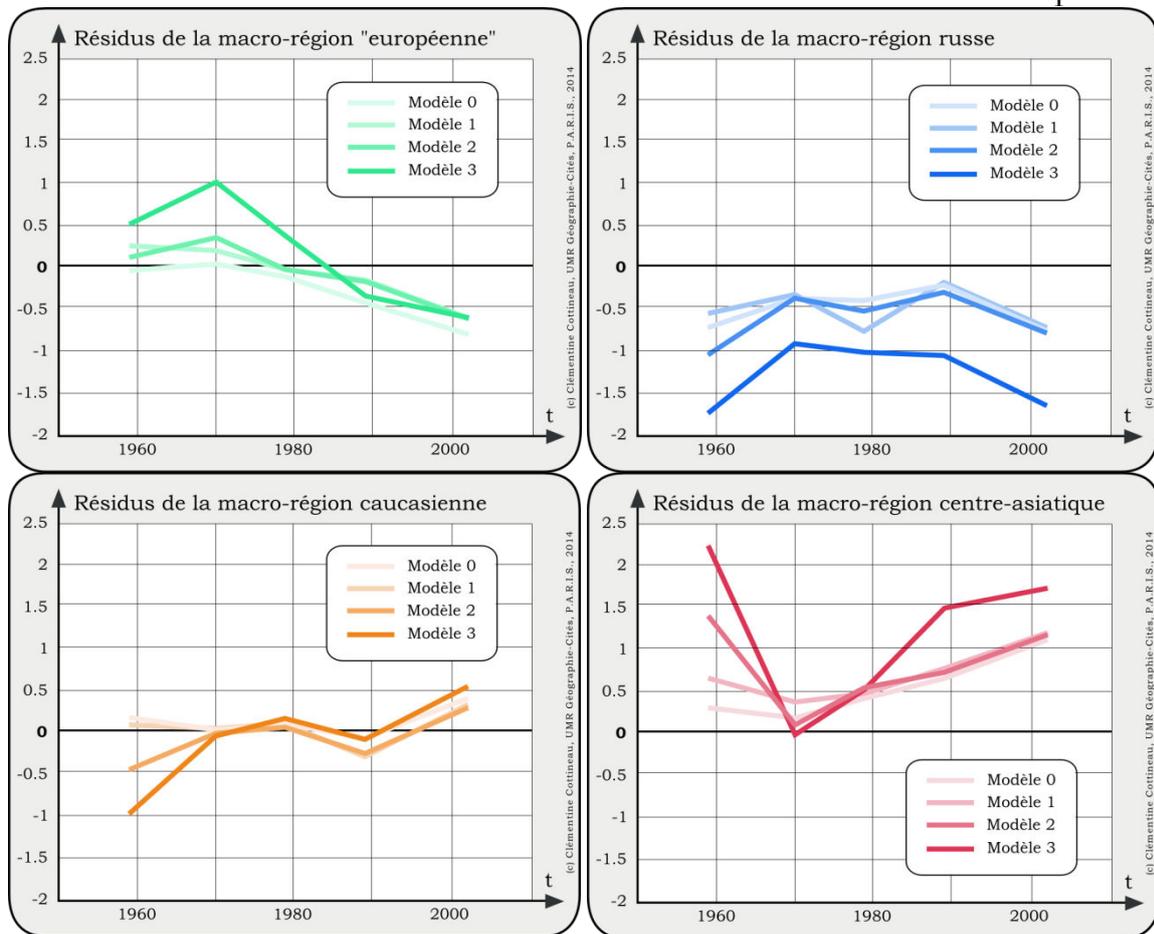
Tableau 4.1.18. Part de la variance entre macro-régions réduite par les modèles « 3 » et pseudo- R^2

Périodes	1959-1970	1970-1979	1979-1989	1989-2002	2002-2010
Part de la variance entre macro-régions	47.81 %	14.71 %	19.50 %	47.70 %	68.89 %
Réduction de variance résiduelle (pseudo- R^2)	+ 48.8 %	+ 2.1 %	+ 7.5 %	+ 40.9 %	+ 52.5 %

Ces résidus de niveau macro-régional montrent que malgré la complexification des modèles de régression, les différences de taux de croissance urbaine attribuables à la seule appartenance macro-régionale s'amplifient (figure 4.1.24). Cela signifie qu'en éliminant l'effet des facteurs

potentiels de croissance, une ville croît toujours plus rapidement en Asie centrale et plus faiblement lorsqu'elle se situe en Russie. En Europe, les années 1980 marquent un tournant au-delà duquel l'appartenance des villes à cette macro-région est synonyme de croissance plus faible d'un demi-point en pourcentage, alors qu'elle était associée à une croissance plus forte dans les années 1960 et 1970. Enfin, les résidus de la macro-région caucasienne sont faibles durant les cinquante années d'observation, alternativement positifs et négatifs.

Figure 4.1.24. Résidus macro-régionaux en fonction des différents modèles multiniveaux au cours du temps



Source : DARIUS, 2014.

Vu que les résidus de niveau macro-régional sont les plus accentués pour ces modèles « 3 », il est d'autant plus intéressant d'étudier les variations de l'effet des facteurs de croissance urbaine potentiels selon les zones (tableau 4.1.19).

Ainsi, on peut noter entre 1959 et 1970 l'association deux à trois fois plus forte en Russie entre la présence d'un aéroport et un taux de croissance élevé, par rapport aux autres parties de l'URSS, dénotant probablement la

dépendance plus forte des villes très distantes à l'aérien, et l'avance de la Russie dans la dotation de cette infrastructure.

De même, entre **1970 et 1979**, la Russie se singularise par une croissance comparativement plus faible (près d'un point de croissance en moins) des villes capitales par rapport aux villes non capitales, toutes choses étant égales par ailleurs.

Cette relation se maintient durant la période suivante (**1979-1989**), et peut correspondre à un processus de diffusion de la croissance vers les villes plus petites durant cette phase de maturation de la transition urbaine dans les régions russes. On retrouve aussi durant cette période l'effet inversé de la présence d'un aéroport dans la partie européenne de l'URSS, la plus densément peuplée et probablement moins dépendante des infrastructures aéroportuaires.

Suite au démantèlement de l'Union soviétique **après 1991**, on note un facteur jouant en sens inverse pour les villes du Caucase, il s'agit de la présence de charbon, associée à des villes relativement plus croissantes dans cette macro-région. Ce résidu représente un artefact statistique dans cette partie de l'ex-URSS qui n'en dispose pas, mais connaît une période de crise, notamment en Géorgie. Enfin, **entre 2002 et 2010**, le seul facteur à jouer en sens contraire concerne une fois encore les aéroports et les villes d'Europe de l'Est.

Nous pouvons donc répondre au terme de cette analyse multiniveaux que le rôle de certains facteurs potentiels de croissance apparaît différencié spatialement : c'est le cas des indicateurs d'accessibilité que sont la proximité au chemin de fer et la présence d'un aéroport, qui caractérisent différemment l'opportunité de l'accessibilité entre les villes au semis lâche de Russie et la partie européenne plus densément urbanisée. De même, l'effet de cycle lié aux ressources, observé dans les modèles de régression standard, est caractérisé spatialement par le fait que les ressources obsolètes dans l'ensemble de l'URSS (le charbon) le sont plus tardivement en Asie centrale qu'ailleurs. Enfin, les processus régionaux de croissance et d'urbanisation n'apparaissent pas jouer différemment dans les quatre ensembles démographiques de l'espace post-soviétique.

Tableau 4.1.19. Résidus régionaux et coefficients des modèles « 3 »
estimés au niveau macro-régional

1959-1970	Estimate	Asie centrale	Caucase	Europe	Russie
(Intercept)	3.09	5.274	2.121	3.598	1.348
CAP = 1	0.95	1.313	0.792	1.036	0.664
AIRPORT = 1	0.57	0.548	0.320	0.312	1.094
COAL = 1	-0.75	-0.893	-0.408	-0.508	-1.207
GAS = 1	0.44	-0.195	0.593	0.652	0.652
TVAM _{m-n,i,k}	-0.10	-0.734	-0.584	-0.304	-0.096
TURB _{m,i,k}	-0.01	-0.650	-0.637	-0.646	-0.631
1970-1979	Estimate	Asie centrale	Caucase	Europe	Russie
(Intercept)	2.15	2.116	2.099	3.166	1.234
CAP = 1	0.19	0.141	0.120	1.427	-0.939
AIRPORT = 1	1.09	0.996	1.113	0.509	1.728
COAL = 1	-0.44	-0.293	-0.424	-0.578	-0.457
GAS = 1	0.21	0.186	0.208	0.268	0.268
TVAM _{m-n,i,k}	-0.05	-0.066	-0.065	-0.107	-0.046
TURB _{m,i,k}	-0.01	-0.026	-0.025	-0.034	-0.029
1979-1989	Estimate	Asie centrale	Caucase	Europe	Russie
(Intercept)	2.23	2.751	2.387	2.576	1.214
CAP = 1	0.01	-0.017	0.163	0.772	-0.878
AIRPORT = 1	0.28	0.846	0.249	-0.314	0.337
COAL = 1	0.06	0.118	0.049	-0.034	0.103
GAS = 1	0.20	-0.034	0.177	0.359	0.359
TVAM _{m-n,i,k}	-0.14	-0.373	-0.392	-0.304	-0.142
TURB _{m,i,k}	-0.01	-0.240	-0.241	-0.245	-0.240
1989-2002	Estimate	Asie centrale	Caucase	Europe	Russie
(Intercept)	0.79	2.296	0.691	0.452	-0.260
CAP = 1	0.49	0.498	0.219	0.406	0.840
AIRPORT = 1	-0.40	-0.905	-0.367	-0.285	-0.043
COAL = 1	-0.30	-0.171	0.256	-0.730	-0.575
GAS = 1	0.95	0.892	0.668	1.133	1.133
TVAM _{m-n,i,k}	-0.19	-0.248	-0.529	-0.374	-0.191
TURB _{m,i,k}	-0.02	-0.075	-0.081	-0.075	-0.059
2002-2010	Estimate	Asie centrale	Caucase	Europe	Russie
(Intercept)	0.84	2.569	1.369	0.239	-0.807
CAP = 1	0.38	0.547	0.404	0.131	0.453
AIRPORT = 1	0.03	0.221	0.058	-0.235	0.072
COAL = 1	-0.09	-0.032	-0.083	-0.168	-0.089
GAS = 1	0.34	0.171	0.290	0.473	0.473
TVAM _{m-n,i,k}	-0.08	-0.245	-0.293	-0.214	-0.078
TURB _{m,i,k}	-0.01	-0.178	-0.182	-0.180	-0.166

Source : DARIUS, 2014. Gras : estimation significative. Framboise : coefficient positif.
Menthe : coefficient négatif. Orange, valeur de coefficient interprétée dans le texte.
Les chiffres par macro-région k correspondent à l'addition des coefficients b et r_k pour le
facteur considéré.

4.1.3. Des corrélations aux hypothèses sur les causes de la croissance urbaine

Pour conclure cette partie de la thèse dédiée à l'analyse spatio-temporelle des observations empiriques sur les croissance des villes de l'ex-URSS avec la base de données DARIUS, nous synthétisons les informations tirées des différents modèles et suggérons des hypothèses sur les processus permettant d'expliquer les associations repérées statistiquement.

4.1.3.1. Le primat des interactions économiques

Nous avons évoqué à plusieurs reprises l'influence des processus économiques, qui malheureusement sont mal appréhendés par les statistiques disponibles à l'échelon de la ville. Ainsi, l'évolution sectorielle de l'économie dans son ensemble et la succession de cycles d'innovations sont invoqués pour expliquer les associations successives entre attributs de villes et dynamique de croissance. Nous faisons donc l'hypothèse que si les modèles de régression statistiques appliqués aux données disponibles rendent compte d'une si faible part de la différenciation des villes en termes de taux de croissance, c'est qu'ils ne capturent pas les effets des interactions économiques entre villes au cours du temps. Depuis 1991 notamment, le rôle des liens financiers entre villes par le biais des investissements étrangers et des compagnies multinationales semble évident pour parler de différenciation spatiale et temporelle de la croissance urbaine (Sýkora, Bouzarovski, 2012), entre les portes d'entrée de ces investissements (les villes capitales, pétrolières et gazières) et les autres (villes industrielles par exemple) :

« Post-communist economic development has been marked by both economic decline and growth. City economies were integrated into the global economy in a highly uneven manner. Capital cities ranked well thanks to their role as national command-and-control centres and gateways into national economies. Successful medium-sized regional centres provided cheaper and well-skilled labour for routine production within the global assembly line. At the same time, peripheries were left with a mixture of hope and depression. » (Sýkora, Bouzarovski, 2012, p.50)

4.1.3.2. La prégnance de l'encadrement territorial

Dans un second temps, comme exprimé par la citation précédente, il semble que l'organisation administrative du territoire soit un facteur décisif dans la croissance urbaine de l'espace post-soviétique. En effet, il s'agit du facteur le plus régulièrement significatif des analyses statistiques. L'hypothèse d'explication de cette régularité est double : tout d'abord, les villes capitales, souvent parmi les plus importantes d'une région, sont des lieux de concentration de la décision ainsi que des nœuds dans le réseau des interactions régionales. Elles bénéficient alors d'un surplus d'opportunités et d'interaction qui fonderait leur croissance. D'autre part, l'accueil de fonctions administratives implique directement la présence d'emplois et d'infrastructures dédiés à la production des services centraux.

Nous avons pu apprécier, avec l'étude des trajectoires dans le Chapitre 3.3, l'effet de l'attribution tardive du statut de capitale nationale à Astana (Kazakhstan) et le renforcement du rôle d'Achgabat au Turkménistan depuis 1991. Ces villes ont depuis connu des trajectoires de croissance explosive, que ne laisserait pas présager leur seule base économique ou situation géographique.

4.1.3.3. Une particularité géographique : le poids des ressources naturelles

Alors que les chapitres précédents ont déjà été l'occasion de mettre en valeur la dépendance forte des villes et des pays de l'ex-Union soviétique vis-à-vis des ressources naturelles, la modélisation statistique a permis de confirmer l'effet de deux types de ressources, de manière différenciée selon les grands ensembles géographiques. Ainsi, le charbon est une ressource du sous-sol qui a participé fortement à la création et la croissance explosive des villes des grands bassins ukrainiens et russes dans les années 1920 et 1930, avant de devenir, dans l'ensemble de l'espace soviétique puis post-soviétique, un marqueur de croissance plus faible que l'on interprète comme une spécialisation fonctionnelle obsolète. Cette inversion de l'effet de la ressource charbonnière est apparue plus tardivement en Asie centrale. D'autre part, nous avons observé l'association statistique croissante entre croissance urbaine et présence d'hydrocarbures depuis les années 1980. Il s'agit d'un facteur très important de ce début de siècle, profitant notamment aux villes centre-asiatiques, caucasiennes, de Sibérie occidentale et d'Extrême-Orient, bien que cette croissance en nombre d'habitants ne soit pas synonyme d'élévation du bien-être ou de la diversité démographique, culturelle et fonctionnelle des villes concernées (Vaguét, 2007).

Nous faisons donc l'hypothèse que la présence localisée de ressources agit comme un catalyseur très important de la création et de la croissance des villes, mais sur des cycles assez courts. D'autres études montrent que l'extraction minière, comme spécialisation économique, produit en fin de cycle un grand nombre de villes fantômes, pour lesquelles la reconversion sectorielle n'est pas aisée et le déclin souvent inéluctable (Martinez-Fernandez, Wu, 2009).

4.1.3.4. L'héritage démographique d'un empire

Dans un autre registre, nous faisons l'hypothèse que l'histoire impériale de la Russie est nécessaire à l'explication de la croissance des villes du territoire couvert par l'extension maximale de cet empire, et qu'elle rend compte des différences de rythme, de temporalité et de niveaux de croissance entre les ensembles spatiaux que constituent la Russie, sa périphérie européenne, caucasienne et centre-asiatique. Les comportements démographiques et les profils de spécialisation économique dans les villes centre-asiatiques gardent ainsi la trace des intégrations plus ou moins fortes à l'Empire russe et à l'espace perse (Vichnevski, 1995 ; Blum, 2004). L'intégration soviétique incomplète et la désintégration depuis 1991 seraient à l'origine des différenciations observées dans l'effet des autres facteurs de croissance à l'échelle de macro-régions.

4.1.3.5. Centralité et accessibilité : la boucle de rétroaction positive entre transport et croissance urbaine

Un des aspects de cette différenciation spatiale concerne la relation aux infrastructures de transport. L'hypothèse reprise de la théorie évolutive des villes (Pumain, 1997a) et des recherches d'A. Bretagnolle (2009) sur la co-évolution entre villes et transports permet de rendre compte de la croissance plus forte des villes les mieux reliées à un moment donné au système de transport le plus performant. Le résultat de ce processus est compatible avec la régularité statistique significative observée entre l'accessibilité la plus efficace et la croissance la plus rapide des villes de l'espace post-soviétique, avec des variations macro-régionales quant à l'infrastructure la plus efficace à une période donnée (l'aérien pour les villes russes et le rail pour l'Europe de l'Est par exemple).

4.1.3.6. Les événements géohistoriques de l'ex-Union soviétique : gouvernance et géographie politique

Enfin, la dernière hypothèse nécessaire, selon nous, à une explication de la croissance et de la décroissance urbaine des villes de l'ancienne Union soviétique concerne la prise en compte des événements géo-historiques, des singularités (post-)soviétiques. A. Bouvier (2011) distingue en sciences sociales la particularité de la singularité. Le particulier se référerait aux variations d'un cas général, tandis que le singulier renverrait à des aspects non-généralisables. Ici, il serait absurde de vouloir rendre compte de l'évolution démographique d'Achgabat ou de Norilsk avec des processus d'ordre général uniquement. La géopolitique et la gouvernance nationale et fédérale durant l'Union soviétique jouent et ont joué dans l'orientation des trajectoires et bifurcations de nombre de villes. Une explication complète des trajectoires de ces villes demanderait donc un élément singulier dont nous avons conscience mais qui ne constitue pas l'objet de cette recherche, qui s'en tient aux particularités urbaines.

4.2. De la modélisation statistique à la modélisation informatique pour l'explication géographique, de DARIUS à MARIUS

« Il n'y a pas de modélisation parfaite, et surtout, il n'y a pas une seule modélisation. Les choix potentiels sont multiples, et il est de bonne méthode d'utiliser la large gamme de possibilités qu'ils offrent pour faire progresser la connaissance, sans repli frileux ou sectaire sur telle ou telle méthode de modélisation de l'espace. » (Durand-Dastès, 2001, p.57)

Nous avons jusqu'à présent tiré profit de la modélisation statistique par facteur pour tenter d'expliquer le moteur et la diversité des trajectoires de croissance urbaine dans l'espace post-soviétique au cours des 150 dernières années. Lorsque cela était possible – durant la période récente (1959-2010) –, nous avons intégré les effets de contextes régionaux, à partir des données empiriques compilées au sein de la base de données DARIUS. Nous introduisons dans la suite de ce chapitre des éléments éclairant les limites de cette approche statistique et l'intérêt de recourir à une forme de modélisation complémentaire. Il s'agit ici de modélisation multi-agents, permettant d'explorer l'apport que représente l'approche par mécanismes générateurs dans l'explication du phénomène qui nous intéresse (l'évolution particulière du système de villes d'ex-URSS). Cette approche par la simulation nous conduira à proposer une démarche originale de conception et d'évaluation d'une famille de modèles rassemblés sous le sigle MARIUS (Modélisation des Agglomérations du périmètre Russie Impériale et Union Soviétique).

4.2.1. Des modélisations. Complémentarité épistémologique d'approches statistiques et simulatrices pour l'explication.

L'exploration des facteurs potentiels de croissance urbaine de la première partie de ce chapitre a été guidée par le cadre théorique que nous utilisons depuis le Chapitre 2 pour caractériser le système des villes de l'ex-URSS : la théorie évolutive des villes, qui permet de rendre compte, pour un système de villes en général, de processus individuels de croissance de villes aboutissant à l'émergence d'un niveau macro-géographique cohérent doté de propriétés : le système de villes (cf. section 4.1.2). Les interprétations que l'on peut déduire des résultats de modèles statistiques et de l'ajustement de paramètres de régressions butent cependant contre trois types de limites fortes face à la question qui nous intéresse à savoir comprendre et expliquer l'évolution des villes de l'espace post-soviétique et caractériser le degré de spécificité de cette évolution par rapport à d'autres systèmes de villes :

- tout d'abord, il s'agit d'un problème propre à la modélisation statistique et à l'inférence que l'on peut faire des **covariations** ainsi mises en valeur. Selon la façon dont on comprend le processus d'explication, il est possible ou non de prétendre expliquer l'évolution observée à partir de ces résultats. Dans une acception riche de l'explication, qui prend en compte l'idée de causalité et de compréhension des processus à l'origine des régularités observées (Besse, 2000 ; Grüne-Yanoff, 2009), nous verrons que cette méthode s'avère insuffisante.

- Le second problème que nous identifions dans l'usage des modèles statistiques pour évaluer la capacité de la théorie évolutive des villes à rendre compte de l'évolution du cas particulier de l'ex-URSS concerne la contradiction potentielle existant entre d'une part le postulat théorique d'une évolution du système par le jeu d'interactions répétées entre les villes (aboutissant à l'émergence de propriétés de hiérarchisation, d'espacement et de spécialisation fonctionnelle), et d'autre part une modélisation statistique a-spatiale et ne tenant pas compte des **interactions** interurbaines. Les attributs dont on recherche la covariation avec les trajectoires de croissance peuvent certes être interprétés comme des indicateurs de la capacité d'interaction d'une ville (l'accessibilité par les infrastructures de transport par exemple) ou du type d'interaction potentiel (lorsque l'on s'intéresse aux fonctions centrales ou spécialisées avec le statut administratif ou la mono-industrie). Cependant, « *la conception d'une totalité possédant des propriétés émergentes et spécifiques, capable de s'auto-organiser et de s'auto-réguler, d'une totalité donc qui*

est orientée téléologiquement vers le maintien de son intégrité interne et, au fond, vers son optimisation, auquel comme on sait la pensée systémique a ajouté d'une part le concept d'interaction causale et de causalité réciproque, et d'autre part le concept de complexité et de hiérarchisation des niveaux, ne me paraît pas pouvoir correspondre d'emblée au schéma linéaire fourni par l'explication nomologique. [...] L'explication des phénomènes systémiques n'est pas linéaire, au sens nomologique. » (Besse, 2000, p.13). Il paraît donc insuffisant de s'en tenir à des méthodes sta(tis)tiques pour rendre compte de l'évolution d'un objet que l'on a pris le parti de considérer comme un système complexe (Batty, Torrens, 2001b; Pumain, 2003b).

- Enfin, alors que l'étude des régularités et particularités « à expliquer » nous avait permis dans les Chapitres 2 et 3 de dégager des **éléments généraux, particuliers et singuliers** des modèles de répartition spatiale ou de distribution hiérarchique des villes d'ex-URSS (en référence à des faits stylisés et à des faits stylisés de déviations à ces régularités), l'analyse multivariée des facteurs potentiels de croissance nous a fait ignorer la distinction entre processus généraux et particuliers qui reste pourtant au cœur de notre interrogation. En effet, il n'existe pas de référence absolue de ce que représente « en moyenne » l'effet de chacun des facteurs statistiques étudiés dans un système de villes stylisé à partir de la généralisation des études empiriques.

Ces trois limites peuvent être repoussées en recourant à une modélisation par mécanismes générateurs, qui prend explicitement en compte le rôle des interactions. Pour autant, la démarche de simulation présente ses propres inconvénients (la validation notamment) que nous signalerons, avant de plaider pour un couplage des deux types de modélisation dans une approche visant l'explication et l'évaluation du degré de généralité du système observé. Cette réflexion sur l'apport des différentes méthodes de modélisation à la l'explication scientifique, qu'on la considère comme un nouvel outil, un nouvelle méthodologie ou un nouveau paradigme (Varenne, 2010), a fait l'objet de contributions récentes importantes en sciences sociales, au-delà des différences disciplinaires.

4.2.1.1. Le problème de « l'explication » statistique

Bien que ce constat soit déjà bien connu et n'empêche pas d'utiliser les méthodes statistiques pour ce qu'elles permettent de faire le mieux présenter de manière ordonnée et contrôlée un « paysage statistique » (Pumain, Robic, 2002b) multidimensionnel, il convient de rappeler le caractère purement descriptif de la conclusion statistique.

« *It is important that the use of rather advanced statistical techniques for these purposes of what might be called sophisticated description should be clearly distinguished from their use in attempts at deriving causal relations directly from data analysis.* » (Goldthorpe, 2001, p.11). Comme le rappelle J.H. Goldthorpe, de nombreux auteurs reconnaissent que l'association statistique n'implique pas de lien de causalité, mais qu'inversement la causalité donne souvent lieu à une association statistique de type corrélation. Partant de cette constatation, certains ont pu allier la robustesse de certaines « dépendances statistiques » à des relations « authentiques » de cause à effet. Nous ne suivons pas cette voie, mais constatons le risque fréquent d'un glissement sémantique dans l'interprétation des résultats statistiques.

« *Le pouvoir explicatif reste contenu face à une sophistication technique croissante : la littérature récente la plus attentive n'a plus de peine à admettre cette limite majeure de l'utilisation des méthodes statistiques multivariées dans l'analyse des phénomènes sociaux.* » (Manzo, 2005, p.40). G. Manzo note, entre autres, le problème du caractère « a-théorique » des méthodes statistiques. On peut répondre à cet argument que si les méthodes sont a-théoriques, leur utilisation est rarement mise en œuvre en dehors d'un cadre d'hypothèses guidant aussi bien la collecte des données que les choix de variables mises en regard (Sanders, 2001 ; Werker, Brenner, 2004 ; Rossiter *et al.*, 2010). Toutefois, les régularités statistiques servent de première étape. Un raisonnement théorique peut ensuite éventuellement tenter de les comprendre, les expliquer ou les reproduire. La phase descriptive est donc généralement insuffisante à elle seule dans une démarche de compréhension et d'explication : « *il ne suffit pas de décrire et mesurer des régularités, il faut en rendre raison, il faut donner une intelligibilité aux lois elles-mêmes.* » (Besse, 2000, p.15).

Cette explication des régularités urbaines, après avoir été longtemps statique, linéaire et locale, est recherchée depuis trente à quarante ans du côté des processus dynamiques, par le jeu d'interactions produisant des relations non-linéaires (Batty, 1971 ; Sanders, 2013 ; Rey-Coyrehourq, 2014).

« *Très vite donc, cette quête théorique impliquait de savoir passer de l'observation des régularités à l'analyse des processus, de l'identification de "combinaisons" ou de structures, à l'étude du changement susceptible de les produire et de les transformer.* » (Pumain, 2003b, p.26)

L'une des méthodes permettant l'implémentation et le test d'hypothèses théoriques sur des processus de transformation est l'approche par mécanismes générateurs, notamment au sein d'un formalisme multi-agents. Elle présente, par rapport aux méthodes statistiques, une forme

inversée du problème de l'explication en sciences sociales, que nous pensons complémentaire de l'explication statistique.

4.2.1.2. L'explication par « génération » et le problème de la validation

La modélisation par mécanismes générateurs est généralement présentée comme une opportunité pour comprendre et expliquer des configurations et des régularités (*patterns*) par l'implémentation et la simulation d'hypothèses capables de les reproduire au sein d'un laboratoire virtuel. Les plus fervents promoteurs de cette approche soutiennent même qu'il n'existe pas d'explication de l'émergence des propriétés d'un système complexe en dehors de la *génération*⁸ : « *If you didn't grow it, you didn't explain its emergence.* » (Epstein, 1999, p.43). Le processus d'explication est ainsi synthétisé par P. Machamer *et al.* : « *Mechanisms are entities and activities organized such that they are productive of regular changes from start or set-up to finish or termination conditions. [...] To give a description of a mechanism for a phenomenon is to explain that phenomenon, i.e., to explain how it was produced.* » (Machamer *et al.*, 2000, p.3).

Nous présentons une synthèse de quatre arguments favorables mis en avant par les modélisateurs et les épistémologues pour utiliser cette approche dans des projets de compréhension et d'explication de systèmes complexes :

- une meilleure prise en compte des caractéristiques dynamiques et évolutives du système-cible ;
- la propension à traduire des hypothèses causales en mécanismes testables et dotés de sens pour rendre compte des régularités observées ;
- l'opportunité de mener des expérimentations au sein d'un « laboratoire virtuel » pour la recherche en sciences sociales ;
- la possibilité d'aboutir à une forme d'explication par « preuve de possibilité » (*proof of possibility*; Marchionni, Ylikosky, 2013) caractérisant les mécanismes capables de produire l'évolution étudiée, ou tout au moins, comme nous le proposerons, une « preuve d'impossibilité ».

Ainsi, à la suite et en réponse à la conclusion que nous tirons de l'explication statistique, il persiste une frustration concernant la manière de

⁸ Ce terme et ses dérivés : « génératif », « générateur », inélégants en français, est calqué sur l'anglais *generate* et *generative*. Bien que plus correctement traduit par « engendrer » dans la langue courante, nous conservons l'anglicisme pour la facilité des évocations qu'il implique dans ce champ de recherche.

décrire des systèmes complexes (avec leurs interactions, leur non-linéarité, leur composante générale et particulière) et une exigence de rendre compte des processus à l'œuvre dans ces systèmes, que satisfait l'approche par mécanismes générateurs dans le paradigme des systèmes complexes. Ainsi, D. Pumain parle de « satisfaction intellectuelle » à propos de l'application de la conception systémique en géographie, et plus précisément dans l'étude des systèmes de villes, et ce pour trois raisons. Tout d'abord, elle permet « le dépassement de l'opposition entre l'idiographique et le nomothétique » (Pumain, 2003b, p.27) par l'acceptation de l'idée que l'évolution observée n'est qu'une réalisation d'un ensemble de possibles plus vaste. De plus, elle invite à « repenser la diversité géographique, non plus comme le produit d'une combinatoire contingente autorisant toutes les associations possibles (par exemple de structures élémentaires), mais comme le produit de certains processus fonctionnant sous certaines contraintes et selon diverses temporalités (Durand-Dastès, 1996), qu'il s'agit de mesurer et de hiérarchiser. » (Pumain, 2003b, p.28). Enfin, elle donne à l'histoire non plus un rôle biographique, mais de caractérisation du suivi d'une trajectoire plutôt qu'une autre. Ces arguments résonnent particulièrement bien dans notre démarche d'évaluation du caractère particulier/singulier de l'évolution urbaine soviétique vis-à-vis de son histoire, mais aussi de processus génériques associés aux systèmes de villes. La distinction entre dynamique générale et histoires spécifiques est permise par l'identification et l'implémentation de mécanismes traduisant des hypothèses théoriques sur la façon dont évoluent les villes en interaction, et leur expérimentation dans des contextes différents (représentés par des configurations de situations initiales différenciées) : « Mechanism explanations give us an account of how a system works, a set of patterns in particular contexts. By invoking the entities and activities at work, we can work out what will happen in similar contexts containing such entities and activities. » (Elsenbroich, 2012, §4.15)

Dans un second registre, l'approche par mécanismes générateurs invite à s'interroger sur des processus permettant d'engendrer des configurations observées, non pas avec le modèle statistique ou mathématique le plus performant (comme nous avons pu le voir avec l'exemple du modèle de Gibrat), mais au moyen d'hypothèses, fondées sur un socle théorique et/ou permettant de le consolider (McKelvey, 2002 ; Varenne, 2010), qui apportent un véritable gain de sens (Besse, 2000). L'idée sous-jacente à l'explication par mécanismes générateurs est assez simple en théorie : on comprend le fonctionnement d'un système complexe lorsque l'on est capable de le reproduire par un jeu de règles d'activités et d'interactions entre composants de ce système (Epstein, 1999).

Une description attentive aux propriétés des systèmes-cibles et une réflexion théorique sur les mécanismes susceptibles de générer des régularités observées ne seraient pas une profonde avancée de connaissances si les hypothèses traduites en mécanismes n'avaient pas la possibilité d'être

testées et expérimentées (avec le jeu des interactions et des relations non-linéaires) au sein d'un **laboratoire virtuel** (Borko, 1962 ; Guetzkow, 1962). L'enjeu est de se confronter à la notion d'équifinalité et de « sous-détermination des lois », et notamment de la « loi rang-taille » (Pumain, 2012 ; Varenne, 2014) , qui fait qu'il existe plusieurs processus causaux menant à une même configuration (géographique). La notion de laboratoire virtuel est empruntée aux pionniers de l'explication générative, et notamment à J. Epstein et R. Axtell (1996), qui voient dans les sociétés artificielles créées *in silico* les laboratoires d'une nouvelle forme de science sociale (générative). De fait, nous considérons que le laboratoire correspond, plutôt qu'à la société artificielle elle-même, à l'environnement informatique permettant de simuler les réactions de cette société à des aléas stochastiques, à des changements de conditions initiales ou de structure de règles implémentées dans le modèle (Windrum *et al.*, 2007). S. Rey-Coyrehourcq (2014) a montré que ce support virtuel (l'ordinateur) fascinait et stimulait la recherche modélisatrice en science sociale et en géographie depuis les années 1950. En permettant la « *projection d'hypothèses dans le temps* », le laboratoire virtuel permet de suivre, analyser, comparer et reproduire l'évolution de modèles de systèmes pour lesquels il est impossible de mener des expériences réelles typiquement : un système de villes de dimension continentale. Il permet d'explorer l'espace de réponse du modèle à des variations dans l'espace des paramètres, ou des règles du modèle. M. Batty et P. Torrens notent que ce laboratoire virtuel est particulièrement adapté à l'étude des systèmes complexes et des différents espaces créés par la modification de règles et de structures du modèles, mais que « *in practice such experiments and explorations have rarely been developed.* » (Batty, Torrens, 2001b, §33). Nous avons la chance d'avoir été intégrée dans une équipe⁹ où ce type de laboratoire virtuel existe, se développe et se co-construit avec les nouveaux modèles. Ce laboratoire est donc loin d'une conception théorique à la Epstein, ou de la simulation du modèle seulement :

« Il contient aussi les méthodes, les outils et procédures de modélisation adaptés à la conception et à l'exploration du modèle et dont la pratique procure autant de connaissances et de retours théoriques que la conception du modèle lui-même. Ce laboratoire virtuel s'apparente donc d'autant plus à un véritable laboratoire de recherche avec une paillasse (le modèle à concevoir et explorer), les hypothèses d'un chercheur (les mécanismes du modèles), des méthodes (la méthode de modélisation itérative et assistée par le calcul intensif), des outils (les procédures d'exploration automatisées et tout autre plan d'expérimentations incorporé dans OpenMOLE), le tout rassemblé dans une salle, la plateforme de modélisation SimProcess (Rey Coyrehourcq, 2014). »
(Schmitt, 2014a, p.116)

⁹ Équipe de modélisation au sein du projet ERC GeoDiverCity formée par : Arnaud Banos, Paul Chapron, Guillaume Chérel, Mathieu Leclaire, Denise Pumain, Sébastien Rey-Coyrehourcq, Romain Reuillon, Clara Schmitt et moi-même.

Au moyen de ces expériences et expérimentations, on cherche à produire des connaissances sur le système-cible simulé par le modèle, opérer des retours théoriques et des explications d'une évolution observée. Le passage entre les deux systèmes (simulé et cible) est problématique, et dépend de la réponse que l'on donne à la question-titre de l'article de F. Varenne (2001) : « *What does a computer simulation prove?* » ou à la problématique de recherche de C. Marchionni et P. Ylikoski (2013, p.326) : « *How can ABS¹⁰ models be used to provide explanations ?* ». Ces derniers proposent d'utiliser la notion de « **preuve de possibilité** » (*proof of possibility*) pour rendre compte de la capacité de certaines règles d'interaction à reproduire les caractéristiques macroscopiques auxquelles on s'intéresse. Cette preuve n'est valable selon eux que dans le cas où elle est appuyée sur une expérimentation validant sa robustesse, et ne correspond qu'à une explication candidate : « *Such a proof [of possibility] shows what kind of assumptions could produce the outcome, but not how that occurs or whether those assumptions are the only way to generate the outcome of interest.* » (Marchionni, Ylikoski, 2013, p.327).

T. Grüne-Yanoff (2009) suggère que l'explication par génération n'est pas capable de fournir de telles preuves du fait de la quantité potentiellement démesurée de modèles possibles. De ce fait, selon lui, elle ne produit pas non plus d'explication causale, mais des explications potentielles fonctionnelles, lorsque le modèle est capable de reproduire le fonctionnement du système-cible, avec ou sans les éléments connus comme étant les causes potentielles de ce fonctionnement. Il donne l'exemple d'un modèle de climat répliquant mieux le comportement observé en relâchant une condition causale (vérifiée par ailleurs empiriquement) et conclut : « *The simulation showed that for some reason (e.g. omission of factors, measurement errors, etc.) the included causal regularities did not suffice to dampen the dynamic instabilities of the system.* » (Grüne-Yanoff, 2009, p.21). Cet exemple pose la question de l'adéquation entre la nature et l'objectif d'un modèle. En l'occurrence, il peut être intéressant de construire un modèle n'incluant pas les mécanismes causaux dans un but de prédiction. Notre démarche n'étant pas celle-ci, le modèle le plus performant mais en contradiction avec les observations et relations causales connues ne nous semble pas contribuer à l'explication. À partir de modèles réalistes et dans une démarche abductive (Werker, Brenner, 2004 ; Brenner, Werker, 2007), l'élimination des modèles incapables de produire les régularités empiriques nous suggère une proposition : si la simulation n'est pas capable de fournir de « preuve de possibilité » suffisamment restrictive pour garantir une explication convaincante, elle serait à même de fournir des « **preuves d'impossibilité** », lorsqu'un jeu de mécanismes s'avère inapte à

¹⁰ ABS : *Agent-Based Simulation*, est aussi rencontré sous la forme AB ou ABM (avec M pour modèle ou modélisation), IBM (*Individual-Based Modeling*) pour identifier les modèles individu-centrés à base d'agents.

reproduire les régularités recherchées. Ainsi, la qualification d'une hypothèse en soi ne peut pas être définitive et s'arrête à la possibilité, tandis qu'une disqualification de modèle est possible (lorsqu'elle est appuyée sur une exploration intensive et des tests de robustesse), et permet un retour théorique. Cette force de la falsification par rapport à la corroboration était l'argument de K. Popper (1973) pour la validation plus large des théories scientifiques.

Ce dernier argument en faveur de l'explication par mécanisme évoque déjà les principaux défis de la méthode : le passage entre système-modèle et système-cible du fait du problème d'équifinalité et la validation/évaluation des modèles simulés et de leurs résultats.

L'inférence nécessaire entre le modèle et le système-cible est sous-jacente à toute entreprise modélisatrice, par la définition même d'un modèle, qui est l'intermédiaire par lequel on cherche à répondre à des questions concernant le système cible (Minsky, 1965). « *L'informatique permet de déplacer le problème difficile de l'étude du système réel vers l'étude de son modèle : le centre d'intérêt est le modèle et son aptitude à traiter la problématique scientifique posée [Magnani & al., 2002]. Cela implique, toutefois, le retour des conclusions du modèle vers le système réel.* » (Glisse, 2007, p.33). Dans le cas de systèmes complexes aux interactions multiples et non-linéaires modélisées avec des éléments éventuellement stochastiques, ce défi prend une toute autre ampleur. Ainsi, l'évaluation du modèle n'est plus seulement un problème d'adéquation avec la théorie et d'adéquation avec les données empiriques (*Analytical Adequacy and Ontological Adequacy* ; McKelvey, 2002 ; Rossiter *et al.*, 2010), mais une exploration potentiellement infinie de toutes les combinaisons de mécanismes capables de répliquer les résultats d'une simulation adéquate avec les données observées (Axelrod, 1997 ; Grüne-Yanoff, 2009). En résumé : « *different model structures might converge on the same type of prediction, implying some kind of equifinality that is yet another hallmark of complexity.* » (Batty, Torrens, 2001b, §31). Ce problème d'**équifinalité** est l'élément qui bloque l'explication causale et ne permet pas de conclure positivement sur le fonctionnement du système-cible à partir de l'observation du modèle. En revanche, le laboratoire virtuel de la simulation permet d'identifier ces différents jeux de mécanismes pouvant aboutir à des résultats similaires, de les comparer et d'évaluer leur sensibilité, et donc d'apprendre éventuellement des informations supplémentaires sur les trajectoires non-réalisées du système-cible.

On voit que la capacité explicative de la démarche par mécanismes générateurs dépend fortement de la qualité de l'**évaluation** du modèle (Marchionni, Ylikoski, 2013), qui reste le principal défi et gage de scientificité de la modélisation multi-agents (Amblard *et al.*, 2007b ; Crooks *et al.*, 2008 ;

Ngo, See, 2012 ; Rey-Coyrehourcq, 2014). Cette notion d'évaluation est préférée à celle de validation, vue comme le but à atteindre mais nécessairement inaccessible (Amblard *et al.*, 2007b). Au contraire, l'évaluation serait l'ensemble des procédures permettant de caractériser la qualité du modèle au regard des objectifs posés par le modélisateur. Cette évaluation est généralement conduite de deux façons, correspondant à deux démarches de modélisation : la validation plutôt qualitative visant à reproduire des faits stylisés à partir de modèles théoriques aux règles d'interaction simples (de type KISS, « *Keep It Simple, Stupid!* » ; Axelrod, 1997), et une validation plus quantitative confrontant des modèles généralement plus descriptifs (KIDS, « *Keep It Descriptive, Stupid!* » ; Edmonds, Moss, 2005) à des ensembles de données empiriques (Hedström, Ylikoski, 2010). P. Windrum *et al.* (2007) identifient une troisième méthode de construction de modèle (TAPAS, « *Take A Previous model and Add Something* ») attribuée à K. Frenken (2005) et qui représente une méthode incrémentale par addition d'hypothèse à chaque étape. On peut même penser que la validation est le « projet » qui doit guider la construction du modèle plutôt que l'inverse (Glisse, 2007).

Ce qui ressort le plus fortement de la littérature sur l'évaluation des modèles multi-agents est l'absence de consensus et de techniques standards (Amblard *et al.*, 2007b ; Windrum *et al.*, 2007 ; Ngo, See, 2012 ; Schmitt, 2014a). Toutefois, la majorité des auteurs s'accordent pour distinguer vérification et validation, aussi appelées *validation interne* et *validation externe* du modèle (Sargent, 2005). Ces deux opérations correspondent aux tests d'adéquation analytique et ontologique des épistémologues (McKelvey, 2002 ; Rossiter *et al.*, 2010), c'est-à-dire d'un côté l'adéquation entre le comportement du modèle et les hypothèses théoriques qu'il est censé traduire (validation interne et adéquation analytique) ; et d'autre part l'adéquation entre les sorties du modèle et les données ou faits stylisés empiriques qu'il est censé reproduire (validation externe et adéquation ontologique). Face à ces protocoles méthodologiques abstraits, quelques auteurs proposent leur propre feuille de route d'évaluation, en termes techniques et basée sur une ou des applications pratiques :

- T. Ngo et L. See (2012), par exemple, utilisent pour la validation externe du modèle les étapes de calibration (par algorithmes génétiques) et d'analyse de sensibilité.
- Dans la méthode proposée par C. Schmitt et que nous avons adaptée pour le projet MARIUS, l'étape d'évaluation du modèle comprend aussi une phase de calibration et d'analyse de sensibilité, mais se différencie d'autres approches par l'intensivité de ces mesures de robustesse et leur itérativité dans la construction incrémentale du modèle testé après l'ajout ou la modification de chaque incrément (figure 4.2.2) : « *Cette modélisation pas-à-pas permet d'évaluer chaque version du modèle et de contrôler la complexification croissante du modèle avec l'ajout de mécanisme. Cette*

démarche de modélisation s'apparente ainsi à la démarche KISS. Elle est cependant fortifiée par son couplage avec des outils d'exploration et d'évaluation adaptés. » (Schmitt, 2014a, p.113). Notre approche se différenciera légèrement de celle-ci par le fait que nous cherchons à opérer une validation qui satisfasse à la fois des faits stylisés plus ou moins qualitatifs correspondant aux propriétés d'un système de villes « en général », et les données empiriques décrivant les villes de l'espace post-soviétique.

Nous détaillerons dans la section 4.2.3.2 les procédures déployées pour évaluer une famille de modèles au moyen de méthodes développées dans un cadre interdisciplinaire au sein de l'équipe de modélisation GeoDiverCity pour le projet MARIUS (en collaboration étroite avec Paul Chapron et Romain Reuillon), nourries par l'expérience de Clara Schmitt, Sébastien Rey-Coyrehoucq et Romain Reuillon pour l'exploration, la calibration et l'évaluation du modèle SimpopLocal au moyen de la plateforme SimProcess et le calcul intensif permis par OpenMole¹¹.

4.2.1.3. Complémentarité des approches dans une démarche abductive

« Le modèle rendu nécessaire par ce passage à la simulation se distingue du modèle statistique d'analyse précisément parce qu'il est un modèle de simulation qui se révèle être aussi un modèle causal. C'est un modèle pouvant expliquer, en des termes explicitement causaux, et non simplement reproduire ou analyser les corrélations existant entre les variables. » (Varenne, 2010, p.27)

Nous avons ainsi présenté les atouts et limites de deux approches de modélisation différentes (statistique et générative). « *Chacune de ces familles de méthodes a ses atouts propres et intègre la dimension spatiale des phénomènes étudiés sous des aspects différents.* » (Sanders, 2001, p.20). Il semble qu'une utilisation optimale de ces méthodes et de leurs avantages réside dans leur combinaison au cours de la recherche.

La séquence proposée par les sociologues (Goldthorpe, 2001 ; Boudon, 2003 ; Manzo, 2005) est la suivante : « *l'analyse par variables* décrit, la

¹¹ Open MOdeL Experiment : <http://www.openmole.org/>. cf. Reuillon *et al.*, 2010

modélisation par mécanismes (construit en termes d'individualisme méthodologique) explique et la simulation anime (et teste) dynamiquement les mécanismes supposés être à la base des relations statistiques observées. » (Manzo, 2005, p.39). Nous souscrivons à cette démarche de « synergie » entre la description statistique de régularités observées et la phase de modélisation visant à simuler l'émergence de ces régularités par le jeu de mécanismes porteurs de sens et traduisant des hypothèses théoriques (Batty, 1971 ; Besse, 2000).

Cette production de sens incluse dans l'analyse abductive d'hypothèses, une démarche fructueuse en simulation sociale (Banos, 2013), représente selon J.M. Besse (2000) une « *progression dans l'élucidation* », par l'élimination des hypothèses les moins pertinentes. Cependant, il note que :

« Une hypothèse possède une signification propre, avant même d'avoir été engagée dans l'aventure hautement improbable des programmes de validation. Cela nous conduit à reconnaître dans l'activité scientifique un moment de la production du sens, à côté du mouvement vers l'établissement des vérités. » (Besse, 2000, p.17)

Or il nous semble au contraire que l'aventure de validation (ou tout au moins *l'évaluation* des hypothèses complémentaires et concurrentes) est nécessaire à l'avancée de sens dans le cadre de l'approche par mécanismes générateurs, tout autant que la production abductive d'hypothèses pour rendre compte des régularités présentées dans les premières parties de cette thèse. Nous proposons donc dans la fin de ce chapitre de considérer les covariations repérées par exploration des données DARIUS (entre croissance et attributs de villes notamment) et les faits stylisés attribués aux systèmes de villes en général comme des objectifs de modélisation. La démarche de modélisation MARIUS consiste à proposer une famille de mécanismes – des plus généraux aux plus spécifiques – permettant par leur évaluation cohérente de reproduire à la fois des caractéristiques générales de systèmes de villes et des particularités liées à l'espace post-soviétique, pour révéler les singularités non-simulables. Cette démarche s'appuie à la fois sur les expériences précédentes d'expression mécaniste d'hypothèses générales sur la croissance de système de villes (notamment dans le cadre des modèles SimPop et Simpop2), et sur l'expérience interdisciplinaire de construction et d'exploration de modèles incrémentaux et parcimonieux avec des outils d'évaluation innovants (modèles SimpopLocal et SimpopNet). La section suivante est consacrée à l'explicitation de l'apport nécessaire que représente cet héritage dans le projet MARIUS.

4.2.2. L'héritage Simpop et ce que l'on attend d'un modèle de simulation

La modélisation des systèmes de villes (et des systèmes géographiques en général) a connu plusieurs formalismes avant d'en venir aux modèles multi-agents. Dès les années 1950 et 1960, des modèles d'équilibre dans un langage mathématique sont résolus par le calcul (Batty, 2012a ; Rey-Coyrehourcq, 2014). En passant par les modèles de dynamiques à base d'équations maîtresses et la théorie de l'auto-organisation (Pumain *et al.*, 1989 ; Pumain, 1997a ; 2003b), les automates cellulaires, modèles LUTI (*Land Use Transportation Interaction*) et de microsimulation jusqu'aux ABM (*Agent Based Models*) (cf. Sanders, 2007a ; Louail, 2010 ; Batty, 2012a ; Heppenstall *et al.*, 2012 ; Banos, Sanders, 2012 ; Pumain, Sanders, 2013 ; Sanders, 2013), les géographes ont cherché un formalisme capable de refléter la richesse des phénomènes, la diversité des objets géographiques et la complexité de leur structuration spatiale, en opérant un tournant vers des modèles de plus en plus centrés sur les éléments composant les systèmes qu'ils étudient :

« There has been a perceptible shift from aggregate to disaggregate, from populations to individuals, from macro to micro. In this, the notion of an "agent" has become the focus of this new quest. » (Batty *et al.*, 2012b, p.2).

4.2.2.1. Simpop et la modélisation d'agents-villes en géographie

Dès les années 1990, les géographes du laboratoire Géographie-cités en collaboration avec des informaticiens du laboratoire LAFORIA/LIP6 proposent le premier modèle multi-agents de la discipline. Simpop (Bura *et al.*, 1996 ; Sanders *et al.*, 1997) permet de faire émerger une distribution hiérarchisée de villes à partir d'un semis régulier de villages pratiquant uniquement l'agriculture. Au moyen de règles d'interaction sur un marché d'échanges, les villages peuvent s'enrichir et acquérir des fonctions hiérarchisées (commerce, administration, industrie), caractérisées par des portées différentes, permettant à certains d'entre eux de devenir des villes. C'est ainsi par le jeu de la compétition, d'aléas stochastiques et de l'apport exogène de fonctions que la hiérarchie des tailles de villes émerge et se maintient. Ce modèle est donc une première traduction des hypothèses formulées par la théorie évolutive des villes en mécanismes, reproduisant les régularités de hiérarchie, d'espacement et de différenciation fonctionnelle observées empiriquement. Son originalité en sciences sociales est de considérer comme agent une entité collective (elle-même émergeant de l'interaction complexe des individus ; Pumain, 2006a ; 2006b) : la ville. Cette

originalité de la ville comme entité élémentaire est bien rendue par dans le formalisme informatique par des agents autonomes, hétérogènes, évolutifs, interagissant entre eux et avec une structure de niveau supérieur (Glisse, 2007 ; Louail, 2010).

« Une première originalité réside dans le choix des entités élémentaires modélisées. Dans SimPop, les agents sont des entités collectives complexes, ils représentent des villages ou des villes et non pas des individus ou des ménages comme dans les autres modèles. Ensuite, plutôt que de s'appuyer directement sur des données empiriques ou des mécanismes inventés, les mécanismes simulés sont conçus pour reproduire des faits stylisés tirés de la théorie urbaine. La validation du modèle ne passe donc plus par l'adéquation des simulations avec des données empiriques mais par la capacité du modèle à reproduire les ordres de grandeur et les grandes tendances de trajectoire des systèmes urbains. Cependant le modèle SimPop est partiellement guidé par l'introduction tout au long de la simulation de règles exogènes qui contrôlent la trajectoire globale du système simulé. » (Schmitt, Pumain, 2013, §59)

Comme le rappellent C. Schmitt et D. Pumain (2013), des enjeux de validation sont déjà perceptibles et non résolus dans ce modèle. La représentation rang-taille et son évolution sont utilisées comme critères qualitatifs (*pattern* ou fait stylisé) d'évaluation d'une simulation, mais la bonne capacité de certaines simulations du modèle à reproduire ces régularités ne dit rien quant à la nécessité et l'influence de chaque mécanisme de ce modèle déjà très complexe, ou de l'effet de l'introduction exogène de fonction sur la robustesse des résultats et donc de la qualité de l'explication sous-jacente. Toutefois, la démarche de conception et les résultats du modèle Simpop en font un succès, bientôt capitalisé en vue de développer un modèle générique de système de villes (c'est-à-dire à une échelle de temps postérieure à l'émergence des villes, qui était celle de Simpop), instanciable sur différents systèmes de villes : l'Europe, les États-Unis et l'Afrique du Sud. Il s'agit des modèles Simpop2 et Eurosim.

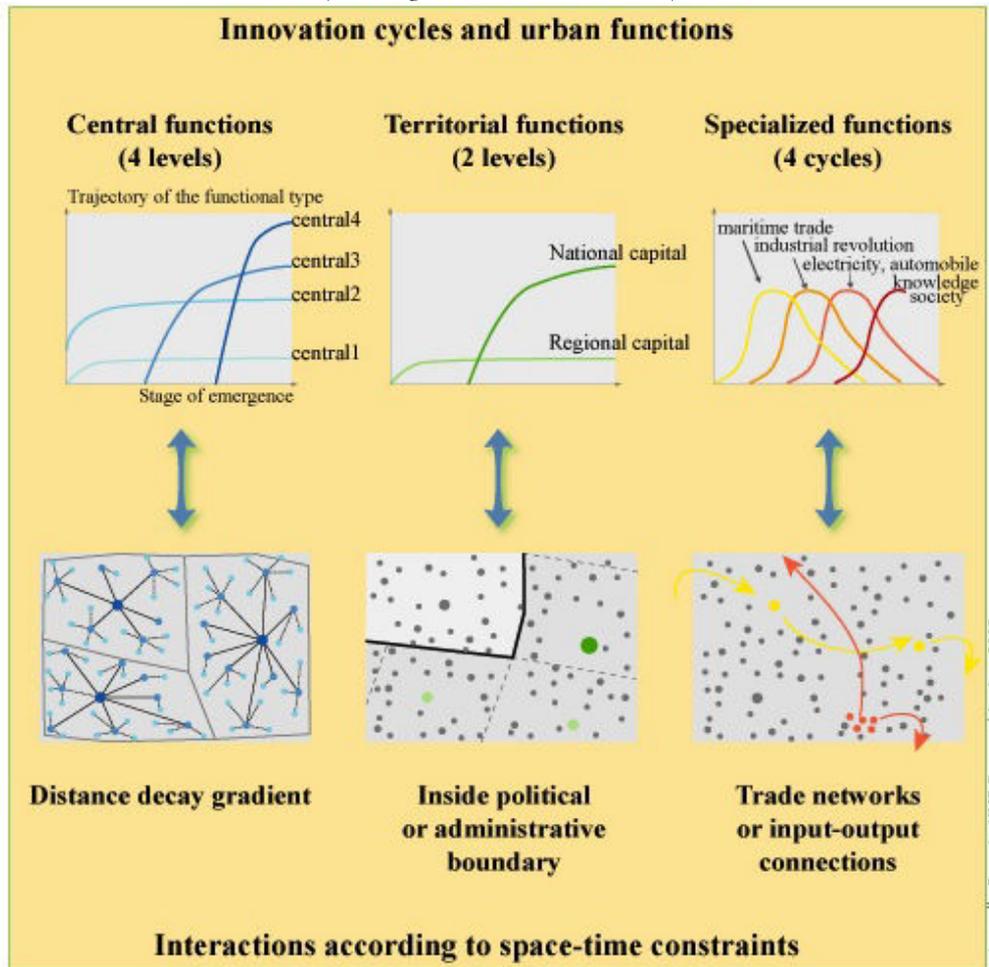
4.2.2.2. Simpop2 et Eurosim : modélisation et comparaison de systèmes de villes

Dans les modèles Eurosim et Simpop2, le fait stylisé le plus important à reproduire concerne la hiérarchisation de systèmes de villes déjà structurés sur une période pluri-séculaire (1300-2000 pour l'Europe, 1650-2000 pour les États-Unis et l'Afrique du Sud dans Simpop2), ou séculaire (1950-2050 pour Eurosim), ainsi que la diversité fonctionnelle des villes (Bretagnolle *et al.*, 2006a ; Glisse, 2007 ; Sanders *et al.*, 2007b ; Bretagnolle, Pumain, 2010). Ainsi, par rapport à Simpop, la dynamique du modèle est censée reproduire plutôt des changements de structure que l'émergence de celle-ci, en fonction de scénarios d'évolution pour Eurosim.

Le fonctionnement du modèle comprend cinq étapes (Favaro *et al.*, 2007) :

- Les villes constituent un réseau de partenaires d'échanges pour chaque fonction selon le profil des autres villes et les résultats de leurs échanges précédents ;
- Par échange d'information avec ces partenaires, les villes s'accordent sur la répartition de leur offre et de leur demande sur le marché d'échanges ;
- Les transactions sont effectivement réalisées ;
- La structure de spécialisation par fonction est actualisée ;
- Les attributs de la ville (population, richesse, population active par secteur) sont mis à jour en fonction du résultat des échanges et de paramètres exogènes comme le taux de croissance moyen de la population du système correspondant à la tendance historique observée.

Figure 4.2.1. Fonctions urbaines et cycles d'innovation
(Bretagnolle *et al.*, 2006a)



Source : (Bretagnolle *et al.*, 2006a).

Trois principes d'interaction spatiale guident les échanges entre villes (figure 4.2.1) : un principe de proximité (opérant pour les fonctions centrales), un principe territorial (reflétant l'effet des statuts administratifs et l'interaction privilégiée entre villes d'un même territoire), et un principe de complémentarité (entre villes spécialisées dans un même secteur économique identifié selon sa position au sein d'un cycle d'innovations). La temporalité de ces cycles est introduite à des dates fixées par les modélisateurs de manière exogène.

Ce modèle est construit sur la base de l'observation empirique de grands systèmes de villes sur le temps long (Europe, États-Unis, Inde, Afrique du Sud) permettant de dégager des éléments de genericité et de particularité dans l'évolution urbaine de ces ensembles (Bretagnolle *et al.*, 2007), et de fournir des faits stylisés à ces différents niveaux de généralité (sur la hiérarchie urbaine, le semis de peuplement et la temporalité des différents

cycles économiques). L'objectif de généralité s'exprime particulièrement dans l'instanciation d'un modèle « non-historique », sur un territoire abstrait doté de villes localisées aléatoirement, avant d'être appliqué aux trames urbaines européenne, américaine et sud-africaine (Glisse, 2007 ; Bretagnolle, Pumain, 2010). Dans l'instanciation américaine de Simpop2, le modèle générique est augmenté de règles spécifiques issues de l'expertise des auteurs par la constitution de bases de données historiques et harmonisées. Notamment, le modèle « États-Unis » contient un mécanisme de front pionnier qui rend compte du peuplement progressif et caractéristique (avec des villes-champignons par exemple) de la partie occidentale du territoire (Bretagnolle, Pumain, 2010). Le contexte historique sert à la fois de guide de modélisation par l'injection de données et de mécanismes spécifiques en entrée du modèle, et de guide d'évaluation.

La difficulté de sa calibration et de son évaluation reste cependant le point faible du modèle, malgré des tentatives multiples et l'accueil de plusieurs stages dédiés à cette tâche. L'ambition des concepteurs géographes est de valider le modèle à plusieurs échelles (la croissance globale du système, l'évolution de la hiérarchisation, le nombre de villes par classes de tailles et les trajectoires individuelles de villes sont les critères de la *face validity*¹²), ainsi que de tester la sensibilité du modèles aux événements, aux conditions initiales et aux variables conjoncturelles introduites de manière exogène dans le modèle (Bretagnolle *et al.*, 2006a). Toutefois, la complexité du modèle et son temps d'exécution sont tels qu'en l'absence de méthodes abouties, la calibration « à la main » sur quelques centaines de simulations et l'évaluation dans son ensemble ne sont pas satisfaisantes. Comme le rappelle C. Schmitt, qui a travaillé à l'analyse de la sensibilité de ce modèle, « *une simulation du modèle SIMPOP2-Europe met en interaction presque 5000 agents sur 70 pas de simulation, et le temps nécessaire pour la réalisation d'une simulation complète avoisine les cinq minutes.* » (Schmitt, 2014a, p.99). Dans ces conditions, le nombre d'expériences réalisées au sein du laboratoire virtuel est réduit et ne permet pas de conclure sur la validité des mécanismes du modèle, malgré un fonctionnement généralement satisfaisant lors des simulations explorées. Enfin, « *le code du modèle SIMPOP2 est peu accessible, peu commenté et donc difficilement utilisable par une autre personne que celle qui l'a développé. Les quelques tentatives ont conclu sur l'impossibilité du ré-emploi du code dans sa version originale.* » (Schmitt, 2014a, p.100).

Cette expérience a donc permis de stimuler la recherche d'une autre manière de concevoir et construire les modèles, permettant de mieux les évaluer et, parallèlement, à des procédures d'évaluation performantes sur des modèles comportant un grand nombre d'agents et de simulations (Reuillon *et al.*, 2013 ; Schmitt, 2014a ; Rey-Coyrehourcq, 2014 ; Schmitt *et al.*, 2014b ; cf.

¹² Validation « à l'apparence », correspondant à une estimation subjective de la qualité d'une simulation en première analyse (Hermann, 1967).

section 4.2.3). L'héritage Simpop2 et Eurosim est toutefois très présent dans le projet MARIUS :

- nous cherchons aussi à construire un modèle qui reproduise à la fois des caractéristiques générales de systèmes de villes et des particularités de systèmes historiques ;
- le contexte historique est appréhendé à la fois en entrée du modèle, par l'introduction de règles spécifiques, et en sortie, par la confrontation des résultats à des données empiriques ;
- la majorité des mécanismes implémentés dans Simpop2 sont repris et adaptés pour construire les mécanismes d'interactions inter-urbaines dans le modèle MARIUS ;
- l'expérience liée à l'évaluation du modèle nous a servi à prendre en compte cet aspect dès la phase de conception et de construction du modèle.

Avant notre projet MARIUS, une étape décisive dans la réflexion et le développement d'outils pour l'évaluation depuis Simpop2 a été franchie par C. Schmitt, S. Rey-Coyrehourcq, R. Reuillon et M. Leclaire. Leur collaboration interdisciplinaire a permis le calibrage automatique du modèle SimpopLocal et son exploration intensive au sein d'une plateforme intégrée (Simprocess et OpenMole).

4.2.2.3. SimpopLocal : un nouveau départ dans la modélisation de systèmes de peuplement

Le modèle SimpopLocal « *a été conçu [par C. Schmitt et S. Rey-Coyrehourcq] pour étudier l'émergence de la structuration et de la hiérarchisation d'un système de peuplement en simulant les dynamiques de croissance de points de peuplement dont le développement est entravé par de fortes contraintes locales et environnementales mais qui sont progressivement repoussées grâce à l'adoption d'innovations.* » (Schmitt, 2014a, p.155). Bien que développé dans la lignée des modèles Simpop, il s'en différencie par :

- **l'endogénéisation** du processus d'émergence d'une hiérarchie urbaine, en considérant un concept abstrait d'innovations qui apparaissent dans les villes et se diffusent par interaction ;
- une recherche de **parcimonie** dans la structure du modèle, comprenant un nombre très réduit de mécanismes et de paramètres libres ;
- son **exploration intensive** au moyen de méthodes innovantes utilisant le calcul distribué pour automatiser les procédures de calibration et d'analyse de sensibilité.

- Ainsi, le développement du modèle SimpopLocal a donné lieu à une véritable **co-construction interdisciplinaire** du modèle thématique et des méthodes permettant son évaluation.

La première originalité du modèle SimpopLocal – l’endogénéisation du processus d’apparition des innovations – correspond à un choix de modélisation motivé par la comparaison d’approches stochastiques et mécanistes dans la modélisation de la hiérarchisation des systèmes de peuplement, et la préférence donnée aux processus générateurs basés sur des hypothèses théoriques (Schmitt, 2014a). C’est aussi une réponse à l’incertitude de l’influence de l’apport exogène de fonctions urbaines dans les modèles Simpop antérieurs.

La propriété de parcimonie est motivée par la recherche de la meilleure solution de modélisation capable de mener à la validation du modèle. En abordant la construction du modèle comme un processus incrémental évalué selon une boucle itérative à chaque modification du modèle, la démarche des concepteurs de ce modèle s’apparente au courant KISS de complexification progressive (cf. figure 4.2.2). Cette démarche vise à satisfaire les impératifs de validation interne et externe (Sargent, 2005), en raffinant les mécanismes, en testant des implémentations alternatives d’un mécanisme, en modifiant le domaine de définition des paramètres, etc. Elle s’appuie sur l’utilisation intensive de méthodes de calibrage et d’analyse de sensibilité.

Ces méthodes ont été développées parallèlement à l’expérimentation du modèle, par les concepteurs du modèle et les informaticiens R. Reuillon et M. Leclaire, à l’origine de la plateforme OpenMole, « *which provides a convenient way to explore home-brewed models with quickly evolving implementations using advanced design of experiments. The contributions of OpenMOLE are twofold : it exposes a language for describing reusable design of experiments for simulation models and it provides an execution platform which distributes these experiments on high performance computing environments in a transparent manner.* » (Reuillon et al., 2013, p.1981).

Deux méthodes d’exploration intensive ont été développées et appliquées à des modèles géographiques de simulation à base d’agents (Schmitt et al., 2014b).

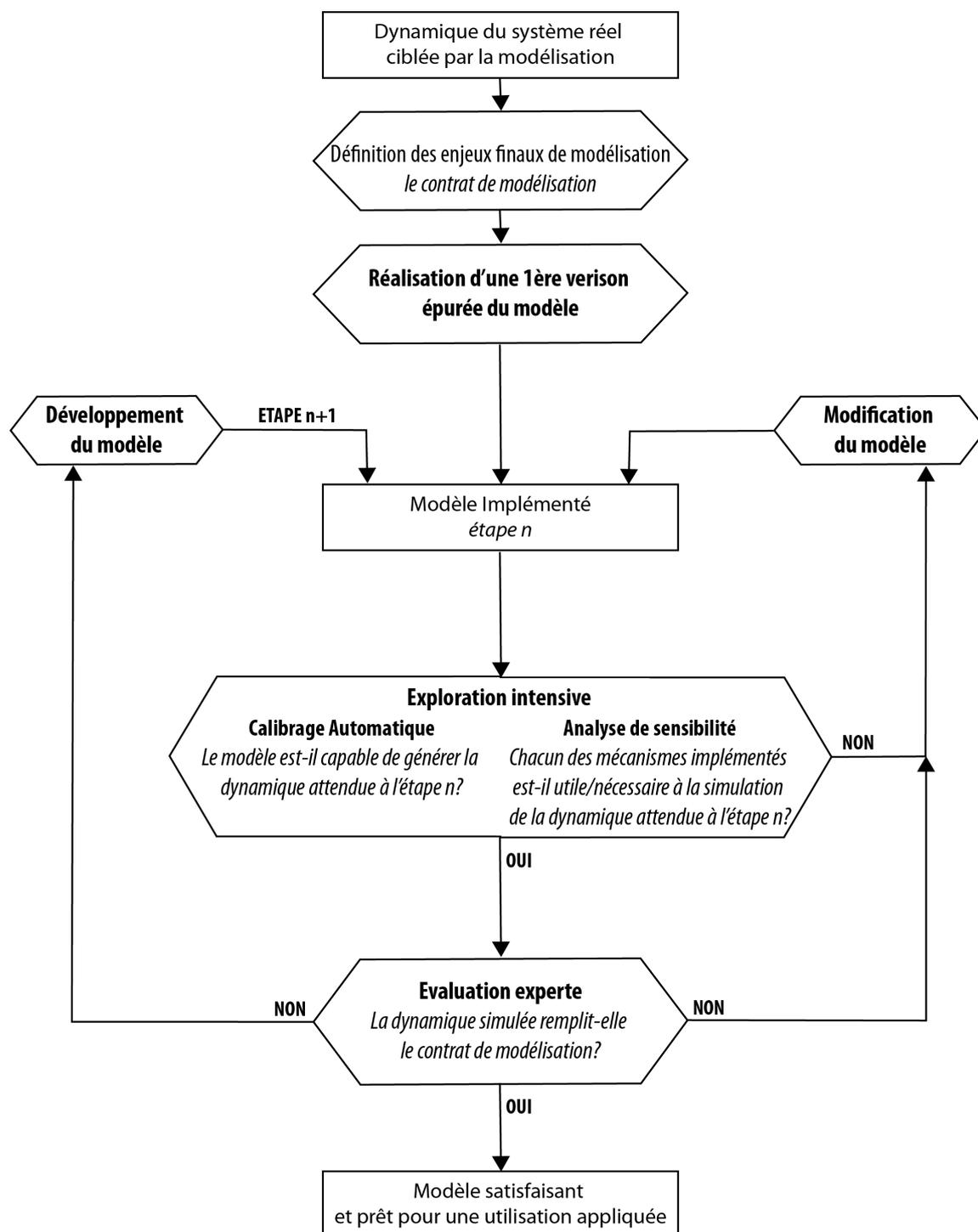
La première vise le **calibrage automatique** du modèle par algorithmes génétiques :

« *Model calibration is a procedure which seeks to minimize the difference between the behaviour simulated by the model and a behaviour defined according to expert knowledge and/or data. In most*

multi-agent systems the calibration is done manually by introducing values for the parameters and visually verifying that the output of the model corresponds to the expected results. [...] Evolutionary algorithms are heuristics that scan the search space using strategies inspired by natural processes to solve optimisation problems. In order to use evolutionary algorithms to calibrate a model, the first step is to formalize what the expected result of a “good” simulation is. » (Schmitt et al., 2014b, pp.5-6)

Outre la définition d'un ou de plusieurs objectifs quantifiés représentant une « bonne » simulation, la recherche des meilleurs jeux de paramètres dans un espace multidimensionnel de grande taille ainsi que leurs re-combinaisons et la réplication des expériences dans le cas de modèles stochastiques (comme SimpopLocal) aboutit à des quantités très élevées de simulations, de l'ordre de plusieurs centaines de millions (Schmitt et al., 2014b). Cette demande en calcul dépasse la capacité d'un ordinateur unique (ou requiert une patience du modélisateur mesurée en dizaines d'années !) et nécessite la parallélisation des exécutions sur une grille de calcul. En l'occurrence, cette étape est orchestrée par la plateforme OpenMOLE (Reuillon et al., 2010) pour accéder à la Grille Européenne de Calcul. Au terme de la convergence de l'algorithme, un ensemble hiérarchisé de solutions optimales est extrait, parmi lequel le modélisateur peut ensuite distinguer les jeux de paramètres qui ont du sens pour calibrer le modèle en fonction des objectifs spécifiés (Schmitt et al., 2014b).

Figure 4.2.2. Démarche de modélisation pour SimpopLocal (Schmitt, 2014a)



Source : (Schmitt, 2014a, p.124)

La seconde méthode automatique d'exploration du modèle appartient au champ des **analyses de sensibilité**. Elle vise à produire des profils de la meilleure capacité du modèle à reproduire les objectifs spécifiés en fonction

des variations d'un paramètre, les autres paramètres étant optimisés par ailleurs (Reuillon *et al.*, 2014). « *L'algorithme des profils d'exploration se fonde sur des algorithmes évolutionnaires d'optimisation standards. Chaque paramètre est à l'origine d'une analyse (un profil) et chaque analyse est indépendante.* » (Schmitt *et al.*, 2014b, p.219). Dans l'exploration du modèle SimpopLocal, cette méthode a permis d'alléger le modèle d'un mécanisme et d'affirmer la nécessité de tous les autres pour produire une dynamique en accord avec les objectifs fixés, en plus de donner un « domaine de validité » au calibrage de chaque paramètre (Schmitt, 2014a). C'est donc une avancée significative dans la compréhension des comportements du modèle en fonction de paramètres dont la valeur n'était pas accessible empiriquement.

Ces méthodes effectives et innovantes ont en outre l'avantage d'être libres et génériques, favorisant leur réutilisation scientifique. Elles l'ont été notamment dans le processus de construction et d'évaluation du modèle MARIUS, dont nous allons dans la section suivante présenter les enjeux généraux et les aspects clés.

4.2.2.4. MARIUS : modélisation incrémentale pour reproduire les trajectoires des villes d'un système (post-soviétique).

Avant une présentation globale du modèle MARIUS selon une version adaptée du protocole de description ODD (*Overview, Design concepts, Details* ; Grimm *et al.*, 2006), nous discutons le seul modèle multi-agents à notre connaissance traitant de la croissance des villes russes et justifions la construction d'un autre modèle pour répondre à notre question de recherche.

Partant d'un constat similaire concernant la nécessité d'expliquer plutôt que de reproduire simplement une distribution rang-taille par un modèle stochastique « à la Gibrat », ainsi que l'intérêt de comparer des instanciations d'un modèle générateur sur différents systèmes de villes (notamment russe), T. Gulden et R. Hammond (2012) ont produit deux modèles de simulation confrontés aux données françaises, américaines et russes. Quatre arguments nous invitent cependant à nous écarter de leur démarche et à proposer une famille de modèle intégrée à la lignée Simpop :

- Tout d'abord, il s'agit de la relation entre la **connaissance empirique** des systèmes de villes étudiés et l'approche de modélisation. En effet, les auteurs de cet article basent leurs hypothèses sur l'observation de la distribution rang-taille de 161 villes russes uniquement (définies comme des entités administratives), à la date de 1997 (qui n'est pas une année de recensement, et donc implique l'utilisation d'estimations de la

population des villes au milieu de la phase de transition géopolitique du pays). Il nous a semblé plus fécond tout au long de cette thèse de considérer la dynamique d'un effectif plus large de villes (1 929 en 2010 dans tout l'espace post-soviétique), dont l'évolution pluri-décennale est décrite au moyen d'une base de données harmonisées correspondant à une définition morphologique plus cohérente dans le temps (cf. Chapitre 1).

- D'autre part, l'approche multi-agents nous semble un bon moyen de **dépasser les modèles purement stochastiques** « à la Gibrat » en testant l'effet de mécanismes riches de sens. Bien que cet argument soit mis en avant par T. Gulden et R. Hammond, leur premier modèle tente une métaphore des flux de migration interurbains basée sur des pots et des haricots (« *jars and beans* », p.685), avec des échanges aléatoires de haricots représentant des citoyens entre pots représentant les villes, ces échanges pouvant aboutir au transfert de la moitié des haricots/citoyens d'une ville/pot à un pas de temps. En dehors du « haricot-morphisme » de cette approche de la migration interurbaine, nous pensons, avec S. Lindenberg (2003), que les modèles procédant par mécanismes générateurs doivent être construits par « abstraction décroissante » certes, mais inclure une « complexité suffisante » pour apporter des connaissances sur le système-cible.
- Dans un troisième temps, l'approche par **modèles d'équilibre** affectés par des chocs exogènes et rendant compte d'une « taille typique » de ville ne correspond pas à notre volonté de simuler de manière dynamique l'évolution des villes de l'espace post-soviétique sur le long terme et expliquer les processus de croissance différenciée menant à la configuration hiérarchique observée.
- Enfin, si leur démarche de construction d'un modèle générique doté de règles spécifiques pour les différents systèmes de villes nous semble intéressante, l'unique **hypothèse caractéristique du « système russe »** ne nous semble pas convaincante. En effet, elle se base sur les discours soviétiques prônant une limitation de la taille des plus grandes villes (cf. Chapitre 2.1) et postule en conséquence une probabilité plus forte en Russie que dans les autres systèmes de migration depuis les grandes villes vers les plus petites. Cette hypothèse nous semble contredite par les travaux d'historiens, de géographes et de démographes (M. Lewin notamment) et l'observation de la croissance par classes de taille sur le long terme en Union soviétique (cf. Chapitres 2 et 3).

Pour toutes ces raisons, la construction d'un nouveau modèle nous semble justifiée. En nous basant sur l'héritage des modèles Simpop, nous cherchons donc à produire un modèle de type Simpop2, instanciable spécifiquement pour reproduire les dynamiques urbaines de l'espace post-soviétique, en s'inscrivant dans la suite de SimpopLocal pour la méthodologie et les principes de conception et validation du modèle. Ce double héritage nous amène à proposer sous l'acronyme MARIUS une famille de modèles modulaire, incrémentale et évaluable, traduisant en mécanismes les principales hypothèses issues de la théorie évolutive des villes et de l'observation empirique des villes d'ex-Union soviétique (cf. chapitre 4.1.3). Le « nous » est ici plus que rhétorique, puisqu'il représente le tandem de modélisation interdisciplinaire formé avec Paul Chapron¹³ pour définir cette approche de modélisation incrémentale, auquel Romain Reuillon¹⁴ est venu apporter ses réflexions sur l'évaluation et son savoir-faire technique pour l'expérimentation intensive des modèles de simulation.

Cette démarche sera présentée en détails dans la section suivante 4.2.3. Nous procédons avant cela à la formulation de la question à laquelle MARIUS se propose de répondre, en commençant le protocole de description des modèles multi-agents ODD par le « O » : *Overview*. V. Grimm *et al.* (2006) suggèrent de débiter la description d'un modèle multi-agents par une réponse à la question « quel est l'objectif du modèle ? » (*What is the purpose of the model ?*), suivi de questions sur les entités, variables et échelles du modèle (« *What kind of entities are in the model ? By what state variables, or attributes, are these entities characterised ? What are the temporal and spatial resolutions and extents of the model ?* »), avant d'interroger les processus et leur ordonnancement (*Which entities do what, in what order ? When are state variables updated ? How is time modelled – as discrete steps or as a continuum over which both continuous processes and discrete events can occur ?*). Nous organisons donc la description générale de MARIUS autour de ces trois points : objectif, entités et processus.

Objectif

MARIUS est une famille de modèles qui vise à reproduire des faits stylisés de systèmes de villes en général, et les trajectoires des villes de l'ex-Union soviétique en particulier. L'objectif secondaire du modèle, par rapport aux modèles Simpop2 et EuroSim, est de permettre l'exploration successive et alternative de mécanismes et d'éléments de l'environnement allant des plus génériques aux plus spécifiques à l'ex-URSS afin d'évaluer le degré de particularité des règles nécessaires à la reproduction des trajectoires urbaines post-soviétiques.

¹³ Dans le cadre d'un post-doc financé par l'ERC GeoDiverCity

¹⁴ ISC-PIF et ERC GeoDiverCity

À partir d'une configuration initiale correspondant à la situation observée des villes de cet espace en 1959, nous cherchons donc par simulation à aboutir à une configuration finale proche de la situation observée en 2010, tout en reproduisant l'essentiel de la diversité des trajectoires urbaines observées empiriquement.

Le point de départ de 1959 est justifié par la prise en compte de trois arguments :

- Tout d'abord, cette année marque le début d'une **rare période de stabilité** dans l'évolution soviétique, voire de « normalité » (Stuart, Gregory, 1977 ; Becker *et al.*, 2012), durant laquelle les évolutions observées sont susceptibles d'être moins biaisées par l'effet des multiples catastrophes démographiques (Polyan *et al.*, 2001), et donc de permettre leur modélisation par des processus plus généraux. C'est ce que rappellent en creux T. Nefedova et A. Treïvish : « *Theory can explain the Russian trends when they are not deeply distorted by some extraordinary events, which, however, were and are so common in this country* » (Nefedova, Treïvish, 2003, p.75). Ce point de départ assez tardif permet toutefois un recul de cinquante années d'observations empiriques.
- D'autre part, 1959 correspond aussi au début de **la fin de la transition urbaine** dans la majorité des régions soviétiques (cf. Chapitre 3.2) et à la baisse du flux massif de ruraux vers les villes qu'avait connu l'URSS entre les années 1920 et 1950 : « *The magnitude of rural-urban migration during the Soviet period is remarkable. For the 32-year period between 1927 and 1959 the net rural-urban migration within the Soviet Union is estimated at 43 million persons. This flow is of the same magnitude as the total net overseas migration from Europe to the Americas, Africa, and Oceania during the entire 19th century and the 20th century up to World War II* » (Harris, 1970, pp.8-9). Ne pas endogénéiser ce flux est un choix de réduction de l'ambition du modèle, mais aussi de sa complexité potentielle.
- Enfin, cette période la plus récente est aussi celle que l'on connaît le mieux **empiriquement**, au terme de l'analyse statistique (Chapitre 4.1), du fait de la meilleure fiabilité des données, de leur plus grande régularité dans le temps (à une fréquence décennale), et de l'intégration des informations régionales à partir de 1959.

Entités, variables d'état et échelles

Les entités modélisées sont des agrégations : il s'agit de 1 150 agglomérations urbaines de plus de 10 000 habitants en 2010 déjà présentes en 1959 en Union soviétique.

Elles sont caractérisées par leur population, leur localisation (absolue : coordonnées géographiques ; et relative : appartenance régionale et nationale), leur statut administratif (capitale ou non), leur accès aux ressources du sous-sol et aux infrastructures de transport, leur richesse estimée et leur spécialisation fonctionnelle empirique.

Les variables d'état que l'on observe de manière privilégiée sont :

- La croissance totale de population urbaine ;
- La forme de hiérarchie du système (distribution des tailles en fonction des rangs) ;
- La diversité des trajectoires individuelles.

Le périmètre géographique de la simulation est celui de l'ex-Union soviétique. Une simulation commence en 1959, et dure 30 ou 51 années (respectivement jusqu'en 1989, avant la chute de l'URSS et la période de transition, et 2010 si l'on représente ce tournant).

Vue d'ensemble des processus et de leur ordonnancement

Le temps de la simulation est discret. Chaque pas de temps, représente une année et se déroule comme suit :

1. Les villes actualisent les variables économiques correspondant à leur niveau de population et de richesse (productivité, consommation, spécialisation, déterminant les niveaux de production et de demande agrégée de chaque ville pour l'année en cours).
2. Elles procèdent à des échanges de valeur sur un marché en fonction des offres, des demandes, des spécialisations de chaque ville, de la distance qui les sépare¹⁵ et de la satisfaction liée aux échanges précédents. Nous parlons d'échanges de valeur car l'unité qui caractérise la richesse est fictive dans l'instanciation « post-soviétique », étant donné l'absence de données économiques empiriques disponibles à l'échelon de la ville. Nous estimons donc la richesse des villes dans une unité fictive et choisissons de ne pas

¹⁵ Cette distance pouvant être euclidienne ou réseau.

modéliser les processus liés aux prix. L'unité d'échange est donc une unité de valeur synthétique des biens et services échangés entre les villes, à la manière de Simpop2 (Bretagnolle *et al.*, 2006b).

3. Elles opèrent des péréquations au sein d'unités territoriales (régions, pays) par un mécanisme d'impôts prélevés par la capitale et redistribués parmi les villes du territoire concerné.
4. Elles récoltent la richesse liée à l'extraction de ressources sur lesquelles elles sont localisées.
5. Elles convertissent la richesse acquise ou perdue en population, ajustée par la dynamique démographique de l'ensemble territorial auquel elles appartiennent.

Toutes ces calculs sont effectués de manière synchrone afin d'éviter les biais liés à l'ordre arbitraire d'exécution des actions pour toutes les villes.

Afin de rentrer plus avant dans la description des concepts de modélisation (*Design concepts*) et des détails de l'implémentation du modèle (*Details*, les deux « D » du protocole ODD, cf. Chapitre 5), nous présentons la démarche de conception incrémentale du modèle Marius.

4.2.3. De DARIUS à MARIUS, l'intérêt d'une multi-modélisation

Pour répondre à la question de la particularité des mécanismes nécessaires à la reproduction de la dynamique du système de villes d'ex-URSS depuis 1959, et en lien avec l'expérience des différents modèles Simpop, nous avons développé une démarche incrémentale de modélisation. Elle permet de réfléchir *a priori* à la trajectoire de complexification d'un modèle initialement le plus simple possible. La démarche d'ajout de mécanismes dans un modèle de plus en plus complexe, qui est la façon de faire de la plupart des modélisateurs (Railsback, Grimm, 2012), est ici guidée par une « carte » de l'espace maximal que l'on se propose d'explorer par simulation (section 4.2.3.1). Chaque ajout est situé dans une progression à laquelle on donne du sens en fonction de notre question de recherche, et sera évalué pour comparer son apport à la capacité du modèle à reproduire les objectifs d'évaluation. Ce dispositif est mis en place grâce à la plateforme Simprocess qui intègre les méthodes d'exploration (section 4.2.3.2).

4.2.3.1. MARIUS : pas un mais des modèles à évaluer

Dans la démarche de conception/construction du modèle MARIUS, on considère donc non pas un mais des modèles construits de manière incrémentale. Ce choix de commencer par explorer un modèle simple (mais suffisamment complexe pour refléter une partie du comportement du système-cible, cf. Lindenberg, 2003) est motivé par le constat qu'un modèle représentant un système complexe est déjà lui-aussi un système complexe (Amblard, 2003 ; Amblard, Phan, 2007a). Pour utiliser au mieux la fonction de laboratoire virtuel du modèle et s'en servir pour mieux comprendre le système-cible par expérimentations (qui seraient évidemment impossibles dans le système-cible), il faut donc être capable de mener des explorations intensives des comportements du modèle en fonction des variations de valeurs de paramètres, de mécanismes (structure du modèle) ou de conditions initiales. Ces expérimentations, pour être valides, sont coûteuses en temps de calcul et d'interprétation.

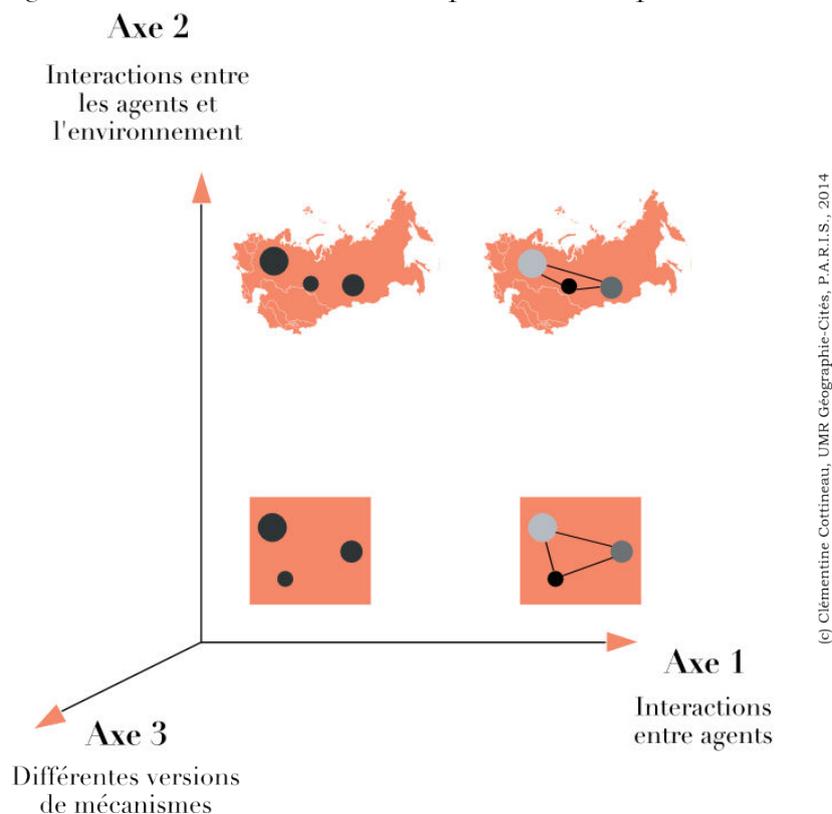
L'idée de tenter de comprendre un modèle simple avant de le complexifier semble donc raisonnable. Quant à savoir dans quel sens, selon quelle logique et quelle ampleur monter en complexification, il semble qu'il n'y ait pas de règles et qu'une partie de la réponse dépende du contexte et de la question de modélisation. Parmi les (rares) auteurs qui explicitent leur cheminement de complexification et dont nous avons connaissance, il semble que l'usage soit d'ajouter des sphères thématiques de mécanismes au modèle existant : c'est le cas dans les modèles Sugarscape (par exemple : ajout d'un mécanisme de reproduction entre agents, puis un mécanisme de crédit, puis l'effet de la pollution ; Epstein, Axtell, 1996) ou du *Mason-Smithsonian Joint Project on Inner Asia* (module d'interactions entre ménages, introduction de hiérarchies sociales, puis d'effets climatiques ; Cioffi-Revilla, 2010).

Il nous a semblé intéressant d'essayer de lister les mécanismes à introduire dans le modèle MARIUS, puis de les organiser de manière hiérarchique en fonction de leur plus ou moins grande nécessité *a priori* pour la reproduction des trajectoires urbaines dans l'espace post-soviétique en fonction des hypothèses formulées précédemment (cf. section 4.1.3). Les deux axes de complexification qui ont émergé au cours de cette réflexion interdisciplinaire¹⁶ décrivent une progression :

- des **interactions entre agents** (axe 1) ;
- des **interactions entre les agents et l'environnement** (axe 2).

¹⁶ C'est-à-dire entre l'informaticien-modélisateur Paul Chapron et moi-même, géographe.

Figure 4.2.3. Démarche de complexification pour MARIUS



Pour représenter cette démarche de manière schématique (figure 4.2.3), la complexification selon l'axe 1 permet de modéliser de plus en plus finement l'hétérogénéité des agents et de leurs interactions, tandis que la complexification selon l'axe 2 permet de raffiner la prise en compte de l'hétérogénéité du territoire dans lequel les villes interagissent, c'est-à-dire de considérer ce territoire particulier de moins en moins comme un support aux interactions et de plus en plus comme un environnement actif avec lequel les villes interagissent et qui contraint en retour leurs échanges.

Le troisième axe de la figure 4.2.3 représente la possibilité de considérer des mécanismes alternatifs et/ou concurrents à un même niveau de complexité sur les deux premiers axes.

Pourquoi ces axes ?

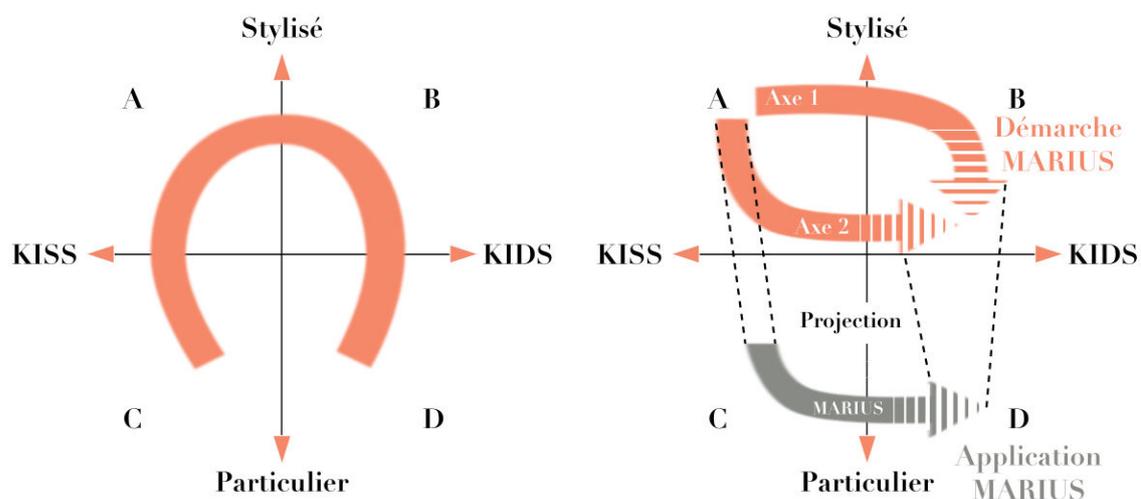
A. Banos et L. Sanders (2012), en retraçant les grandes phases de la modélisation systémique de l'espace géographique, proposent un plan pour positionner ces modèles selon deux dimensions, l'une « *concernant la nature du phénomène empirique étudié (plus ou moins stylisé)*, l'autre étant relative au

*dispositif que le modélisateur met en place pour y parvenir (plus ou moins parcimonieux) » (Banos, Sanders, 2012, p.865). En plus de positionner les modèles dans ces quadrants A, B, C et D, ils identifient des parcours de modélisation réalisés par une ou plusieurs équipes de chercheurs. Les parcours « classiques » suivent une forme de « fer à cheval », allant de modèles simples reproduisant des faits stylisés (A) vers un raffinement de la description des mécanismes (B) et l'application à différents contextes géographiques (C) ; ou la particularisation de l'environnement à partir d'un modèle simple (A -> D). L'évolution du modèle Simpop vers les instanciations Simpop2 et Eurosim dans le laboratoire Géographie-cités par exemple est caractéristique d'un parcours du quadrant B vers C, tandis que les modèles de ségrégation de type Schelling appliqués à des cas d'études concrets (Benenson *et al.*, 2002 notamment) incarnent le trajet A -> D. La nature du parcours du quadrant A vers des modèles de plus en plus descriptifs (KIDS) puis de plus en plus particuliers (C) :*

« correspond à l'introduction de nouveaux mécanismes ou formes de causalité en matière de comportement des agents considérés. Une autre forme de passage est plus spécifique à la géographie : il s'agit de la prise en compte de contextes géographiques plus diversifiés, point particulièrement important dans une discipline où l'on s'intéresse à l'espace, non pas comme simple support, mais comme potentiellement « actif », influant sur le comportement des agents, et étant modelé par les actions de ceux-ci. » (Banos, Sanders, 2012, p.885).

Ces axes ne sont pas conçus pour représenter la complexification d'un modèle, c'est pourquoi nous avons proposé notre plan, mais il est possible de projeter la démarche de conception de MARIUS dans ce repère (figure 4.2.4) : la progression sur notre axe 1 rend le modèle de plus en plus détaillé (KISS -> KIDS) tout en le particularisant par l'introduction de règles d'interactions éventuellement spécifiques aux échanges interurbains (post-)soviétiques. Cette éventualité découle de notre question de recherche, qui vise précisément à déterminer jusqu'à quel point l'introduction de règles spécifiques est nécessaire. D'autre part, la progression sur l'axe 2 particularise le modèle en faisant jouer des éléments d'un territoire théorique de plus en plus proche du territoire (post-)soviétique, tout en rendant ces interactions villes-environnement (éventuellement) de plus en plus détaillées. Enfin, l'instanciation de ces mécanismes stylisés, avec l'introduction de données empiriques pour déterminer les conditions initiales situe l'ensemble des modèles MARIUS dans la partie « Sud » du repère (quadrants C et D des modèles appliqués à une situation particulière). Cette instanciation est censée devenir de plus en plus particulière à mesure que des résultats plus proches des données empiriques sont recherchés à l'aide d'une fonction d'évaluation plus exigeante (cf. Chapitre 5).

Figure 4.2.4. Position de MARIUS par rapport au fer à cheval
d'A. Banos et L. Sanders (2012)

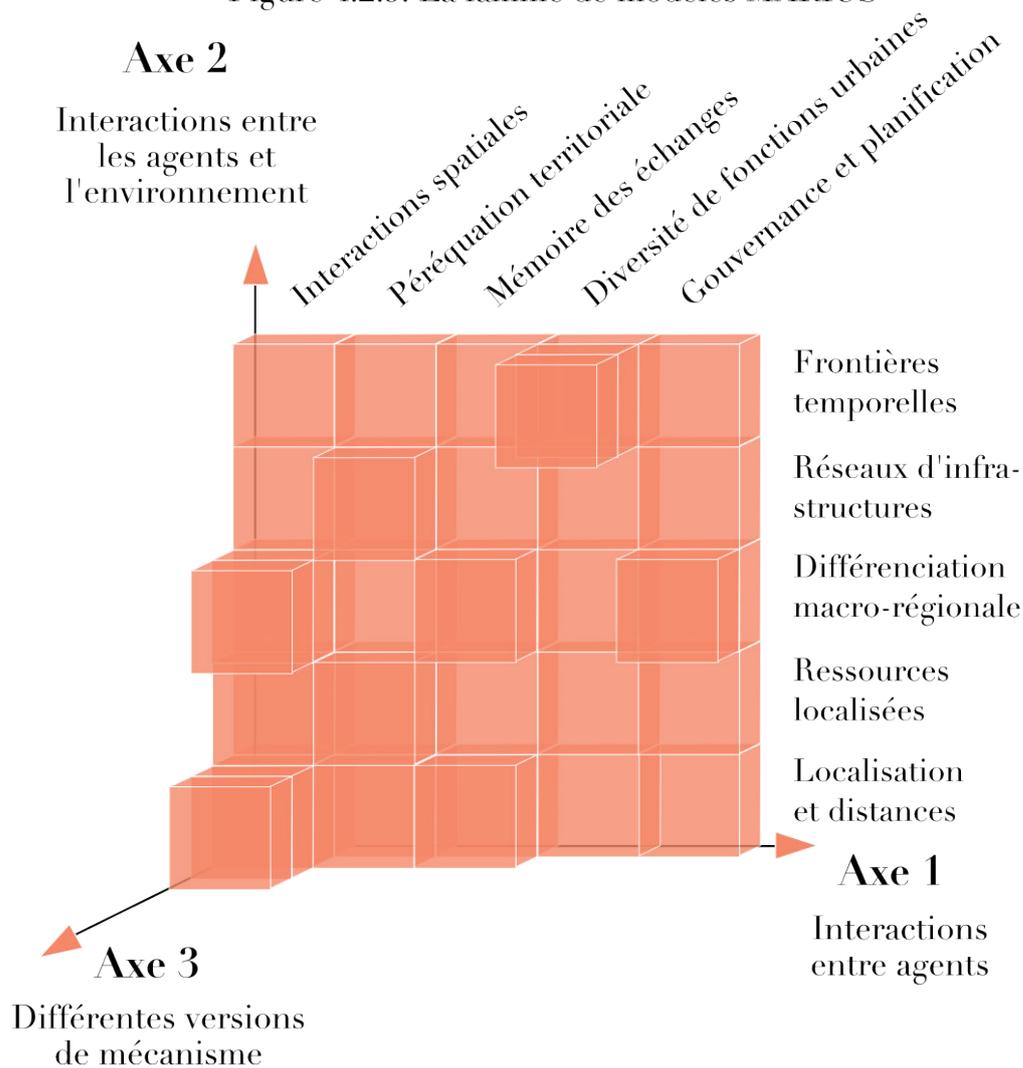


Source : d'après (Banos, Sanders, 2012)

Discrétisation de la progression le long des axes MARIUS

En pratique et pour servir de guide à l'entreprise de modélisation, nous avons identifié cinq incréments de complexification le long de chaque axe, correspondant chacun à une hypothèse de modélisation basée sur les propositions de la théorie évolutive des villes et les résultats des analyses empiriques précédemment menées. Chaque module du modèle s'ajoute aux modules précédents et peut contenir un ou plusieurs mécanismes. La dimension alternative de l'axe 3 en revanche n'est pas discrétisée *a priori*. Elle dépend de la propension de chaque hypothèse à posséder des implémentations alternatives. La progression éventuelle sur l'axe 3 est donc déterminée au cours de l'implémentation de chaque « cube-modèle ».

Figure 4.2.5. La famille de modèles MARIUS



(c) Clémentine Cottineau, Paul Chapron, UMR Géographie-Cités, ERC GeoDiverCity, 2014

Nous procédons à la présentation succincte des hypothèses correspondant à chaque incrément sur les deux premiers axes, en utilisant la notation MARIUS $x.y.z$, x correspondant à la coordonnée du cube-modèle sur l'axe 1, y sur l'axe 2 et z sur l'axe 3. La description précise des modèles effectivement implémentés et évalués sera fournie dans le Chapitre 5.

MARIUS 1.y.z

« La recherche ne part pas du modèle concevable le plus simple, mais d'un modèle qui incorpore assez de complexité pour décrire le problème approximativement perçu par l'intermédiaire de la richesse du langage ordinaire. Ce "principe de complexité suffisante" affirme que les hypothèses simplificatrices doivent toujours être suffisamment complexes pour permettre de décrire le phénomène à expliquer. » (Lindenberg, 2003, p.362)

Ainsi, notre modèle le plus simple d'interactions interurbaines possède une structure comparable à celle de tous les suivants. Nous posons l'hypothèse que l'abstraction la plus forte d'un système de villes correspond à la représentation de villes interagissant entre elles en fonction de leur localisation (interactions spatiales). La nature de l'interaction est alors indifférenciée et équivaut à un échange marchand et concurrentiel de valeur, abstraction valuée de la complexité des échanges d'informations, d'hommes, de capitaux et de biens existant entre les villes du système-cible¹⁷.

MARIUS 2.y.z

Le second incrément permet de différencier les interactions interurbaines, entre les échanges de valeurs liés à une rencontre des villes sur un marché de valeurs abstrait et les échanges territoriaux. Ceux-ci sont sélectifs en fonction de l'appartenance d'un ensemble de villes à une même organisation administrative. Leur nature et leur signification est différente des interactions « marchandes » basées sur la *concurrence* : les interactions de « péréquation territoriale » représentent un mode d'interaction *coopératif* (Ferber, 1995) marqué par l'appartenance commune à un territoire politique. À ce niveau de complexité, on passe d'un modèle de système spatial à un modèle de système territorial.

MARIUS 3.y.z

La complexification correspondant à MARIUS 3.y.z permet d'intégrer la mémoire des échanges marchands antérieurs dans la composition des groupes de partenaires procédant à des échanges à un moment donné. Le système économique urbain modélisé devient donc un peu plus réaliste en devenant plus *path-dependent* (Arthur, 1994).

MARIUS 4.y.z

L'incrément interactionnel suivant permet d'introduire une hétérogénéité des villes selon le profil de leur spécialisation fonctionnelle. En permettant aux villes modélisées de procéder à des échanges complémentaires de leur production, on raffine la manière dont la compétition et la coopération se forment dans un système de villes (par

¹⁷ Ce primat de l'économie dans la modélisation des interactions urbaines, déjà présent dans le modèle Simpop2, n'est pas invraisemblable dans le cas de l'Union soviétique, où « *la loi principale du système de peuplement réside dans la conformité de la répartition de la population par rapport à la répartition des forces productives.* » (Khorev, 1975, p.6, traduit du russe).

avantages comparatifs ou compétitifs, en fonction des différents cycles d'innovations et de leur mode de diffusion spatiale et hiérarchique).

MARIUS 5.y.z

Enfin, dans le modèle le plus complet de la famille MARIUS sur l'axe 1, les interactions entre agents peuvent être contraintes à un niveau supérieur par la modélisation d'un agent « gouvernance », représentant par exemple l'action de l'État sur le développement sélectif de certaines villes¹⁸, leur spécialisation fonctionnelle ou encore la création *ex-nihilo* de villes nouvelles. L'introduction de mécanismes de ce type particularise fortement le modèle, qui est alors uniquement applicable à des systèmes de villes dans des territoires marqués par une organisation politique dirigiste.

À chaque niveau de détail concernant la modélisation des interactions interurbaines (coordonnée x), le modèle est aussi caractérisé par le niveau de détail de la modélisation des interactions entre les villes et l'environnement (coordonnée en y).

MARIUS x.1.z

Dans les modèles les plus simples de ce point de vue, l'environnement est un support aux interactions interurbaines qui ne les contraint qu'en tant qu'il fait intervenir la distance dans les potentiels d'échange entre des villes localisées dans l'espace.

MARIUS x.2.z

L'incrément suivant correspond à l'hypothèse de l'effet de la présence de ressources localisées sur la croissance différenciée des villes à une période donnée dans un cycle d'innovations. Dans le cas général comme dans celui de l'Union soviétique (Harris, 1970 ; chapitre 4.1.2), l'hétérogénéité de la distribution des ressources sur le territoire est un facteur supposé important dans la diversité des trajectoires urbaines.

¹⁸ *Via* le marché du logement et la détermination des salaires relatifs, R. Stuart et P. Gregory (1977) montrent qu'en Union soviétique, la marge de manoeuvre de l'État sur les migrations « spontanées » est significative et substantielle (en plus de son action par migrations forcées).

MARIUS x.3.z

Dans les modèles MARIUS de type x.3.z, l'effet du territoire est détaillé en prenant en compte les décalages temporels des caractéristiques démographiques et urbaines de macro-régions. Ainsi, la dynamique liée aux échanges d'une ville est modulée différemment selon son appartenance régionale (cf. Chapitre 4.1.2.3). Ce raffinement permet de prendre en compte l'influence différenciée spatialement de la composante démographique dans un système de villes, et l'importance d'une partie de la société non modélisée explicitement dans le modèle : la population rurale. L'introduction de cette gamme de mécanismes est potentiellement nécessaire pour reproduire les faits stylisés correspondant au système de villes de l'espace post-soviétique, puisque « *for the period investigated, the proportion of Soviet population classified as urban increased from 39 percent (1950) to 59 percent (1972), with net rural-urban migration accounting for most of this growth.* » (Stuart, Gregory, 1977, p.83).

MARIUS x.4.z

Le module « 4 » de l'axe 2 correspond à une complexification de la distance entre villes induite par la considération des infrastructures de transport, dont la co-évolution avec la croissance urbaine est l'une des hypothèses de l'explication. La prise en compte des différentiels d'accessibilité devrait permettre de générer des évolutions urbaines plus proches des configurations observées dans les systèmes de villes.

MARIUS x.5.z

Enfin, le dernier incrément de cet axe inclut la relation entre le système modélisé et l'extérieur de ce système, par la modélisation de frontières plus ou moins étanches à ces interactions extérieures au cours du temps (Teurtrie, 2009). Ce mécanisme est intéressant dans l'instanciation MARIUS pour tenter de reproduire les trajectoires urbaines des années 1990 et 2000, durant lesquelles les frontières intra-URSS changent de nature et deviennent internationales, contraignant les interactions entre villes séparées par ces frontières.

Avant de détailler la stratégie d'évaluation de ces multiples modèles, rappelons que cette discrétisation et l'ordre des incréments correspondent à une hypothèse « méta » de modélisation, qui postule que cet ordre traduit la hiérarchie des mécanismes explicatifs, du plus au moins nécessaire, à l'explication de la croissance urbaine et des configurations observées, *dans le cas de* l'espace post-soviétique. Cette progression pourrait cependant être

reprise et réorganisée pour modéliser d'autres systèmes de villes. De même, les modules implémentés sont construits pour notre question de recherche et confrontés à des données empiriques soviétiques puis post-soviétiques, mais leur expression informatique modulaire est conçue pour être réutilisable et applicable à d'autres cas d'étude.

4.2.3.2. EBIM : l'évaluation au cœur du processus

« What we are calling for is a new strategy for dealing with complex systems models. We need to be explicit about the purpose for modeling and we need to consider the extent to which a complex systems model contains hypotheses that should be validated numerically against observable data. [...] a tentative suggestion would be that all models – traditional or complex – should mix calibration with exploration. [...] In this way, we consider exploration of model structures as well as more detailed methods for calibration to be essential in any process of model validation. [...] We also feel that all modeling should be paralleled with extensive debate, with the construction of alternative models. » (Batty, Torrens, 2001b, §40).

Cette citation, en écho aux implications épistémologiques du choix de l'approche par mécanismes générateurs (cf. section 4.2.1.2) et à l'expérience des modèles Simpop (cf. section 4.2.2), rappelle l'enjeu majeur de la validation des modèles et du problème de l'équifinalité. Notre approche de modélisation se situe à un moment où cet enjeu est explicité et où des solutions sont développées pour commencer à y répondre. Il n'est donc plus possible de repousser l'enjeu de la validation à une étape finale (voire éventuelle, cf. Amblard *et al.*, 2007b). Le travail mené autour de la famille de modèles MARIUS a conduit à placer l'évaluation au cœur du processus de modélisation. La méthodologie résultante¹⁹ propose donc trois types de réponses à l'« appel à la validation » lancé par M. Batty et P. Torrens :

- la confrontation des modèles de simulation à des **faits stylisés théoriques** aussi bien qu'à des **jeux de données empiriques** pour leur évaluation ;
- la comparaison **d'hypothèses alternatives** au sein d'une famille de modèles ;
- le développement de **méthodes d'exploration** des comportements du modèle.

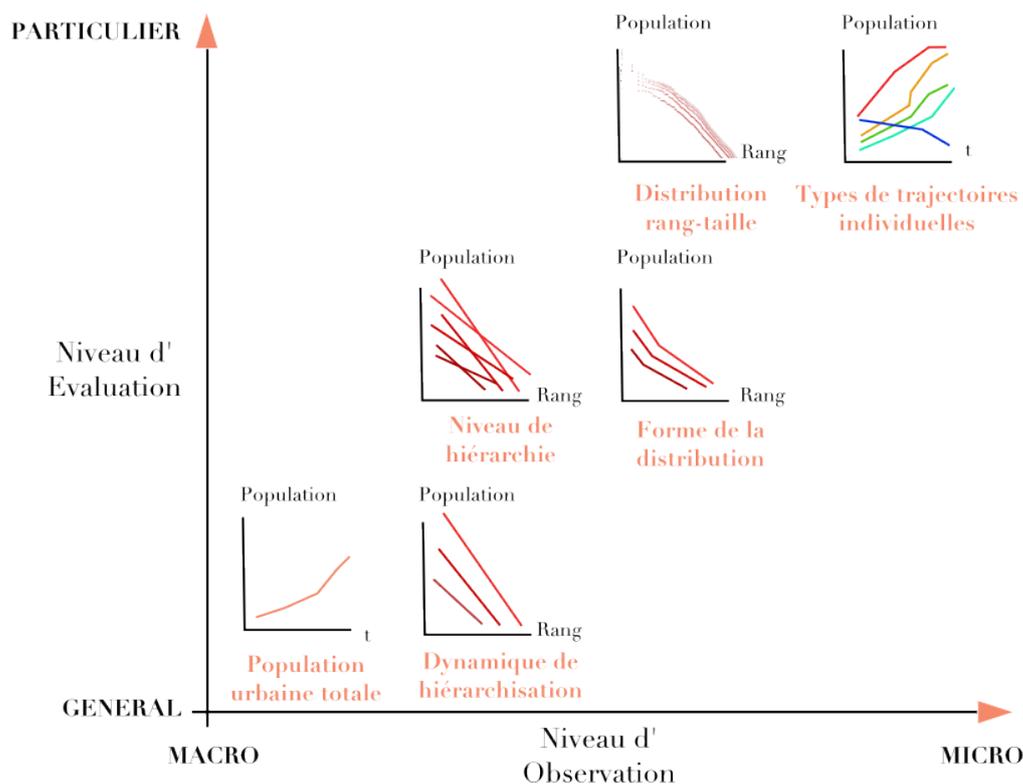
¹⁹ EBIM : Evaluation-Based Incremental Modeling.

Évaluation progressive des modèles MARIUS

Notre méthodologie d'évaluation des modèles MARIUS se rapproche de la méthode POM (*Pattern-Oriented Modeling*) de construction/évaluation de modèles, telle que définie par V. Grimm et S. Railsback (2012). Après la formulation d'un modèle simple, les auteurs suggèrent de procéder en trois étapes : identifier les *patterns* caractérisant le mieux les enjeux de modélisation – c'est-à-dire les configurations du système-cible que l'on cherche à reproduire – ; définir des critères d'adéquation à ces configurations (« *criteria of pattern-matching* » ; Railsback, Grimm, 2012, p.234), puis identifier les mécanismes additionnels qu'il serait possible d'ajouter au modèle simple afin de produire des sorties du modèle remplissant tous les critères d'adéquation aux *patterns*.

Nous avons déjà donné la liste organisée des incréments possibles de MARIUS. Nous présentons ici l'organisation des faits-stylisés et mesures empiriques que nous cherchons à reproduire (figure 4.2.6). Étant donnée la question de recherche posée aux modèles et leurs niveaux variables de complexité et de particularité, cette sélection s'organise de manière hiérarchique selon un gradient de particularité, et selon un gradient de difficulté du critère à remplir, correspondant à une distinction entre critères macro-géographiques (plus aisés car agrégés) et critères micro-géographiques (plus difficiles à reproduire dans leur diversité).

Figure 4.2.6. L'évaluation de la famille MARIUS



Le premier critère à remplir pour évaluer une sortie de simulation est le nombre total d'urbains dans le système à la date considérée. Cette caractéristique agrégée de la taille du système rend compte du développement global de l'urbanisation et constitue un premier filtre intéressant pour classer les différents comportements des modèles.

À un niveau d'observation intermédiaire entre la ville et le système de villes, les faits stylisés correspondant à la structuration hiérarchique du système de villes sont organisés selon la progression opérée dans le Chapitre 2, du plus général (un système qui tend à se hiérarchiser au cours du temps), au plus singulier (la distribution empirique des villes d'ex-URSS), en passant par des modèles de résidus particuliers concernant le niveau de hiérarchie (associée à l'ancienneté du peuplement) et la forme de la distribution (reflétant pour partie l'encadrement territorial par différentes organisations politiques).

Enfin, le modèle que l'on considère le plus apte à reproduire les dynamiques observées est celui pour lequel les types de trajectoires individuelles de villes correspondraient à celles que nous avons identifiées en fin de Chapitre 3. Ce critère est, de tous ceux que l'on considère ici, le plus désagréé et le plus proche des données empiriques.

Ces différents critères sont donc utilisés pour évaluer les différents modèles MARIUS de manière absolue, les classer selon leur aptitude à remplir des critères de plus en plus difficiles, et fournissent des mesures quantifiées pour les objectifs de calibration automatique (cf. Chapitre 5).

L'axe 3 de la démarche MARIUS pour la comparaison d'hypothèses alternatives

Une fois les critères identifiés, ils permettent une confrontation des différentes structures de modèles. Par « structure de modèles », nous entendons à la fois les différents modèles MARIUS à niveaux de complexité variés selon les axes 1 et 2 de sa grille de complexification, mais aussi les structures alternatives correspondant aux implémentations alternatives de mécanismes sur l'axe 3. Les différentes implémentations peuvent correspondre à des alternatives techniques²⁰ comme à des hypothèses concurrentes²¹ (cf. Chapitre 5).

²⁰ La formalisation d'un marché d'échanges peut en effet prendre autant de formes informatiques qu'il existe de modélisateurs.

²¹ Dans l'exemple du marché d'échanges pour MARIUS, on peut imaginer deux hypothèses concurrentes dans l'explication. La première consisterait à modéliser ces échanges comme un marché concurrentiel ; la seconde comme une distribution déterminée par un agent gouvernance. La comparaison de ces deux hypothèses, dans leur capacité (ou leur incapacité)

Cette méthode d'exploration large des alternatives de structure d'un modèle pour répondre à une même question de recherche est un défi reconnu de la modélisation, recommandé par de nombreux auteurs, et connu sous le concept de « *family of models* » (Axelrod, 1997 ; Batty, Torrens, 2001b ; McKelvey, 2002 ; Werker, Brenner, 2004 ; Grimm, Railsback, 2012). La démarche de modélisation MARIUS est une proposition qui permet de tenter de relever une partie de ce défi.

Méthodes d'exploration des modèles

Pour évaluer les différents modèles MARIUS, nous réutilisons les méthodes d'exploration intensives développées dans l'équipe de modélisation GeoDiverCity pour le modèle SimpopLocal. En l'occurrence, le calibrage est réalisé automatiquement, en utilisant des algorithmes évolutionnaires (Schmitt *et al.*, 2014b) et les objectifs quantifiés cités précédemment.

La méthode dite des profils (Reuillon *et al.*, 2014) permet une analyse de sensibilité indépendante de chaque paramètre. Celle-ci fournit une indication précieuse sur la nécessité des mécanismes implémentés et le domaine de validité des paramètres analysés tout au long de la construction incrémentale du modèle.

Enfin, l'évaluation intensive du modèle aboutit à un nombre considérable d'informations qui doivent être synthétisées et visualisées. « *En sus du modèle lui-même, il est nécessaire de l'instrumenter pour se donner les moyens de l'observer, par exemple visualiser certaines données de la simulation pour permettre à l'utilisateur de se représenter la dynamique de son système.* » (Amblard *et al.*, 2007b, p.107). Grâce au développement de représentations graphiques et cartographiques (évolution de la distribution rang-taille simulée au regard de la distribution empirique, cartographie comparée des tailles de villes observées et simulées, cartographie des flux simulés, etc.), nous pouvons aboutir à des représentations usuelles de l'analyse géographique d'un système de villes et permettre ainsi une meilleure évaluation externe du modèle vis-à-vis des données empiriques (cf. Chapitre 5).

à remplir les critères d'évaluation, permettrait de favoriser l'explication du fonctionnement soviétique de type « classique » comme une économie dirigée, ou bien « hétérodoxe » comme un système auto-organisé malgré les discours officiels et les réglementations.

Cette démarche de modélisation incrémentale centrée sur l'évaluation est donc une proposition concrète répondant au diagnostic épistémologique concernant le principal défi associé à la simulation et l'explication par mécanismes génératifs : l'évaluation. Elle nous permet d'expérimenter dans le laboratoire virtuel SimProcess des hypothèses sur la croissance du système de villes post-soviétiques et son degré de spécificité. Nous tenons toutefois à rappeler qu'une telle démarche, appliquée à un cas d'étude concret, est nécessairement le fruit d'héritages multiples (symbolisés par la réflexion théorique et sa matérialisation dans les modèles Simpop du laboratoire Géographie-Cités), de collaborations interdisciplinaires intenses (catalysées par le programme de recherche européen GeoDiverCity piloté par D. Pumain), et d'échanges scientifiques réguliers avec d'autres équipes de recherches (Journées interdisciplinaires de Rochebrune, colloques de l'ECTQG, de l'ECCS ou de l'AAG ; séminaires-rencontres GeoDiverCity-MECHANICITY, etc.). Nous tenons donc à terminer ce chapitre en notant que la démarche MARIUS présentée ici, et les résultats obtenus et présentés dans le Chapitre 5, ne sont pas notre production personnelle uniquement, mais qu'ils sont liés à un travail d'équipe. Nous considérons toutefois que dans le cadre de cette thèse, il eut été regrettable de se contraindre à un travail entièrement personnel certes, mais de qualité infiniment moindre que celle permise par des collaborations par ailleurs accessibles, grâce à un environnement scientifique favorable.

4.3. Conclusion

Ce chapitre a été l'occasion de tester de manière statistique les intuitions développées au regard de l'évolution historique des villes de l'espace post-soviétiques décrite dans le Chapitre 3. Notamment, nous avons confirmé au moyen d'analyses bivariés, multivariées et multiniveaux l'association entre forte croissance et certains attributs correspondant à des fonctions de villes, à leur accessibilité, les ressources à leur disposition et leur dynamique régionale. Tous ces facteurs se sont avérés covarier avec les différentiels de croissance entre villes du système, avec des variations macro-régionales liées à la structure du réseau urbain et aux temporalités de l'intégration russo-soviétique (cf. section 4.1.2).

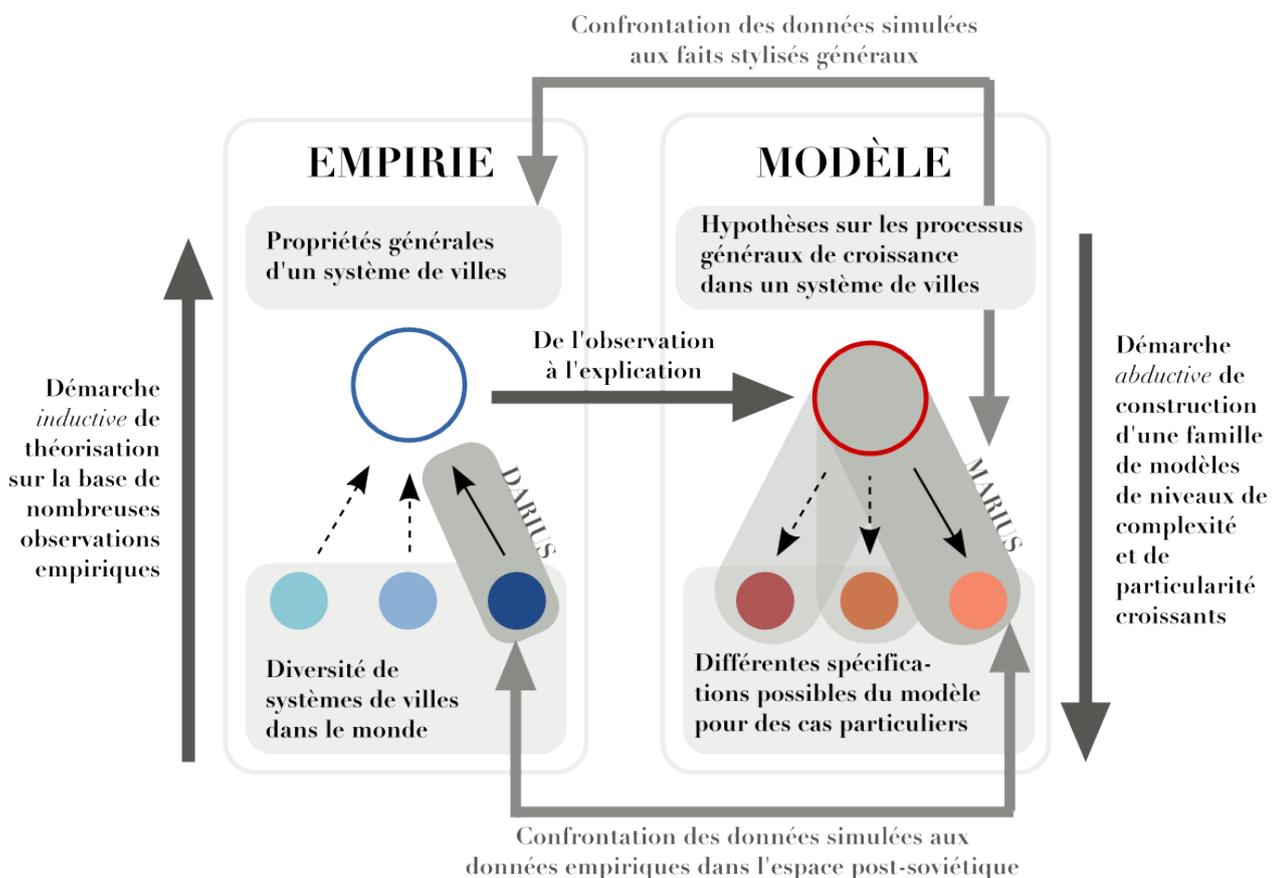
Bien qu'elles fournissent matière à des hypothèses sur les processus de croissance urbaine (section 4.1.3) en lien avec la théorie évolutive des villes, les covariations statistiques ont été identifiées comme la première étape, descriptive, d'une démarche de recherche visant la compréhension et l'explication de l'évolution urbaine dans l'espace post-soviétique (section 4.2.1). La seconde étape que nous empruntons une multi-modélisation par mécanismes générateurs présente des avantages épistémologiques pour rendre compte de cette évolution, mais dépend des méthodes déployées pour évaluer les modèles ainsi construits.

En intégrant l'héritage des expériences de modélisation Simpop (section 4.2.2), nous bénéficions des réflexions théoriques et des réponses méthodologiques apportées par ces recherches précédentes pour proposer MARIUS, une famille de modèles visant à reproduire les trajectoires des villes de l'ex-URSS depuis 1959.

La démarche inter-disciplinaire de construction des modèles MARIUS (section 4.2.3) présente l'originalité de baliser la complexification des modèles, en hiérarchisant les hypothèses traduites sous forme de mécanismes et ajoutées de manière incrémentale dans les différents modèles. Cette démarche rend possible un développement de la famille de modèles qui place l'évaluation au centre. Cette évaluation inclut les étapes de calibrage et d'analyse de sensibilité, soit une exploration intensive des comportements du modèle. Elle facilite la compréhension du fonctionnement modélisé et donne des indications sur la capacité des modèles à reproduire les faits stylisés identifiés comme objectifs de modélisation, permettant au final d'inférer, au moyen des modèles ainsi évalués, des conclusions sur le comportement du système-cible : celui des villes de l'espace post-soviétique (cf. Chapitre 5).

La figure 4.2.7 tente de résumer graphiquement cette démarche de modélisation entreprise jusqu'ici dans la thèse. Dans un premier temps, le système de villes post-soviétiques a été considéré comme un cas particulier d'une catégorie plus générale d'objet géographique (les systèmes de villes). Son observation empirique au moyen des données harmonisées DARIUS et par le prisme de la théorie évolutive des villes a amené, de manière inductive, à compléter la description des propriétés de ce système de villes. Cette étape de l'analyse inclut des éléments théoriques mais reste insérée dans une sphère empirique. Le passage vers la modélisation se justifie par la recherche d'explication. Elle conduit, par l'implémentation d'hypothèses sur les processus de croissance urbaine, à construire de manière abductive une famille de modèles, MARIUS, instanciée pour reproduire les trajectoires des villes de l'espace post-soviétique mais réutilisable pour d'autres instanciations de systèmes de villes ailleurs dans le monde. Cette sphère du modèle, infusée elle aussi d'éléments théoriques, puise dans le domaine empirique les éléments nécessaires à sa validation externe, en confrontant les données simulées à des faits stylisés plus ou moins généraux.

Figure 4.2.7. De DARIUS à MARIUS :
une démarche d'intégration des modèles à la compréhension
de l'évolution du système de villes de l'espace post-soviétique



Chapitre 5.

Expérimentation incrémentale avec MARIUS

Sommaire du Chapitre 5

5.1. Un modèle d'évolution urbaine par interactions spatiales : MARIUS 1.1	341
5.1.1. Présentation détaillée des mécanismes du modèle	343
5.1.1.1. Concepts de modélisation (<i>Design concepts</i>)	343
5.1.1.2. Détails d'implémentation (<i>Details</i>)	346
5.1.2. Qu'est-ce qu'une bonne simulation ? À quel espace de paramètres correspond-elle ?	356
5.1.2.1. Mesure d'adéquation entre observé et simulé	356
5.1.2.2. L'espace des paramètres exploré	357
5.1.3. Premières évaluations de MARIUS 1.1.1	359
5.1.3.1. Résultats de calibrage	360
5.1.3.2. Des dynamiques méso-géographiques irréalistes	363
5.1.3.3. Mieux définir ce qu'est une « bonne » simulation	366
5.1.3.3. Antagonisme des objectifs d'évaluation pour le premier modèle d'évolution urbaine	367
5.1.4. Vers un modèle plus complexe : MARIUS 1.1.2	370
5.1.4.1. Complexification du mécanisme d'interactions spatiales	370
5.1.4.2. Calibrage satisfaisant du modèle	372
5.1.4.3. MARIUS 1.1.2, analyse de sensibilité	376
5.1.4.4. Un modèle qui ne reproduit pas la diversité des trajectoires observées	379

5.2. Trois blocs de mécanismes de complexification du modèle	384
5.2.1. La présence de ressources localisées : MARIUS 1.2	385
5.2.1.1. Principe de base du mécanisme d'extraction de ressources	385
5.2.1.2. Résultats de calibrage de MARIUS 1.2.1	387
5.2.2. La redistribution territoriale et le rôle des capitales : MARIUS 2.1	391
5.2.2.1. Principe de base du mécanisme de péréquation territoriale	391
5.2.2.2. Résultats de calibrage de MARIUS 2.1.1	394
5.2.2.3. Résultats obtenus avec MARIUS 2.2.1	397
5.3. L'apport de l'exploration MARIUS pour la connaissance d'un système de villes	402
5.3.1. Comparaison de la capacité des modèles à reproduire les structures et trajectoires du système-cible	402
5.3.2. Capacité des modèles MARIUS à rendre compte du tournant de 1991	406
5.3.3. Premiers enseignements géographiques	411
5.3.3.1. Confirmations théoriques	411
5.3.3.2. Généricité de la structure du système de villes (post-)soviétique	412
5.3.3.3. Singularités	413
5.4. Conclusion	415

Chapitre 5.

Expérimentation incrémentale avec MARIUS.

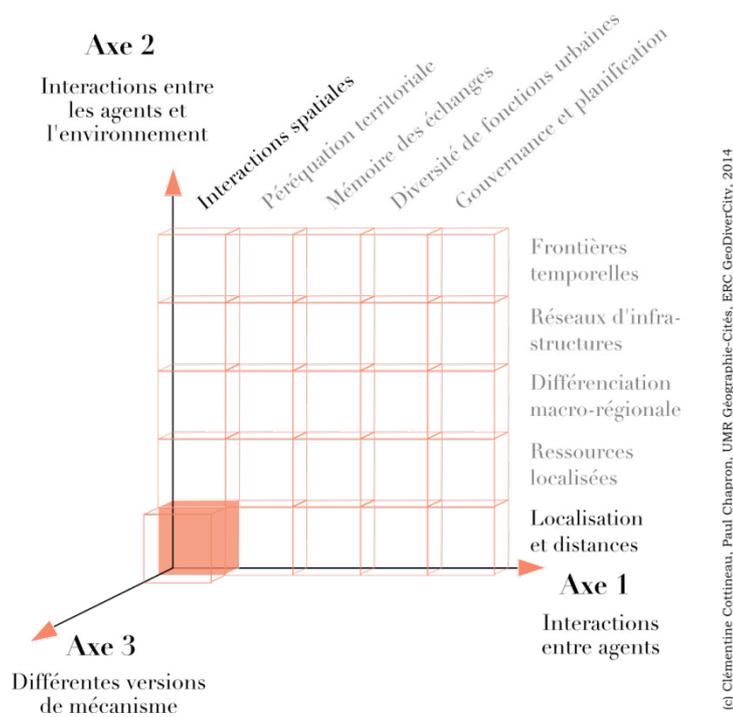
*« I have not failed. I've just found
10 000 ways that won't work. »*
Thomas Edison

Nous avons proposé dans le Chapitre 4 une démarche abductive de construction et d'exploration d'une famille de modèles de simulation. Cette démarche met l'accent sur la possibilité de déterminer le niveau de généralité des mécanismes générateurs capables de reproduire un ensemble de faits stylisés caractérisant l'évolution des villes de l'espace post-soviétique au cours des cinquante dernières années. Les propriétés d'équifinalité associées à la simulation constituent à la fois une force permettant la comparaison d'implémentations alternatives pour un même mécanisme et une faiblesse puisque l'inférence entre le comportement du modèle et l'évolution observée nécessite une validation souvent impossible à parachever (Amblard *et al.*, 2007b ; cf. Chapitre 4, section 4.2.1). Nous proposons donc ici d'étudier un certain nombre de modèles en partant du plus général et stylisé en allant vers des modèles plus complexes et particuliers, en autorisant les implémentations alternatives. Le caractère incrémental et hiérarchisé de la progression dans la modélisation ne répond pas en soi au défi de validation, mais permet de procéder à une évaluation de chaque incrément de mécanismes. Ainsi, on peut à la fois mieux comprendre la dynamique du modèle qui se complexifie et identifier les gains explicatifs associés à l'ajout des nouveaux incréments.

Ce travail interdisciplinaire (mené avec les informaticiens Paul Chapron et Romain Reuillon) est guidé par la grille de construction MARIUS présentée dans le chapitre précédent (figure 4.2.5). Toutefois, il s'agit d'un travail toujours en cours en développement. Par conséquent, toutes les combinaisons de mécanismes présentées dans la grille de construction (ou « cubes-modèles ») ne seront pas présentées dans ce chapitre. Nous justifions ce choix de deux manières complémentaires : d'un côté, l'effort nécessaire de modélisation de tous les blocs de mécanismes dépasse le cadre temporel d'une thèse et s'inscrit

plutôt dans le cadre d'un projet de recherche sur le plus long terme au sein d'une équipe, qui intègre cette recherche de genericité des évolutions urbaines soviétiques et post-soviétiques, mais aussi des applications de ces blocs de mécanismes génériques à d'autres systèmes de villes (Inde et Chine en préparation dans le projet GeoDiverCity). D'autre part, la complétion de la grille de mécanismes n'est pas l'objectif de ce travail. Au contraire, la réponse à notre question de recherche se situe dans l'identification du nombre minimal de blocs de mécanismes nécessaires à la reconstruction de trajectoires comparables à celles des villes de l'espace post-soviétique. Nous souhaitons ainsi construire la combinaison la plus parcimonieuse de mécanismes produisant un modèle capable de rendre compte de manière satisfaisante des faits stylisés de ce système. L'arbitrage entre la complexité du modèle (incluant l'effort requis pour son implémentation et son exploration) et l'importance des trajectoires urbaines « résistant » à la simulation nous a orientée vers l'exploration de cinq cubes de la grille MARIUS produisant des résultats satisfaisants quant à la problématique de cette thèse.

5.1. Un modèle d'évolution urbaine par interactions spatiales : MARIUS 1.1



Position du modèle 1.1.1 dans la grille de complexification
incrémentale et hiérarchisée MARIUS
cf. Chapitre 4, figure 4.2.5.

La prise en compte d'interactions économiques entre les villes constitue la première des hypothèses conduisant à leur coévolution et différenciation au cours du temps. Il n'a pas été possible de la valider au moyen de modèles statistiques et de données empiriques. Nous en faisons donc ici un postulat qui est à la base des interactions simulées entre les villes de l'espace post-soviétique.

Cette hypothèse repose sur deux fondements :

1. Les interactions interurbaines sont à l'origine de la croissance de richesse et de population dans chacune des villes du système (Pumain, 1997a). En échangeant, les villes diffusent des connaissances et de l'information qui constituent alors des externalités positives (Glaeser *et al.*, 1992).
2. Il existe une boucle de rétroaction entre deux grandeurs synthétiques caractérisant les villes : leur richesse et leur population (Dendrinos, Mullaly, 1985).

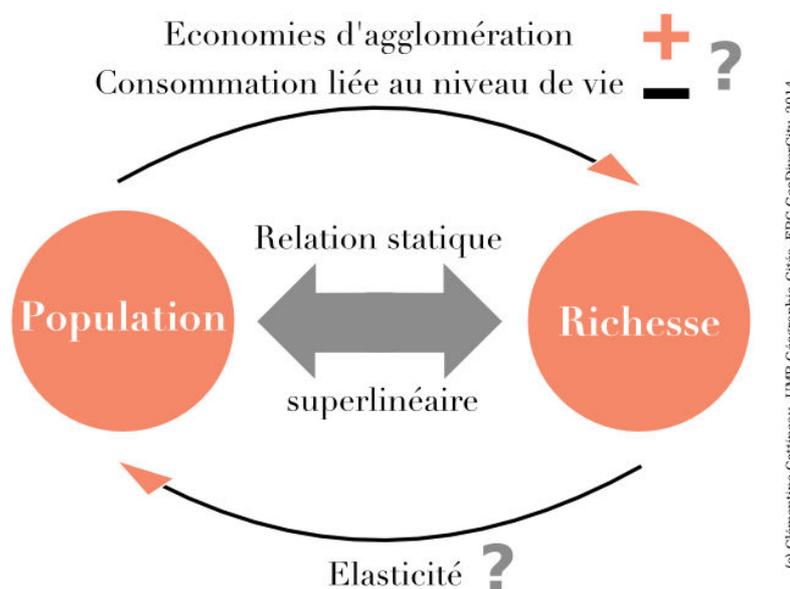
Nous faisons l'hypothèse que cette boucle dynamique procède dans les deux sens, par deux effets contradictoires, et qu'en conséquence, le signe de la rétroaction est en partie indéterminé (figure 5.1.1).

Dans le sens population \rightarrow richesse, on suppose que la présence d'économies d'agglomération (Marshall, 1890 ; Abdel-Rahman, 1988 ; Catin, 1991 ; puis Fujita, Thisse, 1996 pour une synthèse des travaux sur le sujet) et d'urbanisation (Jacobs, 1969 ; Henderson, 1986) permet à chaque habitant d'être à la fois plus productif et de consommer une quantité d'autant plus grande de richesse chaque année que sa ville de résidence est importante. Deux effets contradictoires quant à l'effet hiérarchisant du mécanisme sont ainsi modélisés : les grandes villes ont un avantage selon la productivité, mais sont aussi plus consommatrices. On ne peut donc pas prédire *a priori* l'effet global de la taille des villes sur les comportements économiques individuels.

D'autre part, dans le sens richesse \rightarrow population, nous faisons l'hypothèse qu'un gain (ou une perte) de richesse est associé à un gain (ou une perte) de population, différencié en fonction de la taille des villes. Dans le vocabulaire économique, on suppose donc que l'élasticité de la variation de la population n'est pas constante en fonction de la taille des villes, mais aucune étude empirique ne permet de trancher si cette élasticité est croissante ou décroissante. En effet, la relation entre dynamique de richesse et dynamique de population représente une abstraction de la réalité, difficilement observable et dont la causalité n'est pas connue. Ainsi, lorsqu'une ville s'enrichit et se peuple, est-ce parce que l'apport de migrants augmente la propension de la ville à engendrer des économies d'agglomération ou au contraire parce qu'une ville productive attire les migrants jeunes et qualifiés (Ciccone, Hall, 1996 ; Combes, Lafourcade, 2012) ?

Cette relation dynamique abstrait de beaucoup la réalité démographique, en agrégeant les effets économiques sur les composantes démographiques. Toutefois, il ne semble pas absurde de postuler que les villes qui s'enrichissent attirent des migrants (en particulier jeunes, stimulant par là même les naissances) et inversement que les villes qui s'appauvrissent sont moins attractives, en particulier pour les jeunes. Toutefois, nous cherchons à étudier dans quelle mesure le sens de cette élasticité influence les résultats de simulation.

Figure 5.1.1. Hypothèse d'une boucle de rétroaction entre population et richesse d'une ville



5.1.1. Présentation détaillée des mécanismes du modèle

Nous avons présenté dans le Chapitre 4.2 la vue d'ensemble du modèle MARIUS (*Overview*) et la démarche de construction incrémentale et alternative que nous proposons de mettre en place pour reproduire la diversité des trajectoires des villes de l'ex-URSS. Afin de suivre le standard de présentation des modèles multi-agents ODD (*Overview, Design concepts, Details*; Grimm *et al.*, 2006), nous détaillons dans cette section les concepts de modélisation de l'ensemble de la famille de modèles et l'implémentation des mécanismes du modèle MARIUS le plus simple, qui sera complexifié par la suite.

5.1.1.1. Concepts de modélisation (*Design concepts*)

Le protocole de description des modèles ODD impose de rendre compte de dix concepts de modélisation de systèmes complexes et de leur signification dans le modèle à décrire. Il s'agit de présenter les caractéristiques affichées par le modèle en termes d'émergence, d'adaptation, d'objectifs, d'apprentissage, de prédiction, de perception des agents, d'interactions, de stochasticité, de collectif et des données empiriques utilisées pour évaluer l'adéquation entre le modèle et le système modélisé. Nous devons rappeler cependant que la description suggérée par V. Grimm *et al.* (2006) s'applique à des modèles où les

agents représentent des entités individuelles, alors qu'en suivant les principes de la famille Simpop, nos agents sont ici des collectifs. Cette particularité implique de transposer certaines notions du niveau micro au niveau méso-géographique, bien que le langage décrivant leurs propriétés reste le même : agents, interactions, environnement, etc. (cf. Drogoul *et al.*, 2003).

Émergence

V. Grimm *et al.* (2006) suggèrent de présenter les comportements dont on cherche à reproduire l'émergence par l'interaction entre les agents. Dans le modèle MARIUS, le comportement émergent recherché est celui de la diversité des trajectoires urbaines menant à une hiérarchisation du système de villes. La propriété de hiérarchie des populations urbaines est quant à elle introduite à l'initialisation de la simulation par l'utilisation de données empiriques en 1959, correspondant à un état du système de villes déjà hiérarchisé (à la manière d'EuroSim).

Adaptation

L'adaptation des villes aux changements dans MARIUS est gérée par trois ensembles de mécanismes. Dans le modèle le plus simple, une ville est conduite à produire de la valeur et à l'échanger en fonction de ses niveaux d'offre et de demande, et de l'offre et la demande des villes avec lesquelles elle interagit. De plus, la richesse créée (ou détruite) au cours d'un pas de temps est traduite en gain (ou perte) de population. La ville s'adapte donc aux caractéristiques d'offre et de demande de ses partenaires, et à sa nouvelle situation.

Dans les mécanismes des modèles MARIUS 3.y.z, l'adaptation des villes aux changements est incluse de manière temporelle : puisque le succès des échanges précédents est présent dans la fonction de choix des futurs partenaires.

Enfin, il existe une adaptation du comportement des villes en fonction de leur environnement dans MARIUS x.3.z. La particularité de ce modèle est de différencier la conversion entre richesse et population en fonction de la dynamique d'urbanisation régionale.

Objectifs

Notre modèle est évolutif et ouvert : les villes n'ont pas de fonction à maximiser. Elles échangent simplement avec les autres villes pour écouler leur production d'une année et satisfaire leur demande. Cependant, ce qui n'est pas échangé sur le marché interurbain est implicitement échangé en interne.

Apprentissage

Il n'y a pas d'apprentissage dans les règles d'interaction du modèle MARIUS le plus simple : l'expérience d'une ville dans ce modèle n'influence pas le choix des mécanismes caractérisant ses actions futures. Le mécanisme de MARIUS 3.y.z rend l'adaptation possible, et la *path-dependency* (ou enchaînement

historique) dans les réseaux d'échanges interurbains. Toutefois, il n'y a pas de prise de décision au niveau de la ville, donc les processus d'apprentissage tel que nous comprenons le concept proposé par V. Grimm *et al.* (2006) ne sont pas représentés. La famille de modèles MARIUS rentre donc dans la catégorie des SMA dont les agents sont *réactifs* plutôt que cognitifs (Ferber, 2007).

Prédiction

Les agents-villes ne produisent pas d'anticipations afin de déterminer leurs actions. Il n'y a donc pas d'aspects prédictifs au niveau macro-géographique dans les modèles MARIUS.

Perception

Nous considérons dans MARIUS que les villes « connaissent » les variables des autres villes sans avoir un mécanisme explicite d'acquisition de l'information. Toutes les informations sur l'environnement (appartenance régionale, présence de ressources par exemple) leur sont aussi des données perceptibles sans coût.

Interaction

« Pour un agent, interagir avec un autre constitue à la fois la source de sa puissance et l'origine de ses problèmes. C'est en effet parce qu'ils coopèrent que des agents peuvent accomplir plus que la somme de leurs actions, mais c'est aussi à cause de leur multitude qu'ils doivent coordonner leurs actions et résoudre des conflits. » (Ferber, 1995, p.55). Il existe ainsi deux types principaux d'interactions interurbaines dans les modèles MARIUS : des interactions de **compétition ou concurrence** entre villes (pour écouler leur production ou satisfaire leur demande par exemple, même si la complémentarité joue un rôle), et des interactions de **coopération** (dans le cas de la redistribution fiscale au sein d'un territoire). Enfin, il existe des interactions entre villes et environnement. Celles-ci sont déterministes dans le cas de l'exploitation de ressources à la localisation fixe (gisements, infrastructures).

Stochasticité

On distingue deux sources possibles d'aléa dans MARIUS :

- un aléa-bruit, si le mécanisme d'appariement des villes sur un marché recourt à des tirages aléatoires par exemple, ce qui n'est pas le cas des modèles présentés dans ce chapitre.
- un aléa-fréquence, si l'on modélise la création de villes nouvelles par une probabilité d'apparition à chaque localisation possible (MARIUS 5.y.z).

Collectif

On considère dans les modèles MARIUS des agrégats d'agents, au travers des emboîtements territoriaux (une ville appartient à une région, les régions composent les pays, etc.). Ces collectifs ne sont pas émergents, mais peuvent posséder des variables non-attribuables au niveau inférieur (le taux d'urbanisation d'une région par exemple). L'effet du niveau collectif joue à

partir de MARIUS 2.y.z en contraignant les interactions interurbaines (toutes les villes d'une même région participent à la redistribution fiscale), et à partir de MARIUS x.3.z en contraignant le comportement de croissance d'une ville selon son environnement régional d'appartenance (les villes situées dans les régions les moins urbanisées croissent plus pour un résultat d'interaction donné).

Observation

Nous avons réservé la section 5.1.2 à la présentation des objectifs du modèle et la description des éléments pris en compte pour déterminer un comportement satisfaisant. Notons donc ici que le modèle produit en sortie pour chaque ville et à chaque pas de temps : une population, une richesse synthétique, ses caractéristiques de production, de consommation et le résultat de ses échanges. Afin de comprendre et évaluer le modèle, nous nous intéressons principalement à la distribution des tailles de villes aux dates comparables à celles de l'observation empirique, à la distribution des richesses et des variables économiques.

Ces éléments du protocole ODD permettent d'explicitier les principaux concepts mobilisés dans le cadre de MARIUS. Toutefois, une pleine compréhension du modèle, permettant sa reproduction et sa retranscription, n'est possible qu'en fournissant le code-source du modèle¹, et en détaillant les mécanismes implémentés (section 5.1.1.2).

5.1.1.2. Détails d'implémentation (*Details*)

Nous présentons les mécanismes implémentés en deux parties : d'abord ceux qui caractérisent l'initialisation du modèle puis les blocs de mécanismes composant le modèle et appelés à chaque itération (*sub-models* dans le protocole ODD).

Initialisation

Les modèles de la famille MARIUS comportent des mécanismes généraux décrivant des interactions dans un système de villes, mais sont appliqués au cas particulier des villes de l'espace post-soviétique. À ce titre, l'initialisation inclut l'appel à des données empiriques caractérisant les villes à la date de début de la période simulée : 1959. Nous introduisons en entrée les populations de 1 145 villes présentes en 1959, localisées en fonction de leur coordonnées empiriques (et donc caractérisées par des distances réelles entre elles)².

¹ <https://forge.iscpif.fr/projects/marius/repository>

² cf. Cottineau, 2014. DARIUS Database. <http://dx.doi.org/10.6084/m9.figshare.1108081>

Ces modèles sont aussi fondés sur une variable représentant la richesse des villes. Cette information n'étant pas disponible à l'échelon urbain dans les statistiques officielles, nous recourons à une estimation de cette richesse lors de l'initialisation³. Celle-ci se base sur la relation scalante (super-linéaire) déduite de l'observation dans les quelques systèmes urbains pour lesquels les offices statistiques fournissent des chiffres relatifs à la richesse produite par ville (chaque année, en valeur ajoutée ou revenus versés). Dans le cas des villes brésiliennes notamment⁴, la relation observée entre le revenu total des habitants et la population est de la forme suivante :

$$\text{Revenu}_i = 46.21 * \text{Population}_i^{1.233}$$

Avec : i = une ville des 1 637 villes de plus de 10 000 habitants en 2010 au Brésil

Le revenu en réals et la population en habitants.

$R^2 = 88.3\%$

Si la valeur de l'exposant est interprétable et comparable aux valeurs prises dans d'autres systèmes urbains : 1.15 en Chine, 1.12 aux États-Unis et 1.26 en Europe⁵, le paramètre 46.21 est directement dépendant de la monnaie utilisée pour estimer la richesse des villes brésiliennes.

Dans le modèle MARIUS, la monnaie et les prix ne sont pas explicitement modélisés, c'est pourquoi nous conservons une forme de relation plus simple, sans multiplicateur, en raisonnant dans une unité de valeur fictive. D'autre part, nous estimons à l'initialisation de MARIUS une richesse totale, donc un stock, et non le flux de richesse produite par an, ce que représente le PIB (revenu ou production durant une période). À l'échelle des États au cours des trois derniers siècles, T. Piketty (2013) a montré que la valeur du patrimoine accumulé correspondait à plusieurs fois la valeur de la richesse produite dans l'année (entre 4 et 8 pour l'Europe au XX^e siècle par exemple). Ainsi, le stock de richesse correspondant au résultat de l'accumulation des flux de production net

³ Ce modèle de relation entre population et richesse est descriptif et différent du mécanisme introduit par la suite pour convertir la richesse acquise au terme des échanges en population. Cette différence se justifie par le fait que dans une application de MARIUS à d'autres systèmes de villes dans le monde (une implémentation pour la Chine est à l'étude par exemple, dans le cadre des travaux de Paul Chapron et d'Elfie Swerts), on introduirait à l'initialisation les richesses des villes, en conservant le mécanisme de conversion de l'application aux villes de l'espace post-soviétique. Cette fonction d'estimation des richesses est donc indépendante de la relation modélisée par la suite.

⁴ Données de 1 637 villes de plus de 10 000 habitants en 2010, compilées par Cosmo Antonio Ignazzi d'après les recensements de l'IBGE, utilisées ici avec son accord.

⁵ Estimation sur respectivement 295 entités administratives urbaines chinoises, 361 aires fonctionnelles américaines et 196 aires fonctionnelles européennes (LUZ) en 2002 et 1999-2003 (Bettencourt *et al.*, 2008, p.287). Coefficients d'ajustement correspondants : $R^2 = 0.96, 0.96$ et 0.64 .

passés, on peut supposer qu'il existe le même caractère super-linéaire entre cette variable et la population d'une ville⁶, que nous initialisons donc comme suit :

$$\text{Eq. 1 : } Wealth_i = Population_i^{populationToWealthExponent}$$

Avec : *populationToWealthExponent* l'exposant de la loi d'échelle entre les deux grandeurs, considéré comme un paramètre libre du modèle de base MARIUS 1.1.1, dont l'intervalle d'exploration est fixé entre 1 et 10.

L'unité de valeur utilisée étant fictive, on procède à un centrage de la distribution des richesses sur la distribution des populations, en impliquant ainsi qu'en moyenne, chaque habitant du système modélisé démarre la simulation avec une unité de richesse fictive.

Pour résumer : la simulation s'appuie sur l'initialisation des villes localisées à leur position empirique, avec leur population de 1959 et une valeur de richesse estimée. Le déroulement d'un pas de simulation est décrit en langage UML dans la figure 5.1.2 et justifié dans la section suivante.

Déroulement d'un pas de simulation

Un pas de simulation commence avec le calcul des variables économiques de chaque ville pour la période courante (figure 5.1.2).

Update Economic Variables

Nous simplifions le processus en agrégeant toutes les productions et consommations réalisées dans une ville par une fonction unique d'offre et une fonction de demande globale pour la ville. Ces grandeurs prennent la forme d'une fonction de la population, une relation scalante super-linéaire :

$$\text{Eq. 2 : } Supply_i = economicMultiplier * Population_i^{sizeEffectOnSupply}$$

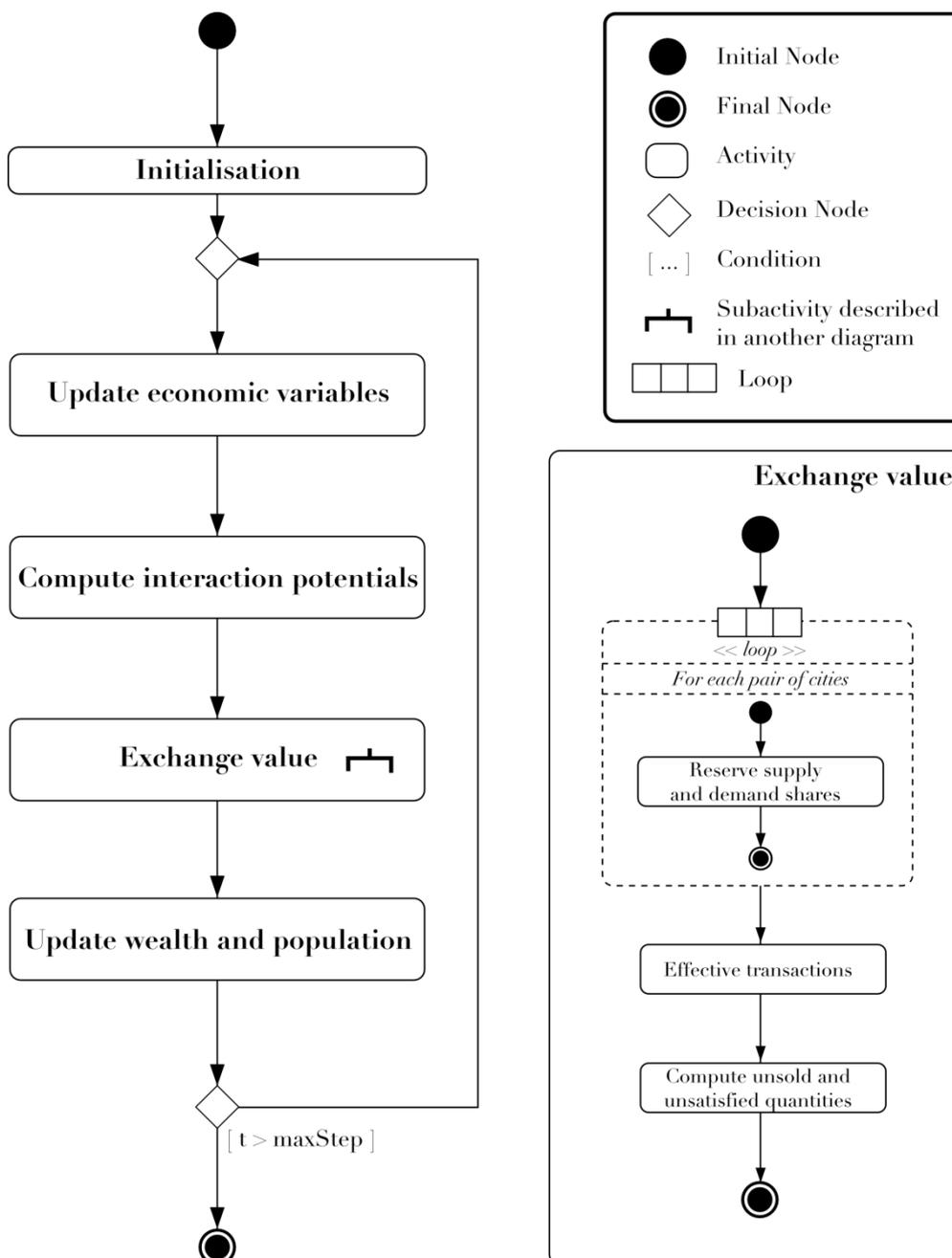
$$\text{Eq. 3 : } Demand_i = economicMultiplier * Population_i^{sizeEffectOnDemand}$$

Avec : *sizeEffectOnSupply* l'exposant de la loi d'échelle entre la production de la ville *i* et sa population, considéré comme un paramètre libre du modèle MARIUS 1.1.1, dont l'intervalle d'exploration est fixé entre 1 et 10.

⁶ Une somme de lois puissance étant encore une loi puissance (Roehner, Wiese, 1982).

sizeEffectOnDemand l'exposant de la loi d'échelle entre la consommation de la ville i et sa population, considéré comme un paramètre libre du modèle MARIUS 1.1.1, dont l'intervalle d'exploration est fixé entre 1 et 10.
economicMultiplier un facteur permettant d'ajuster la relation à l'unité de mesure de la richesse.

Figure 5.1.2. Diagramme d'activité du modèle MARIUS 1.1.1



La régularité modélisée ainsi (Eq. 2 et 3) correspond à l'observation que les villes ont tendance à produire et consommer plus que proportionnellement

à leur taille. En effet, « *We now have very good evidence that big cities as measured by the size of their populations are more prosperous than smaller cities. Controlling for differences in culture and economic development, incomes per capita tend to rise with city size.* » (Batty, 2011, p.385). Ces régularités sont tirées d'observations empiriques. Les relations ajustées concernent la productivité par habitant ou le revenu moyen par habitant en fonction de la taille de la ville ou de sa densité. Ainsi L. Bettencourt *et al.* (2008) trouvent des valeurs comprises entre 1.12 et 1.26 entre la production totale (ou la somme des revenus distribués) et la taille des villes chinoises, américaines et européennes. P.-P. Combes et M. Lafourcade (2012, pp.28-33), en faisant la revue des résultats quantifiés de la relation entre productivité par habitant et la densité des villes et régions dans la littérature, donnent un intervalle compris entre 0.04 et 0.16 selon la prise en compte de variables instrumentales et l'espace d'étude⁷. Z. Xu (2009) obtient des estimations plus élevées à partir des populations de 150 villes chinoises entre 1990 et 1998, entre 0.15 et 0.22, après avoir contrôlé l'effet d'autres variables (comme les investissements, infrastructures, densités et spécialisations). Nous conservons de ces observations l'idée d'une relation super-linéaire entre production totale et population (et donc d'un exposant supérieur à 1).

La difficulté d'observer à la fois les PIB urbains et la somme des salaires distribués à l'échelon de la ville⁸ fait qu'aucun fondement empirique ne nous oriente vers la modélisation de ces deux exposants à la même valeur. En effet, contrairement à l'échelle nationale, il n'existe pas d'égalité comptable entre la somme des valeurs produites dans les villes et la somme des valeurs consommées et épargnées, puisqu'une partie de ces valeurs peut être compensée par les zones rurales non incluses dans notre modèle. Ainsi, contrairement au PIB, dans le cas des villes, on ne représente pas la contrainte (Eq. 4) :

$$\text{Eq. 4 : } \sum_i \text{Supply}_i = \sum_i \text{Demand}_i$$

Cet avantage des grandes villes quant à la productivité est évoqué depuis A. Marshall (1890) en termes d'économies d'agglomération, et a connu un regain d'intérêt dans les années 1970-1980 aux États-Unis (Sveikauskas, 1975 ; Segal, 1976 ; Moomaw, 1981), avant d'être repris sous la bannière de la *New Economic Geography* dans les années 1990 par M. Fujita et P. Krugman notamment. En discutant les postulats néoclassiques d'une économie de concurrence pure et parfaite, ces auteurs ont mis l'accent sur le rôle de l'espace,

⁷ En multipliant les deux termes de l'équation par la population, on obtient la production totale en fonction de la population et un exposant compris entre 1.04 et 1.16.

⁸ Les pays où l'un des deux indicateurs est mesuré sont déjà rares. Ce n'est par exemple pas le cas de la Russie ou de la France.

des distances et surtout des rendements croissants dans la structuration économique et urbaine. Ces rendements croissants à l'échelle de la ville résultent d'une plus grande diversité de produits et de compétences (Glaeser *et al.*, 1992), et des rendements d'échelle réalisés par l'accès à un marché de consommation plus large et diversifié (Fujita, Thisse, 1996 ; Hanson, 2005 ; Combes, Lafourcade, 2012). Malgré des intuitions formulées depuis vingt ans (Ciccone, Hall, 1996), il n'a toujours pas été démontré le sens de la causalité dans cette relation :

« Si la concentration géographique des activités économiques est susceptible d'accroître la productivité des travailleurs, il est également probable qu'une plus grande productivité induise des salaires plus élevés, ce qui attire encore plus fortement de nouveaux salariés dans les zones les plus denses. Ainsi, ce n'est pas seulement la densité des activités qui améliore la productivité mais aussi, à l'inverse, une plus grande productivité qui favorise la concentration géographique des activités. » (Combes, Lafourcade, 2012, p.5).

La modélisation permet de tester l'effet du choix de nos hypothèses. Nous choisissons de modéliser un effet super-linéaire de la population sur la production ($sizeEffectOnSupply > 1$), et nous laissons dans la suite la liberté de modéliser l'effet de la productivité sur la population de manière infra ou super-linéaire (cf. Eq. 10).

Compute Interaction Potentials

Une fois les offres et demandes des villes mises à jour, nous calculons pour chaque couple de villes une mesure de leur potentiel d'interaction orienté de la façon suivante (Eq.5) :

$$\text{Eq. 5 : } \text{interactionPotential}_{ij} = \frac{\text{Supply}_i * \text{Demand}_j}{\text{Distance}_{ij}^{\text{distanceDecay}}}$$

Avec : *distanceDecay* l'ampleur du frein associé à la distance sur la probabilité des échanges, considéré comme un paramètre libre du modèle MARIUS 1.1.1, dont l'intervalle d'exploration est fixé entre 0 (pas d'effet de la distance) et 10 (frein très important).

Cette fonction de potentiel d'interaction emprunte sa forme au modèle gravitaire, fréquemment utilisé en géographie pour modéliser l'interaction spatiale, depuis Ravenstein (1885) et Reilly (1931) et rendre compte de l'effet positif de la proximité des marchés sur la production en un lieu (Harris, 1954).

« On peut considérer que l'élaboration de ce modèle repose sur la combinaison de raisonnements a priori, d'analogies et d'observations. Raisonnements a priori, ici, en partie très simples puisque l'on peut considérer l'hypothèse selon laquelle des flux entre des lieux sont d'autant plus forts que ces lieux sont d'autant plus peuplés et moins distants relève du simple bon sens. Le fait d'évaluer simultanément les populations en introduisant leur produit et non leur somme est moins évident a priori. Le choix fait référence à une notion un peu abstraite, qui relève de la logique combinatoire. Le choix de la fonction de la distance résulte d'une accumulation d'observations de l'espace qui montrent bien que l'effet de la distance sur des relations n'est pas linéaire. La non-linéarité a été, ici, traduite par le recours à une fonction de puissance négative. » (Durand-Dastès, 2001, p.34).

Ainsi, on suppose avec cette formulation que la transaction d'une ville i vers une ville j dépend de l'offre de la première et de la demande de la seconde, de la distance qui les sépare et d'une mesure de l'effet négatif que représente cette distance sur les interactions interurbaines (le paramètre *distanceDecay*). Contrairement aux formulations classiques de cette fonction, nous n'avons pas jugé nécessaire d'ajouter un facteur multiplicatif pour donner une unité de mesure à ce potentiel. En effet, nous n'utilisons dans la suite de l'itération que des rapports de potentiels d'interaction, ce qui annule l'effet du facteur multiplicatif.

La revue de littérature menée par A. Fotheringham (1981) sur les valeurs prises par le paramètre *distanceDecay* dans les estimations empiriques donne un intervalle d'observation compris entre -0.3 et 5.2 (figure 5.1.3)⁹.

Dans une application à des villes (Baccaïni, Pumain, 1998), le paramétrage d'un modèle d'interaction gravitaire basé sur les migrations françaises entre 1982 et 1990 indique un intervalle plus réduit pour ce paramètre, compris selon les catégories professionnelles entre 0.56 et 0.96 (figure 5.1.4).

⁹ Il faut multiplier les chiffres du tableau par (-1) pour les comparer au paramètre *distanceDecay* de l'équation 5. Rappelons par ailleurs que les estimations de ce paramètre dépendent systématiquement du maillage employé pour mesurer cet effet.

Figure 5.1.3. Domaines de variation empiriques du paramètre *distanceDecay* (Fotheringham, 1981)

TABLE 1.—RANGES OF β_i 'S IN TEN EMPIRICAL STUDIES

Study	No. of β_i 's	Range of values	
		Least negative β_i	Most negative β_i
Chisholm and O'Sullivan ^a	78	-1.3	-4.8
Frost ^b	78	+0.3	-5.2
Gould ^c	33	-0.2	-1.0
Stillwell ^d	44	-0.8	-2.9
Leinbach ^e	16	-0.4	-1.0
Greenwood and Sweetland ^f	50	-0.4	-2.5
Smith ^g	49	0.0	-2.7
Linneman ^h	75	>0	-2.3
Griffith and Jones ⁱ	24	-0.1	-0.4
Fotheringham ^j	100	+0.5	-2.6

^a Chisholm and O'Sullivan, op. cit., footnote 5.

^b Frost, op. cit., footnote 9.

^c Gould, op. cit., footnote 5.

^d Stillwell, op. cit., footnote 5.

^e Leinbach, op. cit., footnote 5.

^f Greenwood and Sweetland, op. cit., footnote 5.

^g D. A. Smith, unpublished study, reported in E. J. Taaffe and H. L. Gauthier, Jr., *Geography of Transportation* (Englewood Cliffs: Prentice Hall, Inc.).

^h Linneman, op. cit., footnote 9.

ⁱ Griffith and Jones, op. cit., footnote 22. The reason for the low range of values in the Griffith and Jones study is that their model uses an exponential function of distance while the other studies reported in Table 1 employ power functions.

^j See Fig. 1.

Source : (Fotheringham, 1981, p.428)

Figure 5.1.4. Domaine de variation empirique du paramètre *distanceDecay* pour un modèle gravitaire des migrations entre villes françaises (Baccaïni, Pumain, 1998)

TABLEAU 5. – ESTIMATION DES PARAMÈTRES DU MODÈLE MIGRATOIRE SELON LES CATÉGORIES SOCIOPROFESSIONNELLES (MIGRATIONS INTERURBAINES 1982-1990)

Catégorie socioprofessionnelle	a	R ²
Artisans-commerçants, chefs entreprise	-0,92	0,93
Cadres, professions intellectuelles supérieures	-0,85	0,98
Professions intermédiaires	-0,96	0,96
Employés	-0,84	0,96
Ouvriers	-0,93	0,93
Retraités	-0,56	0,95
Autres inactifs	-0,87	0,95

a : paramètre exprimant l'effet dissuasif de la distance.
Source : Recensement général de la population, 1990.

Source : (Baccaïni, Pumain, 1998, p.970)

Malgré l'existence empirique de valeurs négatives pour ce paramètre, notre hypothèse de modélisation vise à faire jouer un rôle de barrière à la distance séparant les villes. Nous contraindrons donc le paramètre *distanceDecay* à des valeurs positives, comprises entre 0 et 10.

Exchange Values

Pour chaque couple de villes, la transaction effective est déterminée après une boucle (figure 5.1.2) qui a pour objectif de déterminer la part d'offre et de demande que chaque ville du couple réserve à l'autre. Cette « réservation » d'offre S_{ij} pour une ville i se base sur la part du potentiel d'interaction orienté ij dans la somme des potentiels d'interaction de la ville i vers toutes les autres villes j (Eq. 6).

$$\text{Eq. 6 : } S_{ij} = \text{Supply}_i * \left(\frac{\text{interactionPotential}_{ij}}{\sum_k \text{interactionPotential}_{ik}} \right)$$

Inversement, chaque ville détermine une quantité D_{ij} de sa demande qu'elle réserve à ses partenaires en fonction de leur poids relatif dans les potentiels d'interaction dont elle est la destination (Eq. 7).

$$\text{Eq. 7 : } D_{ij} = \text{Demand}_i * \left(\frac{\text{interactionPotential}_{ji}}{\sum_k \text{interactionPotential}_{ki}} \right)$$

La confrontation des offres réservées et demandes réservées au sein de chaque couple de ville est résolue par le minimum des deux valeurs (Eq. 8).

$$\text{Eq. 8 : } \text{Transacted}_{ij} = \min[S_{ij}; D_{ij}]$$

La valeur de Transacted_i correspond donc à la valeur agrégée de biens et services qui transite effectivement de la ville i vers la ville j .

Update wealth and population

Une fois les transactions réalisées, chaque ville actualise sa richesse en fonction du résultat des échanges effectifs, selon la fonction suivante (Eq. 9) :

$$\text{Eq. 9 : } \text{Wealth}_{i,t} = \text{Wealth}_{i,t-1} + \text{Supply}_{i,t} - \text{Demand}_{i,t} - \text{Unsold}_{i,t} + \text{Unsatisfied}_{i,t}$$

$$\text{Avec : } \begin{aligned} \text{Unsold}_{i,t} &= \text{Supply}_{i,t} - \text{Transacted}_{i,t} \\ \text{Unsatisfied}_{i,t} &= \text{Demand}_{i,t} - \text{Transacted}_{i,t} \end{aligned}$$

La conversion des variations de richesse en variations de population est opérée de la manière décrite par l'équation 10 :

$$\text{Eq. 10 : } \frac{\Delta Population_i}{\Delta t} = Wealth_{i,t}^{wealthToPopulationExponent} - Wealth_{i,t-1}^{wealthToPopulationExponent}$$

Avec : *wealthToPopulationExponent* l'exposant de la loi d'échelle permettant de convertir les variations de richesse en variations de population, considéré comme un paramètre libre du modèle MARIUS 1.1.1, dont l'intervalle d'exploration est fixé entre 0 et 10

Le choix de modélisation de ce mécanisme traduit une hypothèse et une incertitude. L'hypothèse est celle d'une variation de population non linéaire avec la variation de richesse. Nous pensons en effet que le gain d'une unité de valeur n'a pas le même effet dans une grande ou dans une petite ville. Toutefois, la littérature nous laisse dans une incertitude quant au sens de la relation scalante (Ciccone, Hall, 1996). C'est pourquoi nous laissons ce paramètre libre de varier de part et d'autre de la valeur 1. L'étude des meilleurs calibrages pourra donc nous renseigner sur la validité de l'une ou l'autre hypothèse (section 5.1.3).

Enfin, on termine une itération par le calcul des nouvelles populations des villes comme suit (Eq. 11) :

$$\text{Eq. 11 : } Population_{i,t} = Population_{i,t-1} + \frac{\Delta Population_{i,t}}{\Delta t}$$

Condition d'arrêt d'une simulation

Une simulation dure un certain nombre de pas de temps, fixés à l'initialisation par le modélisateur. Le paramètre *maxStep* correspond au nombre d'années que l'on veut simuler. Nous présentons une majorité de résultats obtenus entre 1959 et 1989 avec le modèle MARIUS [*maxStep* = 30]. Toutefois, nous avons exploré quelques simulations de 51 pas de temps (1959-2010), afin de mesurer la capacité d'un modèle calibré pour la période soviétique à reproduire les dynamiques postérieures à 1991 (cf. section 5.3.2).

Nous proposons de terminer la présentation détaillée du modèle par la discussion de la première fonction développée pour évaluer le modèle de base. Cette explicitation de ce que représente une « bonne » simulation constitue l'équivalent des « critères de validité » de C. Hermann (1967).

5.1.2. Qu'est-ce qu'une bonne simulation ? À quel espace de paramètres correspond-elle ?

« First, the validity of an operating system is affected by the purpose or use for which the game or simulation is constructed [...]. Second, model validation can be expected to vary according to the type of validity criteria used. » (Hermann, 1967, p.217)

Comme le rappelle C. Hermann (1967), l'évaluation d'un modèle de simulation dépend des critères utilisés pour rendre compte d'un « bon » comportement et d'une dynamique conforme à celle du système-cible. Dans la majorité des cas à l'époque de sa contribution, la qualité d'une simulation est évaluée « à l'apparence » (*face validity*), en fonction d'éléments implicites qui « ont l'air » cohérents (Rey-Coyrehourcq, 2014). Cette stratégie d'évaluation est nécessaire dans les premières phases de construction et de test du modèle. Toutefois, elle ne constitue pas un critère suffisant de validité. De même, cette stratégie n'est pas applicable à partir du moment où le modèle fait intervenir un grand nombre d'agents et un grand nombre de simulations.

Dès le premier modèle MARIUS (1.1.1), nous avons un nombre d'agents conséquents (1 145 villes initialisées en 1959) et six paramètres libres à calibrer. La stratégie d'évaluation « à l'apparence » n'est donc pas envisageable. Il s'agit de construire des critères permettant de qualifier ce que représente une bonne simulation, afin de pouvoir automatiser les procédures de calibrage et d'analyse de sensibilité en fonction de ces critères.

5.1.2.1. Mesure d'adéquation entre observé et simulé

Nous avons l'avantage de pouvoir utiliser des données empiriques (DARIUS, cf. Chapitre 1) pour évaluer MARIUS. De plus, la progression dans les faits stylisés à reproduire a déjà été balisée dans le chapitre précédent (section 4.2.3.2). Malgré l'intérêt géographique que nous trouvons à hiérarchiser les cibles de modélisation des faits stylisés les plus généraux (croissance de population, niveau et forme de la hiérarchie urbaine) aux plus particuliers (distribution des tailles de villes post-soviétiques, diversité des trajectoires individuelles), nous avons choisi pour une première évaluation du modèle un critère déjà particulier, mais qui implique nécessairement la validation des cibles plus générales. En effet, un critère exigeant nous permet de sélectionner un nombre plus restreint de jeux de paramètres capables de reproduire ce comportement.

Ainsi, dans un premier temps, nous considérons comme critère d'évaluation la distance des distributions des tailles simulées aux distributions empiriques. Plus précisément, nous cherchons de manière automatisée à réduire la distance suivante T_1 :

$$T_1 = \sum_{t \in [1970, 1979, 1989]} \sum_i^n [\log(\text{simuPopulation}_{i,t}) - \log(\text{dataPopulation}_{i,t})]^2$$

Avec : *simuPopulation* la distribution simulée des populations classées par ordre décroissant

dataPopulation la distribution empirique classée par ordre décroissant

Ce critère quantifié nous permet d'utiliser un calibrage automatique des paramètres libres, au moyen d'algorithmes génétiques. En effet, les différents jeux de paramètres sont simulés et les modèles résultants comparés et classés en fonction de la valeur prise par T_1 en fin de simulation : les meilleurs paramétrages correspondent aux valeurs les plus faibles. Une valeur nulle de T_1 signifie que le modèle ainsi paramétré reproduit « à l'habitant près » la distribution empirique des tailles de villes. Dans ce cas, on a nécessairement atteint les cibles plus générales et plus macro-géographiques : la population urbaine est identique, le système s'est hiérarchisé, il atteint le niveau et la forme de la hiérarchie empirique. Seul le critère plus particulier et micro-géographique de la diversité des trajectoires individuelles n'est pas nécessairement validé (cf. section 5.1.4).

5.1.2.2. L'espace des paramètres exploré

Comme nous l'avons introduit dans la présentation des détails d'implémentation du modèle MARIUS 1.1.1, six paramètres sont laissés libres de varier (tableau 5.1.1), et ce pour trois raisons différentes :

- Soit la valeur du paramètre n'a pas de signification en soi et le paramètre sert uniquement à ajuster différentes grandeurs entre elles : c'est le cas d'*economicMultiplier*. Les bornes d'exploration des paramètres sont alors fixées en fonction d'une seule contrainte : couvrir l'espace de variation le plus large possible ;
- Soit l'ordre de grandeur du paramètre est connu mais l'absence de données empiriques pour le cas (post-)soviétique ne permet pas de fixer une valeur précise. C'est le cas des exposants *populationToWealthExponent*, *sizeEffectOnSupply*, *sizeEffectOnDemand* et *distanceDecay*. Les références bibliographiques permettent alors de contraindre l'intervalle d'exploration à des valeurs crédibles et

compatibles avec les études empiriques réalisées dans des contextes comparables (en termes de définition urbaine et de variables instrumentales) ;

- Enfin, on peut ignorer l'effet qualitatif d'un paramètre, et choisir, comme pour *wealthToPopulationExponent*, de permettre l'exploration de valeurs crédibles dans les deux intervalles qualitativement différenciés de l'effet du paramètre. Ainsi, entre 0 et 1, ce paramètre traduit l'hypothèse qu'un même gain de richesse au cours d'un pas de temps aboutit à un gain de population plus grand dans une petite ville que dans une grande ville, tandis qu'au contraire, entre 1 et 10, les grandes villes connaissent une croissance plus forte que les petites à partir du même gain de richesse.

Les deux méthodes d'exploration intensive de calibrage (Schmitt *et al.*, 2014b) et d'analyse de sensibilité (Reuillon *et al.*, 2014) développées autour de SimpopLocal sont convoquées dans l'expérimentation des modèles MARIUS.

Dans la méthode de calibrage (Schmitt *et al.*, 2014b), on instancie deux cent modèles par tirage aléatoire d'une valeur pour chacun des six paramètres dans l'espace décrit dans le tableau 5.1.1. Parmi ces deux cent premiers jeux de paramètres, on fait « évoluer » cent jeux tirés au hasard sur 1000 « îlots informatiques » (cf. Annexe 5.1). L'évolution emprunte à la métaphore biologique les principes de composition et de mutation des valeurs prises par les paramètres donnant des modèles performants, en favorisant la diversité des positions dans l'espace des paramètres. Au bout de deux heures de calcul au sein de chaque îlot, les cent meilleurs individus (ou jeux de paramètres) sont confrontés avec les deux cent individus de l'îlot central, combinés et mutés avant d'être redistribués sur de nouveaux îlots clos. L'algorithme est arrêté au bout de 200 000 générations et les deux cent meilleures instanciations du modèle (au regard de la fonction d'évaluation, définie comme la minimisation de la distance T_1 pour le modèle MARIUS 1.1.1) sont récupérées et analysées (section 5.1.3).

Dans la méthode de profilage (Reuillon *et al.*, 2014), une procédure similaire est appliquée pour chaque paramètre tout au long de son intervalle de variation. On considère alors la meilleure performance du modèle atteignable pour chaque valeur du paramètre exploré, tous les autres étant optimisés par ailleurs. Nous appliquerons cette méthode (très demandeuse en temps de calcul) dans la section 5.1.4 pour le modèle MARIUS 1.1.2, complexifié et amélioré grâce à l'étude du modèle précédent et à l'usage d'une fonction d'évaluation plus exigeante et réaliste.

Tableau 5.1.1. Espace de paramètres exploré pour le modèle MARIUS 1.1.1

Paramètres libres	Valeurs de la littérature	Références	Bornes retenues pour calibrer
<i>populationToWealthExponent</i>	> 1	Bettencourt <i>et al.</i> , 2008, p.287 Piketty, 2013	[1 ; 10]
<i>sizeEffectOnSupply</i>	[1.1 ; 1.3] [1.04 ; 1.16] [1.15 ; 1.22]	Bettencourt <i>et al.</i> , 2008, p.287 Combes, Lafourcade, 2012 Zu, 2009	[1 ; 10]
<i>sizeEffectOnDemand</i>	[1.1 ; 1.3]		[1 ; 10]
<i>economicMultiplier</i>	-	-	[0 ; 100]
<i>distanceDecay</i>	[-0.3 ; 5.2] [0.56 ; 0.96]	Fotheringham, 1981, p.428. Baccaini, Pumain, 1998, p.970	[0 ; 10]
<i>wealthToPopulationExponent</i>	-	-	[0 ; 10]

5.1.3. Premières évaluations de MARIUS 1.1.1¹⁰

Le premier calibrage automatique du modèle MARIUS 1.1.1 aboutit au meilleur jeu des six valeurs de paramètres libres évalués en fonction de la fonction T_1 de distance aux données empiriques. Nous présentons dans les deux sections qui suivent la qualité du modèle en fonction des objectifs d'évaluation, les valeurs de ces paramètres ainsi que les dynamiques du modèle correspondant.

¹⁰ Les résultats présentés dans cette section et jusqu'à la section 5.1.4.3 ont donné lieu à un article co-écrit avec Paul Chapron et Romain Reuillon, soumis à la revue JASSS - Journal of Artificial Societies in the Social Sciences (Chapron *et al.*, 2014).

5.1.3.1. Résultats de calibrage

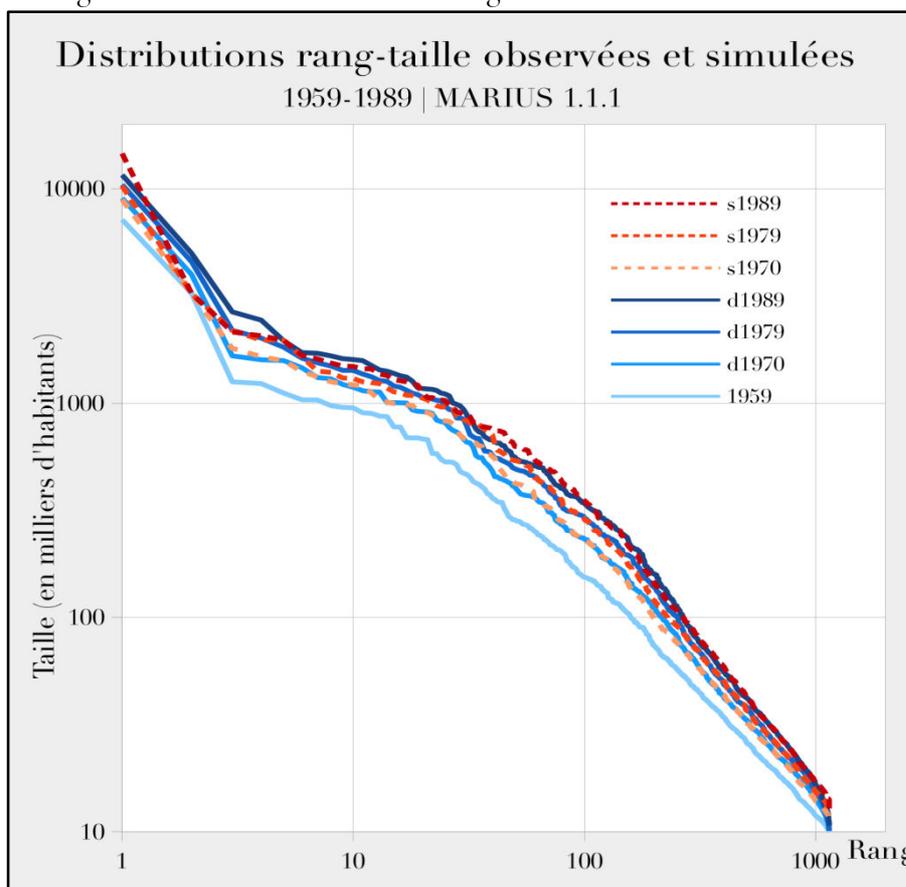
Le meilleur modèle évalué par l'algorithme de calibrage au terme de 30 000 générations donne une valeur de distances cumulées aux données empiriques (T_1) de 1.832. Cette agrégation est utile pour comparer les modèles entre eux en fonction d'une différence au carré des logarithmes des populations simulées et observées. À titre de comparaison, un modèle qui ne produit aucune dynamique¹¹ donne une valeur de 102 pour T_1 . Toutefois, pour l'interprétation, nous préférons donner pour chaque date intermédiaire la somme des écarts absolus entre populations observées et simulées. Cette mesure donne une idée du nombre total d'habitants « mal positionnés » lors de la simulation par rapport au système observé.

Pour le premier modèle, il existe donc un écart total entre la distribution simulée et la distribution observée de 4.8 millions d'habitants en 1970, 8.0 en 1979 et de 13.3 millions en 1989. Rapporté à la population urbaine totale de chaque date, ces différences représentent entre 4 et 9%, soit une proportion significative bien qu'assez faible pour un modèle aussi simple. Ainsi, les distributions de taille simulées apparaissent proches des distributions observées et de leur évolution sur 30 années (figure 5.1.5).

Concernant notre approche progressive d'évaluation, ce premier modèle très parcimonieux parvient donc à produire une population urbaine totale comparable à la dynamique observée (figure 5.1.6), une tendance à la hiérarchisation, un degré et une forme de hiérarchie proche des observations, ainsi qu'une distribution des tailles similaire en 1989 (figure 5.1.5). L'évolution démographique du haut de la hiérarchie urbaine est en revanche assez mal simulée.

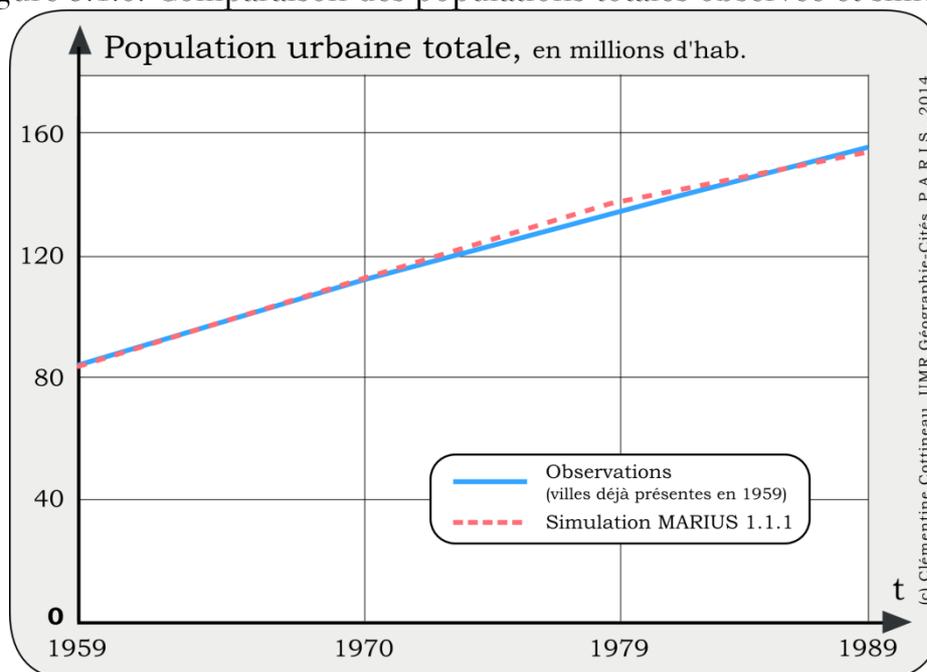
¹¹ En fixant le paramètre *economicMultiplier* à 0 par exemple, on s'assure de l'absence d'échanges de valeur entre les villes, et donc d'une population et d'une richesse constantes pour chaque ville tout au long de la simulation.

Figure 5.1.5. Distributions rang-taille avec MARIUS 1.1.1



Source : DARIUS, MARIUS, 2014. Note : « d » pour données, « s » pour simulation devant la date

Figure 5.1.6. Comparaison des populations totales observée et simulée



Source : DARIUS, MARIUS, 2014

Toutefois, l'analyse des paramètres permettant d'obtenir ces résultats (tableau 5.1.2) indique que la simulation se déroule partiellement de manière irréaliste.

D'un côté, la faible valeur de *distanceDecay* est compatible avec l'idée que les interactions dans un pays immense sont moins contraintes par des distances élevées que dans d'autres cas. On remarque cependant que ce faible exposant favorise, par rapport à l'évolution observée, la croissance des villes très périphériques (comme Vladivostok, Khabarovsk ou Douchambé) et sous-représente la croissance des villes centrales, autour de Moscou notamment (figure 5.1.7).

La valeur inférieure à 1 de l'exposant *wealthToPopulationExponent* signifie que dans la conversion des gains de richesse en gains de population, l'élasticité décroît avec la taille des villes, donnant un avantage relatif aux plus petites d'entre elles.

Tableau 5.1.2. Meilleur jeu de paramètres pour MARIUS 1.1.1

Paramètres libres	Valeurs observées dans la littérature	Valeur obtenue pour le meilleur modèle par calibrage automatique
<i>populationToWealthExponent</i>	> 1	9.7595482648
<i>sizeEffectOnSupply</i>	[1 ; 1.3]	1.8436690405
<i>sizeEffectOnDemand</i>	[1 ; 1.3]	2.7246076873
<i>economicMultiplier</i>	-	0.0022124713
<i>distanceDecay</i>	[-0.3 ; 5.2]	0.862018046
<i>wealthToPopulationExponent</i>	-	0.7475751871

En revanche, les valeurs des exposants permettant de générer les richesses, offres et demandes des villes sont beaucoup plus élevées qu'attendu, entraînant des inégalités économiques en fonction de la taille beaucoup plus élevées qu'observé empiriquement. Ces valeurs incitent à observer les dynamiques méso-géographiques déployées dans la simulation pour aboutir aux bons résultats du modèle.

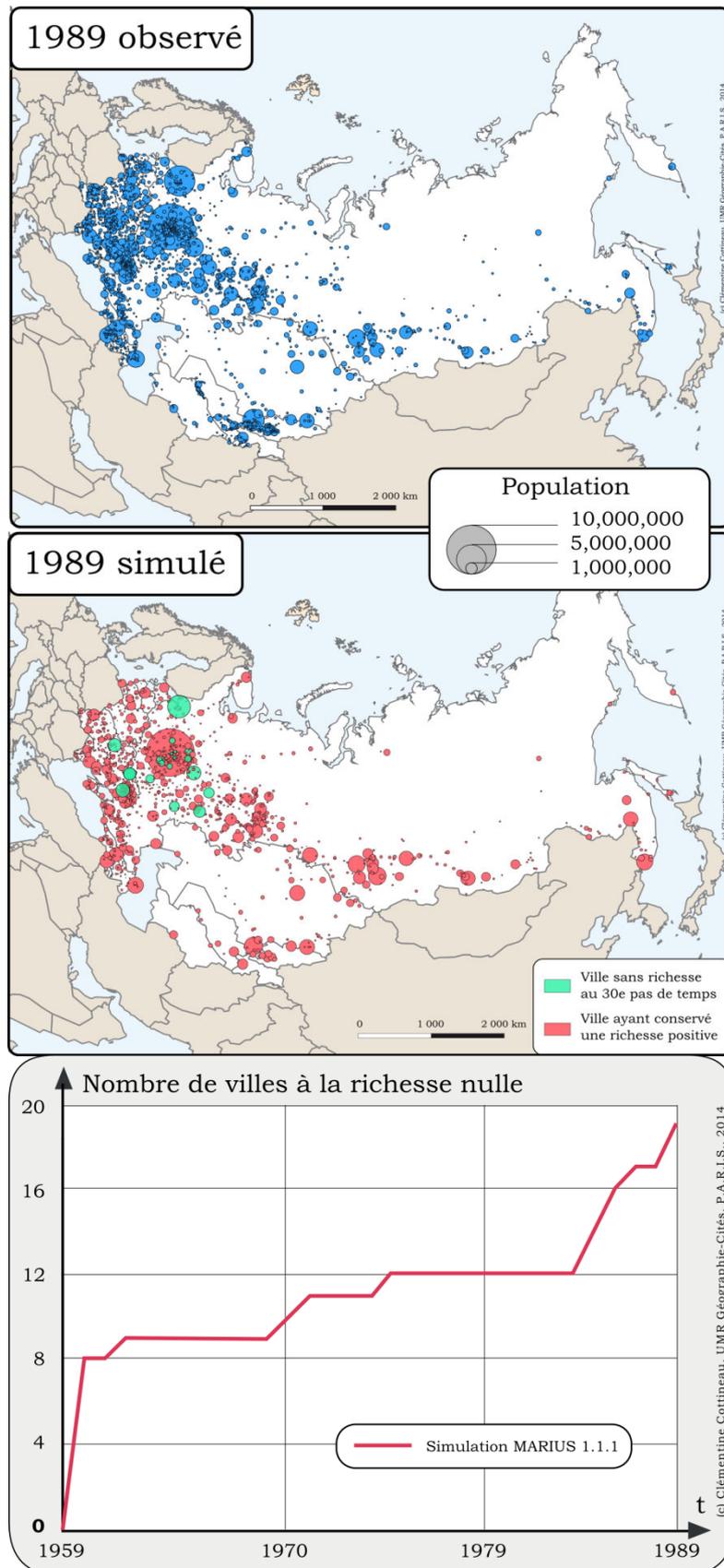
5.1.3.2. Des dynamiques méso-géographiques irréalistes

Malgré la bonne performance globale du modèle MARIUS 1.1.1, deux façons d'aboutir à ce résultat nous paraissent irréalistes et insatisfaisantes.

Tout d'abord, il s'agit de la tendance d'un grand nombre de villes à « perdre » toute leur richesse au cours de la simulation. Ainsi, le meilleur paramétrage du modèle aboutit à un cumul de villes dans cette situation de 345 au cours des 30 pas de temps. Étant donné le nombre cumulé de villes : $30 * 1145 = 34\ 350$, les villes sans richesse représentent en moyenne 1% de l'ensemble à chaque pas de temps (figure 5.1.7). De plus, les villes dans cette situation font partie des plus grandes (Saint-Pétersbourg, Kiev, Samara, Kharkov) et centrales (Balachikha, Ivanovo). Cette dynamique est tout à faire irréaliste et non-satisfaisante en dépit de la capacité du modèle à reproduire une distribution rang-taille similaire à celle du système soviétique entre 1959 et 1989.

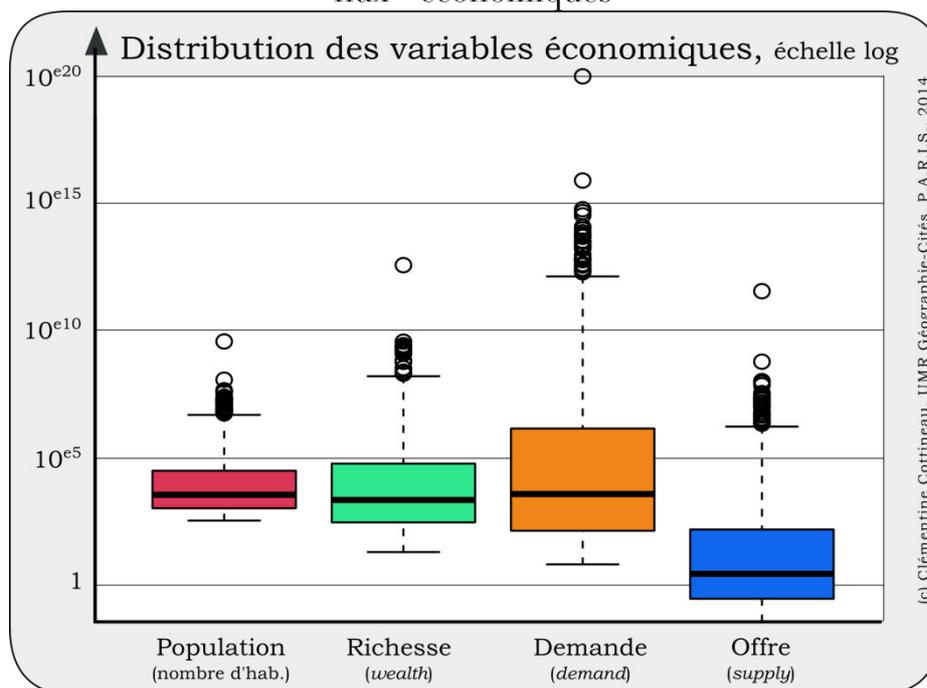
Dans le cas de Simpop2, une telle dynamique avait déjà été observée (Glisse, 2007, p.138) et résolue par la pénalisation des villes ne satisfaisant pas leur demande. Nous proposons une autre solution dans la section 5.1.4.

Figure 5.1.7. Dynamique non satisfaisante du modèle MARIUS 1.1.1 : la « ruine » de certaines villes



De même, l'analyse des volumes d'offre et de demande produits par les villes à chaque pas de temps révèle une autre dynamique irréaliste du modèle. En effet, nous remarquons qu'un agent-ville est capable de « consommer » en une année ($Demand_i$) plus que si ce n'est plusieurs fois l'équivalent de l'ensemble de sa richesse ($Wealth_i$) accumulée (figure 5.1.8).

Figure 5.1.8. Dynamique non satisfaisante du modèle MARIUS 1.1.1 : les « sur-flux » économiques



Source : MARIUS, 2014. Note : ces valeurs sont obtenues au dernier pas de temps.

Ce rapport est intuitivement improbable, et en contradiction avec les résultats empiriques de T. Piketty (2013) à l'échelon des États et macro-régions du monde. En effet, le capital accumulé est toujours supérieur au revenu produit chaque année, et de l'ordre de 2 à 8 fois plus grand depuis 1870 (p.309). Ce constat vaut dans différentes régions du monde, et notamment dans l'espace post-soviétique :

« Les estimations dont nous disposons, fort imparfaites, indiquent que les patrimoines privés en Russie et dans les pays de l'ex-Europe de l'Est se situent à la fin des années 2000 et au début des années 2010 autour de quatre années de revenu national, et que le patrimoine public net est extrêmement faible, de même que pour les pays riches. » (Piketty, 2013, p.293)

Ainsi, de la même manière que pour le modèle de Gibrat, nous reconnaissons la capacité de ce modèle calibré à engendrer des distributions de tailles de villes satisfaisantes, mais pour des raisons qui n'apportent pas de sens

(cf. Chapitre 4.1.1). Dans le modèle de Gibrat, les raisons de la hiérarchisation du système sont laissées au hasard. Ici, ce sont de mauvaises dynamiques méso-géographiques qui engendrent des régularités macro-géographiques satisfaisantes. Pas plus qu'avec le modèle de Gibrat nous ne pensons comprendre et expliquer l'évolution du système de villes (post-) soviétiques de cette manière. Il nous faut donc tenter de contraindre l'évaluation des différents paramétrages de ce modèle pour disqualifier les modèles affichant ces dynamiques non souhaitées.

5.1.3.3. Mieux définir ce qu'est une « bonne » simulation

« Although all possible criteria against which we can evaluate a simulation or game are only approximations, our confidence in the model may increase if a correspondence with an independent estimate of "reality" is established. [...] We may be more confident of the validity of one simulation if the former has been subjected to (and supported by) a greater variety of validity approaches and criteria. » (Hermann, 1967, p.225).

Nous adhérons au constat de C. Hermann et cherchons la solution au problème des dynamiques irréalistes de MARIUS 1.1.1 dans une meilleure qualification de ce que l'on attend d'une bonne simulation. Dans la nouvelle fonction d'évaluation, nous incluons deux objectifs supplémentaires : l'absence de villes dont la richesse s'annule, et l'absence de villes affichant des volumes démesurés de production ($Supply_i$) ou de demande ($Demand_i$). La quantification de ces objectifs permettant d'explorer le modèle automatiquement aboutit à la définition d'une nouvelle fonction d'évaluation T, comprise comme la somme de trois objectifs à minimiser :

- L'objectif T_1 reste identique et mesure la distance entre la distribution des populations simulées et observées (section 5.1.2.1) ;
- L'objectif T_2 à minimiser est le nombre de villes dont la richesse est égale à 0, cumulé sur tous les pas de temps ;
- L'objectif T_3 est lui défini en trois étapes (cf. Eq. 12, 13 et T_3).

Tout d'abord, on définit pour chaque ville i le ratio entre le flux économique d'une année (soit l'offre soit la demande) et la richesse accumulée (*wealth*). On calcule ainsi deux *flowRatio* pour chaque ville (Eq. 12).

Eq. 12 :

$$flowRatio_{i,k=demand, supply} = \frac{k_i}{wealth_i}$$

Si ce ratio est inférieur à 1, la dynamique n'est pas distinguée comme irréaliste, et l'objectif est considéré comme atteint pour la ville i et le flux économique k . Dans le cas contraire, la valeur du terme *overFlowRatio* de la ville i pour le flux économique k sera d'autant plus forte que le flux est démesuré vis-à-vis du stock de richesse. On mesure par ce terme une distance à un comportement économique réaliste (Eq. 13).

$$\text{Eq. 13 : } \begin{aligned} \text{overFlowRatio}_{i,k} &= 0 \text{ if } \text{flowRatio}_{i,k} < 1; \\ \text{overFlowRatio}_{i,k} &= \text{flowRatio}_{i,k} - 1 \text{ otherwise} \end{aligned}$$

La mesure globale de cet objectif est obtenue en sommant les distances *overFlowRatio* pour tous les flux (offre et demande) et toutes les villes (T_3).

$$T_3 = \text{totalOverFlowRatio} = \sum_i \sum_k \text{overFlowRatio}_{i,k}$$

Ainsi, le modèle MARIUS 1.1.1 n'est pas modifié dans sa structure (les mécanismes) mais la nouvelle fonction d'évaluation permet d'exclure de l'analyse l'espace de paramètres dans lequel le comportement du modèle n'est pas désirable.

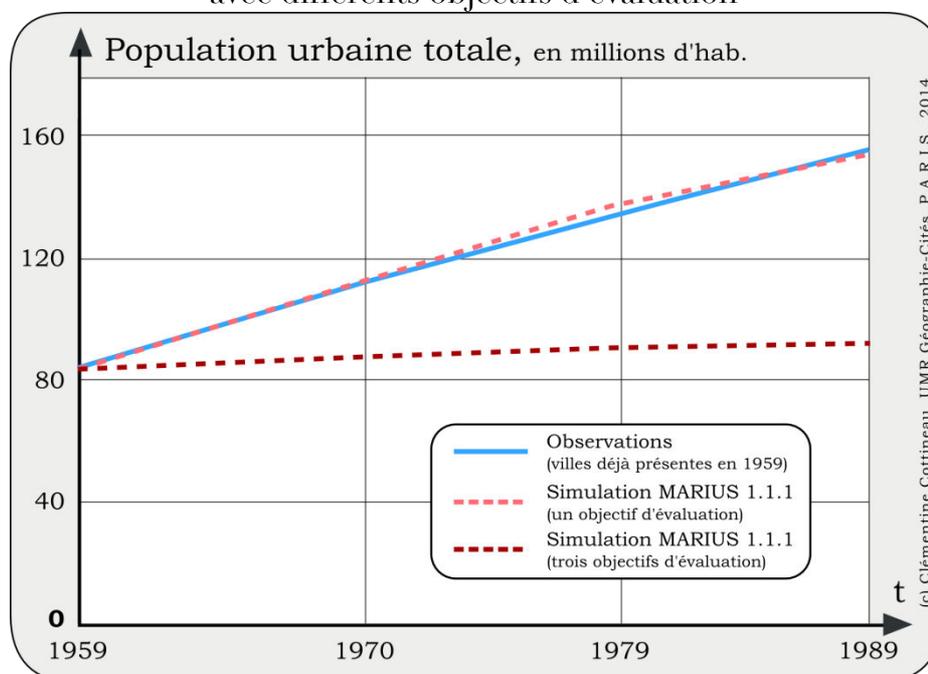
5.1.3.4. Antagonisme des objectifs d'évaluation pour le premier modèle d'évolution urbaine

Étant donnés les trois objectifs précédemment explicités, nous présentons le nouveau meilleur calibrage automatique obtenu. Le modèle présenté est celui dont le jeu de paramètres permet de n'engendrer aucune ville sans richesse, aucun « sur-flux », et la distance minimale aux distributions de tailles observées. Avec cette structure de mécanismes, le meilleur paramétrage du modèle permet d'obtenir une telle distance T_1 de 24.341 aux données empiriques. Cette valeur est meilleure que celle du modèle sans dynamique où la population de toutes les villes est identique d'une année sur l'autre (102), mais moins bonne que celle du modèle précédent (1.8).

De plus, le meilleur modèle ne produisant pas de dynamiques irréalistes n'est pas seulement éloigné de la distribution empirique des tailles de villes, il ne satisfait même pas les premières cibles d'évaluation génériques et macro-géographiques proposées dans le Chapitre 4 (section 4.2.3.2) : la population urbaine totale simulée ne suit pas la tendance de croissance observée (figure 5.1.9) et la distribution des tailles de villes simulée tend à s'égaliser (figure 5.1.10), tandis qu'on a observé entre 1959 et 1989 une hiérarchisation des tailles dans les villes soviétiques. Cela est dû au fait que dans ce modèle, la richesse

globale reste constante et se redistribue au cours de la simulation, des grandes vers les plus petites villes.

Figure 5.1.9. Comparaison des populations totales observée et simulée avec différents objectifs d'évaluation

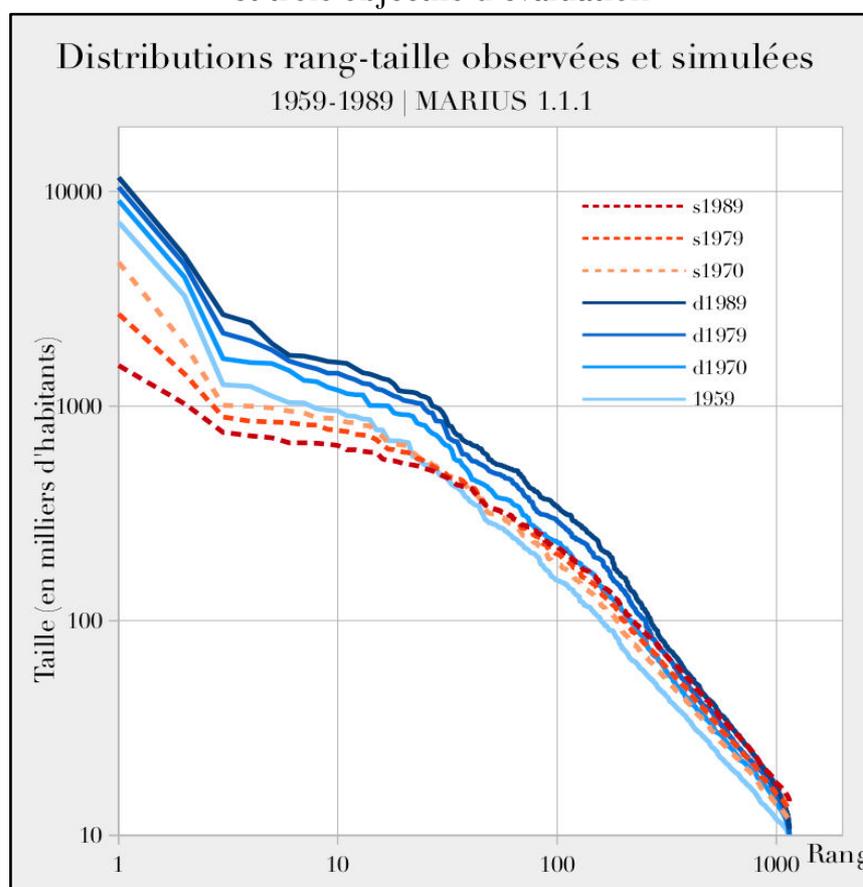


Source : DARIUS, MARIUS, 2014.

Tableau 5.1.3. Meilleur jeu de paramètres pour MARIUS 1.1.1 avec trois objectifs

Paramètres libres	Valeurs observées dans la littérature	Valeur obtenue pour le meilleur modèle par calibrage automatique
<i>populationToWealthExponent</i>	> 1	1.6805116553
<i>sizeEffectOnSupply</i>	[1 ; 1.3]	1.4551422598
<i>sizeEffectOnDemand</i>	[1 ; 1.3]	1.7164889542
<i>economicMultiplier</i>	-	0.0079947436
<i>distanceDecay</i>	[-0.3 ; 5.2]	0.1019337437
<i>wealthToPopulationExponent</i>	-	0.9138508627

Figure 5.1.10. Distributions rang-taille avec MARIUS 1.1.1 et trois objectifs d'évaluation



Source : DARIUS, MARIUS, 2014. Note : « d » pour données, « s » pour simulation devant la date

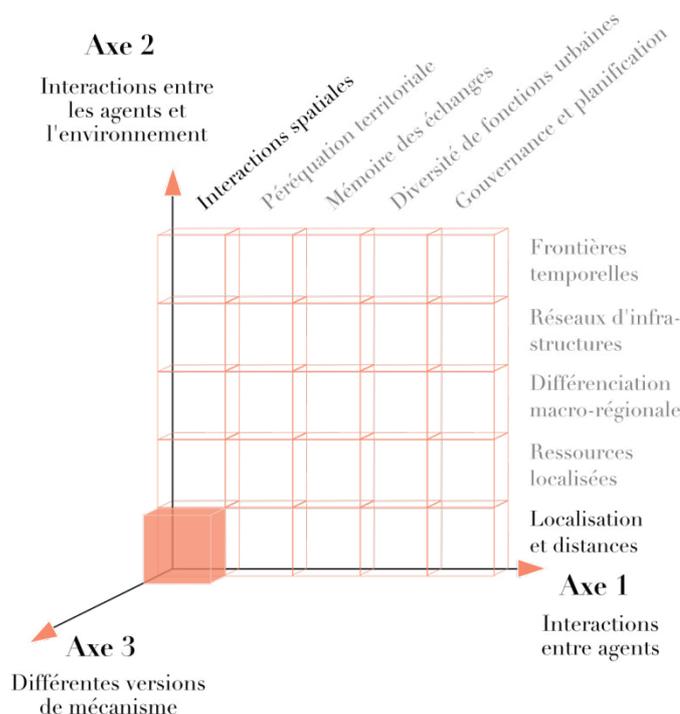
Au final, bien que les valeurs des paramètres calibrés pour ce modèle s'approchent de valeurs tirées de la littérature (tableau 5.1.3), nous considérons que le modèle MARIUS 1.1.1 n'est pas suffisant pour reproduire les dynamiques fondamentales du système de villes soviétiques sur les trente années à l'étude (et notamment la création de richesse). Nous nous orientons donc vers une complexification du modèle qui permette de mieux rendre compte de l'avantage qu'il existe à échanger pour les villes, et d'une sélection plus forte des villes avec lesquelles échanger.

5.1.4. Vers un modèle plus complexe : MARIUS 1.1.2

« In all probability some distributions of events or some kinds of hypotheses will produce results with unacceptable divergence between the operating model and the observable universe. Although these incongruous outputs may not pinpoint the inadequacy in the model, they should provide diagnoses of the general area which seems unrepresentative. [...] an investigator may wish to pursue validity approaches which focus on the internal structure of the model at an earlier stage in the operation of the simulation. With a complex model, however, examining all possible parameter settings can be an extremely formidable task. » (Hermann, 1967, p.226)

À nouveau, nous rejoignons les réflexions précurseurs de C. Hermann, et proposons une complexification des mécanismes du modèle de base permettant de produire des dynamiques plus représentatives de la dynamique observée aux échelles méso- et macro-géographiques.

5.1.4.1. Complexification du mécanisme d'interactions spatiales



© Clémentine Cottineau, Paul Chapron, UMR Géographie-Cités, ERC GeoDiverCity, 2014

Position du modèle 1.1.2 dans la grille de complexification incrémentale et hiérarchisée MARIUS cf. Chapitre 4, figure 4.2.5.

L'analyse du meilleur calibrage du modèle 1.1.1 (contraint par trois objectifs d'évaluation) a montré que la richesse ne croissait pas et qu'elle se redistribuait des plus grandes vers les plus petites villes en égalisant la distribution des tailles de villes du système. Nous pensons que cette dynamique n'est pas représentative d'un système de villes empirique, où des transferts de ce type ont lieu, mais où généralement les échanges marchands sont à l'avantage des villes les plus grandes, les plus centrales, diverses et accessibles. On retrouve ces arguments dans la littérature sur la métropolisation et les villes mondiales/globales (Sassen, 1991 ; Castells, 1996 ; Taylor *et al.*, 2007 par exemple) : « *world cities accumulate and retain wealth, control, and power because of what flows through them.* » (Beaverstock *et al.*, 2000, p.125). Nous pensons donc qu'un modèle de base de système de villes reproduisant les faits stylisés les plus macro et génériques (cf. Chapitre 4, section 4.2.3.2) doit inclure d'autres mécanismes précisément pour bonifier les interactions interurbaines et opérer une sélection des partenaires avec qui échanger.

Ainsi, nous voulons modéliser le fait que l'échange de valeur d'une ville vers d'autres sur un marché d'échanges (plutôt qu'en interne) n'est pas un jeu à somme nulle mais représente une source d'externalités positives pour la ville. Ces avantages liés aux échanges et à leur diversité découleraient de transferts d'information, d'idées et de technologie ; à la manière des économies d'urbanisation révélées au niveau des villes (Henderson, 1986 ; Glaeser *et al.*, 1992), mais à l'échelle du système de villes. En effet, « *la coopération et la mise en réseau représentent [...] la seule possibilité de partager les coûts et les risques, et de maintenir le contact avec une information constamment renouvelée.* » (Castells, 1996, p.234). Nous modélisons donc une quantité qui bonifie les échanges interurbains plutôt que leur alternative intra-urbaine, en fonction des volumes échangés par la ville et de la diversité des villes avec lesquelles elle a réalisé ses échanges (Eq. 14) :

$$\text{Eq. 14 : } \text{bonus}_{i,t} = \text{bonusMultiplier} * (\text{importVolume}_{i,t} + \text{exportVolume}_{i,t}) * \left(\frac{\text{Partners}_{i,t}}{n} \right)$$

Avec : *importVolume_i* la valeur totale « achetée » par la ville *i* à d'autres villes
exportVolume_i la valeur totale « vendue » par la ville *i* à d'autres villes
partners_i le nombre de villes à qui la ville a vendu ou acheté au pas de temps *t*
n le nombre total de villes dans le système modélisé (= 1 145)
bonusMultiplier un paramètre libre du modèle MARIUS 1.1.2, dont l'intervalle d'exploration est fixé entre 0 et 1000, et qui rapporte la valeur de ce bonus à l'unité fictive de richesse utilisée.

La bonification des échanges nous semble nécessaire, mais doit être contre-balançée par un mécanisme de coût lié aux échanges. Nous ne visons pas ici les coûts de transport proportionnels à la distance, pris en partie en charge dans le concept du potentiel d'interaction, décroissant avec la distance. Nous modélisons plutôt un ensemble de coûts fixes jouant comme un seuil dissuasif

lorsque la quantité potentielle à échanger est inférieure à ce coût. Ce qu'il représente est interprétable en termes de coût de transport (non-proportionnel à la distance) et de transaction (Coase, 1937), c'est-à-dire l'ensemble des coûts incompressibles liés à la préparation et la réalisation d'un échange entre deux villes¹². Dans le modèle MARIUS 1.1.2, les villes évaluent donc avant l'échange la rentabilité relative de chaque interaction en fonction de ce coût fixe (*fixedCost*) : si la quantité d'offre qu'elles réserveraient à chacune de leurs partenaires en fonction des potentiels d'interaction est inférieure au coût fixe, le potentiel d'interaction est actualisé à 0 (Eq. 15). Dans le cas contraire, l'appariement et la réalisation des transactions est identique au mécanisme d'échanges de MARIUS 1.1.1.

$$\begin{aligned}
 \text{Eq. 15 :} \quad & \text{if } \text{Supply}_i * \left(\frac{\text{interactionPotential}_{ij}}{\sum_k \text{interactionPotential}_{ik}} \right) \geq \text{fixedCost} \\
 & \Rightarrow \text{interactionPotential}_{ij} = \text{interactionPotential}_{ij} \\
 & \text{else: } \text{interactionPotential}_{ij} = 0
 \end{aligned}$$

Avec : *fixedCost* un paramètre libre du modèle MARIUS 1.1.2, dont l'intervalle d'exploration est fixé entre 0 et 1000.

La fonction d'actualisation de la richesse est modifiée en fin d'itération, pour rendre compte du bonus lié aux échanges et de la somme des coûts fixes acquittés pour chaque transaction effectuée (Eq. 9 bis) :

$$\begin{aligned}
 \text{Eq. 9 bis :} \quad & \text{Wealth}_{i,t} = \text{Wealth}_{i,t-1} + \text{Supply}_{i,t} - \text{Demand}_{i,t} - \text{Unsold}_{i,t} + \text{Unsatisfied}_{i,t} + \\
 & \text{Bonus}_{i,t} - (\text{Partners}_{i,t} * \text{fixedCost})
 \end{aligned}$$

Ce premier modèle d'évolution urbaine alternatif (sur l'axe 3 de notre grille de construction MARIUS) comprend huit paramètres libres et est évalué en fonction des trois objectifs présentés précédemment : une distance à la distribution des tailles de villes empirique à minimiser (T₁), l'absence de villes sans richesse (T₂) et l'absence de « sur-flux » économiques (T₃).

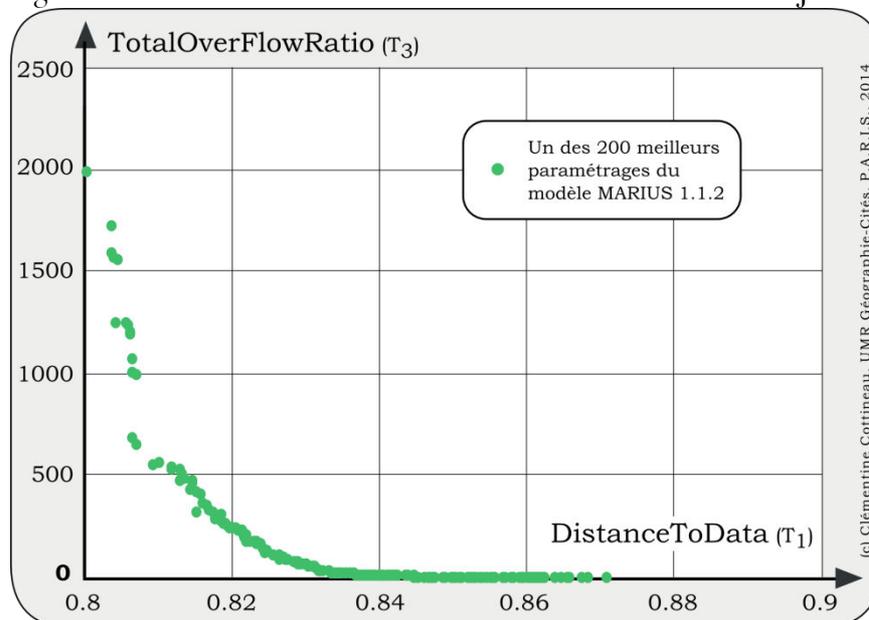
5.1.4.2. Calibrage satisfaisant du modèle

Le calibrage automatique de MARIUS 1.1.2 donne des résultats beaucoup plus satisfaisants au regard de ces trois objectifs. Les objectifs T₂ et T₃ étant à 0, le meilleur modèle quant à la distance aux données empiriques obtient une mesure de 0.868 (à comparer au modèle 1.1.1 à trois objectifs à 24.341 et au modèle sans dynamique à 102.862). Enfin, on ne peut améliorer

¹² D. Spulber (2007) note en plus de ces deux coûts non proportionnels à la distance les frais liés aux barrières tarifaires et non-tarifaires et la valeur du temps (« *the 4 T-costs* »).

cette distance sans dégrader l'objectif d'absence de « sur-flux » économique¹³ (figure 5.1.11).

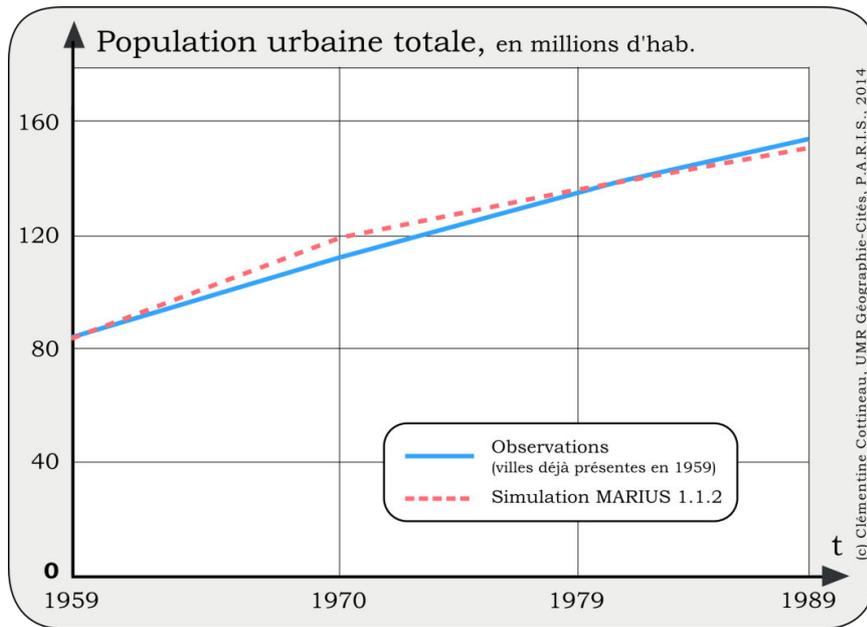
Figure 5.1.11. Front de Pareto de MARIUS 1.1.2 à 3 objectifs



Ce modèle calibré parvient à reproduire convenablement les structures macro-géographiques d'évolution de la population urbaine totale (figure 5.1.12), la dynamique de hiérarchisation et la forme de la distribution rang-taille observée en URSS entre 1959 et 1989 (figure 5.1.13), sans passer par le biais de dynamiques incohérentes à l'échelle méso-géographique des villes (figure 5.1.14). Enfin, les valeurs de tous les paramètres mesurables empiriquement sont situés dans les intervalles fournis par la littérature (tableau 3.1.4). C'est le cas des exposants de loi d'échelle, plus proches de la valeur 1 que dans les modèles précédents, et du paramètre *distanceDecay*, plus fort que dans le modèle MARIUS 1.1.1.

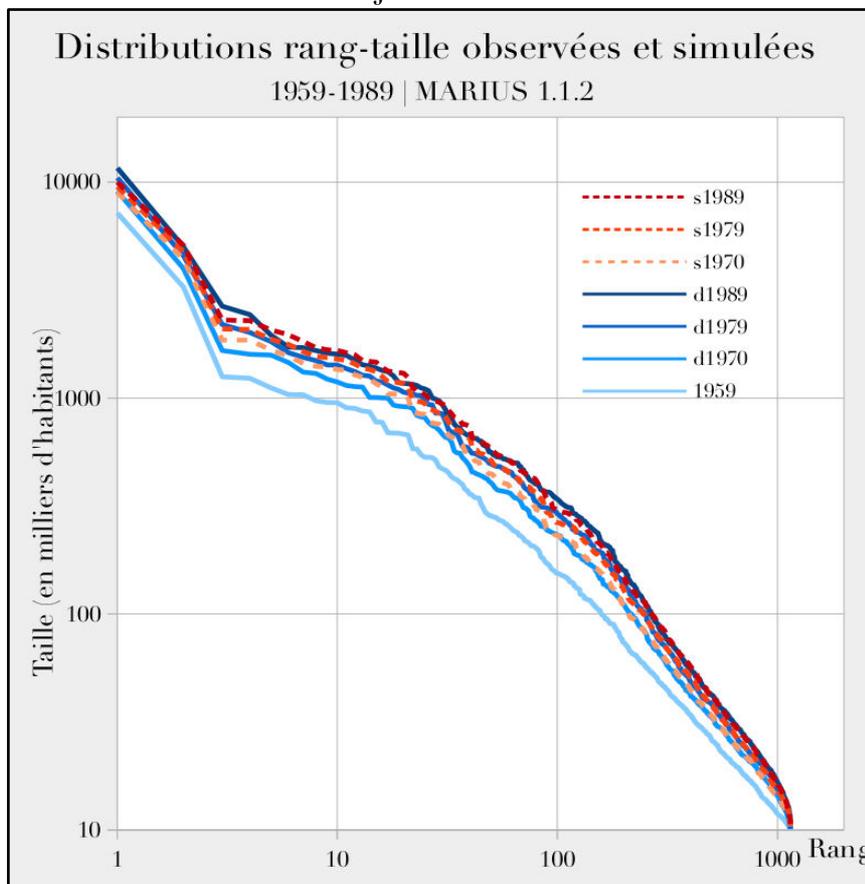
¹³ C'est pourquoi on nomme le front formé par les paramétrages optimaux un « front de Pareto », en référence à l'équilibre optimal de Pareto, défini comme une configuration dans laquelle chaque amélioration de la situation d'un élément entraîne la dégradation d'un ou plusieurs autres.

Figure 5.1.12. Comparaison des populations totales observée et simulée avec MARIUS 1.1.2



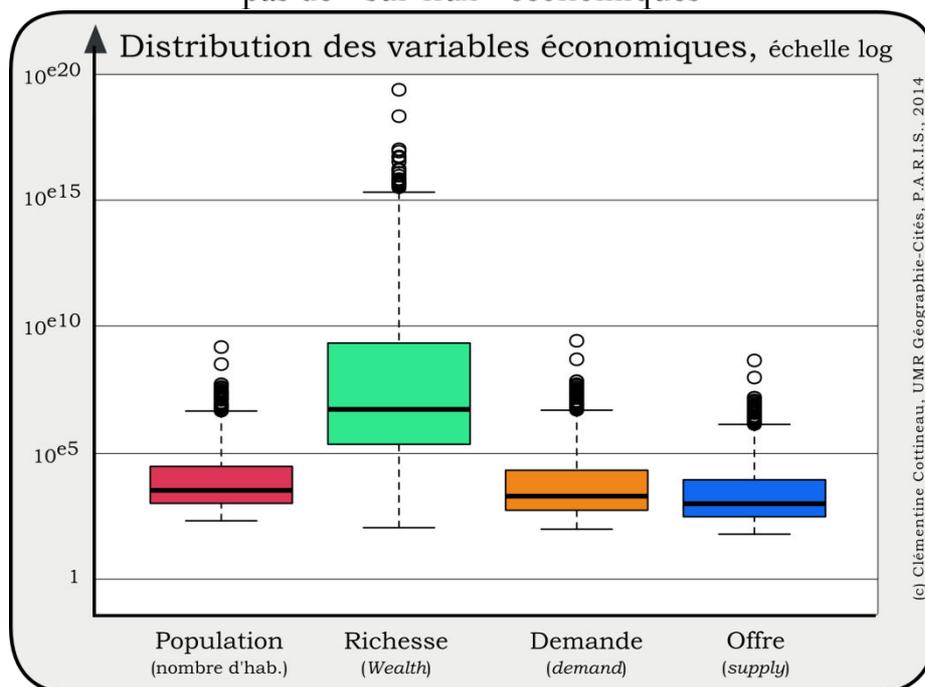
Source : DARIUS, MARIUS, 2014

Figure 5.1.13. Distributions rang-taille avec MARIUS 1.1.2 et trois objectifs d'évaluation



Source : DARIUS, MARIUS, 2014. Note : « d » pour données, « s » pour simulation devant la date

Figure 5.1.14. Dynamique satisfaisante du modèle MARIUS 1.1.2 :
pas de « sur-flux » économiques



Source : MARIUS, 2014. Note : ces valeurs sont obtenues au dernier pas de temps.

Tableau 5.1.4. Meilleur jeu de paramètres pour MARIUS 1.1.2
avec trois objectifs

Paramètres libres	Valeurs observées dans la littérature	Valeur obtenue pour le meilleur modèle par calibrage automatique
<i>populationToWealthExponent</i>	> 1	1.06919766558929
<i>sizeEffectOnSupply</i>	[1 ; 1.3]	1
<i>sizeEffectOnDemand</i>	[1 ; 1.3]	1.0841916528743
<i>economicMultiplier</i>	-	0.589041240155966
<i>distanceDecay</i>	[-0.3 ; 5.2]	0.67639638323395
<i>wealthToPopulationExponent</i>	-	0.410661076332697
<i>bonusMultiplier</i>	-	564.646869914297
<i>fixedCost</i>	-	0.427446768353976

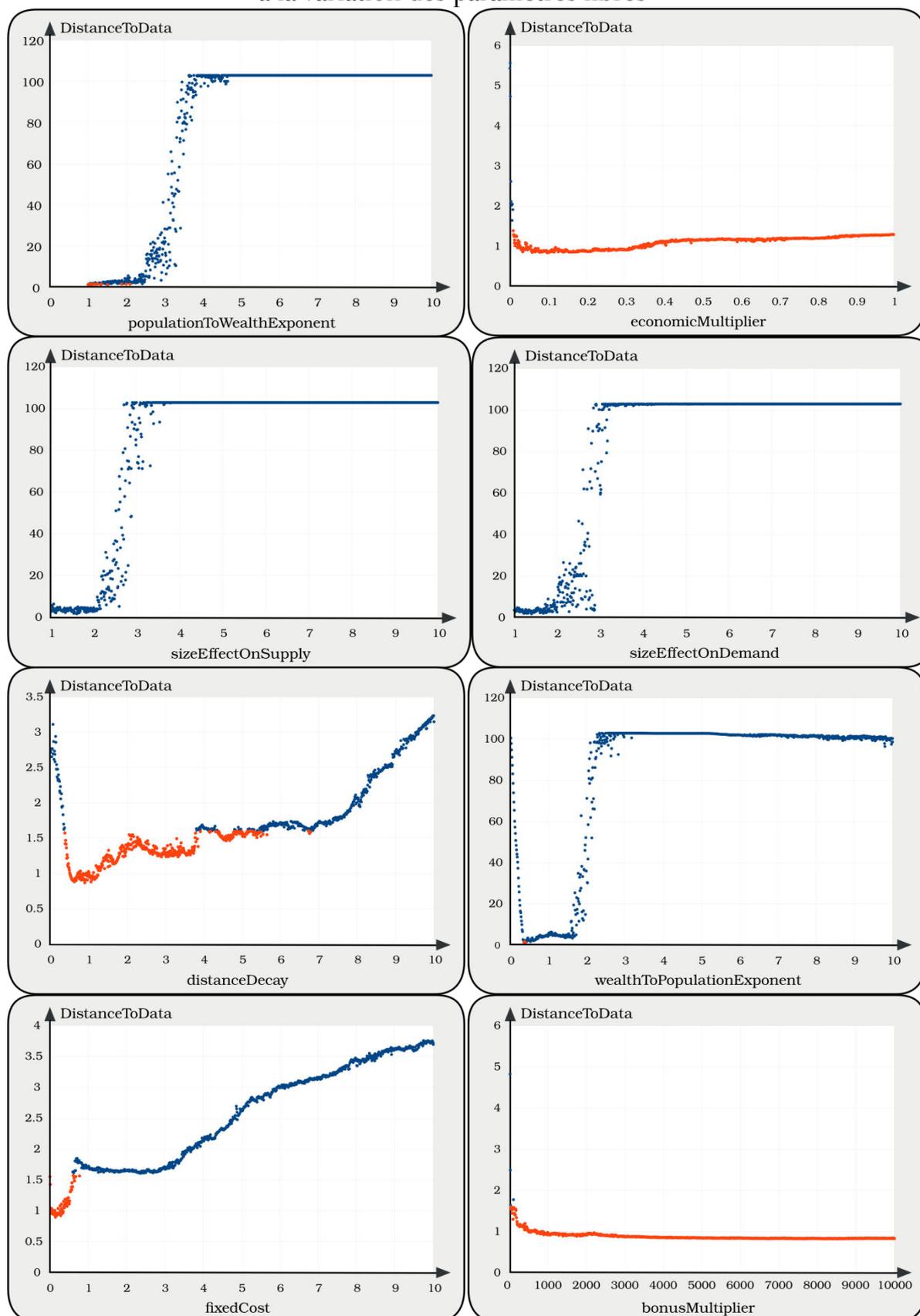
5.1.4.3. MARIUS 1.1.2, analyse de sensibilité

Le modèle n'est pas stochastique à ce niveau, et nous avons pu présenter l'unique meilleur jeu de paramètres permettant d'atteindre des objectifs d'évaluation quantifiés. Ce jeu satisfait les critères macro-géographiques d'un modèle de système de villes crédible. Nous avons toutefois besoin de connaître la sensibilité des résultats du modèle à la variation des valeurs de paramètres pour qualifier sa robustesse (Saltelli *et al.*, 2000 ; Gilbert, Troitzsch, 2005 ; Amblard, Phan, 2007a ; Ngo, See, 2012 ; Railsback, Grimm, 2012 ; Marchionni, Ylikoski, 2013 ; Thiele *et al.*, 2014). Les résultats présentés dans la figure 5.1.15 ont été obtenus par la méthode des profils (Reuillon *et al.*, 2014). Cette méthode vise à qualifier la nécessité des paramètres introduits dans le modèle, en donnant pour chaque valeur d'un paramètre le meilleur résultat possible du modèle après optimisation de l'ensemble des autres paramètres.

Les graphiques de la figure 5.1.15 mettent en relation, pour chaque paramètre analysé, les valeurs que peut prendre ce paramètre dans son domaine de variation (axe des abscisses) et la meilleure qualité du modèle résultant en fonction des autres paramètres libres (axe des ordonnées). Chaque point représente la meilleure qualité de simulation atteinte pour la valeur en X du paramètre analysé, au terme d'un grand nombre d'exécutions (typiquement, 100 000 générations de l'algorithme génétique) du modèle visant à optimiser la valeur des autres paramètres.

Nous avons représenté en rouge les valeurs de X permettant d'atteindre les meilleures proximités à la distribution empirique. Le meilleur modèle obtenu par calibrage automatique (cf. section 4.1.4.2) atteint les valeurs minimales pour les trois objectifs d'évaluation (la distance à la distribution des tailles de villes observée $T_1=0.868$, le nombre de villes « ruinées » T_2 et la mesure des « sur-flux » T_3 sont à 0). Ainsi, les jeux de paramètres en rouge indiquent des valeurs de X permettant d'atteindre une valeur nulle pour les objectifs T_2 et T_3 (des dynamiques économiques réalistes), et une valeur de distance à la distribution observée comprise entre 0.868 et 1.6. On caractérise de cette manière les meilleures valeurs du paramètre analysées, avec seuil correspondant à deux fois la valeur minimale atteinte.

Figure 5.1.15. Profils de sensibilité du modèle
à la variation des paramètres libres



Source : MARIUS, 2014. Figures réalisées après 100 000 générations pour chaque paramètre.
Un point représente le meilleur modèle obtenu pour la valeur du paramètre en x.

Les profils des trois premiers exposants de loi d'échelle (*populationToWealthExponent*, *sizeEffectOnSupply* et *sizeEffectOnDemand*) indiquent que les meilleures performances du modèle sont atteintes pour des valeurs de ces paramètres comprises entre 1 et 2. Ils indiquent aussi qu'au-delà de 3 ou 4, il n'existe aucune combinaison des autres paramètres (après une exploration de 100 000 générations d'algorithmes génétiques) qui permette d'obtenir une proximité aux données empiriques meilleure que celle du modèle sans dynamique (c'est-à-dire $T_1 = 102$ et $T_2=T_3=0$). Les meilleures valeurs du modèles sont toutefois obtenues lorsque ces exposants sont situés dans les intervalles issus de la littérature sur les économies d'agglomération, c'est-à-dire entre 1 et 1.3.

Le paramètre *economicMultiplier* doit être compris entre 0 (exclu) et 1 pour des simulations satisfaisantes. À 0, il annule les offres et demandes des villes, empêchant les échanges. Au-delà de 1, on trouve systématiquement des phénomènes de « sur-flux ». Au sein de l'intervalle $[0 ; 1]$, les meilleurs exécutions du modèle se situe autour de la valeur 0.1.

Un large intervalle de valeurs de l'effet dissuasif de la distance (*distanceDecay*) permet d'obtenir des résultats satisfaisants. Ainsi, entre 0.37 et jusqu'à 5 environ, il est possible de trouver des modèles dont l'écart à la distribution est jusqu'à deux fois moins bonne que celle du meilleur modèle. Cet intervalle correspond à celui de la littérature sur les modèles gravitaires testés à l'échelon régional (Fotheringham, 1981). De plus, on remarque une zone de valeurs pour laquelle les performances du modèles sont encore meilleures, il s'agit de l'intervalle $[0.5 ; 1]$, qui correspond précisément à la gamme de valeurs estimées à une échelle interurbaine par B. Baccaini et D. Pumain (1998) pour les villes françaises. L'analyse de sensibilité de ce paramètre est donc extrêmement satisfaisante, au-delà de la vérification de la nécessité du paramètre (le modèle est moins bon lorsque ce paramètre est annulé) et de la constatation qu'un rôle de frein trop important attribué à la distance pénalise le réalisme des simulations.

Le profil le plus intéressant est celui de l'exposant *wealthToPopulationExponent*. Il s'agit d'un paramètre ayant une valeur interprétable, mais pour laquelle nous n'avons pas trouvé dans la littérature d'intervalle de variation empirique. Il n'est pas non plus certain, selon les économistes, que l'effet scalant de ce paramètre soit infra ou super-linéaire (Ciccone, Hall, 1996 ; Combes, Lafourcade, 2012). Or le profil de la figure 5.1.15 pour ce paramètre montre que de part et d'autre de 1, on peut obtenir de « bons » résultats de simulation. Le profil de sensibilité expose ainsi deux régimes qualitatifs possibles du modèle. Toutefois, les meilleurs résultats sont obtenus pour des valeurs inférieures à 1, signifiant qu'un même gain de richesse est plus favorable à une petite qu'à une grande ville en termes de gain de population.

Enfin, les paramètres liés à la bonification et au coût fixe des échanges affichent deux profils très différents. Le coût fixe d'un échange est un paramètre restrictif du modèle, qui produit ses meilleurs résultats pour des valeurs de *fixedCost* entre 0 et 1. Au contraire, la valeur du paramètre *bonusMultiplier* doit simplement dépasser 25 pour produire des résultats satisfaisants en fonction des autres paramètres. Le premier de ces deux paramètres est donc plus contraignant, mais tout deux apparaissent nécessaires au fonctionnement du modèle.

5.1.4.4. Un modèle qui ne reproduit pas la diversité des trajectoires observées

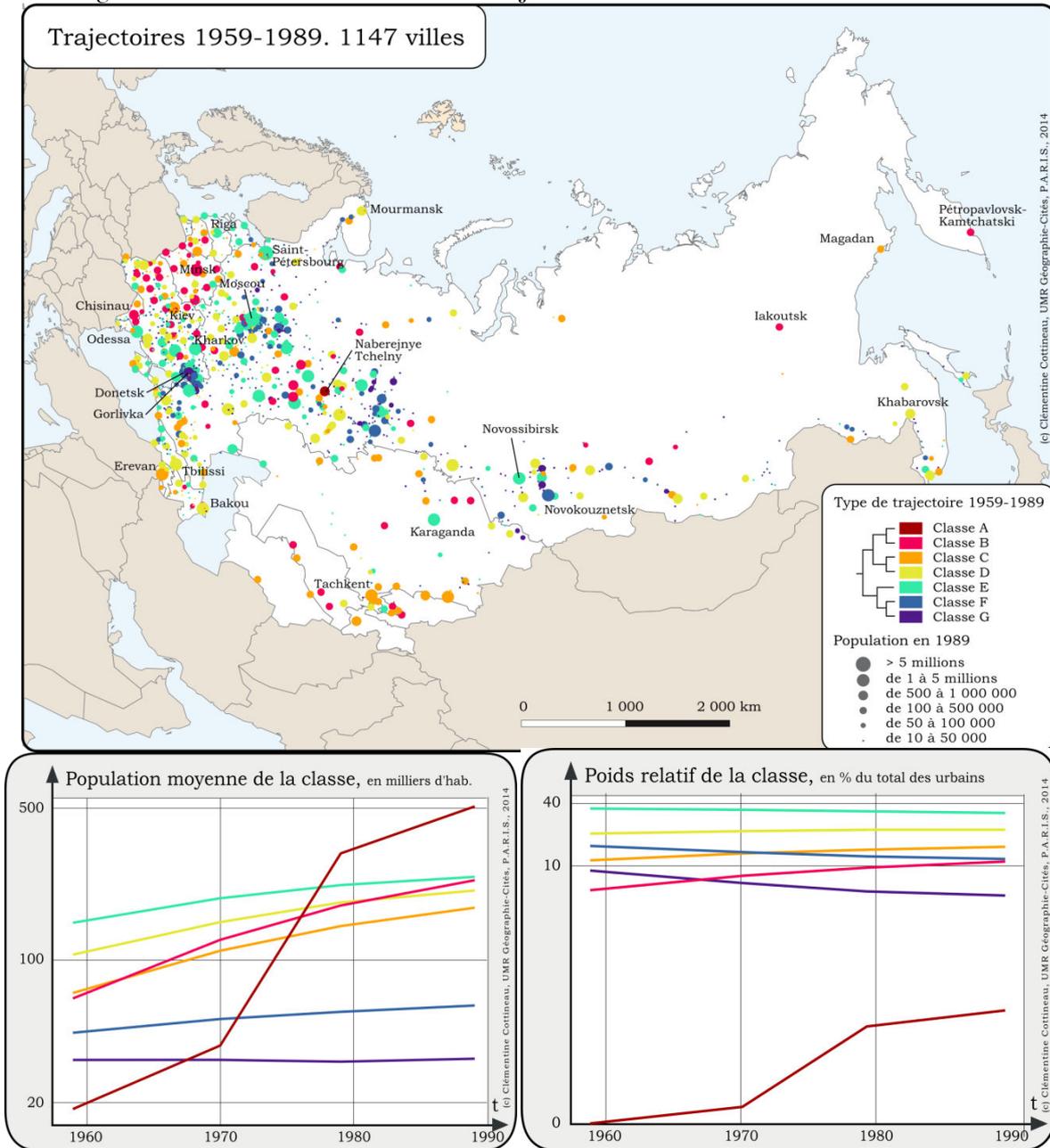
Jusqu'à présent, ce premier modèle parvient très bien à reproduire les faits stylisés d'un système de villes général, et la structure macro-géographique du système soviétique entre 1959 et 1989, avec des valeurs de paramètres crédibles. Afin d'évaluer la propension de ce modèle très simple à reproduire l'évolution urbaine soviétique, nous nous intéressons à l'élément le plus particulier et micro-géographique de notre grille d'évaluation : la diversité des trajectoires de villes. Pour cela, nous comparons la classification des trajectoires en 7 classes menée dans le Chapitre 3 (section 3.3.2) sur les 1 147 villes soviétiques entre 1959 et 1989 (figure 5.1.16) avec une classification en autant de classes sur les 1 145 villes simulées avec MARIUS 1.1.2 et le meilleur jeu de paramètres au regard des trois objectifs d'évaluation (figure 5.1.17).

Quatre constats s'imposent dans cette comparaison :

D'une part, la diversité des trajectoires relatives (graphiques en bas à droite) est assez bien représentée dans le modèle, et correspond à l'évolution relative des villes dans le système observé. De même, le nombre de villes dans chaque classe de trajectoires est similaire dans les deux systèmes.

Deuxièmement, du point de vue des trajectoires absolues (données par la population moyenne des classes dans les graphiques en bas à gauche), la ressemblance est moins forte. En effet, toutes les trajectoires moyennes simulées sont croissantes et presque parallèles, tandis qu'en Union soviétique entre 1959 et 1989, certaines classes de villes stagnent et Naberejnye Tchelny se singularise par une explosion démographique unique. Le fait de ne pas reproduire la trajectoire de cette ville avec un modèle aussi parcimonieux que MARIUS 1.1.2 est tout à fait attendu. En revanche, le manque de diversité des profils de trajectoires pénalise son évaluation.

Figure 5.1.16. Classification des trajectoires observées entre 1959 et 1989



Troisièmement, une incongruité particulière des trajectoires simulées révélée par la classification concerne la position de Moscou dans une classe de trajectoires qui perd du poids relatif dans le système tout au long de la période (classe F). De plus, il s'agit d'une classe dont toutes les autres villes sont très peu peuplées (tableau 5.1.5).

Figure 5.1.17. Classification des trajectoires simulées entre 1959 et 1989

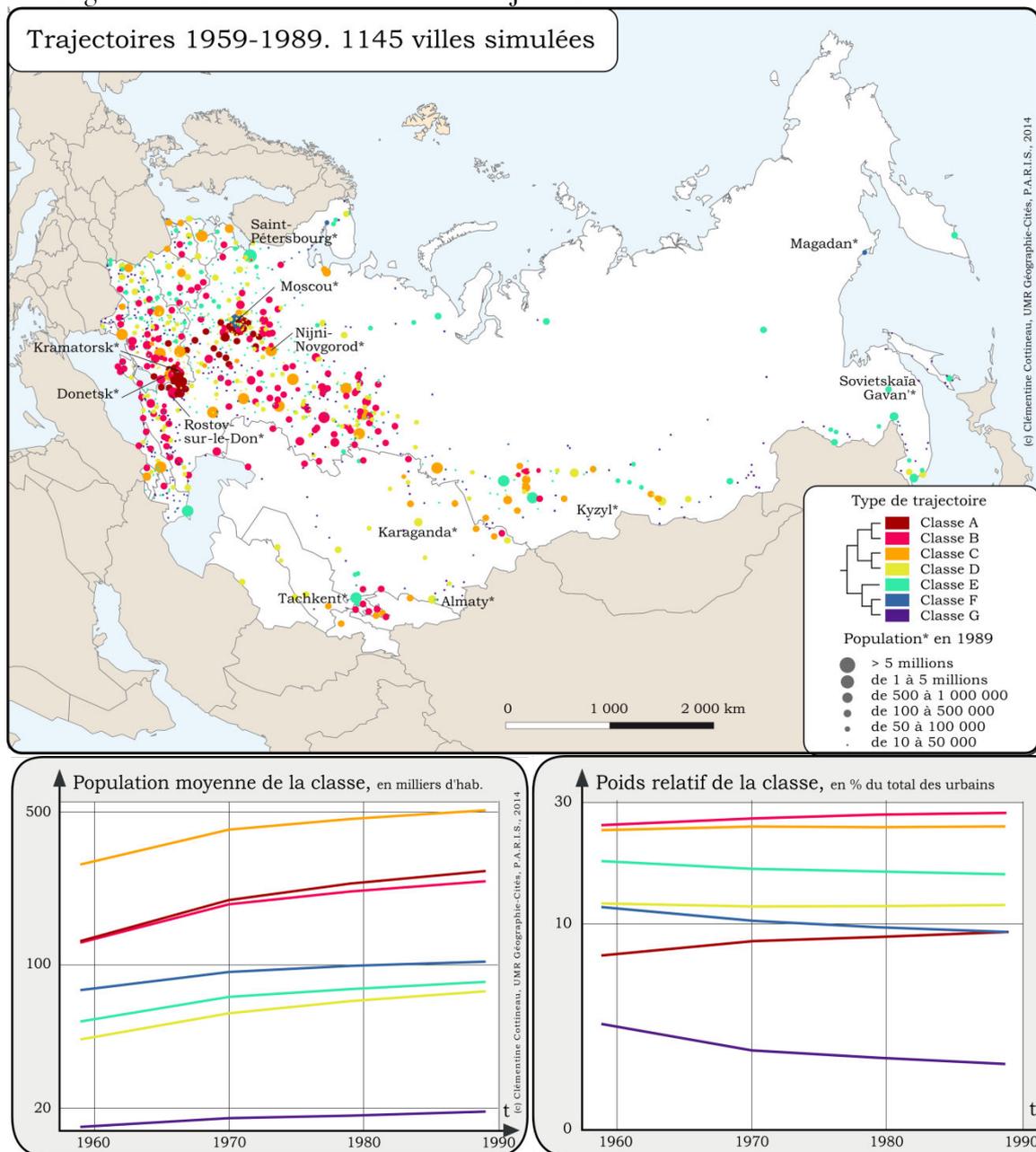


Tableau 5.1.5. Population des cinq plus grandes agglomérations de chaque classe de trajectoire (en milliers d'habitants)

Classes	Villes	1959	1970*	1979*	1989*
A 46 villes	Kramatorsk	345	562	660	756
	Lougansk	286	468	552	635
	Novomoskovsk	281	452	531	610
	Torez	242	407	481	558
	Stakhanov/Brianka	227	381	451	525
B 171 villes	Rostov-sur-le-Don	680	1044	1194	1334
	Gorlivka	531	853	991	1122
	Oufa	547	843	962	1074
	Toula	480	759	881	1000
	Voronej	471	738	854	968
C 66 villes	Donetsk	1234	1855	2087	2298
	Nijni-Novgorod	1256	1855	2078	2281
	Kiiv	1116	1664	1872	2064
	Kharkiv	1034	1566	1771	1965
	Dniepropetrovsk	955	1447	1642	1824
D 240 villes	Karagandy	531	761	852	937
	Almaty	464	663	741	813
	Krasnoïarsk	424	606	680	747
	Irkoutsk	379	533	595	654
	Mourmansk	271	383	430	477
E 297 villes	Saint-Pétersbourg	3267	4396	4768	5090
	Tachkent	1038	1406	1541	1663
	Novossibirsk	973	1356	1496	1621
	Novokouznetsk	896	1247	1376	1493
	Bakou	872	1224	1356	1478
F 130 villes	Moscou	7186	8968	9518	9989
	Magadan	62	73	79	85
	Kandalaksha	38	44	49	53
	Zaozernü	35	42	45	49
	Ayagez	31	36	40	43
G 195 villes	Sovetskaïa Gavan'	37	41	43	46
	Kyzyl	35	39	42	46
	Täischet	34	38	41	44
	Korsakov	33	37	40	42
	Lessozavodsk	32	37	39	41

* : populations simulées à partir de MARIUS 1.1.2 initialisé avec les populations DARIUS de 1959 et le meilleur jeu de paramètres (tableau 5.1.4).

Enfin, la plus grande différence entre ces deux classifications de trajectoires (observées et simulées) provient de la localisation des villes appartenant à chaque classe. Ainsi, les villes les plus croissantes historiquement se situaient entre 1959 et 1989 en périphérie de l'URSS (partie européenne, Extrême-Orient, Caucase et Asie centrale), et les villes démographiquement les moins dynamiques se concentraient au Centre et près des bassins charbonniers, dont la croissance de population avait été la plus rapide durant la période précédente (principalement entre 1926 et 1939). À l'inverse, les trajectoires urbaines simulées les plus croissantes se situent majoritairement au centre de gravité démographique du pays : les villes de la classe A par exemple sont toutes localisées au sein d'une ellipse Moscou-Donbass. La périphérie soviétique apparaît en teintes froides du fait d'une surreprésentation des villes simulées les moins croissantes dans cette zone. Cette inversion du modèle centre-périphérie aboutit à la simulation d'une ville comme Gorlivka en Ukraine dans la seconde classe la plus croissante (tableau 5.1.5), alors qu'elle a connu en réalité une des trajectoires les plus stagnantes (figure 5.1.16).

Cette configuration n'est pas surprenante étant donné le mécanisme d'interactions spatiales basé sur un modèle gravitaire : on retrouve la propriété de ce modèle à favoriser les villes centrales et de grande taille, dont le potentiel d'interaction avec toutes les autres villes est plus élevé¹⁴. Cela signifie simplement que ce mécanisme n'est pas suffisant à lui seul pour représenter la répartition de la croissance urbaine soviétique entre 1959 et 1989.

Cette incapacité du modèle de base à reproduire la diversité des trajectoires urbaines observées, malgré de bons résultats macro-géographiques, nous pousse à conclure que ce seul mécanisme d'interactions spatiales ne suffit pas à comprendre et expliquer l'évolution urbaine soviétique. Nous proposons donc d'inclure de nouveaux « blocs » de mécanismes dans la seconde partie de ce chapitre, notamment l'impact différencié des ressources du sous-sol et la redistribution territoriale.

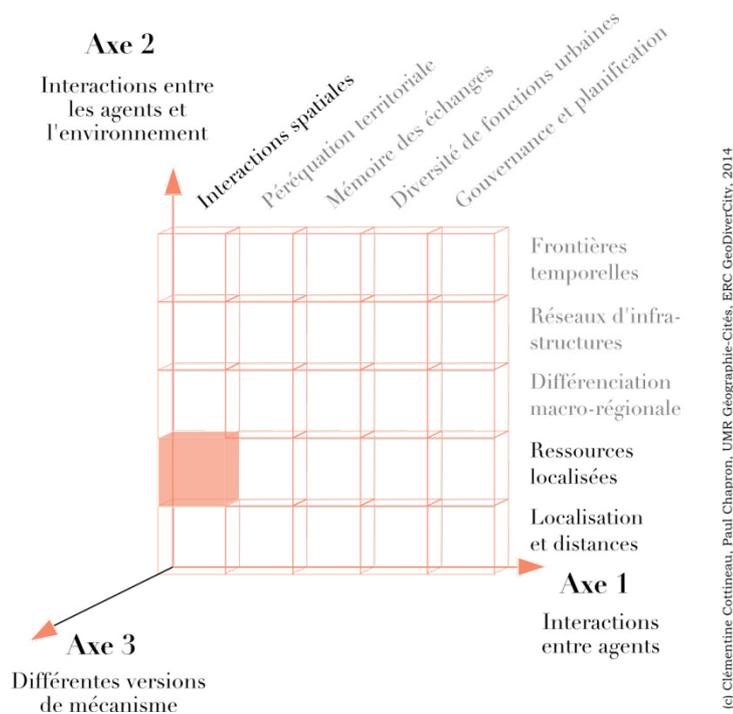
¹⁴ En dehors de Moscou, dont la faible croissance s'explique probablement par le règlement des transactions au minimum des offres et demandes réservées par les deux parties d'un échange. Moscou étant toujours la ville la plus importante, il est probable qu'elle souffre d'une offre insatisfaite (*unsold*) systématiquement élevée qui pénalise sa balance commerciale.

5.2. Trois blocs de mécanismes de complexification du modèle

« Parsimony is a significant contributor to a model's value as a device for prediction and explanation. On the other hand, simplification and abstraction of processes and structures assumed to exist in the referent system reduce the credibility of claims that correspondence exists between an operating model and its intended referent. »
(Hermann, 1967, p.217)

Notre premier modèle a pour lui la parcimonie d'une explication uniquement économique des faits stylisés macro-géographiques. En revanche, la comparaison des trajectoires indique assez fortement une mauvaise prédiction des zones de croissance et de stagnation. Ainsi, les bassins charbonniers, centraux géographiquement, sont les lieux simulés d'une croissance forte, alors qu'historiquement, ils sont des zones de spécialisation obsolète à partir des années 1960 (cf. Chapitre 4). De même, nous avons observé empiriquement que les villes capitales montraient un avantage de croissance systématique au cours du temps, toutes choses égales par ailleurs (cf. Chapitre 4.1.2). Nous pensons ainsi que pour améliorer la crédibilité du modèle et approcher d'une évaluation satisfaisante de ses résultats à chaque échelon géographique, il nous faut ajouter ces deux mécanismes (au minimum) dans la structure du modèle.

5.2.1. La présence de ressources localisées : MARIUS 1.2



Position du modèle 1.2.1 dans la grille de complexification
incrémentale et hiérarchisée MARIUS
cf. Chapitre 4, figure 4.2.5.

Au vu des erreurs de localisation obtenues avec le modèle de base dans la simulation des trajectoires de croissance urbaine, l'ajout d'un mécanisme rendant compte de la présence de ressources localisées nous semble constituer le premier pas vers une complexification capable de simuler de manière plus juste les différences de trajectoires micro-géographiques.

5.2.1.1. Principe de base du mécanisme d'extraction de ressources

Nous avons confirmé au moyen des modèles statistiques du Chapitre 4 un effet de cycle dans la co-variation de la croissance des villes avec leur accessibilité à différentes ressources (cf. section 4.1.2.2). Ainsi, jusque dans les années 1960, la présence d'une ville sur un bassin charbonnier est associée à une croissance systématiquement plus rapide (et de manière très significative entre 1926 et 1939, durant l'industrialisation massive de l'URSS). Après 1959 au contraire, les villes de ces zones ont connu une croissance inférieure de -0.1 à -0.5 point en pourcentage par rapport à celle des villes hors des bassins charbonniers, toutes choses égales par ailleurs. Dans le même temps, les

hydrocarbures sont devenus associés à une croissance urbaine annuelle moyenne significativement plus forte de 0.2 à 0.9 point depuis 1979.

Nous cherchons à modéliser l'effet de cycle économique et l'impact géographique de la distribution des ressources du sous-sol dans le modèle MARIUS 1.2.1. par un mécanisme abstrait très simple. Une fois les échanges de valeur effectués et la nouvelle richesse calculée (Eq. 9 bis), nous appliquons un « effet-ressource » compris comme un multiplicateur de la richesse produite si la ville a accès à ces ressources, ou muet sinon. Ainsi, pour toutes les villes situées en dehors des zones d'extraction de charbon et d'hydrocarbures, les mécanismes de ce modèle sont identiques à ceux du précédent. Pour les autres, l'hypothèse traduite ici par l'usage des multiplicateurs est celle d'un effet global des ressources accessibles sur l'économie de la ville.

Un effet positif des ressources (paramètre > 0) entraîne ainsi un surplus de richesse proportionnel à la richesse de la ville après échanges, traduisant l'opportunité d'extraction (croissante avec le capital accumulé) et une spécialisation économique en phase avec le cycle en cours. À l'inverse, un effet négatif des ressources (paramètre < 0) implique une réduction proportionnelle de la richesse de la ville, par dépréciation de son patrimoine en raison de sa spécialisation dans un cycle économique obsolète (l'industrie des mines de charbon au cours de la seconde moitié du XX^e siècle par exemple). L'implémentation de ce mécanisme prend la forme suivante (Eq. 16) :

$$\text{Eq. 16 : } \text{newWealth}_{i,t} = \text{wealth}_{i,t} * (1 + a_i * \text{oilAndGasEffect} + b_i * \text{coalEffect})$$

Avec : a_i et b_i des indices concernant la position de la ville i sur un bassin d'hydrocarbures ($a=1$) ou non ($a=0$) ; sur un bassin charbonnier ($b=1$) ou non ($b=0$), renseignés à l'initialisation d'après les données DARIUS en fonction des localisations observées pour chaque ville.

oilAndGasEffect le multiplicateur lié aux hydrocarbures, un paramètre libre du modèle MARIUS 1.2.1, dont l'intervalle d'exploration est fixé entre -1 et 1.

coalEffect le multiplicateur lié à l'extraction charbonnière, un paramètre libre du modèle MARIUS 1.2.1, dont l'intervalle d'exploration est fixé entre -1 et 1.

On laisse le calibrage automatique trouver les valeurs de ces deux paramètres dans l'intervalle $[-1 ; 1]$, mais on attend une valeur positive pour *oilAndGasEffect* (empiriquement, de 0 à 0.01) et une valeur négative pour *coalEffect* (empiriquement estimé entre -0.005 et 0 selon les périodes, cf. Chapitre 4.1.2).

Afin d'améliorer la prise en compte des trajectoires individuelles des villes simulées dans l'évaluation de la qualité du modèle, nous contraignons une nouvelle fois le calibrage automatique par une fonction d'évaluation plus exigeante. Nous n'ajoutons pas d'objectif d'évaluation, mais modifions le calcul

de la distance aux données. Celle-ci n'est plus calculée en comparant la population des villes de même rang dans l'observation et la simulation à chaque date mais en comparant la population des villes de même identifiant au cours du temps. Ainsi, une distance nulle signifie que toutes les villes simulées suivent la même trajectoire que celle observée empiriquement aux dates de recensement. Le modèle sans dynamique produit une distance de 160.41 selon cet objectif modifié, et le meilleur calibrage du modèle précédent (MARIUS 1.1.2) une distance de 79.24. Nous considérons dans la suite que les modèles plus complexes améliorent la reproduction des trajectoires démographiques des villes soviétiques s'ils produisent une distance inférieure pour cet objectif, et toujours nulle pour les deux autres objectifs.

5.2.1.2. Résultats de calibrage de MARIUS 1.2.1

Le meilleur modèle calibré au terme de 40 000 générations d'un algorithme génétique permet de réduire la distance aux trajectoires individuelles de 79.24 à 63.53. Tous les paramètres sont situés dans ou proches de leur intervalle empiriquement observable (tableau 5.2.1). On observe toutefois quelques résultats étonnants. Tout d'abord, l'effet estimé de la localisation sur une zone d'hydrocarbures est négatif (-0.25 point en pourcentage de croissance de la richesse par rapport à une ville sans accès à des hydrocarbures), alors que l'on attendait au vu des analyses statistiques et de la littérature un effet positif, même faible durant cette période. D'autre part, l'exposant de la loi d'échelle liant la production totale d'une ville à sa population est plus élevé qu'attendu et que dans les modèles précédents (1.61), tandis que le paramètre *distanceDecay* est très faible (0.0005) bien que compris dans son intervalle empirique. En revanche, l'effet de la localisation charbonnière correspond à notre hypothèse, en étant négatif (bien que fort par rapport aux résultats des régressions : -2.21 point de croissance de la richesse).

Ce modèle s'éloigne quelque peu de nos attendus macro-géographiques par rapport au modèle précédent, qui avait l'avantage supplémentaire d'être plus parcimonieux. Ainsi, la population totale simulée est moins nombreuse qu'observé en fin de période de 14.2 millions d'urbains. Ces habitants non-simulés sont principalement absents des villes du haut de la hiérarchie urbaine (les villes de plus d'un million d'habitants), tandis que la queue de distribution est bien reproduite par le modèle ainsi calibré. Toutefois, ce modèle apparaît bien meilleur dans la prévision des trajectoires individuelles et des différentiels de croissance selon la géographie de l'URSS (figure 5.2.1).

Tableau 5.2.1. Paramétrage satisfaisant du modèle MARIUS 1.2.1

Paramètres libres	Valeurs observées dans la littérature	Valeur obtenue pour le meilleur modèle par calibrage automatique
<i>populationToWealthExponent</i>	> 1	1.23133919109546
<i>sizeEffectOnSupply</i>	[1 ; 1.3]	1.61102159300671
<i>sizeEffectOnDemand</i>	[1 ; 1.3]	1.08953233750211
<i>economicMultiplier</i>	-	0.00610893407538783
<i>distanceDecay</i>	[-0.3 ; 5.2]	0.000477019616908815
<i>wealthToPopulationExponent</i>	-	0.555223734975375
<i>bonusMultiplier</i>	-	92.4507139566859
<i>fixedCost</i>	-	0.000378558734773218
<i>oilAndGasEffect</i>	[0 ; 0.01]	-0.00256055211048378
<i>coalEffect</i>	[-0.005 ; 0]	-0.0221165450156629

Si l'on compare la figure 5.2.1 à la classification empirique (figure 5.1.16), on note plusieurs différences majeures :

Tout d'abord, l'arbre de classification issu de la simulation ne donne pas les mêmes proximités entre classes de trajectoires, de même que le nombre de villes par classe (tableau 5.2.2). La différenciation la plus importante entre les profils d'évolution démographiques entre 1959 et 1989 n'est donc plus seulement selon l'évolution relative mais aussi en fonction de la dynamique des villes lors de la première décennie. Globalement, les trajectoires absolues ne sont pas aussi différenciées que ce que l'on observe empiriquement.

D'autre part, la dynamique urbaine de certaines zones de l'ex-URSS est encore relativement mal simulée : les villes baltes et de l'Oural croissent notamment plus fortement dans la simulation que durant la période historique d'étude. Plus symboliquement, la croissance de Moscou n'est toujours pas bien prise en compte par ce modèle.

Enfin, même si l'on a permis à certaines villes du Donbass de croître moins avec MARIUS 1.2.1 qu'avec MARIUS 1.1.2, il reste une partie des villes de cette région charbonnière dense qui croissent encore fortement dans la simulation,

alors qu'en 1959 et 1989, l'ensemble de ces villes suit des trajectoires peu croissantes (classes F et G dans la figure 5.1.1.6).

Toutefois, on reproduit relativement bien la croissance importante des villes de la périphérie de l'URSS, le déclin relatif des villes du charbon, ainsi qu'une certaine diversité de trajectoires en Asie centrale ou le long du tracé du Transsibérien, ce qui constitue une amélioration par rapport au modèle précédent. Les classes de villes suivant une évolution « moyenne » (profils C et D) sont réparties régulièrement dans l'espace soviétique, de manière réaliste.

Figure 5.2.1. Classification des trajectoires simulées avec MARIUS 1.2.1.

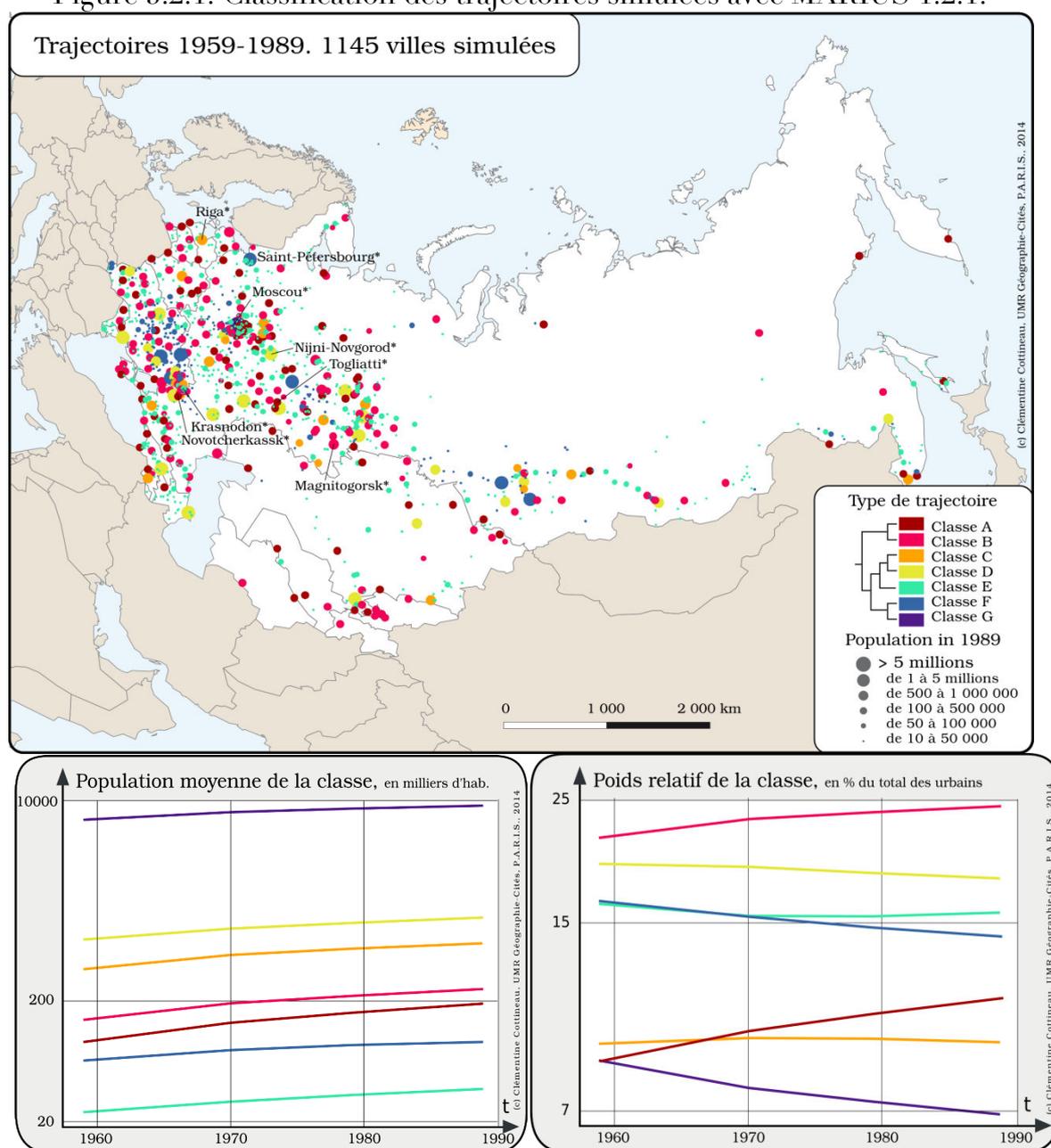


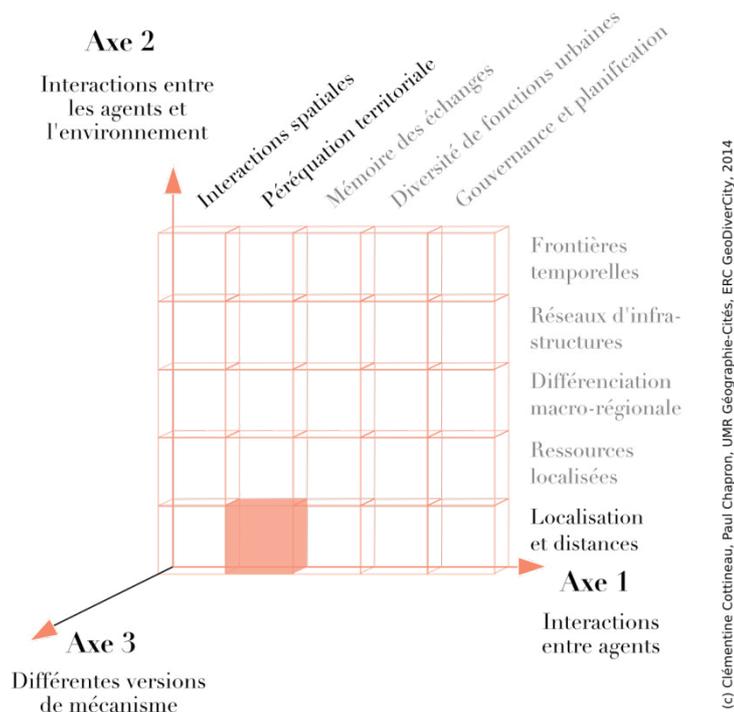
Tableau 5.2.2. Population des cinq plus grandes agglomérations de chaque classe (en milliers d'habitants)

Classes	Villes	1959	1970*	1979*	1989*
A 83 villes	Novotcherkassk	123	183	219	257
	Moguilev	122	181	217	254
	Togliatti	121	180	216	253
	Berezniki	118	176	211	248
	Kolomna	118	176	211	248
B 138 villes	Magnitogorsk	311	423	487	551
	Astrakhan	296	403	463	522
	Marioupol	291	399	460	521
	Tallinn	282	386	446	507
	Ijevsk	285	390	448	506
C 21 villes	Riga	582	757	854	949
	Oufa	547	713	802	890
	Erevan	529	693	783	873
	Minsk	516	677	765	854
	Voronej	471	621	705	788
D 25 villes	Nijni-Novgorod	1256	1567	1732	1893
	Kiev	1116	1400	1551	1699
	Tachkent	1038	1307	1451	1592
	Tchéliabinsk	952	1201	1332	1459
	Samara	902	1141	1267	1389
E 645 villes	Krasnodon	58	74	85	98
	Rovenki	57	73	83	96
	Svobodnyï	57	72	82	95
	Antratsyt	56	70	80	91
	Konotop	54	67	76	87
F 232 villes	Saint-Pétersbourg	3267	3918	4249	4567
	Donetsk	1234	1513	1637	1739
	Kharkov	1034	1278	1387	1478
	Novossibirsk	973	1206	1310	1397
	Dniépropétrovsk	955	1185	1288	1374
G 1 ville	Moscou	7186	8356	8940	9496

* : populations simulées à partir de MARIUS 1.2.1 et les paramètres du tableau 5.1.2

L'ajout de mécanismes plus particuliers dans les interactions des villes avec l'environnement permet de mieux rendre compte de certains aspects de la croissance urbaine soviétique entre 1959 et 1989 : les bassins charbonniers et la périphérie soviétique. Celle-ci n'est toutefois pas bien simulée pour les plus grandes villes. Nous testons dans la section suivante l'apport de mécanismes plus complexes dans les interactions non pas avec l'environnement mais entre villes, afin de comparer la qualité des modèles résultants.

5.2.2. La redistribution territoriale et le rôle des capitales : MARIUS 2.1



Position du modèle 2.1.1 dans la grille de complexification
incrémentale et hiérarchisée MARIUS
cf. chapitre 4, figure 4.2.5.

Le second « bloc » que nous ajoutons à la structure du modèle MARIUS permet de complexifier les interactions interurbaines en ajoutant au mécanisme de compétition sur un marché d'échanges un mécanisme de coopération au sein d'entités territoriales. Nous présentons dans les sections qui suivent les détails d'implémentation de ce mécanisme ainsi que les résultats des nouveaux modèles résultants selon la fonction d'évaluation prenant en compte la diversité des trajectoires individuelles observées.

5.2.2.1. Principe de base du mécanisme de péréquation territoriale

L'hypothèse traduite sous forme de mécanisme dans cette section est celle d'une péréquation territoriale. En effet, il existe dans la plupart des territoires politiques une volonté de réduction des inégalités de richesse qui doit conduire à une certaine convergence des niveaux de vie régionaux et/ou individuels. Cette redistribution de la richesse se fait généralement à plusieurs niveaux. En France par exemple, la contribution des individus les plus riches est progressive au moyen notamment de l'impôt sur le revenu (Piketty, 2013) et

redistribuée sous forme de prestations sociales vers les individus les plus pauvres. À l'échelle régionale, il existe aussi un mécanisme de péréquation des territoires les plus dynamiques vers les régions les plus défavorisées (Davezies, 2008), qui permet de mutualiser l'effet des fluctuations économiques et de répondre au contrat social. Dans la Russie actuelle, M. Bradshaw et K. Vartapetov (2003) ont montré que la redistribution des recettes fiscales régionales était effective et permettait d'atténuer la divergence des inégalités économiques des régions depuis la chute de l'URSS. Il n'existe pas à notre connaissance d'étude similaire appliquée aux villes et en particulier en ex-Union soviétique, mais nous pouvons supposer qu'un mécanisme de ce type est plausible, à partir du moment où l'on considère la contribution fiscale d'une ville comme l'agrégation des contributions de ses habitants. Nous modélisons donc cette redistribution en trois étapes (Eqs. 17 à 19) :

Tout d'abord, des recettes sont prélevées pour chaque ville d'un territoire j sur la base de leur richesse (*Wealth*) selon un taux d'imposition unique *territorialTaxes* :

$$\text{Eq. 17 : } \quad \text{taxes}_j = \sum_i \text{Wealth}_{i,j} * \text{territorialTaxes}$$

Avec : *taxes*, la valeur totale des recettes collectées au sein d'un territoire j

territorialTaxes le taux d'imposition, un paramètre libre du modèle MARIUS 2.1.1, dont l'intervalle d'exploration est fixé entre 0 (pas d'impôt) et 1 (toute la richesse est redistribuée). En moyenne à l'échelle des États, le taux de prélèvements obligatoires se situe entre 10% - dans l'Europe du XIX^e siècle - et 55 % - dans la Suède des années 1970-1980 - (cf. Piketty, 2013, pp.757-759). Ce taux est toutefois calculé par rapport au PIB, et donc vaut entre 4 et 8 fois moins lorsqu'on le rapporte à la richesse accumulée. Il varierait donc empiriquement entre 1.25 et 13.75%.

Une part *capitalShareOfTaxes* de ces recettes « fiscales » peut être prélevée par la (ou les¹⁵) ville capitale du territoire j et représente à la fois la possibilité d'un comportement de captation de la ville détenant un pouvoir sur le territoire considéré, ou bien simplement le fait que la fonction politique et administrative implique des emplois et des ressources mutualisées par l'ensemble du territoire dans la ville capitale. En Union soviétique, cet avantage à la ville capitale traduirait l'effort du régime pour équiper les villes millionnaires et capitales de région (Eckert, 2007). Ce mécanisme nous semble nécessaire pour rendre compte de la croissance systématiquement supérieure

¹⁵ Notons que dans le modèle MARIUS, il peut exister plusieurs villes capitales au sein d'un même territoire : si l'on considère les « régions » introduites dans les chapitres 1 et 3 notamment, elles correspondent pour 12 des 15 anciennes Républiques soviétiques à la République dans son ensemble, bien que plusieurs villes soient capitales d'entités sub-nationales. Nous laissons la possibilité de conserver (ou non, dans les résultats présentés ici) toutes ces villes comme capitales du territoire national.

pour les villes capitales, toutes choses égales par ailleurs (cf. Chapitre 4.4.3). La centralité généralement associée à la position de ces villes sur le territoire, est bien modélisée par les interactions spatiales gravitaires, mais ne suffit pas à représenter « l'effet-capitale ».

La part des recettes que reçoit une ville capitale est calculée comme suit (Eq. 18) :

$$\text{Eq. 18 : } \text{capitalShare}_j = \text{taxes}_j * \left(\frac{\text{capitalShareOfTaxes}}{\text{numberOfCapitalCities}_j} \right)$$

Avec : *numberOfCapitalCities_j* le nombre de capitales du territoire j, généralement 1.
capitalShareOfTaxes la part des recettes réservée à la ville capitale du territoire j, un paramètre libre du modèle MARIUS 2.1.1, dont l'intervalle d'exploration est fixé entre 0 (pas d'avantage à la capitale) et 1 (toutes les recettes sont concentrées dans la ville capitale).

Une fois cette part déduite des recettes du territoire, la somme collectée est ré-affectée à toutes les villes du territoire au *prorata* de leur population dans la population urbaine totale du territoire (Eq. 19) :

$$\text{Eq. 19 : } \text{redistribution}_{i,j} = \left(\frac{\text{population}_{i,j}}{\sum_i \text{population}_{i,j}} \right) * (\text{taxes}_j - (\text{numberOfCapitalCities}_j * \text{capitalShare}_j))$$

Le résultat des interactions territoriales est finalement synthétisé dans une balance territoriale pour chaque ville (Eq. 20) :

$$\text{Eq. 20 : } \text{territorialBalance}_{i,j} = \text{redistribution}_{i,j} - (\text{Supply}_{i,j} * \text{territorialTaxes}) + \text{capitalShare}_j$$

Avec : *capitalShare_j* = 0 pour les villes non-capitales.

Cette balance intervient dans l'actualisation de la richesse en modifiant l'équation 9 de la façon suivante (Eq. 9 ter) :

$$\text{Eq. 9 ter : } \text{Wealth}_{i,t} = \text{Wealth}_{i,t-1} + \text{Supply}_{i,t} - \text{Demand}_{i,t} - \text{Unsold}_{i,t} + \text{Unsatisfied}_{i,t} + \text{Bonus}_{i,t} - (\text{Partners}_{i,t} * \text{fixedCost}) + \text{territorialBalance}_{i,j}$$

Dans la version 2.1.1 du modèle MARIUS, le territoire pris en compte correspond à l'échelle des anciennes républiques soviétiques, avec 15 capitales.

5.2.2.2. Résultats de calibrage de MARIUS 2.1.1

Le meilleur modèle MARIUS 2.1.1 calibré au terme de 35 000 générations d'un algorithme génétique permet d'atteindre une distance aux trajectoires individuelles de 66.68 (à comparer avec MARIUS 1.2.1 à 63.53, MARIUS 1.1.2 à 79.24 et le modèle sans dynamique à 160). Tous les paramètres sont encore situés dans ou proches de leur intervalle empiriquement observable (tableau 5.2.3). Trois d'entre eux correspondent toutefois à des valeurs remarquables : *distanceDecay* prend une valeur très faible (0.027). Ainsi, lorsque les interactions de redistribution sont activées, la distance joue un rôle très faible pour les interactions marchandes. D'autre part, le taux *territorialTaxes* prélevée sur la richesse des villes pour la redistribution est beaucoup plus faible qu'anticipé : 0.13%, et la majorité des taxes prélevées (*capitalShareOfTaxes* = 82.79%) est attribuée à la ville capitale. On obtient donc un modèle dont la coopération territoriale est limitée, mais qui reproduit bien l'« effet-capitale ».

Tableau 5.2.3. Meilleur jeu de paramètres pour MARIUS 2.1.1

Paramètres libres	Valeurs observées dans la littérature	Valeur obtenue pour le meilleur modèle par calibrage automatique
<i>populationToWealthExponent</i>	> 1	1.0072292462438655
<i>sizeEffectOnSupply</i>	[1 ; 1.3]	1.0103793626252178
<i>sizeEffectOnDemand</i>	[1 ; 1.3]	1.1499491337448065
<i>EconomicMultiplier</i>	-	0.21550042130816432
<i>distanceDecay</i>	[-0.3 ; 5.2]	0.026959172793032875
<i>wealthToPopulationExponent</i>	-	0.4613001273898026
<i>bonusMultiplier</i>	-	78.92902466838206
<i>fixedCost</i>		0.04124330614256517
<i>territorialTaxes</i>	[0.01 ; 0.14]	0.0013272442428438193
<i>capitalShareOfTaxes</i>	-	0.8278340371960875

Contrairement au modèle précédent (MARIUS 1.2.1), celui-ci reproduit bien l'évolution des villes du haut de la hiérarchie, qui correspondent largement aux villes capitales, mais sous-estime la croissance des villes

intermédiaires (entre 100 et 200 000 habitants). De manière encore plus frappante que pour le modèle MARIUS 1.2.1, la diversité des trajectoires est mal reproduite pas le modèle, avec un parallélisme des trajectoires éloigné de la réalité (cf. figure 5.2.2, graphique de gauche). La classification ascendante hiérarchique des profils d'évolution aboutit ainsi à l'isolement de deux classes composées d'une seule ville (F pour Saint-Pétersbourg et G pour Moscou), et au regroupement de 617 petites villes (moins de 50 000 habitants) dans la classe E (cf. tableau 5.2.4).

Figure 5.2.2. Classification des trajectoires urbaines simulées avec MARIUS 2.1.1. entre 1959 et 1989

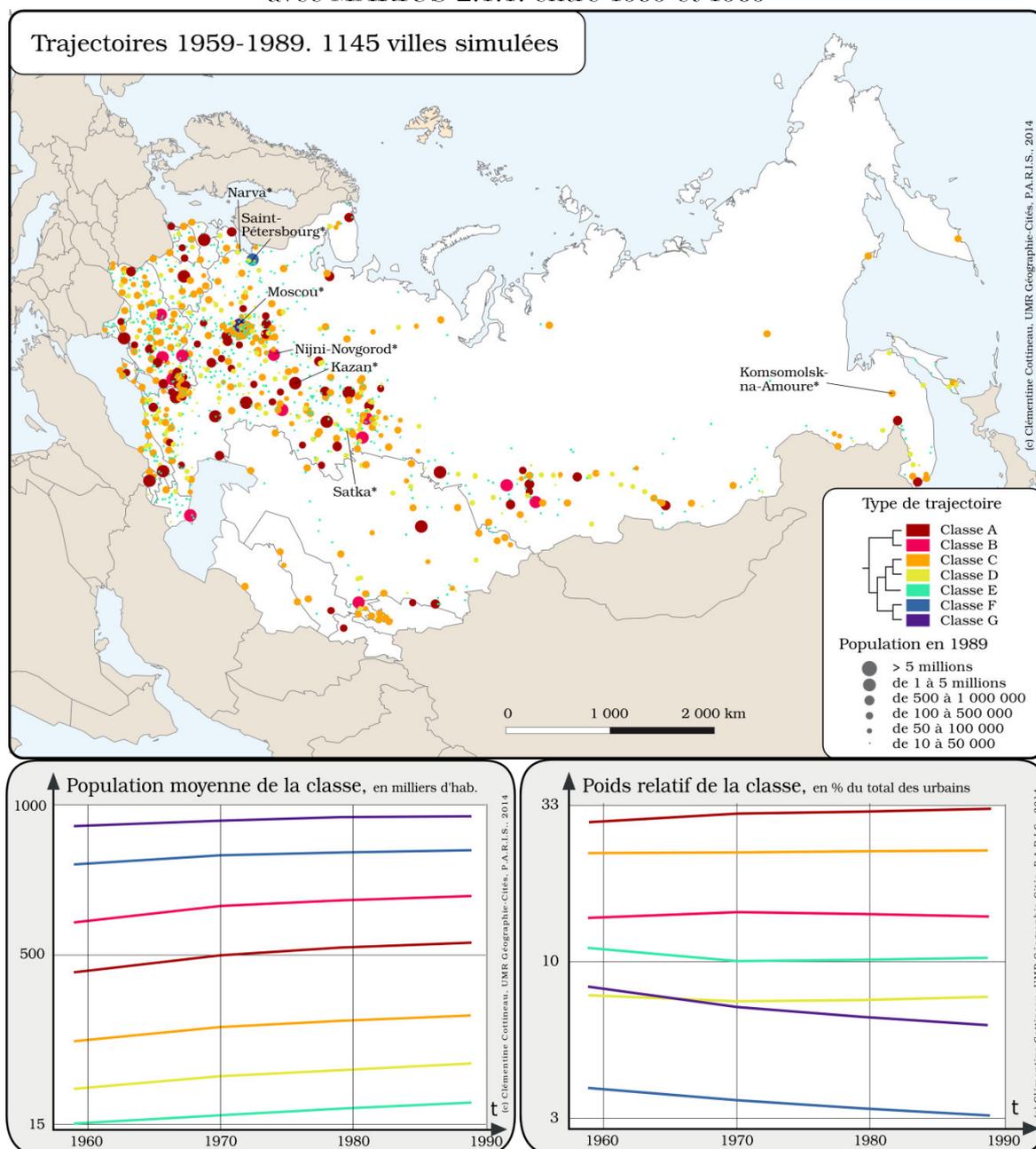


Tableau 5.2.4. Population des cinq plus grandes agglomérations de chaque classe (en milliers d'habitants)

Classes	Villes	1959	1970*	1979*	1989*
A 72 villes	Kazan	776	1142	1289	1422
	Tbilissi	773	1137	1285	1421
	Saratov	690	1027	1170	1299
	Volgograd	689	1025	1168	1297
	Perm	688	1022	1166	1295
B 14 villes	Nijni-Novgorod	1256	1716	1892	2050
	Donetsk	1234	1690	1865	2022
	Kiev	1116	1557	1736	1905
	Tachkent	1038	1457	1622	1771
	Kharkov	1034	1454	1618	1765
C 236 villes	Komsomolsk-na-Amoure	177	243	277	312
	Oulan-Oude	175	240	275	310
	Kostroma	172	237	272	308
	Tchita	172	235	269	303
	Achgabat	170	234	267	302
D 206 villes	Satka	43	56	65	73
	Bogdanovitch	43	56	64	73
	Bougourouslan	43	55	64	72
	Donetsk	42	55	64	72
	Poti	42	55	63	72
E 617 villes	Narva	28	35	39	45
	Koupyansk	26	32	37	42
	Ekibastouz	26	32	37	42
	Irpin	25	31	36	41
	Ozyory	25	31	35	40
F 1 ville	Saint-Pétersbourg	3267	3983	4243	4471
G 1 ville	Moscou	7186	8226	8605	8944

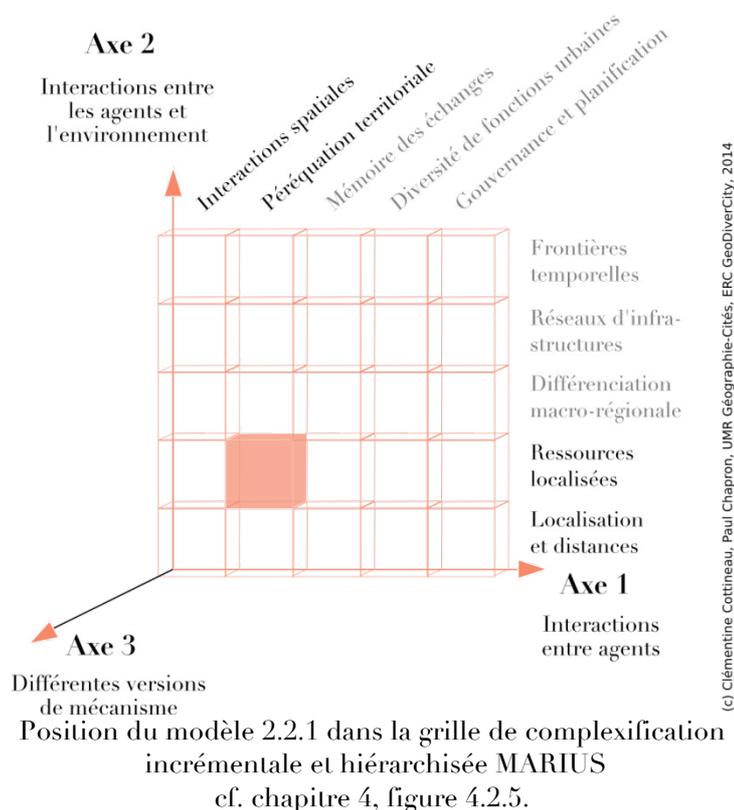
* : populations simulées à partir de MARIUS 2.1.1

On obtient avec ce modèle une répartition moins fautive que celle du modèle MARIUS 1.1.2 (cf. figure 5.1.17), avec une distribution spatiale plus régulière de la croissance dans les grands centres urbains et les capitales (à l'exception notable de Moscou). Toutefois, l'absence de mécanisme relatif à l'environnement de l'URSS ne permet pas de reproduire la concentration observée de trajectoires peu croissantes autour des bassins d'extractions de ressources obsolètes entre 1959 et 1989.

Ainsi, les atouts de ce modèle (dans la reproduction des trajectoires du haut de la hiérarchie urbaine) sont complémentaires des atouts de MARIUS

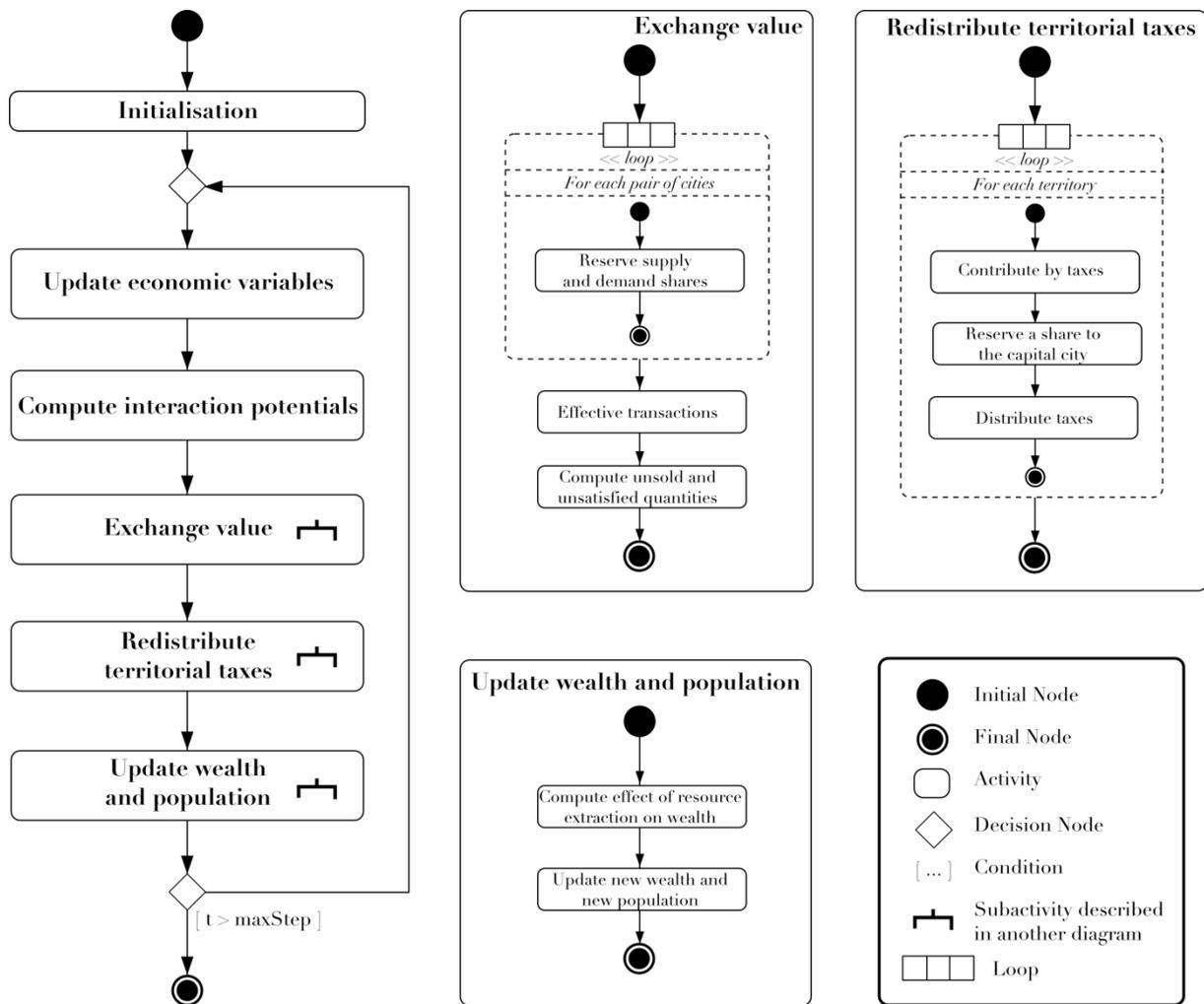
1.2.1, bien que chacun des deux modèles soit insuffisant seul à rendre compte de manière précise de l'évolution urbaine des villes soviétique et de la diversité de leurs trajectoires entre 1959 et 1989. C'est pourquoi nous concluons cette partie par l'exploration d'un modèle combinant les deux types de mécanismes.

5.2.2.3. Résultats obtenus avec MARIUS 2.2.1



Dans cette dernière section, nous présentons les résultats du modèle combinant les deux blocs de mécanismes présentés plus haut (l'extraction de ressources et la redistribution territoriale). Ce modèle est le plus complexe de toutes les expérimentations menées avec MARIUS jusqu'à présent. Il possède notamment douze degrés de liberté (i.e. douze paramètres libres). La succession des actions opérées lors d'un pas de simulation est représentée dans le diagramme d'activité de la figure 5.2.3.

Figure 5.2.3. Diagramme d'activité du modèle MARIUS 2.2.1.



Son calibrage, plus long que celui des modèles précédents en raison du plus grand nombre de degrés de liberté et d'un espace d'exploration par conséquent très large, a nécessité plus de 110 000 générations d'algorithmes génétiques avec OpenMOLE (contre entre 30 000 et 40 000 pour les modèles précédents). Au terme de cette exploration, la distance minimale aux trajectoires individuelles était de 66.1441 et l'effet de la redistribution territoriale annulé (*territorialTaxes* = 0). Un calibrage à la main des deux paramètres visant à rétablir ce mécanisme a permis de produire un modèle légèrement meilleur (distance de 66.1436) mais toujours moins performant que le modèle intégrant seulement les ressources (MARIUS 1.2.1 : 63.53). Nous touchons donc aux limites des méthodes d'exploration intensive appliquées à un modèle complexe (12 paramètres). Ce sont les paramètres obtenus manuellement que nous présentons dans le tableau 5.2.5.

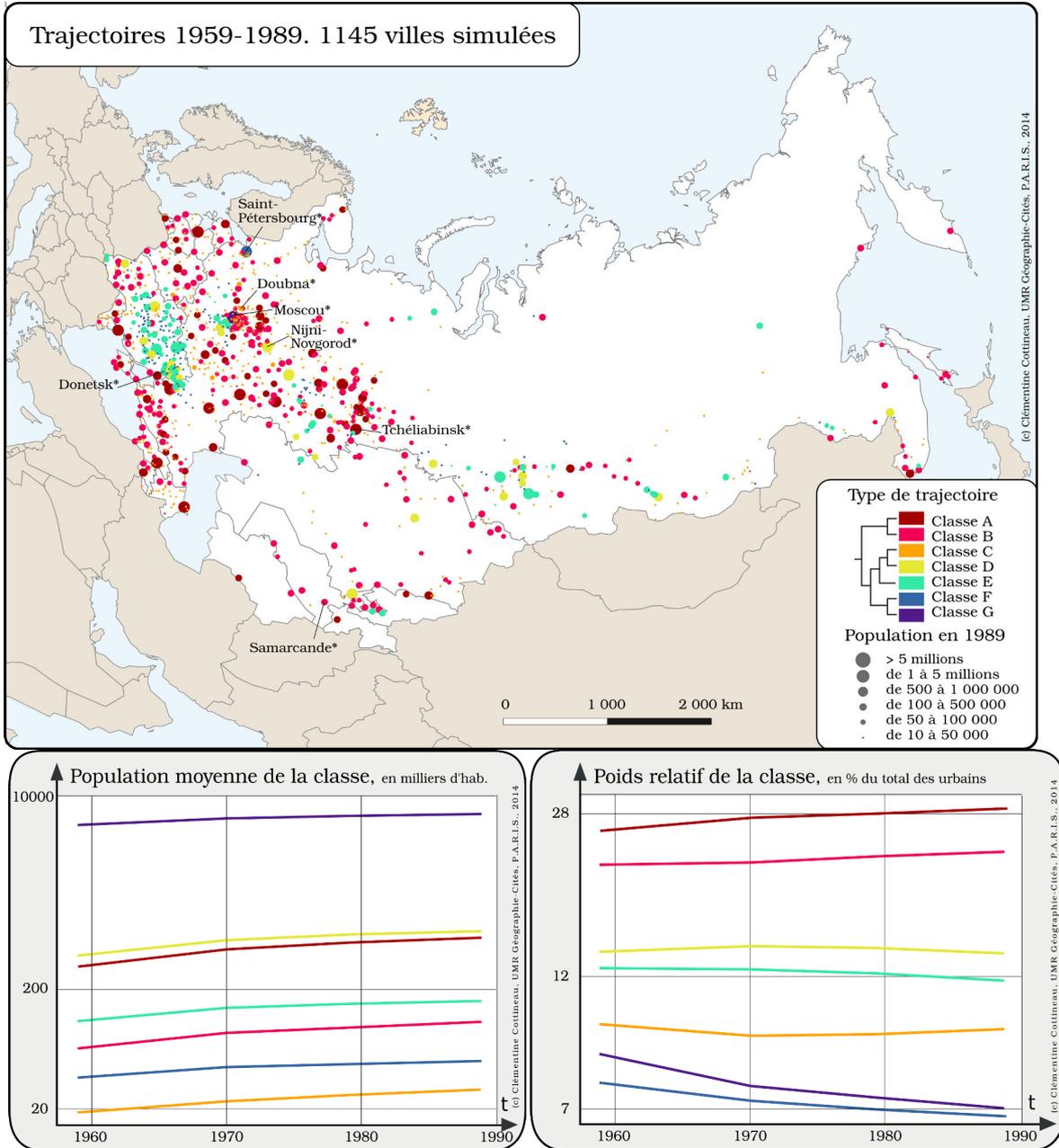
Tableau 5.2.5. Meilleur jeu de paramètres pour MARIUS 2.2.1

Paramètres libres	Valeurs observées dans la littérature	Valeur obtenue pour le meilleur modèle par calibrage automatique
<i>populationToWealthExponent</i>	> 1	1.1068417879567563
<i>sizeEffectOnSupply</i>	[1 ; 1.3]	1.251945723792553
<i>sizeEffectOnDemand</i>	[1 ; 1.3]	1.4206679670067501
<i>economicMultiplier</i>	-	0.020403260902001816
<i>distanceDecay</i>	[-0.3 ; 5.2]	0.054472102252957795
<i>wealthToPopulationExponent</i>	-	0.414575368663648
<i>bonusMultiplier</i>	-	664.046931583126
<i>fixedCost</i>	-	0.010128836661761802
<i>oilAndGasEffect</i>	[0 ; 0.01]	0.0068401148660113265
<i>coalEffect</i>	[-0.005 ; 0]	-0.04031963984165565
<i>territorialTaxes</i>	[0.01 ; 0.14]	0.0001
<i>capitalShareOfTaxes</i>	-	1

Malgré un paramètre (*sizeEffectOnDemand*) légèrement supérieur à son intervalle empirique, la valeur des autres paramètres est relativement satisfaisante. Notamment, le sens de l'effet des ressources est celui que l'on attendait, à savoir un effet positif des hydrocarbures (+0.68 point en pourcentage de croissance de la richesse) et un effet négatif des gisements de charbon (-4.03 points, c'est-à-dire à un niveau toutefois plus important que prévu). La redistribution territoriale fonctionne *a minima*, avec un taux d'imposition de 0.01% et l'intégralité des recettes reversées à la capitale.

La diversité des trajectoires est encore une fois faible au vu de la figure 5.2.4 (graphique de gauche), et la répartition des différents profils encore éloignée de la réalité historique observée. On trouve certes la même concentration des trajectoires les moins croissantes dans la partie orientale de l'Ukraine et le Kouzbass, et la caractère relativement plus croissant des villes capitales (tableau 5.2.6) et des agglomérations périphériques de l'URSS (Extrême-Orient, partie européenne, Caucase), mais de manière exacerbée.

Figure 5.2.4. Classification des trajectoires urbaines simulées avec MARIUS 2.2.1. entre 1959 et 1989



Source : DARIUS, MARIUS, 2014

L'avancée de la complexification du modèle permet donc d'affiner certains éléments de différenciation de trajectoires démographiques parmi les villes de l'ex-URSS, mais ces deux blocs de mécanismes ne sont pas encore suffisants pour engendrer des simulations très précises de l'urbanisation soviétique de la seconde moitié du XX^e siècle.

Tableau 5.2.6. Population des cinq plus grandes agglomérations de chaque classe (en milliers d'habitants)

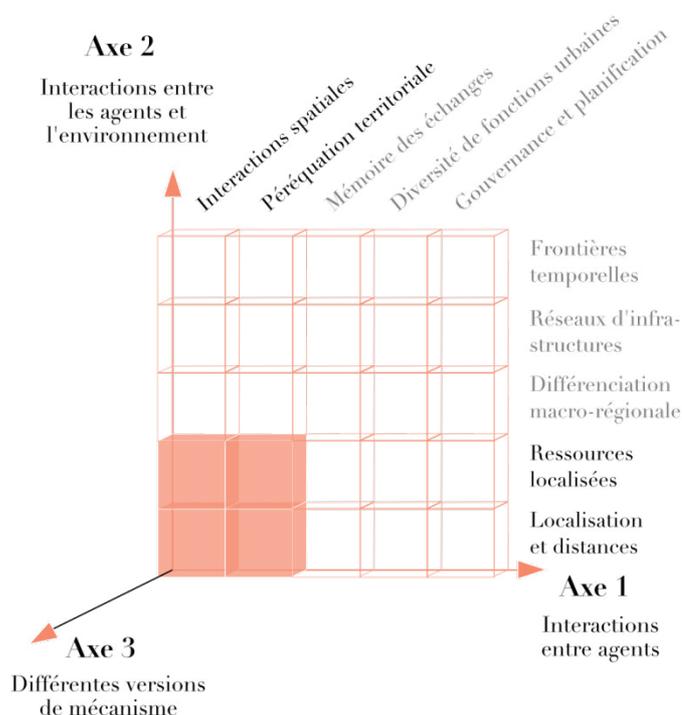
Classes	Villes	1959	1970*	1979*	1989*
A 60 villes	Tchéliabinsk	952	1370	1526	1669
	Samara	902	1310	1462	1604
	Bakou	872	1269	1419	1558
	Ekatérinbourg	864	1261	1411	1549
	Tbilissi	773	1133	1268	1388
B 283 villes	Samarkand	207	292	331	370
	Komsomolsk-na-Amoure	177	246	278	309
	Oulan-Oude	175	244	276	307
	Gomel	168	238	270	301
	Smolensk	160	226	256	286
C 500 villes	Doubna	33	43	49	55
	Ourioupinsk	32	42	47	53
	Retchytza	31	40	46	52
	Rossosch	30	40	45	51
	Bologoye	30	40	46	51
D 26 villes	Nijni-Novgorod	1256	1732	1897	2042
	Kiev	1116	1563	1719	1858
	Tachkent	1038	1464	1613	1746
	Kazan	776	1104	1195	1256
	Omsk	581	822	899	957
E 97 villes	Donetsk	1234	1658	1764	1836
	Kharkov	1034	1422	1521	1588
	Novossibirsk	973	1344	1439	1504
	Dniepropetrovsk	955	1327	1422	1488
	Novokouznetsk	896	1250	1342	1405
F 178 villes	Saint-Pétersbourg	3267	4038	4289	4506
	Loubni	29	37	41	44
	Krasnii Liman	29	37	40	43
	Lozova	29	37	40	43
	Tokmak	29	36	40	43
G 1 ville	Moscou	7186	8319	8680	8990

* : populations simulées à partir de MARIUS 2.2.1

5.3. L'apport de l'exploration MARIUS pour la connaissance d'un système de villes

Les différentes structures de modèles et fonctions d'évaluation ont été présentées jusqu'ici de manière successive. Il nous semble important pour terminer ce chapitre de confronter ces modèles entre eux et avec le modèle de Gibrat, dans leur capacité à reproduire les éléments empiriques qui nous semblent caractéristiques de la période 1959-1989 (section 5.3.1), mais aussi face à une exigence de prédiction (section 5.3.2). Enfin, ces modèles informatiques visent à répondre à des questions géographiques, et ce chapitre se conclut donc sur les connaissances géographiques que l'on a pu tirer de l'expérimentation MARIUS (section 5.3.3).

5.3.1. Comparaison de la capacité des modèles à reproduire les structures et trajectoires du système-cible



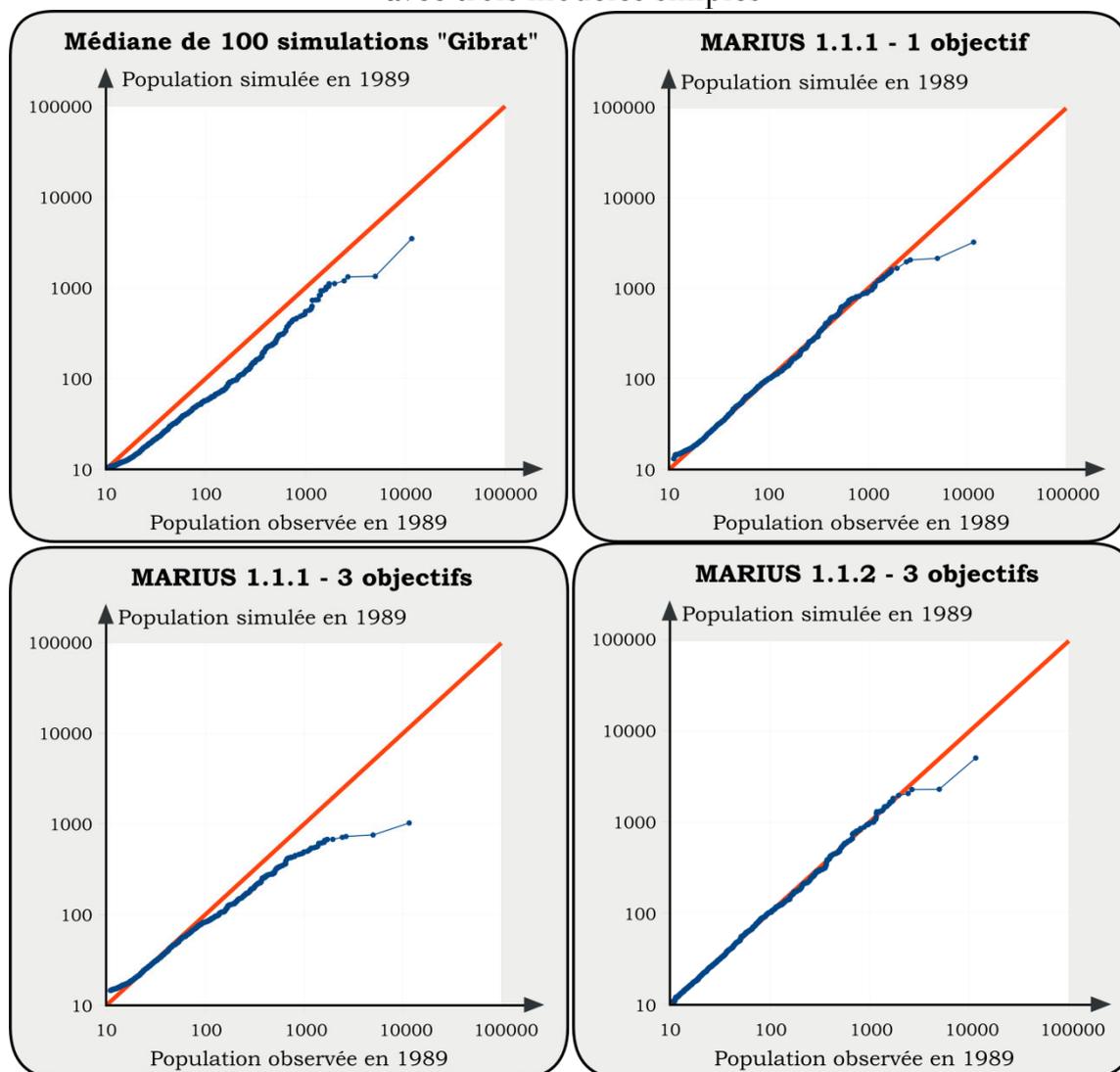
Position des modèles 1.1, 1.2, 2.1 et 2.2 dans la grille de complexification incrémentale et hiérarchisée MARIUS
cf. Chapitre 4, figure 4.2.5.

Il nous semble intéressant de comparer les résultats obtenus au moyen des différents modèles MARIUS avec ceux obtenus grâce au modèle le plus célèbre et le plus parcimonieux de la croissance urbaine : le modèle de Gibrat. Comme nous l'avons exposé au cours de la présentation des différents modèles, nous procédons à une complexification conjointe de la combinaison des mécanismes introduits et de la fonction d'évaluation des résultats. Ainsi, nous attendons des modèles les plus simples qu'ils reproduisent l'évolution de la structure du système, et des modèles les plus complexes qu'ils soient (en plus) performants dans la reproduction de la diversité des trajectoires méso-géographiques.

La comparaison de 100 simulations « Gibrat » (résumées par la médiane) avec les simulations des meilleurs modèles MARIUS simples et calibrés est représentée dans la figure 5.3.1. Elle permet de confronter pour chaque modèle la distribution simulée des tailles de villes obtenues en 1989 et la distribution empirique, toutes deux triées par ordre croissant. On retrouve le constat du Chapitre 4 à propos du modèle de Gibrat (section 4.1.1.2) : il tend à sous-estimer la croissance globale du système. Ainsi, toutes les villes de la distribution ordonnée sont plus petites qu'attendu empiriquement (figure 5.3.1, en haut à gauche). Au contraire, les meilleurs modèles MARIUS calibrés présentent une proximité à la distribution observée plus grande (graphiquement, ils se rapprochent de la bissectrice des axes en rouge). Le modèle dont les dynamiques économiques étaient irréalistes (MARIUS 1.1.1 calibré avec l'unique objectif de la distance à la distribution empirique) est déjà meilleur que le modèle de Gibrat pour reproduire la distribution des tailles en 1989. Toutefois, en devenant réaliste, il s'écarte de la distribution observée (graphique en bas à gauche). Enfin, le modèle comportant deux mécanismes et deux paramètres de plus (MARIUS 1.1.2, dont les échanges interurbains engendrent un coût fixe et un bonus) est capable de rendre compte très finement de la forme de la distribution observée.

Le seul élément mal pris en compte par tous les modèles concerne les deux plus grandes villes (en l'occurrence Moscou et Saint-Pétersbourg), dont la population simulée est systématiquement sous-estimée. On retrouve là une limite des modèles inscrits dans un territoire fermé, déjà mise en valeur avec Simpop2 (Glisse, 2007 ; Bretagnolle, Pumain, 2010). En effet, les plus grandes villes du monde interagissent entre elles selon une portée plus longue que celle des autres villes de leur système, et croissent ainsi plus que ne laisse prévoir le seul territoire modélisé.

Figure 5.3.1. Comparaison des distributions observées et simulées avec trois modèles simples



Source : DARIUS, MARIUS. Gibrat Simulator : Cura, 2013 (shiny.parisgeo.cnrs.fr/gibrat/).

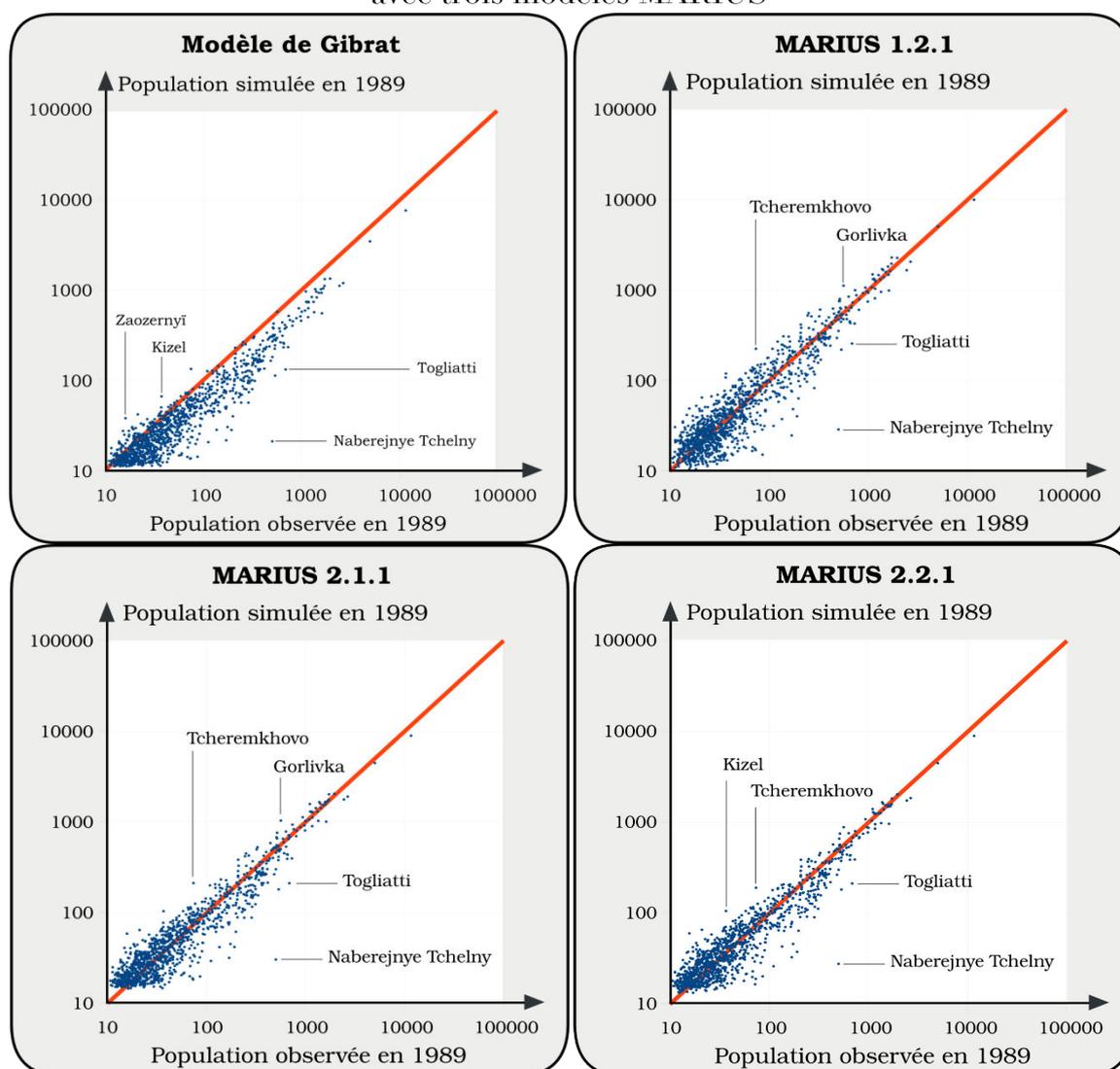
N.B. : Les populations des villes sont triées par ordre croissant dans les distributions observée et simulée. La droite en rouge indique une adéquation parfaite entre distribution simulée et distribution observée.

À ce premier stade, nous avons donc réussi à produire un modèle relativement parcimonieux, qui produit des résultats plus convaincants que le modèle de Gibrat à l'échelle macro-géographique tout en incluant dans ses mécanismes des hypothèses théoriques fortes.

En devenant plus exigeants face aux résultats méso-géographiques simulés, nous en sommes venus dans la seconde partie de ce chapitre à calibrer des modèles MARIUS plus complexes en les évaluant selon une fonction qui prend en compte des trajectoires individuelles de villes. On compare ces

modèles plus complexes selon les résidus qu'ils produisent, ainsi qu'avec les résidus produits par un modèle de Gibrat. La figure 5.3.2 donne donc une idée de la simulation « idéale » le long de la droite rouge, qui produirait pour chaque ville sa population empirique en 1989. Les points situés en bas à droite de cette ligne représentent des villes dont la population simulée est sous-estimée par rapport à leur population historique de 1989. Au contraire, au-dessus de la droite, ces villes sont simulées plus grandes qu'elles ne l'ont été en réalité.

Figure 5.3.2. Comparaison des trajectoires observées et simulées avec trois modèles MARIUS



Source : DARIUS, MARIUS. Simulations avec Gibrat Simulator : Cura, 2013 (shiny.parisgeo.cnrs.fr/gibrat/). Les populations des villes ne sont pas triées dans les deux distributions. La droite rouge indique une simulation exacte de la population de chaque ville.

On retrouve dans ces graphiques la propension du modèle de Gibrat à sous-estimer la majorité des populations des villes. Au contraire, les résidus des modèles MARIUS sont distribués de manière symétrique de part et d'autre de

la bissectrice des axes. Certaines villes parmi les moins bien simulées sont cependant identiques pour les deux types de modèle. Il s'agit des villes dans lesquelles sont localisés les projets industriels phares de cette période soviétique : Naberejnye Tchelny (autour de la KamAZ, usine géante de camions fondée en 1969) et Togliatti (autour d'AvtoVAZ, l'usine fondée en 1966, en coopération avec l'Italie, pour produire les voitures Lada). La dynamique observée dans ces villes dans les années 1970 et 1980 est donc totalement imprévisible en fonction de leur trajectoire passée et de leur situation en 1959. Parmi les villes dont la population est le plus surestimée, on trouve des villes dont la production de charbon atteint son maximum dans les années 1950, avant de se tarir, conduisant ces villes à perdre une part importante de leur population au cours de la période 1959-1989 (Kizel, Zaozernyi, Gorlivka). Cette singularité n'est modélisable ni de manière stochastique, ni au moyen des seules hypothèses MARIUS implémentées.

5.3.2. Capacité des modèles MARIUS à rendre compte du tournant de 1991

L'objectif du travail de modélisation autour de MARIUS n'est pas celui d'un projet appliqué et prédictif de l'évolution des villes en ex-URSS. Toutefois, l'appréciation de la qualité du modèle a été centrée jusqu'ici sur le réalisme des hypothèses et la distance des résultats à une fonction d'évaluation correspondant à la complexité de la structure du modèle. Nous pensons que la qualité prédictive serait un atout supplémentaire pour un modèle de compréhension et d'explication, même si elle n'est pas son objectif principal (Batty, Torrens, 2001 ; Werker, Brenner, 2004).

Dans cette partie, nous tentons donc de comparer les différents modèles MARIUS selon leur capacité à prédire la population totale (tableau 5.3.1) et la population des plus grandes villes en 2010 (tableau 5.3.2) à partir du calibrage optimal sur la période 1959-1989.

On note que tous les meilleurs modèles calibrés précédemment ne parviennent pas à reproduire entièrement la croissance de la population urbaine jusqu'en 1989 : il « manque » systématiquement plusieurs millions d'urbains dans les simulations par rapport à la population urbaine observée (tableau 5.3.1, première ligne). En revanche, pour les dates suivantes (2002 et 2010), le nombre total d'urbains est toujours plus important dans les simulations, qui ne contiennent aucun mécanisme capable de simuler le retournement de la démographie des années 1990 en ex-URSS. Ces modèles

sont calibrés pour reproduire une situation urbaine croissante, et faillent donc à prédire la situation démographique successive à leur période de calibrage.

Ce résultat est logique mais il suggère qu'un usage prédictif des modèles MARIUS impliquerait d'inclure dans la structure du modèle des mécanismes démographiques supplémentaires (concernant le mouvement naturel et les dynamiques migratoires) ou l'injection de données exogènes. Nous nous orientons vers une complexification suivant ces deux directions avec le mécanisme MARIUS x.3.z, dans lequel les taux d'urbanisation des régions de l'URSS seraient initialisés à leur valeur empirique en début de période, et leur évolution conduite par une fonction logistique (cf. Chapitre 3.2.3).

Enfin, il serait intéressant de tester la capacité des modèles déjà implémentés à reproduire une situation de décroissance démographique, en calibrant les paramètres non plus sur la période soviétique mais sur les deux dernières décennies, afin d'apprécier la possibilité pour les mêmes mécanismes de produire deux régimes qualitativement différenciés. Ces deux directions de recherche sont des pistes d'exploration actuellement à l'étude dans le projet MARIUS.

Tableau 5.3.1. Projections de la population totale avec quatre modèles MARIUS

Année	Population totale observée* (en milliers d'hab.)	Population totale simulée (en milliers d'hab.)			
		MARIUS 1.1.2	MARIUS 1.2.1	MARIUS 2.1.1.	MARIUS 2.2.1
1989	153 822	140 411	139 621	142 904	138 933
2002	150 922	155 876	158 674	161 351	152 782
2010	153 484	165 030	170 249	172 534	160 844

Source : DARIUS, MARIUS, 2014. * dans les 1 145 villes déjà présentes en 1959.

Concernant les projections méso-géographiques de la population des plus grandes villes, nous observons une variation importante des résidus, avec la population des six premières villes (et capitales des plus grands États issus de l'ex-URSS) souvent sous-estimée, et celle des villes importantes mais non-capitales au contraire surestimée (tableau 5.3.2).

On note encore une fois la complémentarité des modèles 1.2.1 et 2.1.1 puisque le modèle intégrant l'extraction de ressources permet d'atténuer la croissance des villes secondaires (Novossibirsk, Kharkov et Ekaterinbourg sont

relativement bien simulées), tandis que le modèle intégrant la redistribution territoriale et l'effet-capitale permet de mieux simuler la croissance de la capitale de l'Azerbaïdjan.

Tableau 5.3.2. Projections de la population des plus grandes villes post-soviétiques avec quatre modèles MARIUS

Rang	Ville	Population observée en 2010 (en milliers d'hab.)	Population simulée (en milliers d'hab.)			
			MARIUS 1.1.2	MARIUS 1.2.1	MARIUS 2.1.1.	MARIUS 2.2.1
1	Moscou	14 425	10 439	10 518	9 535	9 503
2	Saint-Pétersbourg	4 849	5 318	5 157	4 853	4 867
3	Kiev	2 862	2 194	1 980	2 217	2 095
4	Tachkent	2 601	1 855	1 859	2 033	1 972
5	Bakou	1 937	1 641	1 569	1 802	1 811
6	Minsk	1 850	1 090	1 025	1 229	1 156
7	Nijni-Novgorod	1 723	2 444	2 197	2 322	2 289
8	Novossibirsk	1 687	1 806	1 526	1 928	1 577
9	Kharkov	1 547	2 094	1 612	2 020	1 664
10	Ekatérinbourg	1 496	1 731	1 556	1 780	1 802

Source : DARIUS, MARIUS, 2014. En gras : différence de population simulée supérieure à 10% par rapport à la population observée. En rose : surestimation. En vert: sous-estimation.

En combinant ces deux blocs de mécanismes dans le modèle MARIUS 2.2.1¹⁶, on améliore la projection de deux villes sur dix par rapport au premier modèle évalué, mais on continue de sous-estimer les grandes capitales post-soviétiques et de surestimer les villes secondaires.

Enfin, la comparaison des classifications des trajectoires empirique (figure 5.3.3) et issue de ce modèle pour la période 1989-2010 (figure 5.3.4)

¹⁶ dont nous pensons par ailleurs qu'il est encore possible d'améliorer la performance.

montre l'ampleur du chemin restant à parcourir pour produire des prédictions réalistes concernant la répartition de la croissance dans le système de villes post-soviétique. En effet, la variété des évolutions observées n'est pas du tout simulée, de même que la dépression démographique balte ou les destins urbains favorisés par le tournant de 1991 (Moscou, Bakou, Novokouznetsk, Iakoutsk, etc.).

Figure 5.3.3. Classification des trajectoires urbaines observées entre 1989 et 2010

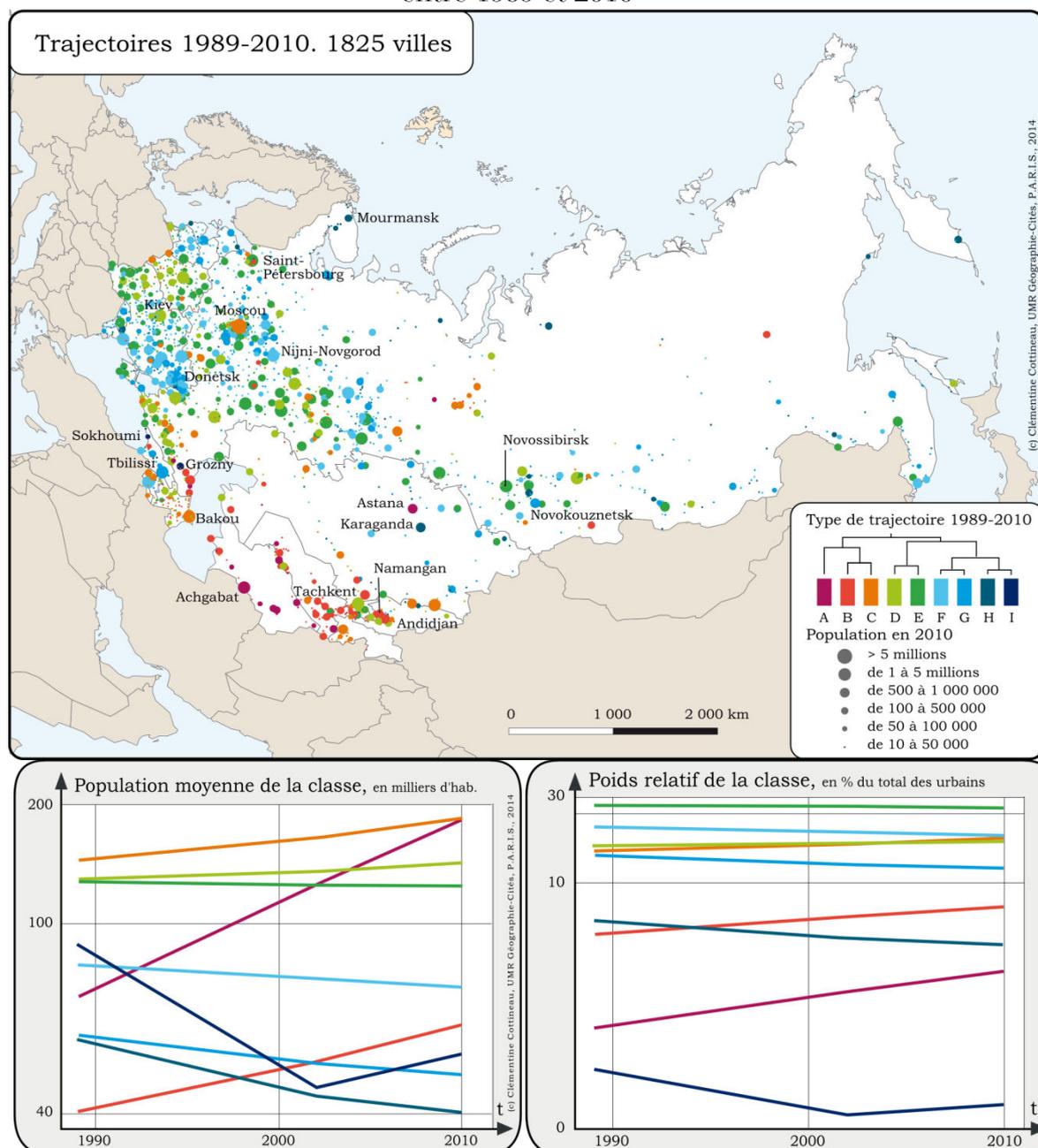
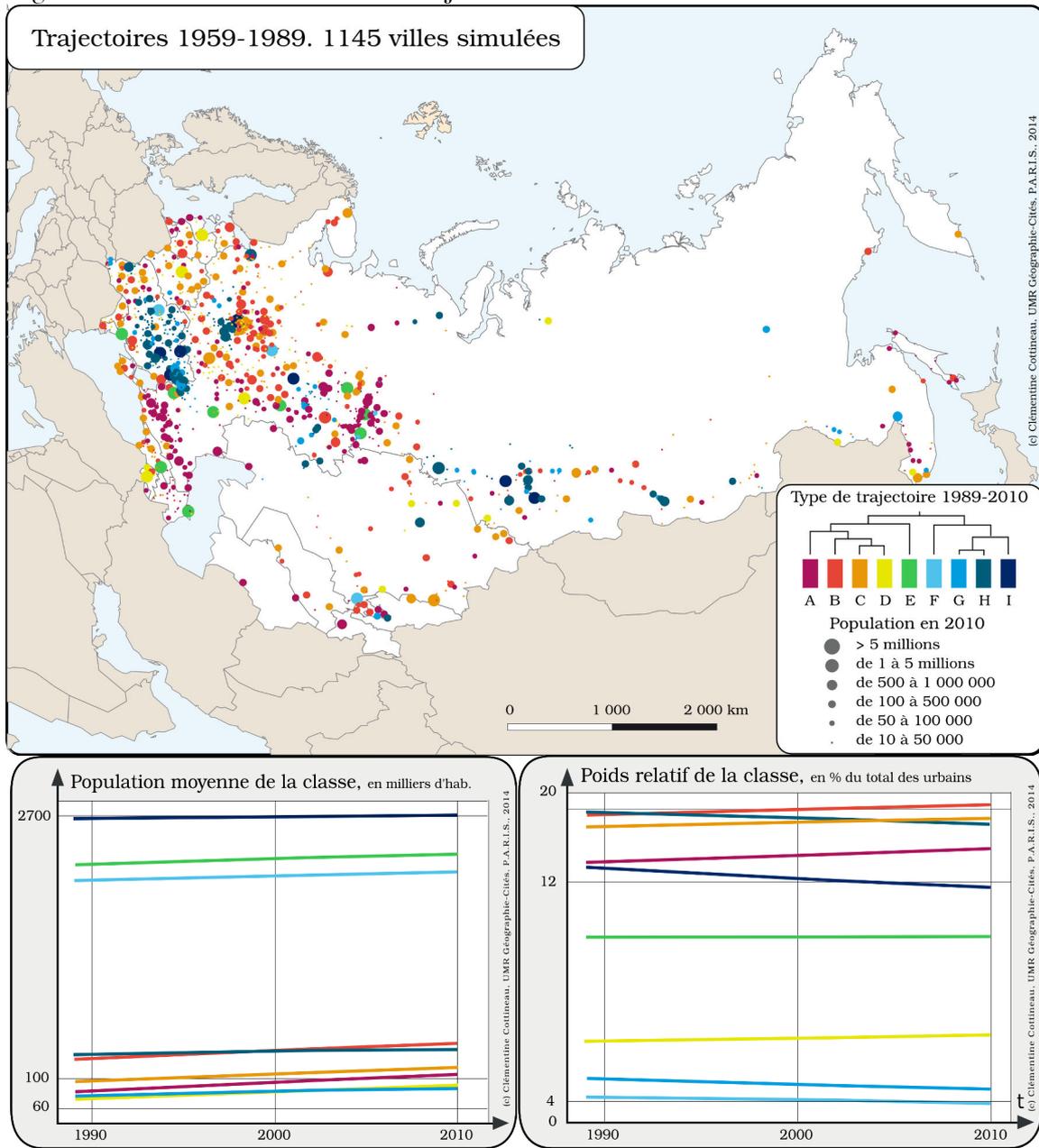


Figure 5.3.4. Classification des trajectoires urbaines simulées entre 1989 et 2010



5.3.3. Premiers enseignements géographiques

La famille de modèles MARIUS n'est pas achevée, mais les premières expérimentations permettent déjà d'opérer quelques retours sur les questions que nous nous étions posées à la fin du Chapitre 4. L'objectif de la démarche de modélisation par simulation était en effet de revenir à terme vers un apport de connaissances sur les systèmes de villes en général et sur celui de l'espace post-soviétique en particulier. À cette première étape de la démarche, nous identifions, avec toutes les précautions liées à l'inférence à partir de simulations, trois registres de connaissances acquises à partir des modèles MARIUS : des confirmations théoriques sur les systèmes de villes (section 5.3.3.1), des éléments concernant le degré de généralité du système (section 5.3.3.2) ainsi que des singularités de ce système révélées par l'analyse des modèles (section 5.3.3.3).

5.3.3.1. Confirmations théoriques

L'approche de construction incrémentale et d'évaluation progressive mise en place dans la démarche MARIUS a permis d'analyser un modèle (MARIUS 1.1.z) comprenant uniquement des mécanismes généraux. Une fois le modèle contraint par une fonction d'évaluation rendant les simulations réalistes (cf. section 5.1.4), nous avons pu montrer que les interactions spatiales entre villes seules suffisaient à reproduire par la simulation l'évolution de la structure macro-géographique d'un système de villes au cours du temps (30 ans, en l'occurrence).

En effet, le modèle MARIUS 1.1.2 calibré produit des villes simulées dont la distribution des populations s'ajuste bien à la distribution rang-taille soviétique observée lors des trois dates ultérieures à la date d'initialisation. Il serait bien sûr intéressant de confirmer ce premier résultat en appliquant le modèle générique MARIUS 1.1.2 à d'autres systèmes de villes dans le monde. Cette entreprise est à l'étude pour les systèmes de villes indien et chinois¹⁷, mais nous pensons à partir de l'application à l'URSS des années 1960 à 1980 que ce modèle parcimonieux est capable de simuler l'évolution de la structure d'un système de villes déjà hiérarchisé, sur une durée de une à deux générations, en l'absence de bouleversement géographique majeur.

D'autre part, en ajoutant quelques mécanismes simples et encore généraux, nous avons montré qu'il était possible de différencier les trajectoires

¹⁷ Projet porté par Paul Chapron et Elfie Swerts.

démographiques des villes simulées de façon plus réaliste qu'avec le modèle le plus parcimonieux d'évolution urbaine.

Ainsi, l'ajout d'un mécanisme lié à la localisation de ressources fixes permet de mieux rendre compte de l'existence de certains espaces de croissance (ou de décroissance) et d'améliorer la simulation de l'évolution suivie par les villes individuelles. Nous avons, dans le cas de MARIUS 1.2.1, initialisé les zones de gisements en les situant à leur localisation observée, et donc contraint le modèle vers des résultats en partie attendus (l'effet négatif de l'extraction charbonnière entre 1959 et 1989). De manière plus théorique, on pourrait envisager d'appliquer ce modèle à un espace abstrait dans lequel des gisements de ressources indéfinies interviendraient pour différencier les types de trajectoires simulées.

Enfin, l'ajout d'un mécanisme de redistribution territoriale de la richesse, impliquant des interactions coopératives entre villes et un « effet-capitale », a montré que l'effet d'entraînement de la contribution fiscale était plus important pour les capitales, et permettait de mieux simuler leur trajectoire.

Les blocs de mécanismes présentés dans le Chapitre 4 et non implémentés pour l'expérimentation présentée ici sont moins susceptibles d'apporter des connaissances sur les systèmes de villes en général, étant la transcription d'hypothèses plus spécifiques à l'étude des villes de l'espace post-soviétique. Toutefois, elles permettront de départager les blocs de mécanismes nécessaires des blocs contingents pour la simulation d'un système de villes général. Cette distinction entre processus généraux et particularités géohistoriques pour les villes d'ex-URSS est un second registre dans lequel l'expérimentation MARIUS a permis d'apporter quelques réponses.

5.3.3.2. Généricité de la structure du système de villes (post-)soviétique

Le principal résultat que nous obtenons concernant le degré de généricité du système de villes (post-)soviétiques est que cette appréciation dépend de l'échelle géographique retenue.

À une échelle agrégée et en ne considérant que la structure macro-géographique du système, il est possible de dire que l'évolution urbaine soviétique est modélisable comme celle de n'importe quel autre système de villes, avec un ensemble très parcimonieux de mécanismes générateurs. Ce modèle, MARIUS 1.1.2, suffit en effet à reproduire la croissance de population urbaine totale, la hiérarchisation de la distribution rang-taille ainsi que le degré de hiérarchie observé à chaque étape de la simulation.

Toutefois, si l'on considère les trajectoires suivies par les villes et leurs localisations, nous avons montré qu'il était nécessaire d'introduire des mécanismes plus complexes permettant aux villes d'interagir avec l'environnement (MARIUS 1.2.1) et entre elles selon d'autres modes d'interactions (MARIUS 2.1.1).

De plus, malgré les premières étapes de complexification issues de l'ajout de blocs de mécanismes, le modèle MARIUS le plus complexe implémenté ici ne parvient pas à simuler la diversité des trajectoires observées.

5.3.3.3. Singularités

Deux types de singularité ressortent de l'analyse des premiers modèles MARIUS appliqués au système des villes de l'ex-URSS.

La première singularité concerne l'incapacité des modèles généraux et semi-généraux à reproduire l'évolution de villes comme Naberejnye Tchelny ou Togliatti, dont on ne peut modéliser la chaîne d'événements géohistoriques ayant conduit à faire suivre à ces villes leur trajectoire observée. Toutefois, nous sommes désormais en mesure d'estimer l'ampleur de leur singularité à partir d'une trajectoire « standard » simulée, révélatrice de processus généraux uniquement. Cette démarche est l'équivalent de l'analyse des résidus de modèles statistiques (le résumé de l'ensemble des éléments non-introduits dans le modèle). Toutefois, contrairement à la démarche statistique, ces résidus de simulation sont des écarts à un modèle constitué de processus générateurs. On a ainsi acquis un gain de sens concernant ce qui est pris en compte par le modèle.

La seconde singularité des villes de l'espace post-soviétique révélée par l'expérimentation MARIUS concerne les dynamiques démographiques de long terme et la présence d'événements géopolitiques non-modélisables de manière générale. Ainsi, les résultats de la section 5.3.2. indiquent qu'un bon calibrage pour la période 1959-1989 ne suffit pas à obtenir des projections satisfaisantes pour la période suivante. Trois particularités post-soviétiques sont en effet à l'œuvre à partir de 1991 : la transition de l'économie vers un système libéral et ouvert, la séparation de l'Union soviétique en quinze États Indépendants, ainsi que le basculement vers un régime démographique décroissant. La population totale simulée est donc trop importante, et ne permet pas de reproduire la décroissance de la majorité des villes du système.

Il sera toutefois intéressant d'observer jusqu'à quel point les blocs plus complexes et particuliers de mécanismes prévus dans la grille MARIUS, notamment la dynamique régionale et l'effet des frontières, permettent de réduire la part des résidus dans l'évolution prédite. Enfin, une seconde piste

d'investigation consisterait à calibrer le modèle le plus proche des dynamiques observée sur la dernière période afin : d'une part de comparer la variation induite dans les paramètres, et d'autre part de produire des projections de population sur la base de scénarios d'évolution.

5.4. Conclusion : Vers une complexification et une généralisation plus grandes

Dans le dernier chapitre de cette thèse, consacré à l'expérimentation des modèles construits selon une grille de complexification incrémentale et hiérarchisée, nous avons retracé une démarche progressant de manière simultanée vers une modélisation et une évaluation plus complexes et plus exigeantes. Au terme de la première étape de cette démarche, nous avons montré la capacité d'un modèle parcimonieux à reproduire les principaux faits stylisés de la structure d'un système de villes. Cette évaluation repose sur un très grand nombre de simulations, confrontées à des données empiriques décrivant l'évolution urbaine soviétique des années 1960 à 1980.

La complexification progressive du modèle faisant suite à la croissance des exigences représentées par la fonction d'évaluation, il a été montré que l'estimation du degré de généricité du système de villes soviétique dépendait de l'échelle géographique retenue pour cette évaluation. Ainsi, l'évolution de sa structure apparaît générique et modélisable par un ensemble réduit de mécanismes simples d'interactions spatiales. Ce résultat en soi constitue une avancée par rapport à d'autres modèles simples, comme le modèle de Gibrat ou d'autres processus stochastiques, puisque la simulation par mécanismes générateurs permet une injonction de sens dans les hypothèses qui permettent d'engendrer ces configurations. En l'occurrence, le modèle de base MARIUS 1.1.2 traduit des hypothèses d'interactions économiques spatialisées entre les villes, produisant des coûts et des gains, et une conversion entre la richesse et la population dépendante de la taille des villes. Dans le sens population \rightarrow richesse, nous avons transcrit l'avantage relatif des grandes villes en référence à la littérature sur les économies d'agglomération et d'urbanisation. Dans le sens richesse \rightarrow population, le calibrage automatique du modèle a apporté une réponse à notre incertitude et indique que l'avantage va aux villes de petite taille.

À un échelon géographique plus fin, l'évolution observée du système des villes soviétiques s'est avéré plus spécifique et non reproductible avec un modèle parcimonieux. L'introduction d'interactions plus complexes entre villes et avec l'environnement a permis de réduire l'écart entre trajectoires observées et trajectoires simulées.

Il reste cependant des trajectoires singulières et des bifurcations globales du système non prises en compte par les modèles contenant seulement deux ou trois blocs de mécanismes. Ces résidus indiquent que le système des villes de

l'espace post-soviétique peut être envisagé comme un objet géographique générique jusqu'à un certain point, mais contraint par des événements (géo)politiques spécifiques. La singularité des villes est d'autant mieux mise en valeur que l'aspect générique du modèle a été évacué.

L'intérêt des modèles de la famille MARIUS pourrait être consolidé à l'avenir par leur application à d'autres systèmes de villes, parallèlement à la complétion de l'implémentation des blocs de mécanismes prévus dans la grille de construction générale.

D'un point de vue thématique et concernant le système de villes post-soviétiques, nous entrevoyons un intérêt supplémentaire à la poursuite de cette recherche et de la démarche de modélisation mise au point au cours de cette thèse. Il s'agirait de la possibilité d'utiliser un modèle plus complexe et consolidé par son application à d'autres systèmes pour développer des scénarios d'évolution urbaine en ex-URSS. Cette simulation prospective pourrait permettre de poser des questions génériques. Par exemple, peut-on modéliser de la même façon un système en croissance et un système en décroissance ? Comment évolue la répartition de la croissance urbaine lorsqu'un système a atteint un plafond démographique ? Une concentration accrue est-elle probable ou est-il possible d'atteindre un rééquilibrage du territoire dans un contexte de décroissance ? Les scénarios pourraient aussi s'inspirer des politiques entreprises ou conseillées par les experts en Russie ou dans les autres Nouveaux États Indépendants afin d'évaluer la possibilité de leur réussite. La simulation de ces scénarios dans un contexte de décroissance pourrait ainsi aider à la compréhension de ce phénomène très présent dans l'espace post-soviétique actuel et dans l'Europe à venir.

Conclusion

Conclusion

« *All models are wrong, but some are useful.* »
George Box

Tous les modèles sont faux, ou tout au moins nécessairement trop abstraits pour rendre compte de la richesse et de la diversité des évolutions géographiques observées. Loin d'être une limite de leur apport dans une stratégie de recherche, nous pensons que c'est au contraire leur intérêt principal. Nous avons considéré tout au long de cette thèse que l'abstraction permise par le modèle pour poser des questions sur le système-cible (Minsky, 1965) était une démarche fructueuse, notamment quant à la possibilité de distinguer des dynamiques générales d'évolutions particulières et singulières. La démarche de modélisation multiple entreprise ici a permis de coupler différents registres d'explication, de la régularité statistique à la simulation multi-agents. Elle nous permet de conclure à propos de certaines questions posées en introduction.

Un système de villes dans l'espace post-soviétique

Peut-on parler d'un système de villes dans l'espace post-soviétique au cours du dernier siècle écoulé ? Il nous semble que oui, dès lors que les villes de cet espace affichent ensemble des propriétés non attribuables à chacune d'entre elles individuellement et non prévisibles *a priori*. Ces propriétés émergentes recourent celles que l'on associe généralement aux systèmes de villes (Pumain, 1999) : hiérarchie et hiérarchisation, espacement régulier, différenciation fonctionnelle. Le Chapitre 2 a été l'occasion d'examiner ces trois propriétés sur le temps long dans le cas des villes de l'Empire russe, de l'Union soviétique et des Nouveaux États Indépendants. En analysant dans quelle mesure le concept de système de villes est applicable au cas de l'espace post-soviétique, nous avons trouvé plus d'arguments en faveur de cette hypothèse que de raisons contraires. En effet, on retrouve dans la distribution des tailles, des localisations et des fonctions urbaines la plupart des régularités (générales

ou semi-générales) observées ailleurs dans le temps et dans le monde. De même, nous avons montré dans le Chapitre 3 que la trajectoire macro-géographique du système était similaire à ce que prévoit le modèle de la transition urbaine, aux échelles du système et des différentes régions qui le composent. Enfin, les attributs urbains généralement associés à des comportements de croissance ou de décroissance urbaine ont été mis en valeur dans le Chapitre 4 pour les villes de l'ex-URSS, ainsi que leur propriété cyclique. Dans sa structure, le système des villes (post-) soviétiques apparaît donc comparable à d'autres systèmes de villes et relativement « classique ».

Quant au moteur de l'évolution de ce système urbain, il est tout aussi difficile de conclure qu'il découle principalement des interactions entre les villes dans ce cas que dans d'autres régions du monde, eu égard à la rareté des données permettant de mesurer ces interactions (cf. Introduction). La revue de littérature menée dans le Chapitre 2 a permis de considérer la relative auto-organisation des mobilités humaines comme un argument réaliste en faveur de la théorie évolutive des villes et de ses hypothèses, y compris durant la période soviétique. De plus, l'hypothèse d'interactions spatiales implémentée dans le modèle le plus parcimonieux de la famille MARIUS s'est avérée suffisante pour reproduire l'évolution de la distribution des tailles de villes observée entre 1959 et 1989 (cf. Chapitre 5.1). À l'échelle agrégée de la structure du système de villes, nous avons donc conclu que la dynamique d'évolution soviétique puis post-soviétique était semblable à celle observée généralement.

C'est en observant l'évolution urbaine à une échelle plus fine que nous avons identifié des singularités attribuables en propre au chemin historique de la Russie et de l'Union soviétique. Ces particularités de l'urbanisation régionale (cf. Chapitre 3.2) ou de trajectoires individuelles de villes (cf. Chapitre 3.3), résistant aux modèles et aux modèles de résidus (cf. Chapitre 4.1.2), ne peuvent ainsi être comprises qu'au regard des événements historiques intervenus dans les espaces en question. Par exemple, les trajectoires démographiques de Naberejnye Tchelny, d'Astana ou de Togliatti ne sont pas *logiques* au regard de leur trajectoire précédente et si l'on ne tient pas compte des décisions économiques et politiques déterminantes pour ces villes. De même, les bifurcations consécutives à la chute de l'URSS ne « rentrent » heureusement dans aucun modèle général de géographie urbaine. Ces modèles ont cependant l'avantage de mettre en valeur les cas singuliers, c'est-à-dire les villes dont l'évolution ne relève pas uniquement d'une dynamique « banale » (cf. Chapitre 5). Une fois identifiées par leur distance aux prédictions d'un modèle, ces villes constituent selon nous les défis les plus intéressants de l'investigation géographique analytique, en posant la question « pourquoi ici et pas ailleurs ? ».

Délimiter les ruptures spatiales et temporelles du système de villes (post-)soviétiques

La seconde interrogation posée explicitement dans l'introduction concernait les ruptures spatiales et temporelles d'un éventuel système de villes. En l'occurrence, on s'est demandé si le périmètre de l'Union soviétique était pertinent pour caractériser l'espace relationnel des villes russes. On a aussi interrogé la coïncidence des ruptures démographiques et urbaines avec les ruptures de la géographie politique. Nous pensons, au terme de cette thèse, que la limite spatiale pour étudier les villes depuis le milieu du XIX^e siècle se situe aux frontières de l'ancienne Union soviétique, mais la réponse sur les délimitations temporelles est moins tranchée.

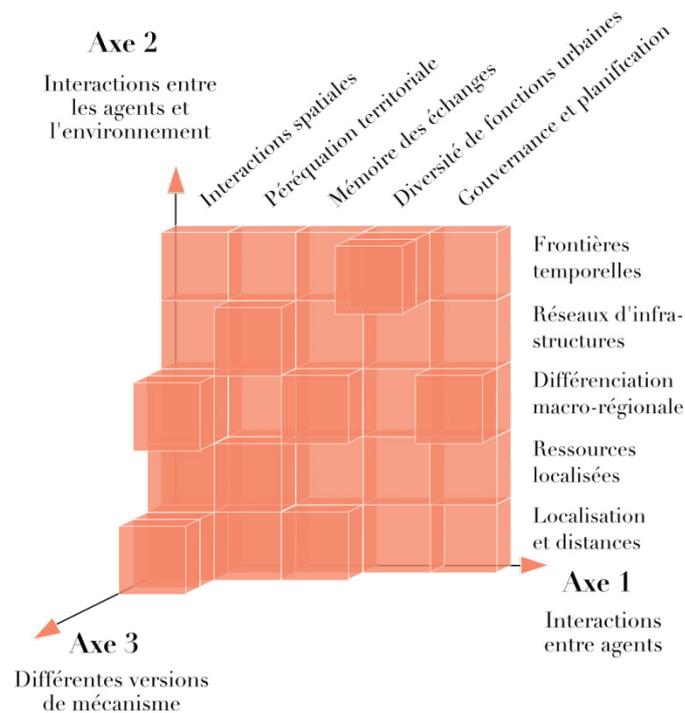
En faveur d'une extension du système à l'URSS, y compris avant et après celle-ci, nous avons relevé, d'une part, le meilleur ajustement des distributions « rang-taille » à la forme d'une distribution théorique dans ce périmètre plutôt que dans celui de la seule Fédération de Russie. Ces arguments ont été développés dans le Chapitre 2. D'autre part, on peut noter la lenteur des transformations observées à cette échelle. Les variations de population de ces vingt dernières années, bien que spectaculairement décroissantes, ne sont pas suffisamment rapides pour avoir modifié la structure hiérarchique et spatiale du système de villes mis en place durant l'Union soviétique (Radvaniy, 2007). Toutefois, on a observé avec les résidus de régressions multiples que ceux-ci étaient les plus corrélés spatialement lorsque l'intégration politique était la plus faible, c'est-à-dire avant et après l'Union soviétique (cf. Chapitre 4.1.2). Notons enfin que toutes ces observations ne sont possibles que parce que le périmètre de collecte des données (i.e. dans les limites de l'ex-URSS ; cf. Chapitre 1) était suffisamment large pour identifier éventuellement des systèmes moins étendus.

Temporellement, deux résultats contradictoires ont été obtenus vis-à-vis de la rupture géopolitique de 1991. En observant la continuité des trajectoires (cf. Chapitre 3.3.4), on a remarqué une continuité plus importante de part et d'autre de 1989 qu'avant et après 1959, suggérant que la dislocation de l'URSS ne correspondait pas à une rupture aussi nette dans l'évolution des villes. En revanche, lorsque l'on a cherché à simuler la (dé-)croissance des villes entre 1989 et 2010 à partir d'un modèle calibré sur la période précédente (cf. Chapitre 5.3.2), nous n'avons pas été en mesure de reproduire le mouvement de décroissance entamé dans les années 1990. Au final, il est évident que la rupture politique de 1991 et la Seconde Transition Démographique ont induit des bifurcations majeures dans ce système. Toutefois, on s'attend à ce que la lenteur de l'adaptation démographique urbaine ne révèle l'ampleur de ses effets que durant les décennies à venir. À titre de comparaison, Vienne est encore bien plus peuplée que ne le laisse prédire la dimension actuelle de l'Autriche.

Abduction, évaluation et collectif de modélisation

L'un des apports majeurs de cette thèse se situe dans la méthode employée pour répondre à ses interrogations. Le choix d'une approche abductive, faite d'allers et retours entre formulation d'hypothèses théoriques et évaluation empirique, s'est cristallisé dans la méthode de modélisation incrémentale et hiérarchisée MARIUS, présentée en fin de Chapitre 4. Si la plupart des modélisateurs procèdent effectivement de manière incrémentale pour complexifier leur modèle et son évaluation (Railsback, Grimm, 2012), la mise en place d'un protocole progressif d'expérimentation a été ici explicitée et hiérarchisée compte tenu des résultats obtenus par l'observation du système à modéliser. Cette réflexion interdisciplinaire résulte en une famille de modèles dont la structure (la composition des différents blocs de mécanismes générateurs) peut être confrontée à des données empiriques plus ou moins agrégées et stylisées, en évaluant l'apport de chaque modèle à la simulation des régularités observées.

La logique de complexification du modèle s'appuie sur deux types d'interactions urbaines : celle des villes entre elles (axe 1), et celles des villes avec leur environnement (axe 2). En ajoutant des mécanismes le long de chaque axe, on rend le modèle de plus en plus complexe, mais aussi de plus en plus particulier à l'espace modélisé. Ainsi, la structure du modèle d'évolution urbaine le plus simple n'est pas spécifique à l'espace post-soviétique. On peut toutefois l'initialiser avec des données historiques particulières (cf. Chapitre 5.1). Le modèle devient plus particulier mais l'évaluation de ses résultats demeure générale et macro-géographique. En revanche, la poursuite de la complexification permet d'inclure des particularités territoriales, économiques et politiques du système de villes dans la structure du modèle, justifiant une exigence plus grande dans la finesse de son évaluation.



(c) Clémentine Cortineau, Paul Chapron, UMR Géographie-Cités, ERC GeoDiverCity, 2014

Le choix de placer les procédures d'évaluation au centre de la démarche vise à proposer un début de réponse à deux défis de la simulation de modèles complexes : la compréhension de leur comportement en fonction des mécanismes et paramètres inclus dans le modèle, et l'analyse de leur adéquation au système-cible (en termes de mécanismes et de résultats). L'identification de l'importance de ces défis est permise par l'expérience passée de modélisation (notamment dans lignée des modèles Simpop), dont nous héritons des réflexions et des questions posées vis-à-vis de l'évaluation. Depuis l'expérience plus récente des explorations SimpopLocal et SimpopNet (Schmitt, 2014a ; Rey-Coyrehourcq, 2014), nous avons bénéficiés d'outils et de méthodes très performants pour calibrer et mesurer la sensibilité du modèle aux variations des différents paramètres libres. Les deux méthodes automatiques de calibrage et d'analyse de sensibilité permettent d'évaluer respectivement la nécessité et la suffisance des paramètres étudiés. Notre contribution réside dans la construction d'une progression conjointe des modèles et des mesures quantifiant leur capacité à reproduire des régularités de différents niveaux géographiques.

Cette construction a enfin bénéficié d'outils et de compétences informatiques de pointe, ainsi que de l'accès à des ressources de calcul très larges, mis au service de questions d'ordre géographique. Cette expérience collective et interdisciplinaire nous semble convaincante quant au résultat d'un jeu scientifique à somme positive. Il nous a semblé aussi crucial de conclure les explorations de modèles par un retour théorique et thématique sur les connaissances tirées de l'approche simulatrice en géographie.

Combiner différentes géographies

« Une théorie évolutive n'est pas une théorie historique : il ne s'agit pas de prendre en compte toute l'histoire des villes, ni de reconstituer une genèse dans ce qu'elle a d'unique. Il ne s'agit pas de faire l'histoire entendue comme le chemin qu'on parcourt à reculons pour trouver une « explication » dans le récit de la biographie d'un lieu. Le projet n'est pas ici celui, descriptif, de la géographie historique. Il s'agit de formaliser l'évolution, le processus de la transformation historique d'entités spécifiques. L'enjeu est de montrer qu'un objet géographique peut s'interpréter comme la réalisation particulière, parmi un univers de réalisations possibles, d'un processus dynamique général. En simplifiant, en modélisant, on perd les notions d'unicité et de non-reproductibilité attachées aux objets historiques, mais on prend en compte l'irréversibilité de leur trajectoire particulière. » (Pumain, 1997a, p.120).

En accord avec ce cadre théorique, nous avons recherché tout au long de cette thèse à identifier les éléments de généralité des évolutions urbaines observées dans l'espace post-soviétique. L'histoire des villes est ensuite invoquée pour expliquer les observations qui « résistent » à la modélisation dynamique. Dans la multiplicité des histoires urbaines, on a cherché à nouveau des modèles de résidus, des attributs communs expliquant une part moins générale d'évolution. La particularisation des modèles peut être poursuivie jusqu'à obtenir l'intervalle complet des niveaux de généralité de modèles de résidus (Durand-Dastès, 2001). Dans cette démarche générale de recherche, nous pensons que la combinaison de différentes géographies nous permet de comprendre de la manière la plus complète possible les évolutions urbaines de l'espace post-soviétique. L'analyse spatiale et la modélisation sont nourries par ce que l'analyse géohistorique et la géographie politique révèlent de facteurs d'évolution. La combinaison de ces différentes approches permet d'orienter et de hiérarchiser les éléments déterminants de la (dé-)croissance urbaine.

De la même façon, au sein de la modélisation géographique, nous avons favorisé la combinaison de différentes natures de modèles, en tirant parti de la complémentarité de leurs forces et de leurs faiblesses respectives (cf. Chapitre 4.2). Ces deux partis pris épistémologiques se confrontent à deux limites distinctes de l'inférence : l'identification des causes pour les modèles statistiques et celle des processus pour la simulation de mécanismes générateurs. L'aller-retour entre les deux, allié à l'observation géohistorique et à une littérature plus monographique sur certaines villes, renforce la confiance que l'on place dans chacun des modèles, ainsi que les éventuelles prévisions formulées à partir de ceux-ci. Enfin, nous espérons que les résultats fournis ici à une échelle principalement macro- et méso-géographique pourront être utiles aux spécialistes pour orienter d'autres modèles ou analyses.

Quel avenir pour les villes du système post-soviétique ?

Cette question est celle qui a motivé cette recherche. Figurant en titre du projet de thèse pour lequel ce projet a été financé, elle paraît aujourd'hui tout aussi intéressante que non résolue, mais surtout très présomptueuse ! Il n'y a évidemment pas de réponse unique crédible. Toutefois, la meilleure connaissance de l'évolution passée des villes de l'espace post-soviétique nous permet de considérer quelques grandes évolutions possibles, voire de proposer certaines comme plus probables que d'autres. En effet, les modèles développés tout au long de ce manuscrit ne sont pas qu'une exploration abstraite, ils peuvent devenir des ressources pour la définition de stratégies politiques, économiques et d'aménagement du territoire répondant aux défis de l'urbanisation post-soviétique en fonction du caractère systémique et *path-dependent* identifié dans l'évolution urbaine.

Par exemple, l'effet-capitale et l'importance de la spécialisation économique en fonction de ressources localisées jouent un rôle sur la marge de manœuvre des élus en charge d'autorités locales ou régionales (Gel'man, 2003). De même, le constat de décroissance démographique, dans sa différenciation régionale notamment (Cottineau, 2015), permet de préciser des scénarios de rééquilibrage territorial et de mise en place de réseaux urbains portés par les grandes villes moteur de croissance pour soutenir les moins dynamiques. I. Slepukhina (2014) propose par exemple d'identifier des réseaux polycentriques à trois niveaux urbains autour des villes motrices de l'économie russe, en utilisant les leviers politiques des zones économiques spéciales ou des infrastructures de transport à grande vitesse pour entraîner la « régénérescence » des villes plus faibles et gérer la décroissance des villes les plus petites et les moins dynamiques.

Il semble ainsi que l'évolution de la recherche entreprise ici peut suivre deux directions : d'une part la poursuite de la modélisation MARIUS et son adaptation à d'autres types de processus (diffusion et transport par exemple), et d'autre part un retour au terrain et à des cas d'étude locaux bénéficiant de la meilleure connaissance du fonctionnement du système dans son ensemble.

J'ai conscience et j'apprécie la chance d'avoir pu traiter une question de recherche intéressante, que j'ai pu en outre définir librement. Le fait qu'elle se situe sur un terrain que je connais de mieux en mieux pour l'avoir pratiqué à plusieurs reprises a été un attrait supplémentaire, grâce à l'accueil de collègues compétents et généreux, qui m'ont beaucoup aidé dans la compréhension de la société post-soviétique, ainsi que dans la collecte et la critique des

informations statistiques. Au-delà des méthodes et résultats retranscrits jusque là, ces trois années ont été une expérience de recherche très riche : endosser alternativement l'habit du chercheur et de l'enseignant, comparer l'étoffe du géographe et celle de l'économiste, faire défiler différentes techniques de recherche et modes de visualisation m'ont fait découvrir un métier curieux et créatif, tissé d'interactions et de réflexion, que je souhaite continuer à explorer.

Bibliographie

Bibliographie

- Abdel-Rahman H. M., 1988, « Product differentiation, monopolistic competition and city size », *Regional Science and Urban Economics*, Vol. 18, No. 1, pp. 69-86.
- Amblard F., 2003, *Comprendre le fonctionnement de simulations sociales individus-centrées Application à des modèles de dynamiques d'opinions*, Thèse de doctorat en Informatique, Université Blaise Pascal – Clermont II, 127p.
- Amblard F., Phan D., 2007a, *Agent Based Modelling and Simulations in the Human and Social Sciences*, Oxford, The Bardwell Press.
- Amblard F., Rouchier J., Bommel P., 2007b, « Evaluation et validation de modèles multi-agents », in Amblard F., Phan D., *Agent Based Modelling and Simulations in the Human and Social Sciences*, Oxford, The Bardwell Press, pp.103-140.
- Andrienko Y., Guriev S., 2005, « Understanding migration in Russia. », *CEFIR Policy Paper Series*, Vol. 23, 26p.
- Andrusz G., Harloe M., Szelenyi I. (ed.), 1996, *Cities after socialism, urban and regional change and conflict in post-socialist societies*, Oxford, Blackwell, 356p.
- Arel D., 2002, « Démographie et politique dans les premiers recensements post-soviétiques : méfiances envers l'Etat, identités en question », *Population*, Vol. 57, No. 6, pp. 791-820.
- Aron R., 1976, *Les étapes de la pensée sociologique*, Paris, Gallimard, 662p.
- Arthur B., 1994, *Increasing returns and Path dependence in the Economy*, The University of Michigan Press, coll. Economics, Cognition and society, 201p.
- Auerbach F., 1913, « Das Gesetz der Belvölkerungskonzentration », *Petermanns Geographische Mitteilungen*, Vol. 59, pp. 74-76.
- Avdeev E. M., Darskiï L. E., Khar'kova T. L., 1998, *Demograficheskaïa istoriya Rossii : 1927-1957*, Moskva, NII statistiki Gorkomstata Rossii, Otdelenie, demografii, « Informatika », 187p.
http://demoscope.ru/weekly/knigi/andr_dars_khar/adk.html
- Averkïeva K., 2014, « “Shrinking cities”, Opyt izoutcheniya Rossii », *Ira.urban Summer School about urban reconfiguration of the post-soviet space*, 20 Mai 2014, Rostov-sur-le-Don (Russie).
- Avila de Sousa S., Cottineau C., Dietersdorfer L., Fernandez Agueda B., Gonul D., Hoemke M., Jaroszewska E., Lella I., Mykhnenko V., Prada Trigo J., Schmitz S., Volkmann A., Wiechmann T., Wolff M., 2012, « Mapping urban shrinkage in Europe », *Final Report*, Training School at Dortmund Technical University, Department of Spatial Planning and Planning Theory, 31p.
http://www.shrinkingcities.eu/fileadmin/Dortmund/COST_Training_School_Report_final.pdf

- Axelrod R., 1997, « Advancing the art of simulation in the social sciences », in Conte R., Hegselmann R., Terna P. (eds), *Simulating Social Phenomena*, Berlin, Springer, pp. 21-40.
- Baccaïni B., Pumain D., 1998, « Les migrations dans le système des villes françaises de 1982 à 1990 », *Population (French edition)*, Vol. 53, No. 5, pp. 947-977.
- Bairoch P., 1985, *De Jéricho à Mexico, Villes et économie dans l'histoire*, Paris, Gallimard, coll. Arcades, 706p.
- Bairoch P., Batou J., Chèvre P., 1988, *La population des villes européennes de 800 à 1850 : banque de données et analyse sommaire des résultats*, Genève, Droz, Publications du Centre d'Histoire économique internationale de l'Université de Genève, 336p.
- Banos A., Sanders L., 2012, « Modéliser et simuler les systèmes spatiaux en géographie », in Varenne F., Silberstein M. (eds), *Modéliser et Simuler - Epistémologies et pratiques des modèles et des simulations*, Ebook des éditions Matériologiques, pp. 865-896.
- Banos A., 2013, *Pour des pratiques de simulation libérées en géographie et en SHS*, Habilitation à diriger des recherches, Université Paris 1.
- Barbut M., 1998, « Une famille de distributions : des paretiennes aux “contra-paretiennes” », *Mathématiques et sciences humaines*, Vol. 36, No. 141, pp.43-72.
- Baron M., Cunningham-Sabot E., Grasland C., Rivière D., Van Hamme G. (dir), 2010, *Villes et régions européennes en décroissance. Maintenir la cohésion territoriale*, Paris, Lavoisier, Série Aménagement et Gestion du territoire, 345p.
- Batty M., 1971, « Modelling cities as dynamic systems », *Nature*, Vol. 231, No. 18, pp. 425-428.
- Batty M., 2001a, « Polynucleated urban landscapes », *Urban studies*, Vol. 38, No .4, pp. 635-655.
- Batty M., Torrens P. M., 2001b, « Modeling complexity : the limites to prediction », *Cybergeog, European Journal of Geography*, Dossier « 12^e Colloque European de Géographie Théorique et Quantitative, St-Valéry-en-Caux, France, 7-11 septembre 2001, Document 201, <http://cybergeog.revues.org/1035>
- Batty M., 2011, « Editorial. Cities, prosperity, and the importance of being large », *Environment and Planning B: Planning and Design*, Vol. 38, pp. 385-387
- Batty M., 2012a, « A Generic Framework for Computational Spatial Modelling », in Heppenstall A.J., Crooks A.T., See L.M., Batty M. (Eds.), *Agent-Based Models of Geographical Systems*, Springer, pp. 19-50
- Batty M., Crooks A.T., See L. M., Heppenstall A.J., 2012b, « Perspectives on Agent-Based Models and Geographical Systems », in Heppenstall A.J., Crooks A.T., See L.M., Batty M. (Eds.), *Agent-Based Models of Geographical Systems*, Springer, pp. 1-15.
- Baudet-Michel S., Groza O., Salaris A., 2010, « L'Etat français et l'offre de soins. Concentration géographique, déconcentration administrative ? », in Baron M., Cunningham-Sabot E., Grasland C., Rivière D., Van Hamme G., *Villes et régions européennes en décroissance*, Paris, Lavoisier, Série Aménagement et Gestion du territoire, pp. 267-290.

- Bayou C., Le Bourhis E., 2007, « Les villes nouvelles à l'Est, quelles spécificités? », *Regard sur l'Est*, No. 47, Dossier « Les villes nouvelles à l'Est ». http://www.regard-est.com/home/breve_contenu.php?id=795
- Bayou C., Le Bourhis E., 2008, « Norilsk et Mourmansk. Quel avenir pour deux villes du Grand Nord russe ? », *Le Courrier des pays de l'Est*, Vol. 2, pp. 35-47.
- Beauregard R. A., 1994, *Voices of Decline, the postwar fate of US cities*, Wiley-Blackwell, 360p.
- Beaverstock J. V., Smith R. D., Taylor P. J., 2000, « World-City Network: A New Metageography? », *Annals of the Association of American Geographers*, Vol. 90, No. 1, pp. 123-134.
- Becker C. M., Mendelsohn S. J., Benderskaya K. A., 2012, *Russian urbanization in the Soviet and post-Soviet eras*, IIED, UNFPA, Urbanization and Emerging Population series, Vol. 9, 134p. <http://pubs.iied.org/pdfs/10613IIED.pdf>
- Benenson I., Omer I., Hatna E., 2002, « Entity-based modelling of urban residential dynamics: the case of Yaffo », *Environment and Planning B: Planning and Design*, Vol. 29, pp.491-512.
- Berry B. J. L., 1961, « City size distributions and economic development », *Economic development and cultural change*, pp. 573-588.
- Berry B. J. L., 1964, « Cities as systems within systems of cities », *Papers in Regional Science*, Vol. 13, No. 1, pp. 149-163.
- Berry B. J. L., Okulicz-Kozarin A., 2012, « The city size distribution debate : Resolution for US urban regions and megalopolitan areas », *Cities*, Vol. 29, pp. 17-23.
- Bertaud A., Renaud B., 1995, « Cities without land markets », *World bank working paper*, No. 1477, 17p. http://alain-bertaud.com/images/Cities_Without_Land_Markets_WB_Version.pdf
- Bertaud A., 2004, « The spatial structures of Central and Eastern European cities : more European than socialist ? », *International symposium on post-communist cities at the Russian and East European Center (REEC) « Winds of Societal Change : Remaking Post-communist Cities »*, University of Illinois, Urbana-Champaign, June 17-19. http://alain-bertaud.com/AB_Files/AB_Central%20European%20Spatial%20Structure_Figures_2.pdf
- Besse J.-M., 2000, « Problèmes épistémologiques de l'explication. », *Géopoint 2000*, « L'explication en géographie », Avignon, 29-30 Mai 2000, Groupe Dupont, pp. 11-18.
- Bettencourt L., Lobo J., West G., 2008, « Why are large cities faster ? Universal scaling and self-similarity in urban organization and dynamics », *The European Physical Journal B*, Vol. 63, pp. 285-293.
- Black D. Henderson V., 2003, « Urban evolution in the USA », *Journal of Economic Geography*, Vol. 3, pp. 343-372.
- Blanc E., 1916, « La colonisation et la mise en valeur de la Sibérie et de la steppe asiatique », *Annales de Géographie*, Vol. 25, No. 134, pp. 124-142.
- Blum A., Gousseff C., 1995, « De l'espace démographique soviétique au morcellement contemporain », *Revue d'études comparatives Est-Ouest*, Vol. 4, pp. 143-169

- Blum A., 1997, « Eléments sur l'histoire de la population de la Russie », in Sapir J. (dir), *Retour sur l'U.R.S.S.. Economie, société, histoire*, Paris, l'Harmattan, Coll. « Pays de l'Est », pp. 155-200.
- Blum A., Mespoulet M., 2003, *L'anarchie bureaucratique. Statistiques et pouvoir sous Staline*, Paris, La Découverte, Coll. « L'espace de l'histoire », 371p.
- Blum A., 2004, *Naître, vivre et mourir en URSS*, Paris, Payot & Rivages, coll. « Petite bibliothèque Payot », 2^e édition, 316p.
- Blum A., Lefèvre C., 2006, « Après 15 ans de transition, la population de la Russie toujours dans la tourmente. », *Population & Sociétés*, No. 240, http://www.ined.fr/fichier/t_publication/1128/publi_pdf1_pop_et_soc_francais_4_20.pdf
- Bohan C., Gautier B., 2013, « Multilevel Analysis of Corporations Networks : A Comparison Between Agro-Food and Automobile Strategies for Urban Development », in Rozenblat C., Melançon G., (eds.) *Methods for Multilevel Analysis and Visualisation of Geographical Networks*, Springer Netherlands, pp. 155-176.
- Borko H., 1962, *Computer applications in the behavioral sciences*, Sante Monica, 664p.
- Boudon R., 2003, « La Conversion de Coleman à la théorie du choix rationnel : impressions et conjectures », *Revue Française de Sociologie*, Vol. 44, No. 2, pp. 389-398.
- Boullaran Z., 2015, *Pratiques de placement scolaire et maintien de la cohésion urbaine, une comparaison Paris-Stockholm*, Thèse en préparation à l'Université Paris 7 Diderot.
- Bouvier A., 2011, « Connaissance de l'individuel et science du général : une comparaison entre sciences de l'homme en société et sciences de la nature », in Martin T. (éd.) *Les sciences humaines sont-elles des sciences?*, Paris, Vuibert, Coll. « Philosophie des sciences », pp. 35-52.
- Bradshaw M. J., Vartapetov K., 2003, « A new perspective on regional inequalities in Russia. », *Eurasian Geography & Economics*, Vol. 44, No. 6, pp. 403-429.
- Brenner T., Werker C., 2007, « A taxonomy of inference in Simulation models », *Computational Economics*, Vol. 30, pp. 227-244.
- Bressoux P., 2007, « L'apport des modèles multiniveaux à la recherche en éducation », *Education et didactique*, Vol. 1, No. 2, document 186, pp. 71-86. <http://educationdidactique.revues.org/pdf/168>
- Bressoux P., 2008, *Modélisation statistique appliquée aux sciences sociales*, Bruxelles, De Boeck, Coll. « Méthodes en sciences humaines », 462p.
- Bretagnolle A., 1999, *Les systèmes de villes dans l'espace-temps : effets de l'accroissement des vitesses de déplacement sur la taille et l'espacement des villes*, Thèse de doctorat Paris I Panthéon-Sorbonne.
- Bretagnolle A., Mathian H., Pumain D., Rozenblat C., 2000, « Long-term dynamics of European towns and cities : towards a spatial model of urban growth », *Cybergeo : European Journal of Geography*, Dossier « 11th European Colloquium on Quantitative and Theoretical Geography 1999 », Document 131. <http://cybergeo.revues.org/556>

- Bretagnolle A., 2003, « Vitesse des transports et sélection hiérarchique entre les villes françaises », *Données urbaines*, Vol. 4, pp. 309-323.
- Bretagnolle A., Glisse B., Pumain D., Vacchiani-Marcuzzo C., 2006a, « Emergence et évolution des systèmes urbains : un modèle de simulation en fonction des conditions historiques de l'interaction spatiale », *Rapport Final pour l'ACI Systèmes complexes en SHS*, 66p.
- Bretagnolle A., Daudé E., Pumain D., 2006b, « From theory to modelling: urban systems as complex systems », *Cybergeo: European Journal of Geography*, 13ème Colloque Européen de Géographie Théorique et Quantitative, Lucca, Italie, 8-11 septembre 2003, Document 2420, <http://cybergeo.revues.org/2420>
- Bretagnolle A., Pumain D., Vacchiani-Marcuzzo C., 2007, « Les formes des systèmes de villes dans le monde », in Mattei M.-F., Pumain D. (dir), *Données urbaines*, No. 5, Paris Anthropos, pp. 301-314.
- Bretagnolle A., Giraud T., Mathian H., 2008, « La mesure de l'urbanisation aux Etats-Unis, des premiers comptoirs coloniaux aux *Metropolitan Areas* (1790-2000) », *Cybergeo European Journal of Geography*, article 427, <http://cybergeo.revues.org/19683>
- Bretagnolle A., 2009, *Villes et réseaux de transport : des interactions dans la longue durée (France, Europe, Etats-Unis)*. Habilitation à diriger des recherches, Université Paris 1.
- Bretagnolle A., Pumain D., 2010, « Simulating urban networks through multiscale space-time dynamics (Europe and United States, 17th-20th centuries) », *Urban Studies*, Vol. 47, No. 13, pp. 2819-2839.
- Bretagnolle A., Guérois M., Mathian H., Paulus F., Vacchiani-Marcuzzo C., Delisle F., Lizzi L., Louail T., Martin S., Swerts E., 2011, *Rapport final du projet Harmonie-Cités (ANR Corpus et Outils de la recherche en SHS édition 2007)*. 54p. http://halshs.archives-ouvertes.fr/docs/00/68/84/91/PDF/rapport_final_Harmonie-cites.pdf
- Bretagnolle A., Mathian H., Swerts E. (2012, accepté), « La question de l'échelle dans la construction de bases de données urbaines harmonisées », in Pumain D. (dir), *Echelles et modélisations multi-niveaux*, Editions Chemins de Traverse, Collection « Systèmes complexes ». http://s4.csregistry.org/tiki-download_file.php?fileId=230%E2%80%8E
- Brockhoff M., 1999, « Urban growth in developing countries : a review of projection and predictions », *Population and development review*, Vol. 25, No. 4, pp. 757-778.
- Browser D. R., 1990, *The Russian city between tradition and modernity, 1850-1900*, Berkeley, University of California Press, 253p.
- Brunet R., 1981, « Géographie du Goulag », *L'Espace géographique*, Vol. 10, No. 3, pp. 215-232.
- Brunet R., Ferras R., Théry H., 1992, *Les mots de la géographie: dictionnaire critique*. Reclus.
- Brunet R., Eckert D., Kolossov V., 1995, *Atlas de la Russie et des pays proches, Paris, La Reclus-Documentation française*, Coll. Dynamique du territoire, 208p.
- Brunet, 1996, « La Russie », in Brunet R., Rey V., *Europes orientales, Russie, Asie Centrale*, Géographie universelle, Paris, Belin-Reclus, 480p.

- Buckley C., 1995, « The myth of managed migration: Migration control and market in the Soviet period », *Slavic Review*, Vol. 54, No. 4, pp. 896-916.
- Bura S., Guérin-Pace F., Mathian H., Pumain D., Sanders L., 1996, « Multi-agents system and the dynamics of a settlement system », *Geographical Analysis*, Vol. 28, No. 2, pp. 161-178.
- Castells M., 2001, *La société en réseaux*, Tome 1 « L'ère de l'information », Fayard, 2e édition, 671p.
- Catin M., 1991, « Economies d'agglomération et gains de productivité », *Revue d'économie régionale et urbaine*, n°5, pp 565-598
- Cattan N., Pumain D., Rozenblat C., Saint-Julien Th., 1999, *Le système des villes européennes*, Paris, Economica, 2^e édition, 204p.
- Cattan N., 2007, « Students mobility, gender and polycentrism in Europe », in Cattan N. (dir), *Cities and networks in Europe : A critical approach of polycentrism*, J. Libbey Eurotext, pp. 139-148.
- Chan K. W., Zhang L., 1999, « The hukou system and rural-urban migration in China : Processes and changes. », *The China Quarterly*, No. 160, pp. 818-855.
- Chandler T., Fox G., 1974, *3000 years of urban growth*, New York, London, Academic Press, Studies in population, 413p.
- Chapron P., Cottineau C., Reuillon R., 2014 (soumis), « An incremental method for building and evaluating multi-agent models of systems of cities », *Journal of Artificial Societies and Social Simulation (JASSS)*.
- Châtel C., Moriconi-Ebrard F., 2007, « Définir les villes nouvelles en Russie », *Regard sur l'Est*, No. 47, Dossier « Les villes nouvelles à l'Est ». http://www.regard-est.com/home/breve_contenu.php?id=779.
- Châtel C., 2011, « Une mesure du déclin démographique des villes allemandes de 1820 à 2010 », *Géocarrefour*, Vol. 86, No. 2, pp. 81-93.
- Châtel C., 2012, *Dynamiques de peuplement et transformations institutionnelles. Une mesure de l'urbanisation en Europe de 1800 à 2010*, Thèse de doctorat, Université Paris-Diderot-Paris VII.
- Chavance B., 1997, « Réformer le système économique soviétique : l'histoire d'un échec », in Sapir J. (dir), *Retour sur l'U.R.S.S. Economie, société, histoire*, Paris, l'Harmattan, Coll. « Pays de l'Est », pp. 145-154.
- Christaller W., 1933, *Central Places in Southern Germany*, Englewood Cliffs (N.J.), Prentice-Hall.
- Ciccone A., Hall R. E., 1996, « Productivity and the density of economic activity », *American Economic Review*, Vol. 86, No. 1, pp. 54-70.
- Cioffi-Revilla C., 2010, « A methodology for complex social simulations », *Journal of Artificial Societies and Social Simulation (JASSS)*, Vol. 13, No. 1. <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/13/1/7.html>
- Claval P., 1981, *La logique des villes*, Paris, Litec, 633p.
- Clayton E., Richardson T., 1989, « Soviet control of city size. », *Economic Development and Cultural Change*, Vol. 38, No. 1, pp. 155-165.
- Coase R. H., 1937, « The nature of the firm. », *Economica*, Vol. 4, No. 16, pp 386-405.

- Combes P.-P., Lafourcade M., 2012, « Revue de la littérature académique quantifiant les effets d'agglomération sur la productivité et l'emploi », *Rapport final pour la Société du Grand Paris*, 64p.
<http://www.parisschoolofeconomics.com/lafourcade-miren/SGP.pdf>
- Comin M.-N., 2009, *Réseaux de villes et réseaux d'innovation en Europe : structuration du système des villes européennes par les réseaux de recherche sur les technologies convergentes*, Thèse de doctorat, Université Paris 1 - Panthéon-Sorbonne, 722p.
- Commission européenne, 2007, *State of European Cities Report, Adding value to the European Urban Audit*, Study contracted by the European Commission.
http://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/studies/pdf/urban/stateofcities_2007.pdf
- Cottineau C., 2011, « Processus de métropolisation dans l'espace frontalier post-soviétique : l'exemple de Rostov-sur-le-Don », *Cybergeo : European Journal of Geography, Espace, Société, Territoire*, document 563.
<http://cybergeo.revues.org/24765>
- Cottineau C., 2013, « An intermediate system. Trajectories of Russian cities between general dynamics and specific histories », *L'Espace géographique (English Edition)*, Vol. 41, No. 3, pp. 247-265.
- Cottineau C., 2015 (accepté), « A geographical portrait of shrinking urban Russia since 1991 », *Espaces Populations Sociétés*, Vol. 2, Dossier « Espaces en dépeuplement ».
- Courgeau D., Baccaïni B., 1997, « Analyse multi-niveaux en sciences sociales », *Population*, Vol. 4, pp. 831-864.
- Crooks A., Castle C., Batty M., 2008, « Key challenges in agent-based modelling for geo-spatial simulation », *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol. 32, No. 6, pp. 417-430.
- Crozier M., 1965, « Pour une analyse sociologique de la planification française », *Revue française de sociologie*, Vol. 6, No. 2, pp. 147-163.
- Cunningham-Sabot E., Fol S., Grasland C., Roth H., Van Hamme G., 2010a, « Shrinking cities et shrinking regions. Définitions et typologies », in Baron M., Cunningham-Sabot E., Grasland C., Rivière D., Van Hamme G., *Villes et régions européennes en décroissance*, Paris, Lavoisier, Série Aménagement et Gestion du territoire, pp 67-96.
- Cunningham-Sabot E., Grasland C., Rivière D., Baron M., Buhnik S., Ducom E., Van Hamme G., 2010b, « Conclusion », in Baron M., Cunningham-Sabot E., Grasland C., Rivière D., Van Hamme G., *Villes et régions européennes en décroissance*, Paris, Lavoisier, Série Aménagement et Gestion du territoire, pp 323-342.
- Cuyala S., 2014, *Analyse spatio-temporelle d'un mouvement scientifique. L'exemple de la géographie théorique et quantitative européenne francophone*, Thèse de doctorat à l'Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne.
- Davezies L., 2008, *La République et ses territoires: la circulation invisible des richesses*, Paris, Seuil, 110p.

- Davidovitch V. G., 1961, « Goroda i Poselki-Spoutniki v SSSR », in Davidovitch V. G. , Khorev B. S., *Goroda-Spoutniki*, Moskva, Gosoudarstvennoe izdatel'stvo geografitcheskoï literatoury, pp. 5-39.
- Davis K., 1969, *World Urbanization 1950-1970, Basic data for cities, countries and regions*, Berkeley, Institute of international studies, University of California, Population monograph series, Vol. 4, 321p.
- De Gasperin A., 2006, « Rénovation et réhabilitation des grands ensembles dans les nouveaux Länder : quel avenir pour la ville socialiste ? », *Revue Géographique de l'Est*, Vol. 46, No. 3-4. <http://rge.revues.org/1469>
- Dendrinos D. S., Mullally H., 1985, *Urban evolution: studies in the mathematical ecology of cities*. Oxford: Oxford University Press.
- Derycke P.-H., 1999, « Comprendre les dynamiques métropolitaines », in Lacour C., Puissant S., *La métropolisation. Croissance, diversité, fractures*, Paris, Anthropos, Coll. « Villes », pp. 1-19.
- De Vries J., 1984, *European urbanization : 1500-1800*, London, Methuen, 350p.
- Di Lello O., 2011, *Processus de globalisation dans l'espace postsoviétique : les réseaux d'entreprises multinationales et le développement des villes en Europe centre orientale et en Asie Centrale*, Mémoire de Licence, Univ. de Lausanne, sous la dir. de C. Rozenblat et B. Gautier.
- Di Lello O., Rozenblat, C., 2014, « Les réseaux de firmes multinationales dans les villes d'Europe centre-orientale », *Cybergeog : European Journal of Geography*, Espace, Société, Territoire, document 678, <http://cybergeog.revues.org/>
- Diappi L., Bolchi P., Slepukhina I., 2013a, « The emerging structure of Russian urban systems: a classification based on Self-Organizing Maps », *ERSA conference papers*, European Regional Science Association, EL Code: R58 - Regional Development Planning and Policy. http://www-sre.wu.ac.at/ersa/ersaconfs/ersa13/ERSA2013_paper_01135.pdf
- Diappi L., Bolchi P., Slepukhina I., 2013b, « A SOM neural network implication for the interpretation of contemporary urban hierarchy in Russia », *European Colloquium of Theoretical and Quantitative Geography 2013*, Dourdan, France, 5-9 Septembre 2013.
- Drogoul A., Vanbergue D., Meurisse T., 2003, « Multi-agent based simulation : Where are the agents ? », *Proceedings of MABS 2002*, Lecture Notes in Computer Science, Springer, No. 2581, pp. 1-15.
- Durand-Dastès F., 1991, « Le particulier et le général en géographie », in Audigier F., Baillat G. (eds), *Actes du 6e colloque de Didactiques de l'histoire, de la géographie et des sciences sociales*, pp 207-216
- Durand-Dastès F., 2001, « Les concepts de la modélisation en analyse spatiale », in Sanders L., *Modèles en analyse spatiale*, Hermès, Lavoisier, pp. 31-57.
- Dureau F., 2004, « Croissance et dynamiques urbaines dans les pays du sud », *Population et Développement*, Vol. 10, pp. 203-225.
- Eaton J., Eckstein Z., 1997, « Cities and Growth : Theory and Evidence from France and Japan », *Regional Science and Urban Economics*, No. 27, pp 443 74.

- Eckert D., 2004, « La permanence des toponymes soviétiques en Russie : un marqueur de conservatisme », in Richard Y., Sanguin A.-L. (dir), *L'Europe de l'Est quinze ans après la Chute du Mur, Des pays baltes à l'ex-Yougoslavie*, Paris, l'Harmattan, Géographie et Cultures, 330p.
- Eckert D., 2007, « Les Villes », in Eckert D., *Le monde russe*, Paris, Armand Colin, pp.139-159
- Eckert D., Baron M., Jégou L., 2013, « Les villes et la science: apports de la spatialisation des données bibliométriques mondiales. », *M@ppemonde*, Vol. 2., No. 110. <http://mappemonde.mgm.fr/num38/articles/art13201.html>
- Edmonds B., Moss S., 2005, « From KISS to KIDS an “anti-simplistic” modelling approach. », in Davidsson P., Logan B., Takadama K., (eds), *Multi-Agent and Agent-Based Simulation*, Springer, Vol. 3415, pp. 130-144. <http://cfpm.org/~bruce/kiss2kids/kiss2kids.pdf>
- Eckout J., 2004, « Gibrat's law for (all) cities », *The American Economic Review*, Vol. 94, No. 5, pp. 1429-1451.
- Elsenbroich C., 2012, « Explanation in Agent-Based Modelling : Functions, Causality or Mechanisms? », *Journal of Artificial Societies and Social Simulation (JASSS)*, Vol. 15, No. 3. <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/15/3/1.html>
- Epstein J. M., Axtell R., 1996, *Growing Artificial Societies : Social Science from the Bottom Up*, Complex Adaptive Systems, The MIT Press, 224p.
- Epstein J. M., 1999, « Agent-based computation models and generative social science », *Complexity*, Vol. 4, No. 5, pp. 41-57.
- Fauve A., 2007, « Astana, nouvelle capitale du Kazakhstan : entre mythe et réalités », *Regard sur l'Est*, No. 47, Dossier « Les villes nouvelles à l'Est ». http://www.regard-est.com/home/breve_contenu.php?id=783
- Favaro J.-M., Sanders L., Glisse B., Mathian H., Pumain D., 2005, « Artificial intelligence and collective agents : a generic multi-agent model for simulating the evolution of urban systems, two implementations : EUROSIM and SIMPOP2 model : (1) EUROSIM : a predictive short term simulation model », *Poster for the TiGrESS programme (Time-Geographical approaches to emergence and sustainable Societies)*,
- Favaro J.-M., 2007, *Croissance urbaine et cycles d'innovations dans les systèmes de villes : une modélisation par les interactions spatiales*, Thèse de doctorat, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne.
- Flanagan S. J., Schear J. A. (Eds.), 2008, *Strategic challenges: America's global security agenda*, Potomac Books, Inc., 430p.
- Fenot A., Gintrac C., 2007, « Achgabat : de la ville nouvelle à la ville renouvelée », *Regard sur l'Est*, No. 47, Dossier « Les villes nouvelles à l'Est ». http://www.regard-est.com/home/breve_contenu.php?id=788
- Ferber J., 1995, *Les Systèmes Multi-agents, Vers une intelligence collective*, Paris, InterEditions, 513p.
- Ferber J., 2007, « Concepts et méthodologies multi-agents », in Amblard F., Phan D., *Agent Based Modelling and Simulations in the Human and Social Sciences*, Oxford, The Bardwell Press, pp. 23-48.

- Fotheringham A. S., 1981, « Spatial structure and distance-decay parameters. », *Annals of the Association of American Geographers*, Vol. 71, No. 3, pp. 425-436.
- French R. A., 1979, « The individuality of the Soviet City », in French R. A., Hamilton F. E. I. (eds.), *The Socialist City*, Londres, John Wiley & Sons, pp 73-104.
- French R. A., Hamilton F. E. I. (eds.), 1979, *The Socialist City*, Londres, John Wiley & Sons, 541p.
- Frenken K., 2005, *History, state and prospects of evolutionary models of technical change: a review with special emphasis on complexity theory*, Utrecht University, The Netherlands, mimeo.
- Friedrichs J., 1988, « Large cities in Eastern Europe », in Dogan M., Kasarda J. (eds), *The Metropolis Era : a World of Giant Cities*, Vol. 1, Newbury Park, Sage Publications, pp. 128-154
- Fujita M., Thisse J. F., 1996, « Economics of agglomeration », *Journal of the Japanese and international Economies*, Vol. 10, No. 4, pp. 339-378.
- Gabaix X., 1999, « Zipf's law for cities : an explanation », *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 114, No. 3, pp. 739-767.
- Gallezot G., 2002, « La recherche in silico. », in Chartron G. (dir.), *Les chercheurs et la documentation numérique : nouveaux services et usages*, Edition du cercle de la Librairie, pp. 229-253.
- Gang I. N., Stuart R. C., 1999, « Mobility where mobility is illegal: Internal migration and city growth in the Soviet Union », *Journal of Population Economics*, Vol. 12, No. 1, pp. 117-134.
- Garanina O., 2009, « What beyond oil and gas ? Russian trade specialisation in manufactures », *Post communist Economies*, Vol. 21, No. 1, 32p.
- Garretsen H., Schramm M., Brakman S., 2003, « The strategic bombing of German cities during World War II and its impact for Germany », *Tjalling C. Koopmans Research Institute*, Discussion Paper Series, n°03-09, Universiteit Utrecht, 27p. <http://www.uu.nl/content/03-09i.pdf>
- Gatrell P., Harrison M., 1993, « The Russian and Soviet economies in two world wars : a comparative view », *The Economic History Review*, Vol. 46, No. 3, pp. 425-452.
- Gaye A., 2006, « Les trajectoires démographiques des régions en Russie. », *L'Information géographique*, Vol. 70, No. 4, pp. 66-72.
- Gazier A., 2001, « Les statuts juridiques et les institutions des villes russes face aux réformes décentralisatrices : une complexité croissante », *Revue d'études comparatives Est-Ouest*, Vol. 32, No. 4, pp. 9-33.
- Gel'man V., 2003, « In search of local autonomy : the politics of big cities in Russia's transition », *International Journal of Urban and Regional Research*, Vol. 27, No. 1, pp. 48-61.
- George P., 1974, *Précis de géographie urbaine*, Paris, PUF, 288p.
- Gibrat R., 1931, *Les inégalités économiques*, Paris, Librairie du Recueil Sirey, 296p.
- Gilbert N., Troitzsch K., 2005, *Simulation for the social scientist*, McGraw-Hill International, 295p.

- Gintrac C., 2010, « Achgabat (Turkménistan) : ville hallucinée ? », *Globe, le blog de Planète terre*, France Culture, 24 Avril 2010.
<http://www.franceculture.fr/blog-globe-2010-04-21-achgabat-turkm%C3%A9nistan-ville-hallucin%C3%A9e-suivi-de-asie-centrale-la-r%C3%A9habilitatio>
- Glaeser E., Kallal H., Scheinkman J. A., Shleifer A., 1992, « Growth in cities », *Journal of Political Economy*, Vol. 100, No. 6, pp. 1126-1152,
<http://scholar.harvard.edu/files/shleifer/files/growthincities.pdf>
- Glisse B., 2007, *Exploration scientifique par la conception collaborative de systèmes multi-agents*, Thèse de doctorat en informatique, Université Pierre et Marie Curie, 198p.
- Godfrey B. J., 1991, « Modernizing the Brazilian city. », *Geographical Review*, Vol. 81, No. 1, pp. 18-34.
- Goldthorpe J. H., 2001, « Causation, statistics, and sociology. », *European Sociological Review*, Vol. 17, No. 1, pp. 1-20.
- Gorkine A. P. (dir), 1998, *Geografiya Rossii: entsiklopedicheskii slovar'*, Moskva, Bol'shaïa Rossiïskaïa entsiklopediya, 800p.
- Grasland C., 2010, « Les mécanismes démographiques de la décroissance : trois boucles de rétroaction » in Baron M., Cunningham-Sabot E., Grasland C., Rivière D., Van Hamme G., *Villes et régions européennes en décroissance*, Paris, Lavoisier, Série Aménagement et Gestion du territoire, pp. 97-116.
- Grimm V., Berger U., Bastiansen F., Eliassen S., Ginot V., Giske J., DeAngelis D. L., 2006, « A standard protocol for describing individual-based and agent-based models. » *Ecological modelling*, Vol. 198, No. 1, pp. 115-126.
- Grimm V., Railsback S. F., 2012, « Pattern-oriented modelling : a “multi-scope” for predictive systems ecology », *Philosophical transactions of the royal society B*, Vol. 367, pp. 298-310.
- Grüne-Yanoff T., 2009, « The Explanatory Potential of Artificial Societies », *Synthese*, Vol. 169, pp. 539-555.
- Guérin-Pace F., 1990, *La dynamique d'un système de peuplement : évolution de la population des villes françaises de 1831 à 1982*, Thèse de doctorat, Université Paris 7.
- Guérin-Pace F., Pumain D., 1990, « 150 ans de croissance urbaine », *Economie et statistique*, Vol. 230, No. 1, pp. 5-16.
- Guérin-Pace F., 1995, « Rank-Size Distribution and the Process of Urban Growth », *Urban Studies*, Vol. 323, pp. 551-562.
- Guérois M., Paulus F., 2002, « Commune centre, agglomération, aire urbaine : quelle pertinence pour l'étude des villes ? », *Cybergeo : European Journal of Geography*, Politique, Culture, Représentations, document 212.
<http://cybergeo.revues.org/3491>
- Guetzkow H. S. (ed), 1962, *Simulation in the social sciences*, Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall, 199p.
- Guimeno R., Mitrano P., 2003, « L'empire russe en 1900 », *Sciences Po Paris*,
http://cartographie.sciences-po.fr/sites/default/files/empire_russe_1900.jpg

- Guimerà R., Mossa S., Turtshi A., Amaral L. N., 2005, « The worldwide air transportation network : Anomalous centrality, community structure, and cities' global roles. », *PNAS : Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 102, No. 22, pp. 7794-7799.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1142352/pdf/pnas-0407994102.pdf>
- Gulden T. R., Hammond R. A., 2012, « Beyond Zipf : an agent-based understanding of city size distributions », in Heppenstall A.J., Crooks A.T., See L.M., Batty M. (Eds.), *Agent-Based Models of Geographical Systems*, Springer, pp. 677-704.
- Hägerstrand T., 1968, *Innovation diffusion as a spatial process*, University of Chicago Press, 334p.
- Haggett P., Cliff A. D., Frey A., 1977, « Locational analysis in human geography », *Tijdschrift Voor Economische En Sociale Geografie*, Vol. 68, No. 6.
- Hanson G. H., 2005, « Market potential, increasing returns, and geographic concentration », *Journal of International Economics*, Vol. 67, No. 1, pp. 1-24.
- Harloe M., 1996, « Cities in transition », in Andrusz G., Harloe M., Szelenyi I. (eds.), *Cities after socialism, urban and regional change and conflict in post-socialist societies*, Oxford, Blackwell, pp. 1-29.
- Harris C. D., 1945, « The cities of the Soviet Union. », *Geographical Review*, Vol. 35, No.1, pp. 107-121.
- Harris C. D., 1954, « The market as a factor in the localization of industry in the United States », *Annals of the Association of American Geographers*, Vol. 44, pp. 315-348.
- Harris C. D., 1970, *Cities of the Soviet Union, Studies in their Functions, Size, Density and Growth*, Chicago, Association of American Geographers, 484p.
- Harris C. D., 1971, « Les révolutions urbaine et démographique et l'accroissement de la population urbaine en Union Soviétique », *Bulletin de l'Association de géographes français*, No. 385-386, pp. 17-32.
- Hedström P., Ylikoski O., 2010, « Causal mechanisms in the social sciences », *Annual Review of Sociology*, Vol. 36, pp. 49-67.
- Heller M., 1997, *Histoire de la Russie et de son empire*, Flammarion, coll. Champs, 986p.
- Henderson J. V., 1986, « Efficiency of resource usage and city size. », *Journal of Urban economics*, Vol. 19, No. 1, pp. 47-70.
- Heppenstall A. J., Crooks A. T., See L. M, Batty M. (eds), 2012, *Agent-based models of geographical systems*, Springer Netherlands, 759p.
- Hermann C. F., 1967, « Validation problems in games and simulations with spacial refence to models of international politics », *Behavioral Science*, Vol. 12, pp. 216-231.
- Hervé J.-J., 2013, « Evolution de la structure de l'entreprise agricole en Ukraine », *Etudes rurales*, Vol. 191, No. 1, pp. 115-128.
- Hooson D. J. M., 1968, « The growth of Cities in Pre-Soviet Russia », in Backinsale R. P., Houston J. M., *Urbanization and its problems*, Oxford, Basil Blackwell, pp. 254-276.

- Huttenbach H. R., 1998, « Whither Kazakstan? Changing capitals: From Almaty to Aqmola/Astana », *Nationalities Papers, The Journal of Nationalism and Ethnicity*, Vol. 26, No. 3, pp. 581-587.
- Ioannides Y. M., Overman H. G., 2003, « Zipf's law for cities : an empirical examination », *Regional Science and Urban Economics*, Vol. 33, No. 2, pp. 127-137.
- Ioffe G., Nefedova T., 2001, «Land use changes in the environs of Moscou», *Area*, Vol. 33, No. 3, pp. 273-286
- Iyer S. D., 2003, « The Urban Context for Adjustments to the Planning Process in Post-Soviet Russia », *International Planning Studies*, Vol. 8, No. 3, pp. 201-223.
- Jacobs J., 1969, *The Economy of Cities*, New York, Vintage.
- Jayet C., 2012, *Le réseau des entreprises multinationales dans les villes russes. Analyse spatiale et visualisation*, Mémoire de M1, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne.
- Kaganskyi V., 2004, « Preodolenie Sovietskogo Prostranstva », *Publitchnie Lektsii Polit.ru*, <http://polit.ru/lectures/2004/11/11/kagan.html>
- Kaldor N., 1961, « Capital accumulation and economic growth. », in Lutz F.A., Hague D.C. (Eds.), *The Theory of Capital*, London, St. Martins Press, pp. 177-222.
- Kelley A. C., Williamson J. G., 1984, « Population growth, Industrial revolutions, and the urban transition », *Population and development review*, Vol. 10, No. 3, pp. 419-441.
- Khorev B. S., 1968, *Gorodskie poseleniya SSSR*, Moskva, Mysl'.
- Khorev B.S., 1975, *Problemy gorodov : Ourbanizatsiya I edinaya sistema raseleniya v SSSR*, Mousl'.
- King L. J., 1961, « A multivariate analysis of the spacing of urban settlements in the United States. », *Annals of the Association of American Geographers*, Vol. 51, No. 2, pp. 222-233.
- King L. J., 1962, « A quantitative expression of the pattern of urban settlements in selected areas of the United States. », *Tijdschrift voor economische en sociale geografie*, Vol. 53, pp. 1-7.
- Kolossov V. (dir.), 2007, *La Russie. Espaces, villes, réseaux*, Paris, Editions du temps, Coll. « Questions de géographie ».
- Kolossov V., 2013, « Le "grand Moscou" », *Régions*, Observatoire franco-russe, pp. 235-243. http://obsfr.ru/fileadmin/reports/2013/04_Kolossov_fr.pdf
- Kontorovich V., 1988, « The process of organizational innovation in a command economy. », *Journal of Institutional and Theoretical Economics (JITE)*, Vol. 144, pp. 878-884.
- Kontorovich V., 2000, « Can Russia resettle the Far East ? », *Post-communist Economies*, Vol. 12, No. 3, pp. 365-384.
- Kopp A., 1967, *Ville et Révolution*, Paris, Anthropos, 280p.
- Landry A., 1934, *La révolution démographique: études et essais sur les problèmes de la population*, Ined.
- Lappo G. M., 1978, *Razvitie gorodskikh aglomeratsii v SSSR*, Naouka.
- Lappo G. M., Petrov N. V., 1986, *Geoourbanistika v SSSR*, Moskva, Preprint, 200p.

- Lappo G. M. (*dir*), 1994, *Goroda Rossii: entsiklopediya*, Moskva, Bol'shaia Rossiiskaia entsiklopediya, 560p.
- Lappo G. M., Polyan P. M., 1998, « Zakrytie goroda », *Sociologicheskie issledovaniya*, No. 2, pp. 43-48. <http://ecsocman.hse.ru/data/120/434/1217/003.LAPPO.pdf>
- Lappo G. M., Polyan P. M., 1999, « Rezultaty Ourbanizatsii v Rossii k kontsou XX veka », *Mir rossii*, No. 4, pp. 35-46.
http://ecsocman.hse.ru/data/945/989/1219/1999_n4_p35-46.pdf
- Lappo G. M., 2005, « Rossiiskii gorod simbioz gorodskogo i sel'skogo », *Demoscop Weekly*, No. 221-222.
http://demoscope.ru/weekly/2005/0221/analit06.php#_FNR_1.
- Lappo G. M., Polyan P. M., Selivanova T., 2007, « Aglomeratsii Rossii v XXI veke. ». http://www.frrio.ru/upload_files/Lappo.pdf
- Lappo G. M., Polyan P. M., 2008, « Naoukogrady Rossii : vtcherachnie zapretnye I polouzapretnye goroda-segodnyachnie totchki rosta », *Mir rossii*, Vol. 17, No. 1, pp. 20-49.
http://ecsocman.hse.ru/hse/data/2010/12/31/1208182984/2008_1_20-49.pdf
- Le Bourhis E., 2009, « La Lettonie change de carte administrative », *Regard sur l'Est*, Rubrique « Politique ».
http://www.regard-est.com/home/breve_contenu.php?id=908
- Lefevre C., 2001, « La municipalisation complexe de la "sphère sociale" des entreprises russes : un aspect important et méconnu de la transition économique et sociale », *Revue d'études comparatives Est-Ouest*, Vol. 32, No. 4, pp. 125-151.
- Lehmann S. G., Ruble B. A., 1997, « Form "Soviet" to "European" Yaroslavl : Changing neighbourhood Structure in Post-Soviet Russian Cities », *Urban Studies*, Vol. 34, No. 7, pp. 1085-1107.
- Lestienne R., 2012, *Dialogues sur l'émergence*, Paris, Editions Le Pommier, coll. « Méléte », 215p.
- Levine H.S., 1959, « The centralized planning of Supply in Soviet industry », U.S. Congress, Joint economic committee, *Comparisons of the United States and Soviet Economies*, pp. 151-176.
- Lévy J., Lussault M., 2003, *Dictionnaire de géographie et de l'espace des sociétés*, Belin, 1033p.
- Lewin M., 1989, *La grande mutation soviétique*, Paris, La découverte, 205p.
- Lindenberg S., 2003, « Coleman et la construction des institutions : peut-on négliger la rationalité sociale? », *Revue française de sociologie*, Vol. 44, No. 2, pp. 357-373.
- Lösch A., 1954, *The Economics of Location*, New Haven, Yale University Press.
- Louail T., 2010, *Comparer les morphogénèses urbaines en Europe et aux États-Unis par la simulation à base d'agents – Approches multi-niveaux et environnements de simulation spatiale*, Thèse de doctorat, Université d'Evry-Val d'Essonne.
- Luttmer E. G. J., 2007, « Selection, growth, and the size distribution of firms », *Quarterly journal of economics*, Vol. 122, No. 3, pp. 1103-1144.
- Machamer P., Darden L., Craver C. F., 2000, « Thinking about mechanisms », *Philosophy of science*, Vol. 67, No. 1, pp. 1-25.

- Makhrova A. G., 2006, « Territorial'naïa differentsiatsiya rynka zagorodnogo jil'ya v Moskovskoi oblasti », *Vestnik moskovskogo ouniversiteta*, Seria 5, Geografiya, No. 2, pp. 29-34.
- Malecki E. J., 1980, « Growth and change in the analysis of rank-size distributions : empirical findings », *Environment and planning A*, Vol. 12, No. 1, pp. 45-52.
- Mandelbrot B., 1997, *Fractales, Hasard et Finance*, Flammarion, 246p.
- Manove M., 1971, « A model of Soviet-type Economic planning », *The American Economic review*, Vol. 61, No. 3, pp. 390-406.
- Manzo G., 2005, « Variables, mécanismes et simulations : une synthèse des trois méthodes est-elle possible ? Une analyse critique de la littérature. », *Revue française de sociologie*, Vol. 46, No. 1, pp. 37-74.
- Marchand-Vaguet Y., 2005, « La conquete des hydrocarbures en Sibérie occidentale, le modèle centre-périphérie revisité », *L'Espace Géographique*, Vol. 34, No. 2, pp. 145-159.
- Marchionni C., Ylikoski P., 2013, « Generative explanation and individualism in agent-based simulation », *Philosophy of the social sciences*, Vol. 43, No. 3, pp. 323-341.
- Marin A., 2007, « Toponymie d'une manie : les villes renommées de Russie », *Regard sur l'Est*, No. 47, Dossier « Les villes nouvelles à l'Est », http://www.regard-est.com/home/breve_contenu.php?id=790
- Marshall A., 1890, *Principles of Economics*, Macmillan, London.
- Marsili M., Zhang Y.-C., 1998, « Interacting individuals leading to Zipf's law », *Physical Review Letters*, Vol. 80, No. 12, pp. 2741-2744.
- Martinez-Fernandez C., Wu C.-T., 2009, « Shrinking cities : a global overview and concerns about Australian mining cities cases », in Pallas K., *The Future of shrinking cities : problems, patterns and strategies of urban transformation in a global context*, IURD Monograph Series, Institute of Urban and Regional Development, UC Berkeley, pp. 29-36. <http://escholarship.org/uc/item/7zz6s7bm>
- Matthews M., 1979, « Social Dimensions in Soviet Urban Housing », in French R. A., Hamilton F. E. I. (eds.), *The Socialist City*, Londres, John Wiley & Sons, pp. 105-118.
- McAuley A., 1984, « La politique soviétique de développement en Asie centrale : réflexions sur les possibilités de l'appliquer aux pays voisins du Moyen-Orient », *Revue d'Etudes comparatives Est-Ouest*, Vol. 15, No. 4, pp. 5-30.
- McKelvey B., 2002, « Model-centered organization science epistemology. », in Baum J. A. C., (ed.), *Companion to organizations*, Thousand Oaks, CA, Sage, pp. 752-780.
- Mespoulet M., 2003, « Russie, Octobre 2002. Un recensement de transition », *Courrier des statistiques*, No. 107, pp. 3-21. http://www.insee.fr/fr/ffc/docs_ffc/cs107a.pdf
- Mespoulet M., 2008, *Construire le socialisme par les chiffres, Enquêtes et recensements en URSS de 1917 à 1991*, Paris, INED, Coll. « Les classiques de l'économie et de la population », 240p.
- Mirucki J., 1986, « Planned Economic Development and Loglinearity in the Rank-Size Distribution of Urban Systems: The Soviet Experience. » *Urban Studies*, Vol. 23, No. 2, pp. 151-156.

- Minsky M., 1965, « Matter, Mind and Models », *IFIP Congress*, Spartan Books, pp. 45-50.
<http://dspace.mit.edu/handle/1721.1/6119>
- Moine N., 2003, « Le système des passeports à l'époque stalinienne. De la purge des grandes villes au morcellement du territoire, 1932-1953 », *Revue d'Histoire moderne et contemporaine*, Vol. 50, No. 1, pp. 145-169.
- Moomaw R. L., 1981, « Productivity and city size : a review of the evidence », *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 96, pp. 675-688.
- Moriconi-Ebrard F., 1993, *L'urbanisation du monde depuis 1950*, Paris, Anthropos, Coll. « Villes », 372p.
- Moriconi-Ebrard F., 1994, *Géopolis, pour comparer les villes du monde*, Paris, Anthropos, Coll. « Villes ».
- Morse R. M., 1962, « Latin American cities : aspects of function and structure », *Comparative studies in Society and History*, Vol. 4, No. 4, pp. 73-193.
- Motta C., 2007, « L'expérience soviétique des villes nouvelles : évolution d'un paysage urbain. », *Regard sur l'Est*, No. 47, Dossier « Les villes nouvelles à l'Est ». http://www.regard-est.com/home/breve_contenu.php?id=786
- Nefedova T., Treïvish A., 2001, « Rossiiskie gorodkie sistemy v zerkale evolyoutsionnykh teorii ourbanizatsii », in Polyani P., Nefedova T., Treïvish A., *Gorod i derevnya v evropeiskoi Rossii. Sto let peremen*, Moskva, OGI, pp. 171-195.
<http://demoscope.ru/weekly/knigi/gorod/2.3.pdf>
- Nefedova T., Treïvish A., 2003, « Differential urbanization in Russia. », *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie*, Vol. 94, No. 1, pp. 75-88.
- Nefedova T., 2011, « Rossiïskie datchi kak sotsial'nyï fenomen », *Spero*, No. 15, pp. 161-172. http://spero.socpol.ru/anketa8_15.shtml
- Neuberger E., 1968, « The Legacies of central planning », *Memorandum for the United States air force project*, Rand Corporation, Santa Monica, 71p.
- Ngo A., See L., 2012, « Calibration and Validation of Agent-Based Models of Land Cover Change », in Heppenstall A.J., Crooks A.T., See L.M., Batty M. (Eds.), *Agent-Based Models of Geographical Systems*, Springer, pp. 181-197
- Nitsch V., 2005, « Zipf zipped », *Journal of Urban Economics*, Vol. 57, pp. 86-100.
- Notestein F. W., 1945, « Population : The Long View », in Schultze T. W. (ed.), *Food for the World*, Chicago, University of Chicago Press.
- Oswalt P., 2006, *Shrinking Cities, Vol 1*, International Research, Ostfildern, Hatje Cantz, 735p.
- Parr J. B., 2007, « Spatial definitions of the city: four perspectives. », *Urban Studies*, Vol. 44, No. 2, pp. 381-392.
- Paulet J.-P., 2007, « Les villes de la fédération de Russie » in Wackermann G., *La Russie*, Ellipses, Capes/agreg, pp. 232-245.
- Paulus F., 2004, *Coévolution dans les systèmes de villes: croissance et spécialisation des aires urbaines françaises de 1950 à 2000*, Thèse de doctorat, Université Paris 1, 407p.
- Pertsik E. N., 1991, *Geografïa gorodov (Geoourbanistika)*, Moskva, Vyschaïa chkola, 320p.

- Petrov N. V., 1988, *Gorodskie aglomeratsii: sostav, podkhody k delimitatsii // Problemy territorial'noi organizatsii prostranstva i rasseleniya v ourbanizirovanykh raionakh*, Sverdlovsk.
- Piadycheff, 1827, *General'naïa karta rossïuskoï imperii i prisoedinenykh k onoi: tsartva pol'sago i velikago knyajestva finlandskago, Carte générale de l'Empire de Russie avec les Etats incorporés: le royaume de Pologne et le Grand Duché de Finlande*, <http://www.wdl.org/en/item/2589/zoom/>
- Piketty T., 2013, *Le capital au XXI^e siècle*, Seuil, Coll. « Les livres du nouveau monde », 970 p.
- Pivovarov You. L., 2001, « Ourbanizatsiya Rossii v XXom veke: predstavleniya i real'nost' », *Obchestvennye nauki i sovremennost'*, No. 6, pp. 101-113.
- Polyan P., Nefedova T., Treïvich A., 2001, *Gorod i derevnya v evropeiskoi Rossii. Sto let peremen*, Moskva, OGI, 555p.
- Popov P., 2001, « Kolitchevnyye kharakteristiki ourbanizatsiya v regionakh Evropeiskoi Rossii za 100 let », in Polyan P., Nefedova T., Treivich A., *Gorod i derevnya v evropeiskoi Rossii. Sto let peremen*, Moskva, OGI, pp. 155-170.
- Popper K. R., 1973, *La logique de la découverte scientifique.*, Paris, Payot.
- Pospelov E. M., 2001, *Geograficheskiye nazvaniya mira: toponimicheskii slovar': okolo 5000 edinit*, Moskva, Russkiye slovari, OOO « Izd-vo Astrel' », 512p.
- Poujol C., 1997, « Cosaques contre Kazakhs: nationalismes, identités et territoire au Kazakhstan », *Hérodote*, No. 84, pp. 124-144.
- Pred A., 1966, *The Spatial Dynamics of U.S. Urban Industrial Growth, 1800-1914*, Cambridge (Mass.), Harvard University Press.
- Pred A. R., 1973, *Systems of cities and information flows*, Lund Studies in Geography, Série B.
- Pred A. R., 1977, *City-Systems in advanced economies*, Londres, Hutchinson Univ. Library, 256p.
- Preston S. H., 1979, « Urban growth in developing countries: a demographic reappraisal », *Population and development review*, Vol. 5, No. 2, pp. 195-215.
- Pumain D., Saint-Julien Th., 1978, *Les dimensions du changement urbain*, Paris, Editions du Centre national de la recherche scientifique, 198p.
- Pumain D., 1982a, *La dynamique des villes*, Paris, Economica, 231p.
- Pumain D., 1982b, « Chemin de fer et croissance urbaine en France au XIXe siècle », *Annales de Géographie*, Vol. 91, No. 507, pp. 529-550.
- Pumain D., 1984, « L'évolution séculaire de la trame urbaine », in Quant T., *Geoscopie de la France*, Paradigme, Terre et société, pp. 153-174.
- Pumain D., Saint-Julien T., Sanders L., 1989, *Villes et auto-organisation*, Paris, Economica, 191p.
- Pumain D., Saint-Julien T., Cattan N., Rozenblat C., 1992a, *Le concept statistique de la ville dans les différents pays d'Europe*. Luxembourg, Eurostat, 72p.
- Pumain D., 1992b, « Les systèmes de villes », in Bailly A., Ferras R., Pumain D., *Encyclopédie de la géographie*, Paris, Economica, pp. 645-663.

- Pumain D., 1997a, « Pour une théorie évolutive des villes », *L'espace Géographique*, Vol. 26, No. 2, pp. 119-134.
- Pumain D., Saint-Julien T., 1997b, *L'analyse spatiale, Localisations dans l'espace*, Paris, Armand Colin, 192p.
- Pumain D., 1999, « Quel rôle pour les villes petites et moyennes des régions périphériques ? », *Revue de géographie alpine*, Vol. 87, No. 2, pp. 167-184.
- Pumain D., Gaudin J.-P., 2002a, « Systèmes de villes et pouvoir. L'analyse de Giovanni Botero à l'époque de la Renaissance », *Cybergeo : European Journal of Geography, Epistemology, History, Teaching*, document 227, <http://cybergeo.revues.org/1836>
- Pumain D., Robic M.-C., 2002b, « Le rôle des mathématiques dans une "révolution" théorique et quantitative : la géographie française depuis les années 1970 », *Revue d'Histoire des Sciences Sociales*, Vol. 1, No. 6, pp. 123-144.
- Pumain D., 2003a, « Le processus d'urbanisation », in Caselli G., Vallin J., Wunsch G., (eds.), *Démographie, Analyse et synthèse IV, Les déterminants de la migration*, Paris, Editions de l'Institut national d'études démographiques, pp. 101-124.
- Pumain D., 2003b, « Une approche de la complexité en géographie. », *Géocarrefour*, Vol. 78, No. 1, pp. 25-31. <http://geocarrefour.revues.org/75>
- Pumain D. (ed), 2006a, *Hierarchy in Natural and Social Sciences*, Springer
- Pumain D., 2006b, « Systèmes de villes et niveaux d'organisation », in Bourguin P., Lesne A., (eds), *Morphogenèse*, Paris, Belin, collection « Echelles », pp. 239-263.
- Pumain D., Paquot T., Kleinschmager R., 2006c, *Dictionnaire La ville et l'urbain*, Paris, Economica-Anthropos, Collection « Villes », 320p.
- Pumain D., Paulus F., Vacchiani-Marcuzzo C., Lobo J., 2006d, « An evolutionary theory for interpreting urban scaling laws », *Cybergeo : European Journal of Geography, Systems, Modelling, Geostatistics*, document 343. <http://cybergeo.revues.org/2519>.
- Pumain D., Paulus F., Vacchiani-Marcuzzo C., 2009, « Innovation cycles and urban dynamics », in Lane D., Pumain D., Van Der Leeuw S. E., Geoffrey W. (Eds.), *Complexity perspectives in innovation and social change*, Springer Netherlands, Vol. 7, pp. 237-260.
- Pumain D., 2010, « Une théorie géographique des villes », *BSGLg (Bulletin de la Société Géographique de Liège)*, Vol. 55, pp. 5-15.
- Pumain D., 2012, « Une théorie géographique pour la loi de Zipf », *Région et développement*, Vol. 36, pp. 31-54.
- Pumain D., Sanders L., 2013, « Theoretical principles in interurban simulation models : a comparison », *Environment and Planning A*, Vol. 45, pp. 2243-2260.
- Pumain D., Baffi B., Bretagnolle A., Cottineau C., Cura R., Delisle F., Ignazzi A., Lizzi L., Swerts E., Vacchiani-Marcuzzo C., 2014, « Macrostructure and meso dynamics in systems of cities : an evolutionary theory based on comparing several countries of the world », *Submitted to Urban Studies*.
- Puzanov A. S., 2008, « Development challenges facing the cities of the Russian Federation in the European context », *Urban Research & Practice*, Vol. 1, No. 3, pp. 254-265.

- Radvanyi J., 2007, *La nouvelle Russie*, Paris, Armand Colin, Collection U, 4^e édition, 463p.
- Railsback S. F., Grimm V., 2012, *Agent-Based and Individual-Based modeling. A practical introduction*, Princeton, Oxford, Princeton University Press, 327p.
- Rapoport A., 1968, « Rank-Size Relations », *Encyclopedia of the Social Sciences*, New York, Ed. David L. Shills, The Macmillan Company and the Free Press, Volume 13, pp. 319-323.
- Ravenstein E. G., 1885, « The laws of migration », *Journal of the Statistical Society of London*, pp. 167-235.
- Reilly W. J., 1931, *The law of retail gravitation*, New York.
- Reiner T. A., Wilson R. H., 1979, « Planning and Decision-Making in the Soviet City : Rent, Land, and urban form », in French R. A., Hamilton F. E. I. (eds.), *The Socialist City*, Londres, John Wiley & Sons, pp. 49-71.
- Resende M., 2004, « Gibrat's law and the growth of cities in Brazil : a panel data investigation », *Urban studies*, Vol. 41, No. 8, pp. 1537-1549.
- Reuillon R., Chuffart F., Leclaire M., Faure T., Dumoulin N., Hill D., 2010, « Declarative task delegation in OpenMOLE », *Proceedings of the International Conference on High Performance Computing and Simulation*, pp. 55-62
- Reuillon R., Leclaire M., Rey-Coyrehourcq S., 2013, « OpenMOLE, a workflow engine specifically tailored for the distributed exploration of simulation models. », *Future Generation Computer Systems*, Vol. 29, No. 8, pp. 1981-1990.
- Reuillon R., Schmitt C., De Aldama R., Mouret J. B., 2014, « A new method to evaluate simulation models : The Calibration Profile (CP) algorithm », *submitted to JASSS*.
- Rey-Coyrehourcq S., 2014, *Une plateforme intégrée de modélisation pour la construction et l'évaluation de modèles en géographie*, Thèse de doctorat à l'Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne.
- Richard Y., 2002, *La Biélorussie, une géographie historique*, Paris, L'Harmattan, Coll. « Géographie et cultures », 312p.
- Robson B. T., 1973, *Urban growth, An approach*, Londres, Methuen & Co Ltd, 268p.
- Roehner B., Wiese K. E., 1982, « A dynamic generalization of Zipf's rank-size rule », *Environment and Planning A*, Vol. 14, No. 11, pp. 1449-1467.
- Rosen K. T., Resnick M., 1980, « The size distribution of cities: an examination of the Pareto law and primacy ». *Journal of Urban Economics*, Vol. 8, No. 2, pp. 165-186.
- Rossiter S., Noble J., Bell K. R.W., 2010, « Social Simulations: Improving Interdisciplinary Understanding of Scientific Positioning and Validity », *Journal of Artificial Societies and Social Simulation (JASSS)*, Vol. 13, No. 1, <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/13/1/10.html>
- Rowland R. H., 1998, « Metropolitan Population Change in Russia and the former Soviet Union, 1897-1997 », *Post-Soviet Geography and Economics*, Vol. 39, No. 5, pp. 271-296.
- Rozenblat C., 1995, « Tissu d'un semis de villes européennes. », *Mappemonde*, Vol. 4, No. 95, pp. 22-27. <http://www.mgm.fr/PUB/Mappemonde/M495/MAILLE.pdf>

- Rozenblat C., Cicille P., 2003, *Les villes européennes, Une analyse comparative*, Paris, Rapport d'étude de la DATAR, La Documentation française.
- Rozenblat C., 2004, « Tissus de villes, Réseaux et systèmes urbains en Europe », *Rapport de synthèse de l'Habilitation à Diriger des Recherches*, Montpellier, Université Paul Valéry.
- Rozman G., 1976, *Urban networks in Russia, 1750-1800, and premodern periodization*, Princeton, Princeton University Press, 337p.
- Saltelli A., Chan K., Scott E., 2000, *Sensitivity Analysis*, Wiley, 494p.
- Sanders L., 1992, *Système de villes et synergétique*, Paris, Anthropos, Coll. « Villes », 274p.
- Sanders L., Pumain D., Mathian H., Guerin-Pace F., Bura S., 1997, « Simpop: a multiagent system for the study of urbanism », *Environment and Planning B*, Vol. 24, pp. 287-306.
- Sanders L., 2000, « La place de l'explication dans l'analyse spatiale. », *Géopoint 2000*, « L'explication en géographie », Avignon, 29-30 Mai 2000, Groupe Dupont, pp. 19-30.
- Sanders L. (dir.), 2001, *Modèles en analyse spatiale*, Hermès, Lavoisier, 333p.
- Sanders L., 2007a, « Agent Models in Urban Geography », in Amblard F., Phan D., *Agent Based Modelling and Simulations in the Human and Social Sciences*, Oxford, The Bardwell Press, pp. 174-191.
- Sanders L., Favaro J-M., Glisse B., Mathian H., Pumain D., 2007b, « Intelligence artificielle et agents collectifs : le modèle EUROSIM », *Cybergeo : European Journal of Geography*, Systèmes, Modélisation, Géostatistiques, Document 392, <http://cybergeo.revues.org/8962>.
- Sanders L., 2012, « Regards scientifiques croisés sur la hiérarchie des systèmes de peuplement : de l'empirie aux systèmes complexes », *Région et Développement*, Vol. 36, pp. 127-146
- Sanders L., 2013, « Trois décennies de modélisation des systèmes de villes : sources d'inspiration, concepts, formalisations », *Revue d'Economie Régionale & Urbaine (RERU)*, No. 5, pp. 833-856.
- Saouchkine You. G., 1973, *Ekonomitcheskaïa geografiya: istoriya, teoriya, metody, praktika*, Moskva, Mousl'.
- Sapir J., 1992, *Feu le système soviétique*, Paris, La Découverte, coll. Essais, 190p.
- Sapir J., 1997, « L'économie soviétique : origine, développement, fonctionnement », in Sapir J. (dir), *Retour sur l'U.R.S.S. Economie, société, histoire*, Paris, l'Harmattan, Coll. « Pays de l'Est », pp. 99-144.
- Sargent R. G., 2005, « Verification and validation of simulation models », *Winter Simulation Conference*, Orlando, Florida, pp. 130-143.
- Sassen S., 1991, *The global city : New York, London, Tokyo*. Princeton, Princeton University Press, 472p.
- Savel'ev D., 2007, « K voprosou ob opredelenii granits aglomeratsii gorodov ». www.frrio.ru/uploads_files/Saveliev.pdf

- Schaffar A., 2012, « Les Lois de Zipf et de Gibrat pour les Villes : une Introduction », *Région et Développement*, Vol. 36, pp. 5-10.
- Schmitt C., Pumain D., 2013, « Modélographie multi-agents de la simulation des interactions sociétés-environnement et de l'émergence des villes », *Cybergeo : European Journal of Geography*, Systèmes, Modélisation, Géostatistiques, document 643, <http://cybergeo.revues.org/25900>
- Schmitt C., 2014a, *Modélisation de la dynamique des systèmes de peuplement, de SimpopLocal à SimpopNet*, Thèse de doctorat à l'Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne.
- Schmitt C., Rey-Coyrehourcq S., Reuillon R., Pumain D., 2014b, « Half a billion simulations: Evolutionary algorithms and distributed computing for calibrating the SimpopLocal geographical model », *Submitted to Environment and Planning B*, <http://www.OpenMOLE.org/files/Schmitt2014.pdf>
- Segal D., 1976, « Are there returns to scale on city size ? », *Review of Economics Statistics*, Vol. 58, pp. 339-450.
- Seys F.-O., 2009, « Les dynamiques démographiques au Kazakhstan, un modèle spécifique depuis l'indépendance », *Espace Populations Sociétés*, Vol. 2, <http://eps.revues.org/3690>
- Shaw D. J. B., 1979, « Recreation and the Soviet City », in French R. A., Hamilton F. E. I. (eds.), *The Socialist City*, Londres, John Wiley & Sons, pp. 110-143.
- Shuper V., Valesyan A. L., 1999, « Spatial structure of urban settlement systems : stability versus changeability », *Cybergeo : European Journal of Geography*, Systèmes, Modélisation, Géostatistiques, document 88. <http://cybergeo.revues.org/2386>
- Simon H.A., 1955, « On a Class of Skew Distribution Functions », *Biometrika*, Vol. 42, No. ¾, pp. 425-440.
- Slepukhina I., 2014, *Russian cities at the crossroads: getting lost in transition or moving towards regeneration*, Doctoral dissertation, Politecnico di Milano, Italy.
- Snyder T., 1993, « Soviet Monopoly », in Williamson J. (ed.), *Economic Consequences of Soviet Disintegration*, Washington D.C., Institute for International Economics, pp. 176-243.
- Soo K. T., 2005, « Zipf's Law for cities : a cross-country investigation », *Regional Science and Urban Economics*, Vol. 35, No. 3, pp. 239-263.
- Spulber D. F., 2007, *Global competitive strategy*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Stanilov K., 2007, *The post-socialist city. Urban form and space transformations in Central and Eastern Europe after socialism*, Springer, Cincinnati, GeoJournal library, Vol. 92, 496p.
- Starr F., 1977, « L'urbanisme utopique pendant la révolution culturelle soviétique », *Les Annales*, No. 1, pp. 87-105.
- Steck J.-F., 2006, « Qu'est-ce que la transition urbaine? Croissance urbaine, croissance des villes, croissance des besoins à travers l'exemple africain », *Revue d'économie financière*, Vol. 86, pp. 267-283.

- Steinführer A., Haase A., 2007, « Demographic change as a future challenge for cities in East Central Europe. », *Geografiska Annaler: Series B, Human Geography*, Vol. 89, No. 2, pp. 183-195.
- Sveikauskas L. A., 1975, « The productivity of cities », *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 89, pp. 393-414.
- Svetlichny B., 1959, « Les villes de l'avenir » in Roncayolo M., Paquot T., 1992, *Villes et civilisation urbaine, XVIIIe-XXe siècle*, Larousse, Coll. « Textes essentiels », pp. 551-559.
- Stuart R. C., Gregory P. R., 1977, « A model of Soviet rural-urban migration », *Economic development and cultural change*, Vol. 26, No. 1, pp 81-92.
- Swerts E., Pumain D., 2010 « Peut-on estimer la population des villes chinoises à partir de leur surface bâtie ? », *Cybergeo : European Journal of Geography*, Systèmes, Modélisation, Géostatistiques, article 508. <http://cybergeo.revues.org/23319>
- Swerts E., 2013a, *Les systèmes de villes en Inde et en Chine*, Thèse de doctorat à l'Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne.
- Swerts E., Pumain D., 2013b, « Approche statistique de la cohésion territoriale : le système de villes en Inde. », *L'Espace géographique*, Vol. 42, No. 1, pp. 77-92.
- Sýkora L., Bouzarovski S., 2012, « Multiple Transformations Conceptualising the Post-communist Urban Transition. », *Urban Studies*, Vol. 49, No. 1, pp. 43-60.
- Szmaragd C., Leckie G., 2011, « Module 5 : Introduction to multilevel modelling », *R Practical* <http://www.bristol.ac.uk/cmm/learning/module-samples/5-r-sample.pdf>
- Talatchian M., 1999, *Moscou et les villes nouvelles de sa région, évaluation comparative avec l'agglomération parisienne*, L'Harmattan, Coll. « Villes et entreprises », 217p.
- Tammaru T., 2001, « Suburban growth and suburbanisation under central planning : the case of Soviet Estonia », *Urban Studies*, Vol. 38, No. 8, pp. 1341-1357.
- Taylor P. J., 1977, *Quantitative methods*, Geography Wavelands Press.
- Taylor P. J., Derruder B., Saey P., Witlox F. (eds), 2007, *Cities in Globalization*, Ghent, Routledge, Coll. Questioning Cities, 330p.
- Teitelbaum M. S., 1975, « Relevance of demographic transition theory for developing countries », *Science*, Vol. 188, No. 4187, pp. 420-425.
- Teurtrie D., 2009, « Les frontières russes entre effets d'héritages et nouvelles polarités », *Géoconfluences*, Dossier « La Russie, des territoires en recomposition ». <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/doc/etpays/Russie/RussieScient4.htm>
- Thévenin T., Schwartz R., Sapet L., 2013, « Mapping the Distortions in Time and Space: The French Railway Network 1830 1930. », *Historical Methods: A Journal of Quantitative and Interdisciplinary History*, Vol. 46, No. 3, pp. 134-143.
- Thiele J. C., Kurth W., Grimm V., 2014, « Facilitating Parameter Estimation and Sensitivity Analysis of Agent-Based Models: A Cookbook Using NetLogo and "R" », *Journal of Artificial Societies and Social Simulation (JASSS)*, Vol. 17, No. 3. <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/17/3/11.html>
- Thomas E. N., 1961, « Toward an expanded central-place model », *Geographical review*, Vol. 51, No. 3, pp. 400-411.

- Tobler W., 1975, *Spatial interaction patterns*, IIASA.
- Treivish A., 2003, « Tsentr, raïon i strana. Inertsia i novatsii v razvitii rossiïskogo kroupnogorodskogo arhipelaga », in Eckert D., Kolossov V. A., *Krupnie Goroda i vyzovy Globalizatsii*, Moskva, Institut Geog. RAN.
- Trutnev E. K., Valletta W., Yakoubov M. O., 2004, « Progress and Problems in reforming urban land use and development regulation in the Russian Federation », *Urban Studies*, Vol. 41, No. 7, pp. 1269-1282.
- Turok I., Mykhnenko V., 2007, « The trajectories of European cities 1960-2005 », *Cities*, Vol. 24, No. 3, pp. 165-182.
- Tyjnov A. V., Molchanov I. I. (eds.), 1976, « Obzornaïa karta ougol'nykh basseïnov i mestorojdenii SSSR (s oukazaniem marotchnogo sostava ougleï) », List 1, Tom 12 of *Geologiya mestorozhdeniy uglya i goryuchikh slantsev SSSR*, masshtaba 1:7500000, Moscow, Nedra, 259p.
- Ullman E. L., 1954, « Geography as spatial interaction », reprinted in 1980 in Ullman E.L., Boyce R.R. (eds), *Geography as spatial interaction*, Seattle, University of Washington Press, pp. 13-27.
- United Nations, 2012, *World Urbanization Prospects, the 2011 Revision: Highlights*, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, New York, 50p. http://esa.un.org/unpd/wup/pdf/WUP2011_Highlights.pdf
- Vacchiani-Marcuzzo C., 2005, *Mondialisation et système de villes : les entreprises étrangères et l'évolution des agglomérations sud-africaines*, Thèse de doctorat à l'Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne.
- Vaguet Y., 2007, « Les hydrocarbures, les villes et les hommes dans le nord-ouest sibérien. », *Actes du Festival International de Saint-Dié des Vosges*, http://archives-fig-st-die.cndp.fr/actes/actes_2007/vaguet/hydrocarbures_siberiens.pdf
- Vallée J., 2009, « Les disparités spatiales de santé en ville : l'exemple de Vientiane (Laos) », *Cybergeo : European Journal of Geography*, Espace, Société, Territoire, document 477, <http://cybergeo.revues.org/22775>
- Van Regemorter J.-L., 1997, « Vie politique et histoire politique », in Sapir J. (dir), *Retour sur l'U.R.S.S.. Economie, société, histoire*, Paris, l'Harmattan, Coll. « Pays de l'Est », pp. 45-58.
- Vardomskii L. B., 2003, « Krupnieishie goroda v reguional'nom razvitii Rossii. » in Eckert D., Kolossov V. A., *Krupnie Goroda i vyzovy Globalizatsii*, Institut Geog. RAN, Moscou, pp. 81-86.
- Varenne F., 2001, « What does a computer simulation prove ? The case of plant modeling at CIRAD (France) », in Giambiasi N., Frydman C., (ed.), *Simulation in Industry, Proceedings of the 13th European Simulation Symposium*, Marseille, France, October 18-20th, Ghent, pp. 549-554.
- Varenne F., 2010, « Les simulations computationnelles dans les sciences sociales. », *Nouvelles Perspectives en Sciences Sociales (NPSS)*, Vol. 5, No. 2, pp. 17-49.
- Varenne F., 2014, « La sous-détermination des modèles explicatifs par les lois empiriques : un problème récurrent mais fécond en géographie de modélisation. », *SHESL*, Vol. 87, pp. 1-24.

- Vendina O., 2007, « Système urbain : enjeux de la modernisation », in Kolossov V. (dir.), *La Russie, Espaces, villes, réseaux*, Paris, Editions du temps, Coll. « Questions de géographie », pp. 131-152.
- Verlet B., 1965, « Villes d'aujourd'hui en U.R.S.S. », *Revue de Géographie de Lyon*, Vol. 4, No. 2, pp. 159-173.
- Vichnevski A., 1995, « L'Asie centrale post-soviétique : entre le colonialisme et la modernité », *Revue d'Etudes comparatives Est-Ouest*, Vol. 26, No. 4, pp. 101-123.
- Vichnevski A. G., 2000, *La faucille et le rouble*, Paris, Gallimard.
- Vichnevski A. G., 2009, « Les enjeux de la crise démographique en Russie », *Russie.Nei.Vision*, No. 41, Ifri, 27p.
http://www.ifri.org/files/Russie/IFRI_demographie_Vichnevski_FR_juin_09.pdf
- Vlasova N. You., 2003, « Novye i starye funktsii krupnieichikh gorodov Rossii, evolutsiya ili revoliutsiya ? » in Eckert D., Kolossov V. A., *Krupnie Goroda i vyzovy Globalizatsii*, Institut Geog. RAN, Moscou, pp. 87-103.
- Werker C., Brenner T., 2004, « Empirical calibration of simulation models », *Papers on Economics and Evolution*, No. 0410, Max Planck Institute of Economics, <http://www.econstor.eu/bitstream/10419/88244/1/2004-10.pdf>
- Werth N., 2001, *Histoire de l'Union soviétique*, Paris, Puf, coll. Thémis Histoire, 5^e éd., 586p.
- Windrum P., Fagiolo G., Moneta A., 2007, « Empirical validation of agent-based models : alternatives and prospects », *Journal of Artificial Societies and Social Simulation (JASSS)*, Vol. 10, No. 2., <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/10/2/8.html>
- Witlox F., Derruder B., 2007, « Airline passenger flows through cities », in Taylor P. J., Derruder B., Saey P., Witlox F. (eds), *Cities in Globalization*, Ghent, Routledge, Coll. Questioning Cities, pp. 37-51.
- Wolff M., Fol S., Roth H., Cunningham-Sabot E., 2013, « Shrinking Cities, villes en décroissance : une mesure du phénomène en France », *Cybergeog : European Journal of Geography*, document 661. <http://cybergeog.revues.org/26136>
- Your E. S., 2003, « Analiz izmenenii v ierarkhii gorodov Rossii s ispol'zovaniem pravila "rang-razmer" » in Eckert D., Kolossov V. A., *Krupnie Goroda i vyzovy Globalizatsii*, Institut Geog. RAN, Moscou, pp. 72-80.
- Zelinsky W., 1971, « The hypothesis of mobility transition », *Geographical review*, Vol. 61, No. 2, pp. 219-249.
- Zemlyansky D. You., 2009, « Biznes-sreda kak novaia forma samoorganizatsii ekonomiki gorodov », *Regional'nye issledovaniya*, Vol. 24, No. 3, pp. 3-14.
[http://www.shu.ru/pages/mag/RI_2009_03\(24\).pdf.pdf](http://www.shu.ru/pages/mag/RI_2009_03(24).pdf.pdf)
- Zemlyansky D. You., 2011, « Single-Industry towns in Russia », *Regional research of Russia*, Vol. 1, No. 1, pp. 99-102.
- Zimin D., 2004, « Macro-level reforms and regional change in Russia », in Zimin D., *Northwest Russia : current trends and future prospects*, Report for the Karelian Institute, No. 13, pp. 10-32
- Zipf G.K., 1949, *Human behavior and the principle of least effort : an introduction to human ecology*, Cambridge (Mass.), Addison-Wesley Press.

- Zoubarevitch N. V., 2003, «Vozdeïstvie globalizatsii na razvitie reguionov Rossii : rezul'taty i perspektivy » in Eckert D., Kolossov V. A., *Krupnie Goroda i vyzovy Globalizatsii* , Institut Geog. RAN, Moscou, pp. 37-53.
- Zu X., 2009, «Productivity and agglomeration economies in Chinese cities », *Comparative economic studies*, Vol. 51, No. 3, pp 284-301.

Annexes

Table des annexes

Annexe 1.1. Comparaison de la population des agglomérations entre la base DARIUS et la base Géopolis de 1960 à 1990	455
Annexe 1.2. Comparaison de la population des agglomérations entre la base DARIUS avec les autres bases de données entre 1970 et 2000	458
Annexe 3.1. Informations concernant la constitution et l'accès à la base de données ORBIS	462
Annexe 4.1. Écarts à l'hypothèse d'indépendance entre les types de trajectoires de trois périodes et l'attribut urbaine considéré	463
Annexe 4.2. Étude de normalité des résidus des 20 modèles de régression multiple.	468
Annexe 4.3. Distribution des résidus de niveau 1 dans les 20 modèles multiniveaux	476
Annexe 5.1. <i>Workflow</i> permettant de calibrer MARIUS avec OpenMOLE. L'exemple du modèle MARIUS 2.2.1	479

Annexe 1.1. Comparaison de la population des agglomérations entre la base DARIUS et la base Géopolis de 1960 à 1990

Nom de l'agglomération	Pays	Nombre d'unités agglomérées	Rapport 1960*	Rapport 1970*	Rapport 1980*	Rapport 1990*
Krasnotourinsk	Russie	3	198.1	203.4	203.3	198.6
Piatigorsk	Russie	8	121.9	128.3	128.0	127.4
Namangan	Ouzbékistan	6			106.1	126.3
Mitchourinsk	Russie	1	97.7	100.2	113.7	114.1
Kramatorsk	Ukraine	4	119.4	117.0	115.9	114.1
Saransk	Russie	2	119.5	118.2	113.1	111.4
Fergana	Ouzbékistan	5			98.9	110.4
Samarkand	Ouzbékistan	5			133.2	109.0
Novotcherkassk	Russie	1	97.7	106.6	106.9	107.0
Novomoskovsk	Russie	4	109.3	108.6	107.5	106.9
Toula	Russie	7	93.4	105.6	108.7	106.6
Léninsk-Kouznetskii	Russie	5	98.2	91.1	91.8	106.6
Vladivostok	Russie	3	103.6	102.5	102.0	104.9
Naltchik	Russie	2	109.5	112.8	104.9	104.7
Kazan	Russie	4	99.6	104.4	103.9	103.9
Saint-Pétersbourg	Russie	1	102.7	105.5	103.5	103.2
Chisinau	Moldavie	7	95.6	100.1	92.2	103.0
Voronej	Russie	5	98.9	102.6	101.9	102.9
Nukus	Ouzbékistan	4			95.5	102.0
Rīga	Lettonie	3	97.8	100.0	100.7	101.9
Chakhty	Russie	2	107.8	102.4	101.5	101.8
Turkmenabat	Turkmenistan	2			98.7	101.5
Erevan	Arménie	4	101.9	101.3	99.4	101.2
Novossibirsk	Russie	6	97.4	100.0	99.5	101.0
Odessa	Ukraine	3	98.0	100.0	99.3	100.9
Moscou	Russie	34	98.5	101.9	101.1	100.8
Mourom	Russie	2	102.1	99.2	98.6	100.4
Barnaoul	Russie	2	98.7	100.4	99.4	100.4
Lougansk	Ukraine	3	100.9	102.2	100.7	100.3
Syzran	Russie	2	119.1	100.1	100.6	100.2
Briansk	Russie	2	101.1	104.0	100.0	100.1
Lipetsk	Russie	2	102.5	99.9	97.8	100.1
Mejdouretchensk	Russie	2	97.4	99.9	98.4	100.0
Oukhta	Russie	2	94.5	99.5	97.9	99.9
Kineshma	Russie	3	113.1	99.8	100.2	99.9
Lviv	Ukraine	3	98.8	101.0	99.2	99.9
Kirov	Russie	1	99.4	100.0	99.5	99.9
Novokouznetsk	Russie	5	100.1	100.4	99.6	99.9
Astrakhan	Russie	1	94.2	97.5	99.1	99.8
Togliatti	Russie	2	93.9	101.6	99.0	99.8

Krasnoïarsk	Russie	4	96.5	97.7	98.0	99.8
Dniepropetrovsk	Ukraine	5	99.1	101.6	98.9	99.7
Makhatchkala	Russie	7	98.2	104.3	101.5	99.7
Orsk	Russie	2	97.3	99.9	98.9	99.7
Stoufino	Russie	2	110.6	99.8	99.8	99.7
Bishkek	Kirghizstan	4			101.2	99.6
Ivanovo	Russie	2	97.9	100.0	99.7	99.6
Tbilisi	Géorgie	3	98.7	102.0	98.8	99.6
Pervouralsk	Russie	2	98.2	99.8	99.0	99.5
Miass	Russie	2	98.4	99.9	98.5	99.5
Aleksandrov	Russie	3	98.4	100.0	99.8	99.4
Arkhanguelsk	Russie	2	95.6	91.2	99.3	99.4
Rostov-sur-le-Don	Russie	3	99.3	100.0	99.2	99.4
Saratov	Russie	3	98.1	99.9	99.3	99.4
Vorkouta	Russie	3	51.4	86.5	93.7	99.3
Kamyshin	Russie	3	124.9	99.9	98.9	99.2
Orsha	Belarus	2	104.5	100.0	98.6	99.0
Drogobitch	Ukraine	4	97.0	99.8	97.4	98.9
Volgodonsk	Russie	2	150.6	100.2	94.4	98.9
Koustaisi	Géorgie	2	99.1	119.9	98.1	98.9
Vladikavkaz	Russie	2	96.1	99.9	99.0	98.9
Tambov	Russie	2	97.4	100.0	98.7	98.9
Salavat	Russie	2	95.8	100.1	98.6	98.9
Apatity	Russie	2	91.4	100.1	96.7	98.9
Pavlograd	Ukraine	2	73.9	100.3	96.7	98.8
Norilsk	Russie	1	94.7	99.7	98.6	98.7
Irkoutsk	Russie	2	97.9	100.0	98.7	98.7
Ekatérinbourg	Russie	5	98.9	99.7	98.0	98.6
Almalyk	Ouzbékistan	2			98.2	98.3
Abakan	Russie	4	105.5	99.7	98.0	98.2
Iochkar-Ola	Russie	2	95.6	102.1	97.7	98.2
Derbent	Russie	2	110.4	99.4	97.9	98.1
Orel	Russie	2	98.1	101.3	101.4	98.1
Sevastopol	Ukraine	2	98.7	104.4	98.2	98.0
Almaty	Kazakhstan	3	97.3	100.0	97.5	97.9
Tcheboksary	Russie	2	92.4	100.0	97.0	97.9
Karagandy	Kazakhstan	5	93.6	98.7	96.7	97.8
Kharkiv	Ukraine	7	95.9	97.3	97.0	97.7
Donetsk	Ukraine	7	97.3	98.4	97.4	97.7
Kemerovo	Russie	2			101.8	97.7
Samara	Russie	5	97.4	98.4	98.4	97.7
Polatsk	Bélarus	2	96.2	100.3	97.4	97.4
Mazyr	Belarus	2	96.2	99.6	96.3	97.4
Doushanbe	Tadjikistan	3			95.2	97.4
Kyzylorda	Kazakhstan	2	98.8	100.1	99.1	97.2
Kostanai	Kazakhstan	2	101.2	99.5	96.9	97.2
Kaunas	Lithuanie	2	95.9	100.2	98.4	96.9
Tiraspol	Moldavie	2	95.3	99.7	93.9	96.8

Navoi	Ouzbékistan	2			83.4	96.8
Nijni-Novgorod	Russie	6	94.6	96.8	96.1	96.8
Mourmansk	Russie	4	105.1	98.3	96.0	96.7
Atyrau/guriev	Kazakhstan	2	101.0	99.8	99.1	96.6
Obninsk	Russie	2	102.8	100.1	97.9	96.2
Krasnodar	Russie	3	96.3	97.6	96.4	96.0
Torez	Ukraine	4	95.7	94.0	94.7	95.3
Karshi	Ouzbékistan	2			90.9	95.3
Oral	Kazakhstan	2	101.9	100.1	97.6	95.0
Kherson	Ukraine	2	89.3	97.9	96.2	94.7
Boukhara	Ouzbékistan	3			94.8	94.5
Groznyi	Russie	1	97.6	95.6	93.8	93.6
Tioumen	Russie	1	94.5	94.9	92.3	93.6
Taldykorgai	Kazakhstan	2	94.3	99.5	97.7	93.4
Ashgabat	Turkmenistan	2			90.7	92.9
Jezkazgan	Kazakhstan	2	56.3	73.4	87.0	91.6
Kiev	Ukraine	4	91.5	92.7	90.5	91.0
Tchéliabinsk	Russie	5	108.9	99.4	93.4	90.6
Lisitchansk	Ukraine	4	84.4	88.5	88.6	89.4
Bakou	Azerbaïdjan	25	88.3	91.9	88.1	89.2
Gorlivka	Ukraine	7	97.5	95.3	87.7	84.6
Krasnoarmeisk	Ukraine	2	86.4	82.4	81.8	84.5
Volgograd	Russie	6	68.9	77.0	79.2	80.5
Khoutchand	Tadjikistan	3			79.9	80.4
Yalta	Ukraine	3	135.0	87.7	75.9	76.5
Krasnii Loutch	Ukraine	3	71.5	70.6	66.9	64.8
Nova Kakhovka	Ukraine	2	38.2	47.3	47.6	52.0
Iaroslavl	Russie	1	36.6	39.9	41.9	45.1
Moyenne		3.5	98.5	99.4	97.9	98.7
Moyenne Russie		3.4	101.0	101.2	100.4	100.9

Rapport 1960 = Population de l'agglomération DARIUS en 1959 / population Géopolis en 1960 * 100.

Rapport 1970 = DARIUS 1970 / Geopolis 1970 * 100

Rapport 1980 = DARIUS 1979 / Geopolis 1980 * 100.

Rapport 1990 = DARIUS 1989 / Geopolis 1990 * 100

En gris: les villes pour lesquelles le rapport est compris dans un intervalle de 5% de différence.

Source : DARIUS, 2014. (Moriconi-Ebrard, 1994)

Annexe 1.2. Comparaison de la population des agglomérations entre la base DARIUS avec les autres bases de données entre 1970 et 2000.

1					
Moscou	1959-1960	1970	1979-1980	1989-1990	1997-2002
Geopolis, 1993	7297	8889	10368	11530	
Rowland, 1998		9555	11113	12408	12047
Polian et al., 2001	8258	10630	12602	13805	13617
DARIUS, 2014	7186	9061	10481	11625	13029
Recensements	5785	6942	7831	8688	10383
2					
Saint-Pétersbourg	1959-1960	1970	1979-1980	1989-1990	1997-2002
Geopolis, 1993	3181	3777	4415	4850	
Rowland, 1998		4161	4795	5322	5105
Polian et al., 2001	3651	4422	5072	5557	5333
DARIUS, 2014	3267	3984	4568	5005	4661
Recensements	2985	3513	4073	4460	4661
3					
Kiev	1959-1960	1970	1979-1980	1989-1990	1997-2002
Geopolis, 1993	1219	1792	2419	2926	
Rowland, 1998		1991	2617	3259	3360
Polian et al., 2001					
DARIUS, 2014	1116	1661	2189	2664	2688
Recensements	1110	1632	2144	2603	2617
4					
Tachkent	1959-1960	1970	1979-1980	1989-1990	1997-2002
Geopolis, 1993					
Rowland, 1998		1762	2243	2730	
Polian et al., 2001					
DARIUS, 2014	1038	1579	2015	2438	2526
Recensements	912	1385	1780	2072	2149
5					
Bakou	1959-1960	1970	1979-1980	1989-1990	1997-2002
Geopolis, 1993	987	1245	1615	1789	
Rowland, 1998		1390	1763	2035	
Polian et al., 2001					
DARIUS, 2014	872	1144	1423	1597	1758
Recensements	643	852	1022	1150	1160
6					
Minsk	1959-1960	1970	1979-1980	1989-1990	1997-2002
Geopolis, 1993					
Rowland, 1998		1064	1532	1967	2100
Polian et al., 2001					
DARIUS, 2014	516	917	1276	1612	1717
Recensements	516	917	1276	1612	1717
7					
Nijni-Novgorod	1959-1960	1970	1979-1980	1989-1990	1997-2002
Geopolis, 1993	1328	1647	1899	2020	
Rowland, 1998		1772	2021	2172	2106
Polian et al., 2001					
DARIUS, 2014	1256	1595	1825	1955	1795
Recensements	942	1170	1345	1438	1311
8					
Novossibirsk	1959-1960	1970	1979-1980	1989-1990	1997-2002
Geopolis, 1993					
Rowland, 1998		1299	1485	1691	1634

Polian et al., 2001					
DARIUS, 2014	973	1299	1491	1661	1628
Recensements	895	1179	1334	1465	1426
9					
Kharkov	1959-1960	1970	1979-1980	1989-1990	1997-2002
Geopolis, 1993	1078	1354	1591	1750	
Rowland, 1998		1628	1966	2225	2213
Polian et al., 2001					
DARIUS, 2014	1034	1318	1543	1710	1564
Recensements	954	1223	1444	1610	1469
10					
Ekatérinbourg	1959-1960	1970	1979-1980	1989-1990	1997-2002
Geopolis, 1993					
Rowland, 1998		1567	1801	2032	2042
Polian et al., 2001	1157	1515	1734	1936	1857
DARIUS, 2014	864	1131	1327	1498	1433
Recensements	779	1025	1211	1365	1294
11					
Donetsk, Ukraine	1959-1960	1970	1979-1980	1989-1990	1997-2002
Geopolis, 1993	1268	1486	1664	1763	
Rowland, 1998		3039	3256	3493	3435
Polian et al., 2001					
DARIUS, 2014	1234	1462	1621	1722	1569
Recensements	705	879	1021	1109	1013
12					
Almaty	1959-1960	1970	1979-1980	1989-1990	1997-2002
Geopolis, 1993	477	746	958	1190	
Rowland, 1998			1024	1322	1365
Polian et al., 2001					
DARIUS, 2014	464	746	934	1166	1196
Recensements	458	730	910	1128	1157
13					
Volgograd	1959-1960	1970	1979-1980	1989-1990	1997-2002
Geopolis, 1993					
Rowland, 1998			1192	1306	1339
Polian et al., 2001	707	1039	1237	1372	1408
DARIUS, 2014	689	1001	1187	1324	1397
Recensements	598	826	938	1009	1027
14					
Dniepropetrovsk	1959-1960	1970	1979-1980	1989-1990	1997-2002
Geopolis, 1993	964	1203	1439	1582	
Rowland, 1998		1992	2412	2706	2700
Polian et al., 2001					
DARIUS, 2014	955	1223	1423	1578	1431
Recensements	703	917	1080	1192	1075
15					
Tchéliabinsk	1959-1960	1970	1979-1980	1989-1990	1997-2002
Geopolis, 1993					
Rowland, 1998		1173	1316	1410	1399
Polian et al., 2001					
DARIUS, 2014	952	1127	1265	1377	1304
Recensements	697	890	1046	1160	1096
16					

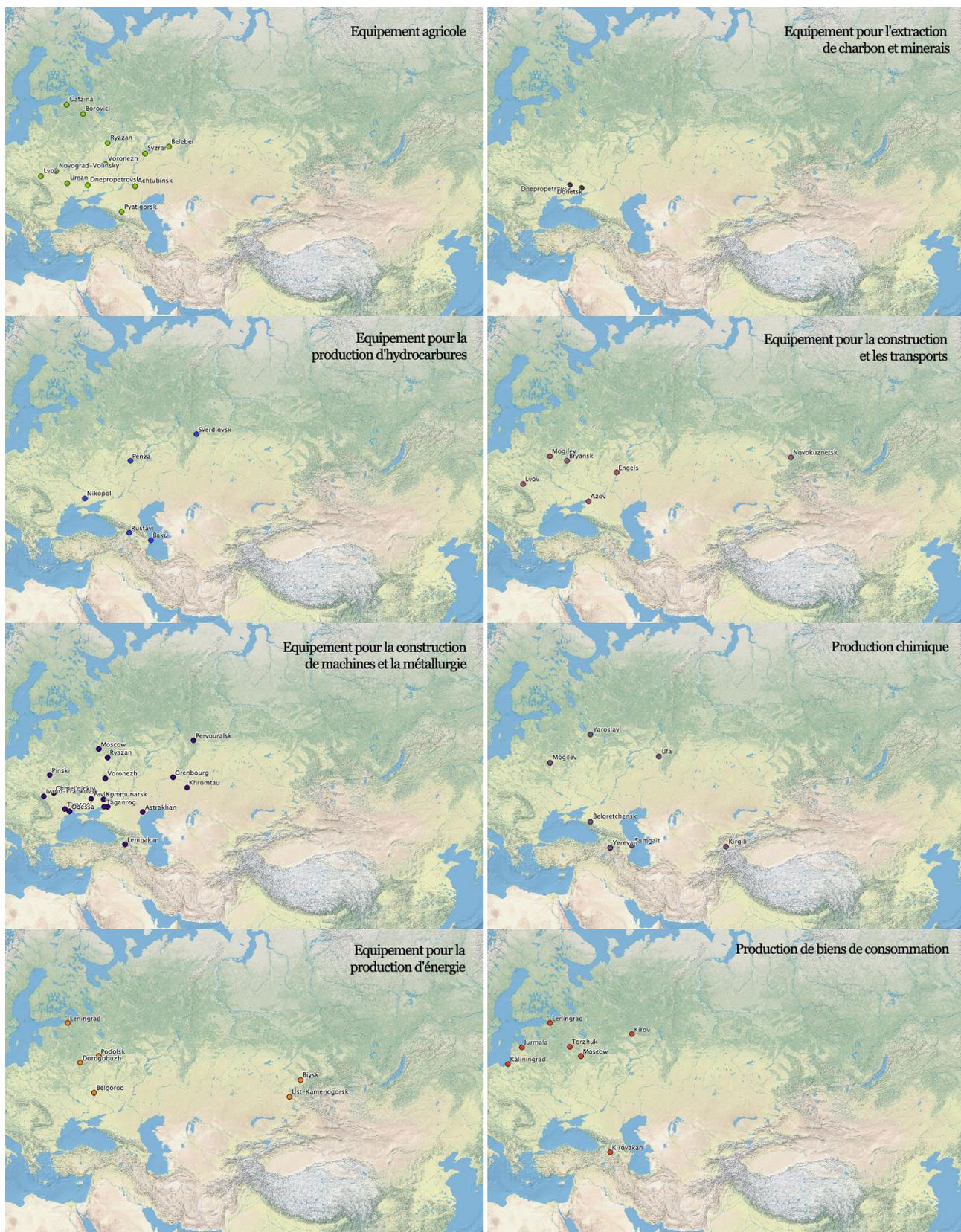
Samara	1959-1960	1970	1979-1980	1989-1990	1997-2002
Geopolis, 1993	926	1207	1390	1442	
Rowland, 1998		1640	2083	2247	2242
Polian et al., 2001	1147	1663	2097	2279	2272
DARIUS, 2014	902	1188	1367	1408	1324
Recensements	806	1045	1216	1255	1158
17					
Kazan	1959-1960	1970	1979-1980	1989-1990	1997-2002
Geopolis, 1993	779	964	1106	1220	
Rowland, 1998		1007	1149	1268	1282
Polian et al., 2001	783	1016	1167	1288	1302
DARIUS, 2014	776	1007	1149	1268	1281
Recensements	667	869	993	1094	1105
18					
Tbilissi	1959-1960	1970	1979-1980	1989-1990	1997-2002
Geopolis, 1993	783	987	1217	1434	
Rowland, 1998		1094	1334	1638	
Polian et al., 2001					
DARIUS, 2014	773	1007	1202	1428	1197
Recensements	703	901	1066	1260	1073
19					
Rostov-sur-le-Dor	1959-1960	1970	1979-1980	1989-1990	1997-2002
Geopolis, 1993	685	896	1063	1152	
Rowland, 1998		1741	1971	2107	2124
Polian et al., 2001	1388	1744	1984	2123	2105
DARIUS, 2014	680	896	1054	1145	1214
Recensements	600	789	934	1019	1068
20					
Erevan	1959-1960	1970	1979-1980	1989-1990	1997-2002
Geopolis, 1993	519	808	1121	1327	
Rowland, 1998		1029	1474	1743	
Polian et al., 2001					
DARIUS, 2014	529	819	1114	1343	1226
Recensements	509	767	1019	1202	1103

Dates et périmètres donnés par les auteurs :

Moriconi-Ebrard, 1994.	1960, 1970, 1980, 1990.	Pour les États de l'ex-URSS.
Rowland, 1998.	1970, 1979, 1989, 1997.	Pour les États de l'ex-URSS.
Polyan <i>et al.</i> , 2001.	1959, 1970, 1979, 1989, 1999.	Pour la Russie occidentale.
DARIUS, 2014.	1959, 1970, 1979, 1989, 2002.	Pour les États de l'ex-URSS.

Sources : (Moriconi-Ebrard, 1994 ; Rowland, 1998, Polyan *et al.*, 2001), DARIUS 2014

Annexe 2.1. Localisation de 130 entreprises monopolistiques (75% de la production d'URSS) dans 8 secteurs d'activité. D'après (Snyder, 1993).



Annexe 3.1. Informations concernant la constitution et l'accès à la base de données ORBIS.

La base de données ORBIS, dont nous avons bénéficié gracieusement de l'extraction 2010 et 2013 pour les pays de l'Est européen, recense les liens de filiations successives - à plus de 40% - des 3000 plus grandes firmes multinationales dans le monde. Construite à partir d'une base de données achetée au Bureau van Dijk, et augmentée par le concours de nombreux chercheurs¹ autour de C. Rozenblat, elle représente environ 700 000 liens dont l'origine, la destination et souvent l'activité sont renseignées.

À la suite des travaux de C. Rozenblat (2004) sur les tissus d'entreprises, cette base est utilisée après agrégation des entreprises au sein d'unités urbaines les plus cohérentes possibles afin de servir de *proxy* à l'étude des interactions interurbaines. En effet, la possession d'une filiale dans une ville par une firme d'une autre ville implique des échanges de capitaux, d'informations, de biens et services et/ou des mobilités humaines, et suggère un fonctionnement lié des deux villes au-delà de cette association financière particulière.

Ainsi, des premiers travaux utilisant cette base de données ont permis de rendre compte des réseaux de villes associés à un secteur économique (l'agroalimentaire et l'automobile : Bohan, Gautier, 2013) ou à un espace géographique (Valence, la France ou l'espace post-communiste : Di Lello, 2011 ; Di Lello, Rozenblat, 2014)

¹ C. Rozenblat, B. Gautier, C. Bohan, A. Bellwald, F. Zaidi et O. Di Lello à Lausanne, et D. Pumain en sont les principaux contributeurs. À ces personnes s'ajoutent, à notre connaissance, les contributions de C. Jayet sur la Russie et l'Afrique du Sud, C. Cottineau sur la Russie, J. Salom sur l'Espagne, O. Finance sur la France, etc.

Annexe 4.1. Écarts à l'hypothèse d'indépendance entre les types de trajectoires de trois périodes et l'attribut urbaine considéré.

Nous présentons pour chaque variable correspondant à un facteur de croissance potentiel le tableau des écarts à l'hypothèse d'indépendance.

De haut en bas : les types de trajectoires ordonnés selon l'ampleur de la croissance (la classe A est celle dans laquelle les villes croissent en moyenne le plus fortement).

La surface du cercle est proportionnelle au résidu du test du χ^2 . En rouge sont reportés les résidus positifs, en noir : les résidus négatifs.

- Statut de capitale (1 si la ville est capitale, 0 sinon) :

	1856-1959	1959-1989	1989-2010	
	0 1	0 1	0 1	
A				
B				
C				
D				
E				
		0 1		
B				
C				
D				
E				
F				
G				
			0 1	
B				
C				
D				
E				
F				
G				
H				

- Mono-industrie (1 si la ville est mono-industrielle, 0 sinon) :

1856-1959	1959-1989	1989-2010																																													
Non-significatif	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>0</th> <th>1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>B</td> <td style="text-align: center;">.</td> <td style="text-align: center;">.</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td style="text-align: center;">.</td> <td style="text-align: center;">○</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td style="text-align: center;">○</td> <td style="text-align: center;">○</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td style="text-align: center;">○</td> <td style="text-align: center;">○</td> </tr> <tr> <td>F</td> <td style="text-align: center;">.</td> <td style="text-align: center;">.</td> </tr> <tr> <td>G</td> <td style="text-align: center;">○</td> <td style="text-align: center;">○</td> </tr> </tbody> </table>		0	1	B	.	.	C	.	○	D	○	○	E	○	○	F	.	.	G	○	○	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>0</th> <th>1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>B</td> <td style="text-align: center;">.</td> <td style="text-align: center;">○</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td style="text-align: center;">.</td> <td style="text-align: center;">.</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td style="text-align: center;">○</td> <td style="text-align: center;">○</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td style="text-align: center;">.</td> <td style="text-align: center;">.</td> </tr> <tr> <td>F</td> <td style="text-align: center;">.</td> <td style="text-align: center;">.</td> </tr> <tr> <td>G</td> <td style="text-align: center;">○</td> <td style="text-align: center;">○</td> </tr> <tr> <td>H</td> <td style="text-align: center;">.</td> <td style="text-align: center;">○</td> </tr> </tbody> </table>		0	1	B	.	○	C	.	.	D	○	○	E	.	.	F	.	.	G	○	○	H	.	○
	0	1																																													
B	.	.																																													
C	.	○																																													
D	○	○																																													
E	○	○																																													
F	.	.																																													
G	○	○																																													
	0	1																																													
B	.	○																																													
C	.	.																																													
D	○	○																																													
E	.	.																																													
F	.	.																																													
G	○	○																																													
H	.	○																																													

- Accessibilité ferroviaire (1 si la ville est située à moins de 10 km d'un tronçon ferré, 0 sinon) :

1856-1959	1959-1989	1989-2010																								
Non-significatif	Non-significatif	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>0</th> <th>1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>B</td> <td style="text-align: center;">○</td> <td style="text-align: center;">○</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td style="text-align: center;">○</td> <td style="text-align: center;">.</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td style="text-align: center;">.</td> <td style="text-align: center;">.</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td style="text-align: center;">○</td> <td style="text-align: center;">○</td> </tr> <tr> <td>F</td> <td style="text-align: center;">○</td> <td style="text-align: center;">.</td> </tr> <tr> <td>G</td> <td style="text-align: center;">○</td> <td style="text-align: center;">○</td> </tr> <tr> <td>H</td> <td style="text-align: center;">○</td> <td style="text-align: center;">.</td> </tr> </tbody> </table>		0	1	B	○	○	C	○	.	D	.	.	E	○	○	F	○	.	G	○	○	H	○	.
	0	1																								
B	○	○																								
C	○	.																								
D	.	.																								
E	○	○																								
F	○	.																								
G	○	○																								
H	○	.																								

- Accessibilité aérienne (1 si la ville possède un aéroport, 0 sinon) :

1856-1959	1959-1989	1989-2010																																													
Absurde	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>0</th> <th>1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>B</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>D</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>E</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>F</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>G</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		0	1	B			C			D			E			F			G			<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>0</th> <th>1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>B</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>D</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>E</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>F</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>G</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>H</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		0	1	B			C			D			E			F			G			H		
	0	1																																													
B																																															
C																																															
D																																															
E																																															
F																																															
G																																															
	0	1																																													
B																																															
C																																															
D																																															
E																																															
F																																															
G																																															
H																																															

- Gisement de charbon (1 si la ville sur un bassin, 0 sinon) :

1856-1959	1959-1989	1989-2010																																													
Non-significatif	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>0</th> <th>1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>B</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>D</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>E</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>F</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>G</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		0	1	B			C			D			E			F			G			<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>0</th> <th>1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>B</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>D</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>E</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>F</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>G</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>H</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		0	1	B			C			D			E			F			G			H		
	0	1																																													
B																																															
C																																															
D																																															
E																																															
F																																															
G																																															
	0	1																																													
B																																															
C																																															
D																																															
E																																															
F																																															
G																																															
H																																															

- Gisement d'hydrocarbures (1 si la ville sur un bassin, 0 sinon) :

1856-1959	1959-1989	1989-2010																								
Non-significatif	Non-significatif	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>0</th> <th>1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>B</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>D</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>E</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>F</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>G</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>H</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		0	1	B			C			D			E			F			G			H		
	0	1																								
B																										
C																										
D																										
E																										
F																										
G																										
H																										

- Situation orientale (E sur la ville se situe à l'Est, O sinon) :

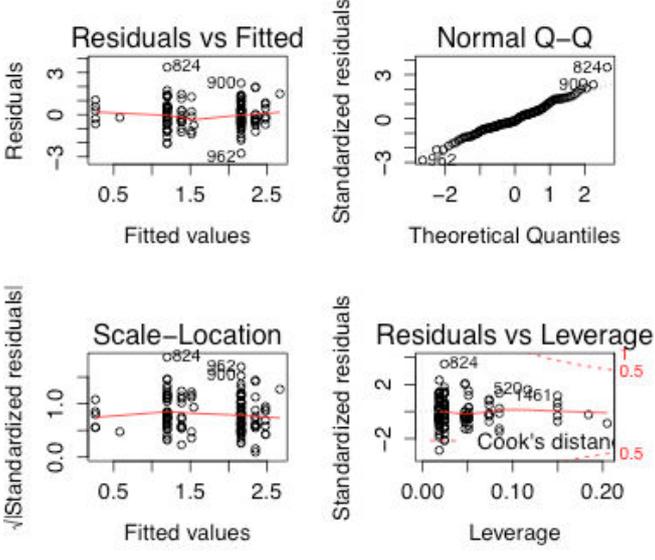
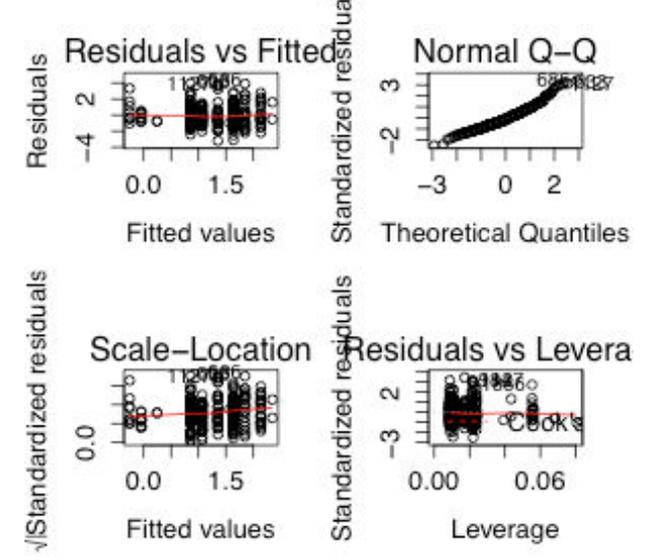
1856-1959	1959-1989	1989-2010																																													
Non-significatif	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>E</th> <th>O</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>B</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>D</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>E</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>F</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>G</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		E	O	B			C			D			E			F			G			<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>E</th> <th>O</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>B</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>D</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>E</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>F</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>G</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>H</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		E	O	B			C			D			E			F			G			H		
	E	O																																													
B																																															
C																																															
D																																															
E																																															
F																																															
G																																															
	E	O																																													
B																																															
C																																															
D																																															
E																																															
F																																															
G																																															
H																																															

- Situation méridionale (1 sur la ville se situe au Sud, 0 sinon) :

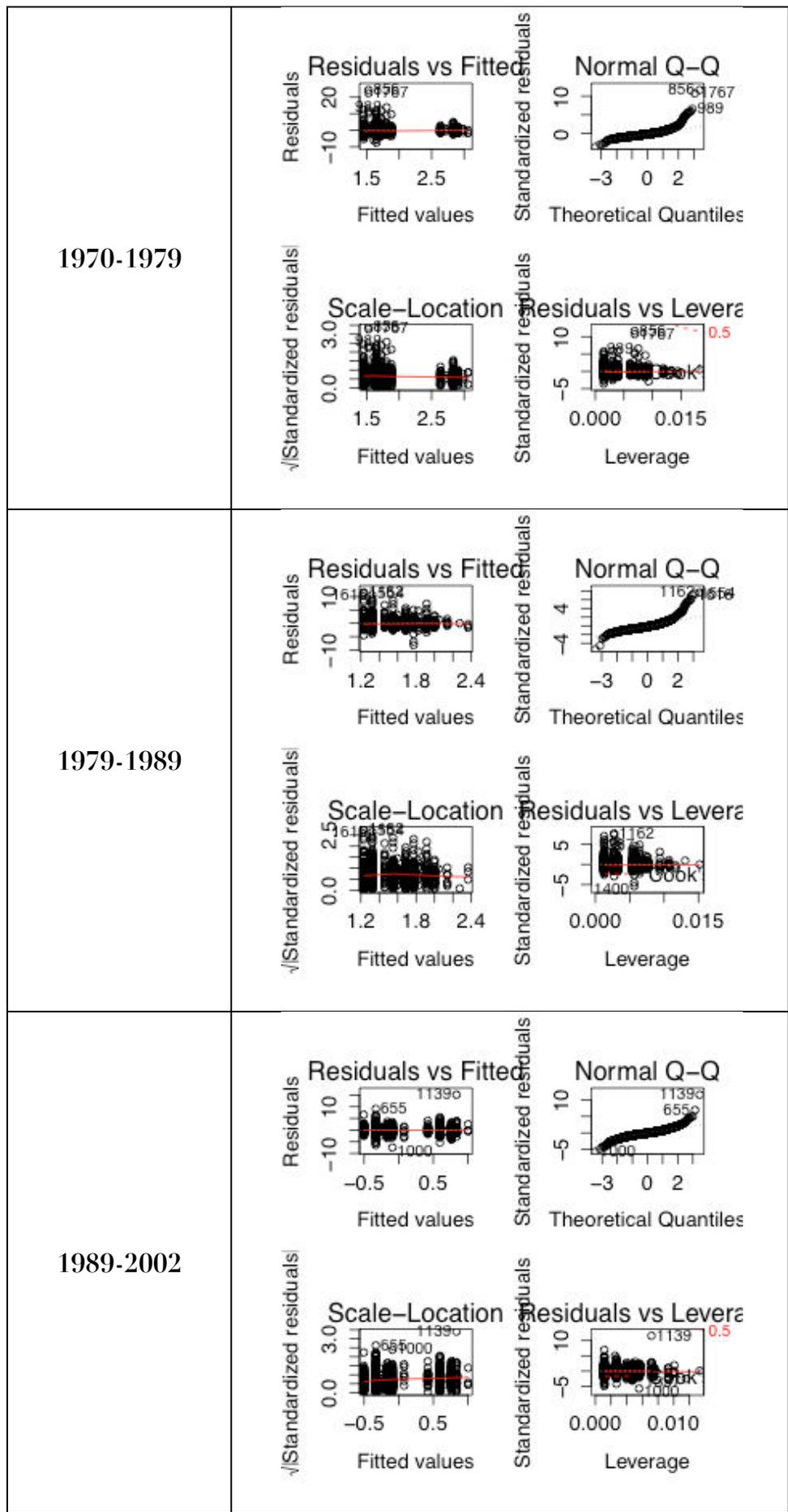
1856-1959	1959-1989	1989-2010																																													
Non-significatif	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">0</th> <th style="text-align: center;">1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: right;">B</td> <td style="text-align: center;">·</td> <td style="text-align: center;">·</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">C</td> <td style="text-align: center;">○</td> <td style="text-align: center;">○</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">D</td> <td style="text-align: center;">○</td> <td style="text-align: center;">○</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">E</td> <td style="text-align: center;">·</td> <td style="text-align: center;">·</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">F</td> <td style="text-align: center;">○</td> <td style="text-align: center;">○</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">G</td> <td style="text-align: center;">○</td> <td style="text-align: center;">○</td> </tr> </tbody> </table>		0	1	B	·	·	C	○	○	D	○	○	E	·	·	F	○	○	G	○	○	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">0</th> <th style="text-align: center;">1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: right;">B</td> <td style="text-align: center;">○</td> <td style="text-align: center;">○</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">C</td> <td style="text-align: center;">○</td> <td style="text-align: center;">○</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">D</td> <td style="text-align: center;">○</td> <td style="text-align: center;">○</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">E</td> <td style="text-align: center;">○</td> <td style="text-align: center;">○</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">F</td> <td style="text-align: center;">○</td> <td style="text-align: center;">○</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">G</td> <td style="text-align: center;">○</td> <td style="text-align: center;">○</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">H</td> <td style="text-align: center;">·</td> <td style="text-align: center;">·</td> </tr> </tbody> </table>		0	1	B	○	○	C	○	○	D	○	○	E	○	○	F	○	○	G	○	○	H	·	·
	0	1																																													
B	·	·																																													
C	○	○																																													
D	○	○																																													
E	·	·																																													
F	○	○																																													
G	○	○																																													
	0	1																																													
B	○	○																																													
C	○	○																																													
D	○	○																																													
E	○	○																																													
F	○	○																																													
G	○	○																																													
H	·	·																																													

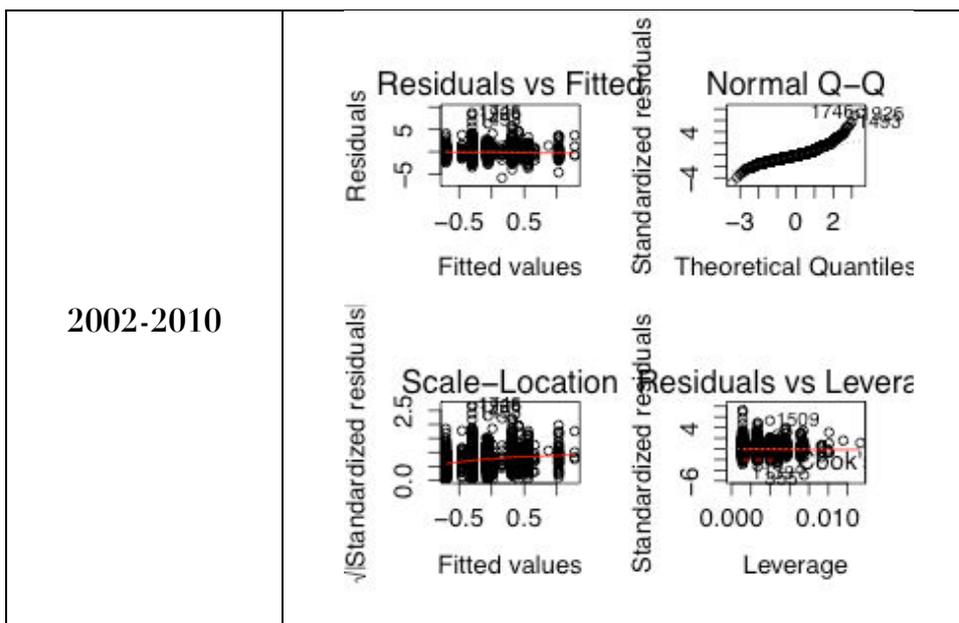
Annexe 4.2. Étude de normalité des résidus des 20 modèles de régression multiple. Sorties du logiciel R-Studio.

- Modèles temporels

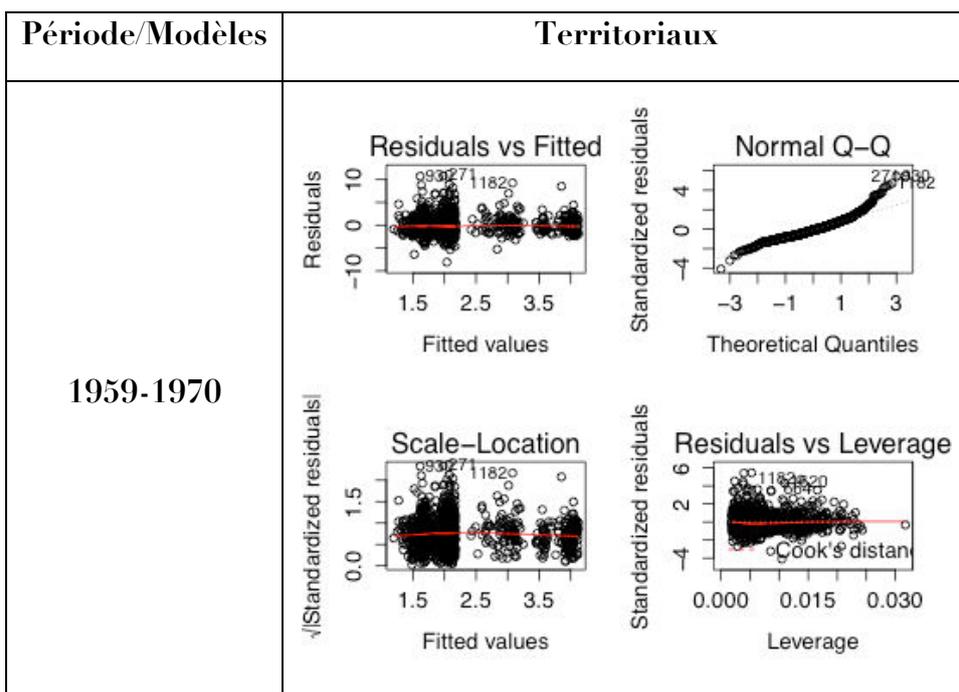
Période/Modèles	Temporels
1840-1856	--
1856-1897	 <p>The diagnostic plots for the 1856-1897 period are as follows:</p> <ul style="list-style-type: none"> Residuals vs Fitted: Shows residuals on the y-axis (ranging from -3 to 3) against fitted values on the x-axis (ranging from 0.5 to 2.5). A red horizontal line is drawn at zero. Several points are labeled with IDs: 824, 900, 962, and 960. Normal Q-Q: Shows standardized residuals on the y-axis (ranging from -3 to 3) against theoretical quantiles on the x-axis (ranging from -2 to 2). The points follow a smooth curve, with points 824 and 900 labeled. Scale-Location: Shows the square root of standardized residuals on the y-axis (ranging from 0.0 to 1.0) against fitted values on the x-axis (ranging from 0.5 to 2.5). A red horizontal line is drawn at approximately 0.5. Points 824, 962, 900, and 960 are labeled. Residuals vs Leverage: Shows standardized residuals on the y-axis (ranging from -2 to 2) against leverage on the x-axis (ranging from 0.00 to 0.20). A red horizontal line is drawn at zero. Points 824, 520, 461, and 900 are labeled. Two horizontal red lines are drawn at approximately 0.5 and -0.5, labeled 'Cook's distance'.
1897-1926	 <p>The diagnostic plots for the 1897-1926 period are as follows:</p> <ul style="list-style-type: none"> Residuals vs Fitted: Shows residuals on the y-axis (ranging from -4 to 2) against fitted values on the x-axis (ranging from 0.0 to 1.5). A red horizontal line is drawn at zero. Points 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20 are labeled. Normal Q-Q: Shows standardized residuals on the y-axis (ranging from -2 to 3) against theoretical quantiles on the x-axis (ranging from -3 to 2). The points follow a smooth curve, with points 6, 5, 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20 labeled. Scale-Location: Shows the square root of standardized residuals on the y-axis (ranging from 0.0 to 1.0) against fitted values on the x-axis (ranging from 0.0 to 1.5). A red horizontal line is drawn at approximately 0.5. Points 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20 are labeled. Residuals vs Leverage: Shows standardized residuals on the y-axis (ranging from -3 to 2) against leverage on the x-axis (ranging from 0.00 to 0.06). A red horizontal line is drawn at zero. Points 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20 are labeled. A horizontal red line is drawn at approximately 0.5, labeled 'Cook's distance'.

1926-1939	<p>Residuals vs Fitted: Residuals (y-axis, -10 to 5) vs Fitted values (x-axis, 1 to 6). Points are clustered around zero.</p> <p>Normal Q-Q: Standardized residuals (y-axis, -3 to 3) vs Theoretical Quantiles (x-axis, -3 to 3). Points follow a normal distribution curve.</p> <p>Scale-Location: $\sqrt{ \text{Standardized residuals} }$ (y-axis, 0.0 to 1.0) vs Fitted values (x-axis, 1 to 6). Points are scattered around a horizontal red line.</p> <p>Residuals vs Leverage: Standardized residuals (y-axis, -3 to 3) vs Leverage (x-axis, 0.00 to 0.04). Points are scattered around zero, with some labeled (e.g., 15530).</p>
1939-1959	<p>Residuals vs Fitted: Residuals (y-axis, -5 to 5) vs Fitted values (x-axis, 1.0 to 2.0). Points are clustered around zero.</p> <p>Normal Q-Q: Standardized residuals (y-axis, -2 to 4) vs Theoretical Quantiles (x-axis, -3 to 2). Points follow a normal distribution curve.</p> <p>Scale-Location: $\sqrt{ \text{Standardized residuals} }$ (y-axis, 0.0 to 2.0) vs Fitted values (x-axis, 1.0 to 2.0). Points are scattered around a horizontal red line.</p> <p>Residuals vs Leverage: Standardized residuals (y-axis, -4 to 4) vs Leverage (x-axis, 0.00 to 0.03). Points are scattered around zero, with some labeled (e.g., 10830, 18980).</p>
1959-1970	<p>Residuals vs Fitted: Residuals (y-axis, -10 to 5) vs Fitted values (x-axis, 1.5 to 3.0). Points are clustered around zero.</p> <p>Normal Q-Q: Standardized residuals (y-axis, -4 to 2) vs Theoretical Quantiles (x-axis, -3 to 2). Points follow a normal distribution curve.</p> <p>Scale-Location: $\sqrt{ \text{Standardized residuals} }$ (y-axis, 0.0 to 2.0) vs Fitted values (x-axis, 1.5 to 3.0). Points are scattered around a horizontal red line.</p> <p>Residuals vs Leverage: Standardized residuals (y-axis, -4 to 4) vs Leverage (x-axis, 0.000 to 0.015). Points are scattered around zero, with some labeled (e.g., 27500, 1882).</p>

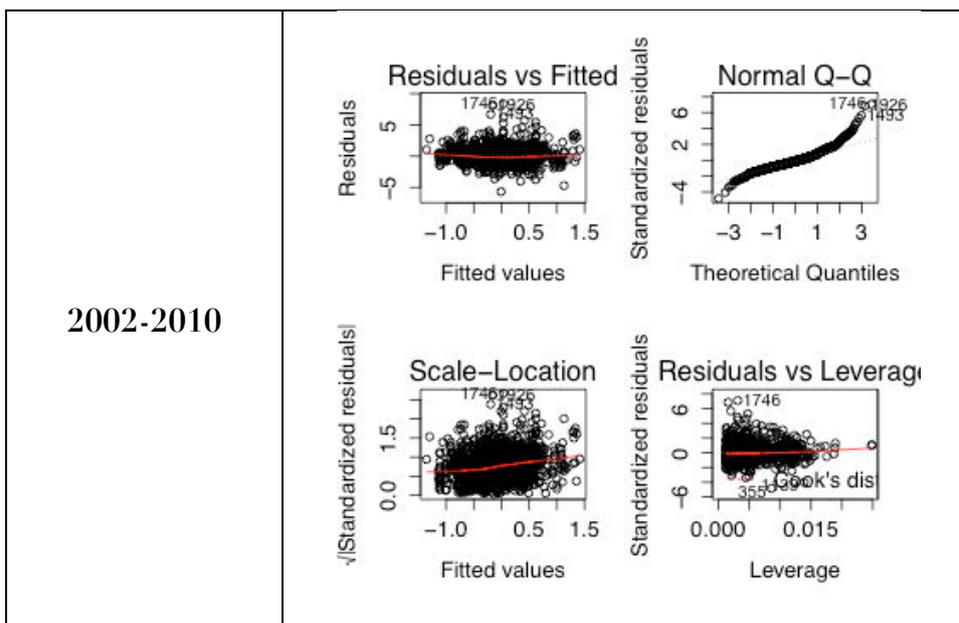




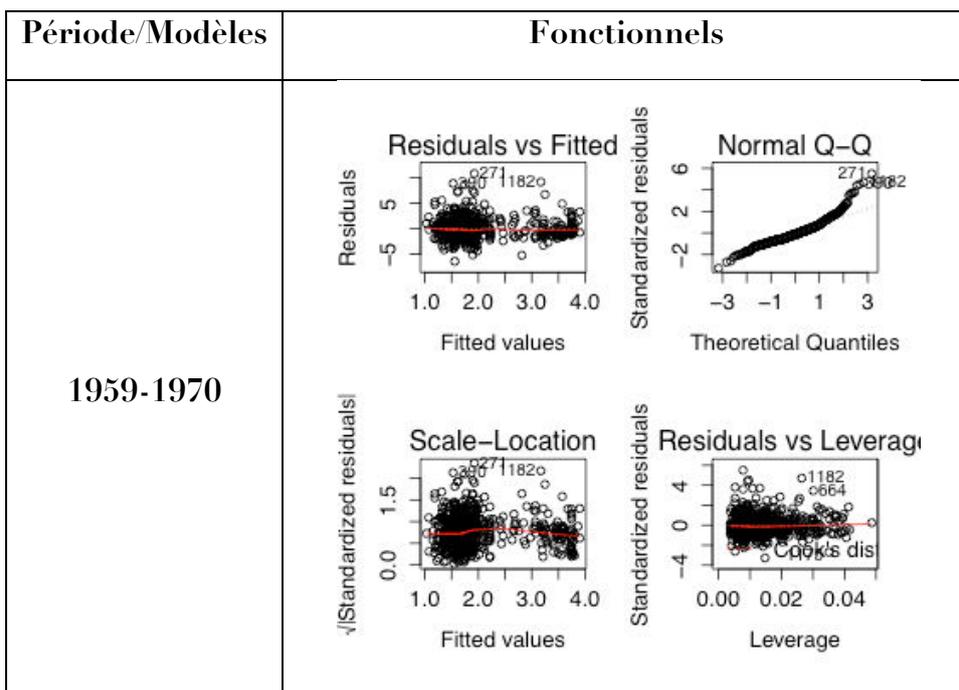
- Modèles territoriaux

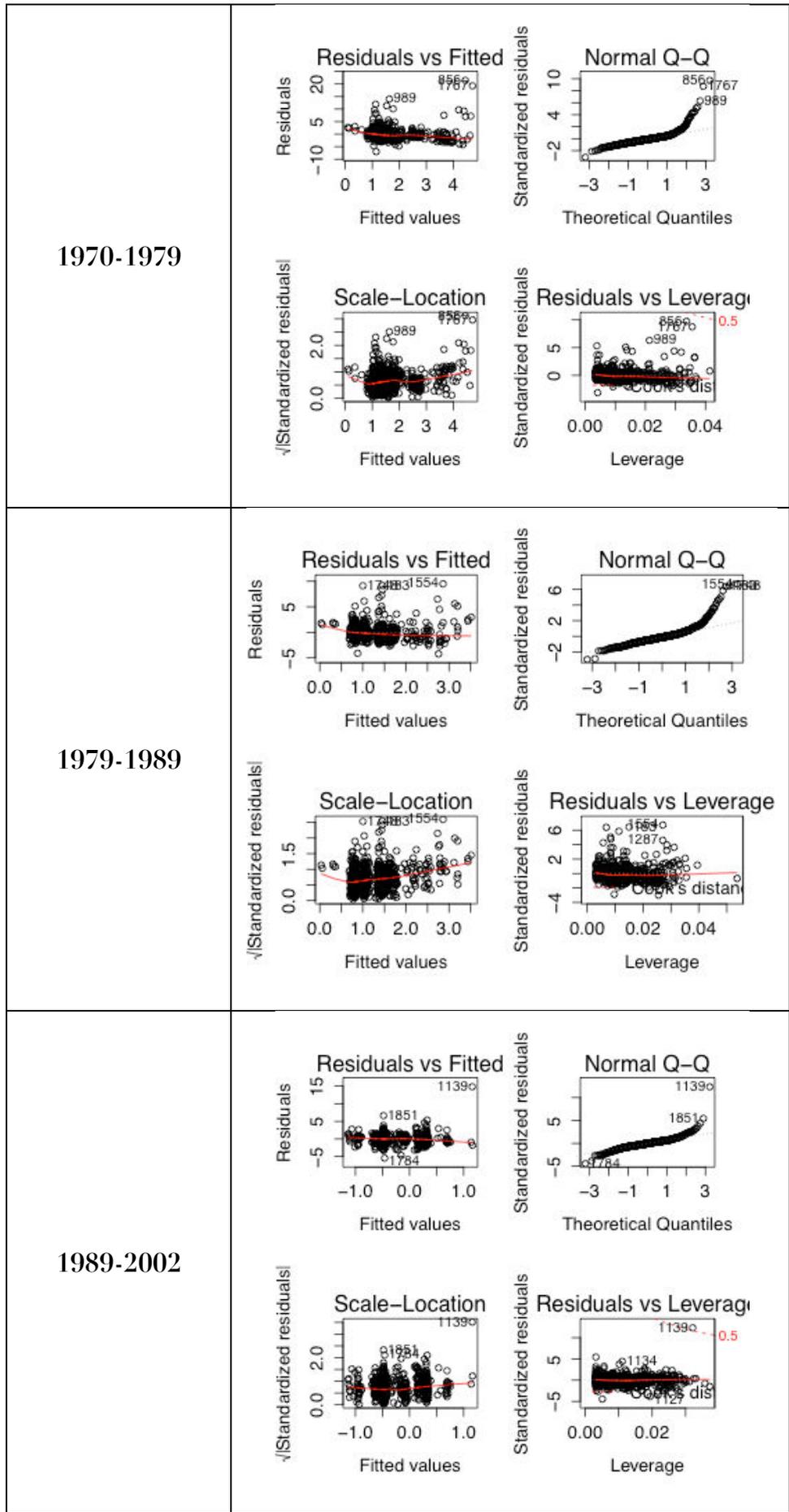


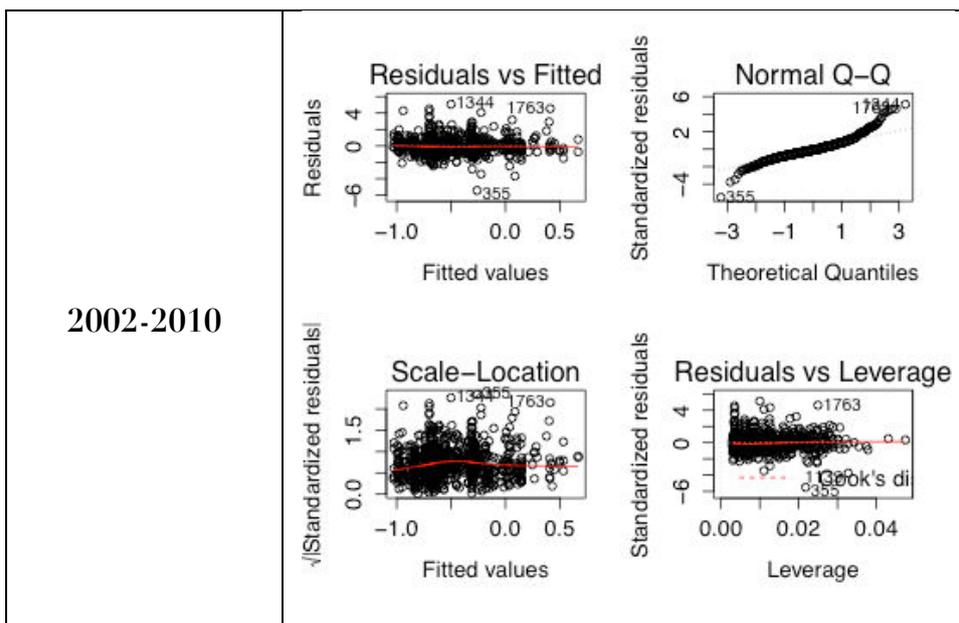
<p>1970-1979</p>	<p>Residuals vs Fitted: Residuals vs Fitted values. Points 989, 1767, 856, 1767 are labeled.</p> <p>Normal Q-Q: Standardized residuals vs Theoretical Quantiles. Points 856, 1767, 989 are labeled.</p> <p>Scale-Location: $\sqrt{ \text{Standardized residuals} }$ vs Fitted values. Points 989, 1767 are labeled.</p> <p>Residuals vs Leverage: Standardized residuals vs Leverage. Points 1767, 856, 989 are labeled. Cook's distance threshold is 0.5.</p>
<p>1979-1989</p>	<p>Residuals vs Fitted: Residuals vs Fitted values. Points 1162, 1162 are labeled.</p> <p>Normal Q-Q: Standardized residuals vs Theoretical Quantiles. Points 1162, 1162 are labeled.</p> <p>Scale-Location: $\sqrt{ \text{Standardized residuals} }$ vs Fitted values. Points 1162, 1162 are labeled.</p> <p>Residuals vs Leverage: Standardized residuals vs Leverage. Points 1162, 1162, 1554, 128, 140 are labeled. Cook's distance threshold is 0.5.</p>
<p>1989-2002</p>	<p>Residuals vs Fitted: Residuals vs Fitted values. Points 1139, 655, 1000 are labeled.</p> <p>Normal Q-Q: Standardized residuals vs Theoretical Quantiles. Points 1139, 655 are labeled.</p> <p>Scale-Location: $\sqrt{ \text{Standardized residuals} }$ vs Fitted values. Points 1139, 655, 1000 are labeled.</p> <p>Residuals vs Leverage: Standardized residuals vs Leverage. Points 1139, 655 are labeled. Cook's distance threshold is 0.5.</p>



- Modèles fonctionnels







Annexe 4.3. Distribution des résidus de niveau 1 dans les 20 modèles multiniveaux

1959-1970	Modèle <i>null</i>	Modèle 1
<p>Distribution des résidus $\varepsilon_{i,k}$</p>		
1959-1970	Modèle 2	Modèle 3
<p>Distribution des résidus $\varepsilon_{i,k}$</p>		

1970-1979	Modèle <i>null</i>	Modèle 1
Distribution des résidus $\varepsilon_{i,k}$		
1970-1979	Modèle 2	Modèle 3
Distribution des résidus $\varepsilon_{i,k}$		
1979-1989	Modèle <i>null</i>	Modèle 1
Distribution des résidus $\varepsilon_{i,k}$		
1979-1989	Modèle 2	Modèle 3
Distribution des résidus $\varepsilon_{i,k}$		

1989-2002	Modèle <i>null</i>	Modèle 1
Distribution des résidus $\varepsilon_{i,k}$		
1989-2002	Modèle 2	Modèle 3
Distribution des résidus $\varepsilon_{i,k}$		
2002-2010	Modèle <i>null</i>	Modèle 1
Distribution des résidus $\varepsilon_{i,k}$		
2002-2010	Modèle 2	Modèle 3
Distribution des résidus $\varepsilon_{i,k}$		

Annexe 5.1. *Workflow* permettant de calibrer MARIUS avec OpenMOLE. L'exemple du modèle MARIUS 2.2.1.

Ce code en Scala² se réfère à l'implémentation des modèles MARIUS dans le dépôt Simpuzzle³. Il décrit le paramétrage du plan d'expérience permettant de calibrer les paramètres de MARIUS 2.2.1 automatiquement sur une grille de calcul.

```
// Import namespaces of openmole plugins
import org.openmole.plugin.domain.distribution._
import org.openmole.plugin.domain.modifier._
import org.openmole.plugin.task.groovy._
import org.openmole.plugin.hook.file._
import org.openmole.plugin.hook.display._
import org.openmole.plugin.grouping.batch._
import org.openmole.plugin.environment.glite._

// Path where to store the results
val path = "./multi-sorted-fitness/"
```

Typage des paramètres à calibrer et des mesures d'évaluation

```
// Define the variables
val economicMultiplier = Prototype[Double]("economicMultiplier")
val populationToWealthExponent =
  Prototype[Double]("populationToWealthExponent")
val sizeEffectOnSupply = Prototype[Double]("sizeEffectOnSupply")
val sizeEffectOnDemand = Prototype[Double]("sizeEffectOnDemand")
val wealthToPopulationExponent =
  Prototype[Double]("wealthToPopulationExponent")
val distanceDecay = Prototype[Double]("distanceDecay")
val bonusMultiplier = Prototype[Double]("bonusMultiplier")
val fixedCost = Prototype[Double]("fixedCost")
val oilAndGazEffect = Prototype[Double]("oilAndGazEffect")
val coalEffect = Prototype[Double]("coalEffect")
val territorialTaxes = Prototype[Double]("territorialTaxes")
val capitalShareOfTaxes = Prototype[Double]("capitalShareOfTaxes")

val distribution = Prototype[Double]("distribution")
val dead = Prototype[Double]("dead")
val overflow = Prototype[Double]("overflow")
```

Version du modèle et objectifs d'évaluation

```
// Define the task which runs the model
val modelTask =
  GroovyTask(
    "modelTask",
    "model = new SingleRedistributionResourceBonusModel(economicMultiplier,
sizeEffectOnSupply, sizeEffectOnDemand, distanceDecay,
wealthToPopulationExponent, populationToWealthExponent, bonusMultiplier,
fixedCost, territorialTaxes, capitalShareOfTaxes, coalEffect,
oilAndGazEffect)\n" +
    "error = Evaluation.multiMicro(model, newRNG(oMSeed).toScala())\n" +
    "dead = error[0]\n" +
    "distribution = error[1]\n" +
    "overflow = (error[2] == 0.0d?0.0d:(error[2] + 1) )\n")
```

² Créé par Romain Reuillon et modifié par nous-même.

³ <https://forge.iscpif.fr/projects/marius/repository>

Définition des entrées et sorties du modèle

```
modelTask.addImport("fr.geocites.marius.calibration.*")
modelTask.addImport("fr.geocites.marius.*")

modelTask.addInput economicMultiplier
modelTask.addInput sizeEffectOnSupply
modelTask.addInput sizeEffectOnDemand
modelTask.addInput wealthToPopulationExponent
modelTask.addInput distanceDecay
modelTask.addInput populationToWealthExponent
modelTask.addInput bonusMultiplier
modelTask.addInput fixedCost
modelTask.addInput oilAndGazEffect
modelTask.addInput coalEffect
modelTask.addInput territorialTaxes
modelTask.addInput capitalShareOfTaxes

modelTask.addOutput distribution
modelTask.addOutput dead
modelTask.addOutput overflow

val model = Capsule(modelTask)

// Define an island
import org.openmole.plugin.method.evolution._
import ga._
```

Bornes des paramètres pour le calibrage

```
val scales =
  Seq(
    economicMultiplier -> (0.0, 1.0),
    sizeEffectOnSupply -> (1.0, 10.0),
    sizeEffectOnDemand -> (1.0, 10.0),
    wealthToPopulationExponent -> (0.0, 10.0),
    distanceDecay -> (0.0, 10.0),
    populationToWealthExponent -> (1.0, 10.0),
    bonusMultiplier -> (0.0, 1000.0),
    fixedCost -> (0.0, 1000.0),
    oilAndGazEffect -> (-1.0, 1.0),
    coalEffect -> (-1.0, 1.0),
    territorialTaxes -> (0.0, 1.0),
    capitalShareOfTaxes -> (0.0, 1.0)
  )
```

Paramètres de l'algorithme génétique

```
val evolution =
  Optimisation (
    mu = 200,
    termination = Timed(2 hour),
    ranking = Pareto,
    inputs = scales,
    objectives = Seq(distribution, dead, overflow)
  )

val nsga2 =
  steadyGA(evolution)(
    "calibrateModel",
    model
  )
```

La distribution des îlots de l'algorithme génétique

```
// Define the island model
val islandModel =
  islandGA(nsga2)(
    name = "island",
```

```
    number = 1000,  
    termination = Counter(200000),  
    sampling = 100  
)
```

La grille de calcul

```
// Define the execution environment  
val env = GliteEnvironment("vo.complex-systems.eu", openMOLEMemory = 1400,  
wallTime = 4 hours)  
val savePopulation = SavePopulationHook(islandModel, path)  
  
// Define the hook to display the generation in the console  
val display = DisplayHook("Generation ${" + islandModel.generation.name + "}")  
  
// Define the execution  
val ex =  
    (islandModel +  
    (islandModel.island on env) +  
    (islandModel.output hook savePopulation hook display)) toExecution  
  
// Launch the execution  
ex.start
```


Tables

Tables des figures

Figure 1.1.1. Délimitations statiques de la ville	32
Figure 1.1.2. Délimitations dynamiques de la ville	36
Figure 1.1.3. Les aires métropolitaines d'URSS définies par R. H. Rowland	41
Figure 1.2.1. Délimitation de l'Empire russe en 1827	47
Figure 1.2.2. Délimitation de l'Empire russe en 1900	48
Figure 1.3.1. Hétérogénéité administrative des unités locales urbaines russes en 2010	57
Figure 1.3.2. Localisation des annexions d'unités locales	67
Figure 1.3.3. Effet du choix de définition sur la population de la ville de Toula	72
Figure 1.4.1. Tronçons ferrorivaires de la Russie d'Europe en 1900	75
Figure 1.4.2. Infrastructures de transport en ex-URSS	76
Figure 1.4.3. Ressources du sous-sol dans l'espace post-soviétique	77
Figure 1.4.4. Hétérogénéité de surface des territoires de l'ex-Union soviétique	80
Figure 1.4.5. Harmonisation des délimitations régionales kazakhes	81
Figure 1.4.6. Harmonisation des délimitations régionales russes	82
Figure 1.4.7. Projections démographiques dans l'espace post-soviétique	83
Figure 2.1.1. Un profil de villes denses : comparaison Paris-Moscou	96
Figure 2.1.2. Mesures de la transition urbaine dans l'espace post-soviétique : 1800-2010	99
Figure 2.1.3. Paysage rural au cœur des villes d'ex-URSS	100
Figure 2.1.4. Organisation administrative de la planification économique soviétique	107
Figure 2.1.5. Plusieurs sous-systèmes de villes soviétiques (Harris, 1970)	111
Figure 2.1.6. Distributions rang-taille dans l'espace post-soviétique : 1840-2010	113
Figure 2.1.7. Coefficient de hiérarchie urbaine et effectif d'analyse chez (Mirucki, 1986)	115
Figure 2.1.8. Semis urbain dans l'espace post-soviétique en 2010	118
Figure 2.1.9. Semis urbains au cours du « grand XX ^e siècle »	118
Figure 2.1.10. Localisation des villes nouvelles entre 1840 et 2010	120
Figure 2.2.1. Population des villes de l'espace post-soviétique : 1840-2010	127
Figure 2.2.2. Ajustements puissance aux distributions rang-taille des villes de l'espace post-soviétique : 1840-2010	133
Figure 2.2.3. Évolution des indices de primatie au cours du temps dans l'espace post-soviétique	135
Figure 2.2.4. Semis des villes européennes en 2000 (Châtel, 2012)	137
Figure 2.2.5. Répartition de la valeur régionale de l'indice de concentration du semis urbain dans l'espace post-soviétique	139
Figure 2.2.6. Répartition de l'œcoumène dans l'espace soviétique (Harris, 1945)	140
Figure 2.2.7. Typologie fonctionnelle des villes soviétiques (Khorev, 1968)	142
Figure 2.2.8. Typologie fonctionnelle des villes russes (Diappi <i>et al.</i> , 2013a)	144

Figure 2.3.1. Comparaison des indices de hiérarchie de différents systèmes de villes	149
Figure 2.3.2. Association théorique entre forme d'encadrement et forme de la distribution rang-taille des villes d'un système (Moriconi-Ebrard, 1993)	152
Figure 2.3.3. Localisation des villes mono-industrielles en Russie en 2013	156
Figure 3.1.1. La transition urbaine en ex-Union soviétique	167
Figure 3.1.2. Les étapes de l'industrialisation en ex-URSS (Brunet <i>et al.</i> , 1995)	169
Figure 3.1.3. Croissance urbaine en ex-URSS : 1840-2010	173
Figure 3.1.4. Créations urbaines entre 1926 et 1959 en URSS	174
Figure 3.1.5. Créations urbaines entre 1959 et 1989 en URSS	176
Figure 3.1.6. Pyramide des âges de la Russie en 2002 (Blum, Lefèvre, 2006)	177
Figure 3.1.7. Répartition de la croissance urbaine en Europe et ex-URSS	180
Figure 3.2.1. Évolution des taux d'urbanisation régionaux en ex-URSS	191
Figure 3.2.2. Qualité d'ajustement du modèle logistique de la transition urbaine	193
Figure 3.2.3. Des profils régionaux d'urbanisation atypiques	194
Figure 3.2.4. Exemples de régions encore très agricoles en Ukraine en 1989	195
Figure 3.2.5. Amplitude de la transition urbaine	196
Figure 3.2.6. Trois régions au profil d'urbanisation logistique particulier	197
Figure 3.2.7. Rapidité de la transition urbaine	198
Figure 3.2.8. Décalages temporels dans les transitions urbaines	198
Figure 3.2.9. L'accroissement urbain en URSS (Harris, 1971)	199
Figure 3.2.10. Variation de l'évolution démographique régionale	201
Figure 3.3.1. Classification de 130 trajectoires urbaines au tournant du XX ^e siècle	207
Figure 3.3.2. Trajectoires de croissance et colonisation, centres de gravité des classes entre 1856 et 1959	211
Figure 3.3.3. Classification de 1 147 trajectoires urbaines durant la seconde moitié du XX ^e siècle	212
Figure 3.3.4. Extension du réseau financier de la KamAZ, fondée en 1969	213
Figure 3.3.5. Dispersion spatiale comparable des types de trajectoires urbaines dans l'espace soviétique entre 1959 et 1989	214
Figure 3.3.6. Classification de 1 825 trajectoires depuis la fin de l'Union soviétique	219
Figure 3.3.7. Centres de gravité des classes de trajectoires et composantes de la démographie régionale	221
Figure 3.3.8. Écarts à l'hypothèse d'indépendance entre les classes de trajectoires successives	225
Figure 3.3.9. Écarts à l'hypothèse d'indépendance entre les classes de trajectoires successives	227
Figure 4.1.1. Première hypothèse de Gibrat : l'augmentation de la variance des logarithmes de la population	237
Figure 4.1.2. Seconde hypothèse de Gibrat : L'indépendance entre taille et taux de croissance	238
Figure 4.1.3. Troisième hypothèse de Gibrat : L'indépendance relative entre taux de croissance successifs	239
Figure 4.1.4. Simulation d'un modèle de Gibrat	240

Figure 4.1.5. Fonctions centrales	245
Figure 4.1.6. Fonctions spécialisées	246
Figure 4.1.7. Infrastructures et support des communications	248
Figure 4.1.8. Ressources minières et hydrocarbures	249
Figure 4.1.9. Situation géographique	250
Figure 4.1.10. Contexte régional de l'urbanisation	252
Figure 4.1.11. Écarts à l'hypothèse d'indépendance entre les classes de trajectoires et le statut de capitale régionale	254
Figure 4.1.12. Écarts à l'hypothèse d'indépendance entre les classes de trajectoires et accessibilité ferroviaire	256
Figure 4.1.13. Écarts à l'hypothèse d'indépendance entre les classes de trajectoires et accessibilité aérienne	257
Figure 4.1.14. Écarts à l'hypothèse d'indépendance entre les classes de trajectoires et les gisements d'hydrocarbures	258
Figure 4.1.15. Écarts à l'hypothèse d'indépendance entre les classes de trajectoires et la localisation longitudinale	259
Figure 4.1.16. L'adéquation de plus en plus marquée entre démographie régionale et démographique urbaine	260
Figure 4.1.17. Baisse de la covariation entre niveau d'urbanisation régional et trajectoires croissantes de villes	261
Figure 4.1.18. Des modèles qui capturent une faible part de variance	263
Figure 4.1.19. Répartition spatiale des résidus du modèle « temporel » 1856-1897	271
Figure 4.1.20. Répartition spatiale des résidus du modèle « temporel » 1926-1939	272
Figure 4.1.21. Répartition spatiale des résidus du modèle « territorial » 1959-1970	273
Figure 4.1.22. Répartition spatiale des résidus du modèle « territorial » 1989-2002	274
Figure 4.1.23. Répartition spatiale des résidus du modèle « fonctionnel » 2002-2010	275
Figure 4.1.24. Résidus macro-régionaux en fonction des différents modèles multiniveaux au cours du temps	286
Figure 4.2.1. Fonctions urbaines et cycles d'innovation (Bretagnolle <i>et al.</i> , 2006a)	308
Figure 4.2.2. Démarche de modélisation pour SimpopLocal (Schmitt, 2014a)	313
Figure 4.2.3. Démarche de complexification pour MARIUS	321
Figure 4.2.4. Position de MARIUS par rapport au fer à cheval d'A. Banos et L. Sanders (2012)	323
Figure 4.2.5. La famille de modèles MARIUS	324
Figure 4.2.6. L'évaluation de la famille MARIUS	339
Figure 4.2.7. De DARIUS à MARIUS : une démarche d'intégration des modèles à la compréhension de l'évolution du système des villes de l'espace post-soviétique	334
Figure 5.1.1. Hypothèse d'une boucle de rétroaction entre population et richesse d'une ville	343
Figure 5.1.2. Diagramme d'activité du modèle MARIUS 1.1.1	349
Figure 5.1.3. Domaines de variation empiriques du paramètre <i>distanceDecay</i> (Fotheringham, 1981)	353

Figure 5.1.4. Domaine de variation empirique du paramètre <i>distanceDecay</i> pour un modèle gravitaire des migrations entre villes françaises (Baccaïni, Pumain, 1998)	353
Figure 5.1.5. Distributions rang-taille avec MARIUS 1.1.1	361
Figure 5.1.6. Comparaison des populations totales observée et simulée	361
Figure 5.1.7. Dynamique non satisfaisante du modèle MARIUS 1.1.1 : la « ruine » de certaines villes	364
Figure 5.1.8. Dynamique non satisfaisante du modèle MARIUS 1.1.1 : les « sur-flux » économiques	365
Figure 5.1.9. Comparaison des populations totales observée et simulée avec différents objectifs d'évaluation	368
Figure 5.1.10. Distributions rang-taille avec MARIUS 1.1.1 et trois objectifs d'évaluation	369
Figure 5.1.11. Front de Pareto mis au jour par le calibrage de MARIUS 1.1.2 à 3 objectifs	373
Figure 5.1.12. Comparaison des populations totales observée et simulée avec MARIUS 1.1.2	374
Figure 5.1.13. Distributions rang-taille avec MARIUS 1.1.2 et trois objectifs d'évaluation	374
Figure 5.1.14. Dynamique satisfaisante du modèle MARIUS 1.1.2 : pas de « sur-flux » économiques	375
Figure 5.1.15. Profils de sensibilité du modèle à la variation des paramètres libres	377
Figure 5.1.16. Classification des trajectoires urbaines observées entre 1959 et 1989	380
Figure 5.1.17. Classification des trajectoires urbaines simulées entre 1959 et 1989	381
Figure 5.2.1. Classification des trajectoires urbaines simulées avec MARIUS 1.2.1. entre 1959 et 1989	389
Figure 5.2.2. Classification des trajectoires urbaines simulées avec MARIUS 2.1.1. entre 1959 et 1989	395
Figure 5.2.3. Diagramme d'activité du modèle MARIUS 2.2.1.	398
Figure 5.2.4. Classification des trajectoires urbaines simulées avec MARIUS 2.2.1. entre 1959 et 1989	400
Figure 5.3.1. Comparaison des distributions observées et simulées avec trois modèles simples	404
Figure 5.3.2. Comparaison des trajectoires observées et simulées avec trois modèles MARIUS	405
Figure 5.3.3. Classification des trajectoires urbaines observées entre 1989 et 2010	409
Figure 5.3.4. Classification des trajectoires urbaines simulées entre 1989 et 2010	410

Tables des tableaux

Tableau 1.1.1. Comparaison des mailles territoriales européennes	34
Tableau 1.1.2. Synthèse des bases de données urbaines existantes concernant la Russie et l'ex-URSS	43
Tableau 1.2.1. Sources des recensements post-soviétiques	52
Tableau 1.3.1. Évaluation de sources de données urbaines en ligne	61
Tableau 1.3.2. Les unités locales les plus « consommatrices » d'annexion	66
Tableau 1.3.3. Synthèse des forces et faiblesses de la base DARIUS	69
Tableau 1.3.4. Comparaison des effectifs d'agglomérations DARIUS / Europolis	71
Tableau 1.3.5. Synthèse de la couverture temporelle de DARIUS	72
Tableau 1.3.6. Synthèse de la couverture spatiale de DARIUS	73
Tableau 2.2.1. Valeur des indices de hiérarchie dans la littérature	129
Tableau 2.2.2. Variation des indices de hiérarchie urbaine en fonction des choix de seuil et de périmètre	131
Tableau 2.2.3. Évolution des indices de hiérarchie au cours du temps	132
Tableau 2.2.4. Espacement moyen entre villes dans le monde	136
Tableau 2.2.5. Indice de concentration de semis urbain : comparaison France-URSS	138
Tableau 2.2.6. Valeurs régionales de l'indice de concentration du semis urbain dans l'espace post-soviétique	139
Tableau 2.3.1. Comparaison des indices de hiérarchie de différents systèmes de villes	149
Tableau 2.3.2. Évolution de l'indice de hiérarchie selon l'ancienneté du peuplement en Russie	150
Tableau 2.3.3. Évolution des indices de concavité au cours du temps	152
Tableau 3.1.1. Évolution de l'urbanisation de l'espace post-soviétique, 1840-2010	171
Tableau 3.1.2. Croissance urbaine en ex-URSS : 1840-2010	172
Tableau 3.1.3. Évolution de la décroissance urbaine dans le système post-soviétique	178
Tableau 3.2.1. Spécialisations nationales industrielles en URSS	186
Tableau 3.2.2. Taux d'urbanisation nationaux en URSS en 1989	186
Tableau 3.2.3. Évolution des taux d'urbanisation nationaux en ex-URSS	190
Tableau 3.3.1. Population des cinq plus grandes agglomérations de chaque classe de trajectoire (en milliers d'habitants)	209
Tableau 3.3.2. Population des cinq plus grandes agglomérations de chaque classe de trajectoire (en milliers d'habitants)	216
Tableau 3.3.3. Population des cinq plus grandes agglomérations de chaque classe de trajectoire (en milliers d'habitants)	223
Tableau 3.3.4. Tableau de contingence des trajectoires 1856-1959 et 1959-1989	225
Tableau 3.3.5. Tableau de contingence des trajectoires 1959-1989 et 1989-2010	226

Tableau 4.1.1. Facteurs potentiels de croissance urbaine en ex-URSS	242
Tableau 4.1.2. Répartition géographique de l'effectif urbain	251
Tableau 4.1.3. Significativité des relations statistiques entre facteurs potentiels de croissance et types de trajectoires urbaines	255
Tableau 4.1.4. Significativité des modèles « temporels »	264
Tableau 4.1.5. Coefficients estimés par les modèles « temporels »	265
Tableau 4.1.6. Significativité des modèles « territoriaux »	266
Tableau 4.1.7. Coefficients estimés par les modèles « territoriaux »	267
Tableau 4.1.8. Significativité des modèles « fonctionnels »	268
Tableau 4.1.9. Coefficients estimés par les modèles « fonctionnels »	269
Tableau 4.1.10. Modèles sélectionnés pour l'étude des résidus	270
Tableau 4.1.11. Part de la variance attribuée à la différence d'appartenance macro-régionale	277
Tableau 4.1.12. Résidus macro-régionaux des modèles « <i>null</i> »	278
Tableau 4.1.13. Part de la variance entre macro-régions réduite par les modèles « 1 » et pseudo-R ²	280
Tableau 4.1.14. Estimation des coefficients de variables de niveau 1 dans les modèles « 1 »	280
Tableau 4.1.15. Résidus macro-régionaux des modèles « 1 »	281
Tableau 4.1.16. Part de la variance entre macro-régions réduite par les modèles « 2 » et pseudo-R ²	282
Tableau 4.1.17. Résidus régionaux et coefficients des modèles « 2 » estimés au niveau macro-régional	284
Tableau 4.1.18. Part de la variance entre macro-régions réduite par les modèles « 3 » et pseudo-R ²	285
Tableau 4.1.19. Résidus régionaux et coefficients des modèles « 3 » estimés au niveau macro-régional	288
Tableau 5.1.1. Espace de paramètres exploré pour le modèle MARIUS 1.1.1	359
Tableau 5.1.2. Meilleur jeu de paramètres pour MARIUS 1.1.1	362
Tableau 5.1.3. Meilleur jeu de paramètres pour MARIUS 1.1.1 avec trois objectifs	368
Tableau 5.1.4. Meilleur jeu de paramètres pour MARIUS 1.1.2 avec trois objectifs	375
Tableau 5.1.5. Population des cinq plus grandes agglomérations de chaque classe de trajectoire (en milliers d'habitants)	382
Tableau 5.2.1. Paramétrage satisfaisant du modèle MARIUS 1.2.1	388
Tableau 5.2.2. Population des cinq plus grandes agglomérations de chaque classe (en milliers d'habitants)	390
Tableau 5.2.3. Meilleur jeu de paramètres pour MARIUS 2.1.1	394
Tableau 5.2.4. Population des cinq plus grandes agglomérations de chaque classe (en milliers d'habitants)	396
Tableau 5.2.5. Meilleur jeu de paramètres pour MARIUS 2.2.1	399
Tableau 5.2.6. Population des cinq plus grandes agglomérations de chaque classe (en milliers d'habitants)	401
Tableau 5.3.1. Projections de la population totale avec quatre modèles MARIUS	407
Tableau 5.3.2. Projections de la population des plus grandes villes post-soviétiques avec quatre modèles MARIUS	408

Tables des encadrés

Encadré 1.1.1. Évolution spatiale de la ville de Moscou	33
Encadré 2.1.1. Géographie du GOULAG	105
Encadré 3.1.1. L'industrialisation massive et le Premier Plan Quinquennal	172
Encadré 3.2.1. Les trajectoires démographiques des régions russes dans les années 1990	204

Table des matières

Table des matières

Remerciements	3
Notes de lecture	7
Sommaire	9
Introduction	11
Chapitre 1.	
Sources d'information pour DARIUS	25
1.1. Une base conceptuelle pour les bases de données urbaines	29
1.1.1. La délimitation des villes et l'harmonisation des bases de données	29
1.1.1.1. Choisir une définition spatiale	31
1.1.1.2. Choisir un type d'harmonisation temporelle de la ville	35
1.1.1.3. Mesurer et agréger les données-sources	38
1.1.2. Revue des études quantitatives sur les villes russes et soviétiques	39
1.1.2.1. Des tentatives de délimitation fonctionnelle de la ville dans la géographie soviétique	39
1.1.2.2. Limites de l'exercice	42
1.2. Continuité et fiabilité des données malgré des ruptures spatiales et historiques	45
1.2.1. Des soupçons légitimes	45
1.2.1.1. La mise en place tardive d'un appareil statistique	45
1.2.1.2. Manipulation des données soviétiques et post-soviétiques	48
1.2.1.3. Inégalité des situations actuelles en ex-URSS	51
1.2.2. Et pourtant, des éléments de continuité et de fiabilité	52
1.2.2.1. Formation des statisticiens impériaux et continuité soviétique	53
1.2.2.2. Manipulations choisies	53

1.3. Détail de la construction de la base de données DARIUS	55
1.3.1. Qu'est-ce qu'une ville en ex-URSS ? Choix critiques de définitions de la ville	55
1.3.1.1. Des agglomérations morphologiques	55
1.3.1.2. L'hétérogénéité des unités locales urbaines	56
1.3.2. Sources utilisées	60
1.3.3. Trois opérations d'harmonisation : estimation, fusion et agrégation	62
1.3.3.1. Estimation des données manquantes et harmonisation des dates d'observation	62
1.3.3.2. Rétropolation des fusions d'entités survenues au cours du temps	65
1.3.3.3. Agrégation des unités locales en agglomérations morphologiques	67
1.3.4. Évaluation de la base DARIUS	70
1.4. Données complémentaires	74
1.4.1. Infrastructures et Ressources	74
1.4.2. Emploi et Investissements	78
1.4.3. Démographie régionale	79
1.5. Conclusion	84
Chapitre 2.	
Un système de villes post-soviétiques ? De l'importance relative du « système » et du « post-soviétique » dans l'évolution des villes d'ex-URSS	87
2.1. Un cas d'étude spécifique : des villes avant tout post-soviétiques ?	92
2.1.1. L'organisation intra-urbaine des villes socialistes	93
2.1.1.1. Un autre modèle de différenciation socio-spatiale : particularité systémique	93
2.1.1.2. Des villes « rurales » : particularité géo-historique	97

2.1.2. Des villes aux interactions contrôlées dans un territoire particulièrement centralisé	101
2.1.2.1. Des mobilités individuelles contraintes	102
2.1.2.2. La planification économique et le contrôle des échanges	106
2.1.2.3. La désintégration d'un ensemble territorial depuis 1991	108
2.1.3. Un ensemble régional où la loi de Zipf ne s'applique pas	109
2.1.4. Un semis de peuplement socialiste	116
2.1.5. La répartition des fonctions urbaines intégrée à l'échelle de l'ex-Union soviétique	120
2.2. Un cas d'étude comparable : des villes avant tout en système ?	122
2.2.1. Une économie pas si planifiée et l'auto-organisation des mobilités inter-urbaines	123
2.2.2. Hiérarchie et hiérarchisation	126
2.2.3. Espacement	136
2.2.4. Spécialisation fonctionnelle	141
2.3. Un système intermédiaire	146
2.3.1. La théorie évolutive des villes pour expliquer certains résidus	147
2.3.1.1. Hiérarchie et ancienneté de peuplement	148
2.3.1.2. Hiérarchie et politique	151
2.3.1.3. Espacement et colonisation d'un territoire immense	153
2.3.1.4. Spécialisation et gisements de ressources localisées	155
2.3.2. Ce qui reste singulier	157
2.4. Conclusion	159
Chapitre 3.	
Les trajectoires de l'urbanisation dans l'espace post-soviétique	161
3.1. Trajectoire macro-géographique : l'urbanisation tardive et accélérée de l'ex-URSS	166
3.1.1. L'urbanisation tardive de l'Empire russe	168

3.1.2. Le boom de l'industrialisation dans les années 1920-1930	170
3.1.3. La période stable de la fin de l'URSS	175
3.1.4. Apparition de la décroissance démographique et des divergences régionales	178
3.1.5. Une urbanisation européenne ?	179
3.2. Les décalages temporels de la transition urbaine dans les régions de l'ex-URSS	183
3.2.1. Plusieurs régimes démographiques dans l'ex-Empire russe	183
3.2.2. Le modèle de la transition urbaine	188
3.2.3. Un modèle commun mais des temporalités différentes	189
3.2.3.1. L'urbanisation des régions d'ex-URSS entre 1959 et 2010	190
3.2.3.2. 108 transitions urbaines	192
3.2.3.3. L'effet des chocs des années 1990 et de la décroissance démographique	200
3.3. Diversité mais cohérence des trajectoires de villes dans l'espace post-soviétique	205
3.3.1. 1856-1959 : un siècle de poussée vers l'Est	206
3.3.2. Nouveau cycle économique et densification du territoire en temps de paix : 1959-1989	211
3.3.3. Éclatement de l'URSS et divergence des trajectoires urbaines depuis 1989	217
3.3.4. Cohérence temporelle des trajectoires urbaines	224
3.4. Conclusion	228
Chapitre 4.	
De DARIUS à MARIUS, d'un régime explicatif à l'autre	229
4.1. Des modèles d'explication statistique	235
4.1.1. Le modèle de Gibrat : un pouvoir explicatif limité	236
4.1.1.1. Les trois hypothèses vérifiées dans l'espace post-soviétique	236
4.1.1.2. Simulation d'un modèle de Gibrat sur les données MARIUS	239

4.1.1.3. Discussion sur l'apport de Gibrat dans l'explication de la croissance urbaine	240
4.1.2. L'approche par facteurs : conforter des intuitions par la covariation	242
4.1.2.1. Analyse bivariée des types de trajectoires urbaines	253
4.1.2.2. Régressions multiples sur les taux de croissance : à la recherche d'une explication statistique multi-dimensionnelle	261
4.1.2.3. Une analyse multiniveaux pour différencier les hypothèses sur la croissance urbaine en fonction des composantes territoriales de l'espace post-soviétique	276
4.1.3. Des corrélations aux hypothèses sur les causes de la croissance urbaine	289
4.1.3.1. Le primat des interactions économiques	289
4.1.3.2. La pregnance de l'encadrement territorial	290
4.1.3.3. Une particularité géographique : le poids des ressources naturelles	290
4.1.3.4. L'héritage démographique d'un empire	291
4.1.3.5. Centralité et accessibilité : la boucle de rétroaction positive entre transport et croissance urbaine	291
4.1.3.6. Les événements géohistoriques de l'ex-Union soviétique : gouvernance et géographie politique	292
4.2. De la modélisation statistique à la modélisation informatique pour l'explication géographique, de DARIUS à MARIUS	293
4.2.1. Des modélisations. Complémentarité épistémologique d'approches statistiques et simulatrices pour l'explication	294
4.2.1.1. Le problème de l' « explication » statistique	295
4.2.1.2. L'explication par « génération » et le problème de la validation	297
4.2.1.3. Complémentarité des approches dans une démarche abductive	303
4.2.2. L'héritage Simpop et ce que l'on attend d'un modèle de simulation	305
4.2.2.1. Simpop et la modélisation d'agents-villes en géographie	305
4.2.2.2. Simpop2 et Eurosim : modélisation et comparaison de systèmes de villes	307
4.2.2.3. SimpopLocal : un nouveau départ dans la modélisation de systèmes de peuplement	310
4.2.2.4. MARIUS : modélisation incrémentale pour reproduire les trajectoires des villes d'un système (post-soviétique)	314

4.2.3. De DARIUS à MARIUS, l'intérêt d'une multi-modélisation	319
4.2.3.1. MARIUS : pas un mais des modèles à évaluer	320
4.2.3.2. EBIM : l'évaluation au cœur du processus	328
4.3. Conclusion	333
Chapitre 5.	
Expérimentation incrémentale avec MARIUS	335
5.1. Un modèle d'évolution urbaine par interactions spatiales : MARIUS 1.1	341
5.1.1. Présentation détaillée des mécanismes du modèle	343
5.1.1.1. Concepts de modélisation (<i>Design concepts</i>)	343
5.1.1.2. Détails d'implémentation (<i>Details</i>)	346
5.1.2. Qu'est-ce qu'une bonne simulation ? À quel espace de paramètres correspond-elle ?	356
5.1.2.1. Mesure d'adéquation entre observé et simulé	356
5.1.2.2. L'espace des paramètres exploré	357
5.1.3. Premières évaluations de MARIUS 1.1.1	359
5.1.3.1. Résultats de calibrage	360
5.1.3.2. Des dynamiques méso-géographiques irréalistes	363
5.1.3.3. Mieux définir ce qu'est une « bonne » simulation	366
5.1.3.3. Antagonisme des objectifs d'évaluation pour le premier modèle d'évolution urbaine	367
5.1.4. Vers un modèle plus complexe : MARIUS 1.1.2	370
5.1.4.1. Complexification du mécanisme d'interactions spatiales	370
5.1.4.2. Calibrage satisfaisant du modèle	372
5.1.4.3. MARIUS 1.1.2, analyse de sensibilité	376
5.1.4.4. Un modèle qui ne reproduit pas la diversité des trajectoires observées	379
5.2. Trois blocs de mécanismes de complexification du modèle	384
5.2.1. La présence de ressources localisées : MARIUS 1.2	385
5.2.1.1. Principe de base du mécanisme d'extraction de ressources	385
5.2.1.2. Résultats de calibrage de MARIUS 1.2.1	387

5.2.2. La redistribution territoriale et le rôle des capitales : MARIUS 2.1	391
5.2.2.1. Principe de base du mécanisme de péréquation territoriale	391
5.2.2.2. Résultats de calibrage de MARIUS 2.1.1	394
5.2.2.3. Résultats obtenus avec MARIUS 2.2.1	397
5.3. L'apport de l'exploration MARIUS pour la connaissance d'un système de villes	402
5.3.1. Comparaison de la capacité des modèles à reproduire les structures et trajectoires du système-cible	402
5.3.2. Capacité des modèles MARIUS à rendre compte du tournant de 1991	406
5.3.3. Premiers enseignements géographiques	411
5.3.3.1. Confirmations théoriques	411
5.3.3.2. Généricité de la structure du système de villes (post-)soviétique	412
5.3.3.3. Singularités	413
5.4. Conclusion	415
Conclusion	417
Bibliographie	427
Annexes	453
Tables	483
Table des matières	491

Résumé : L'urbanisation russe et soviétique a été tardive et accélérée, en comparaison d'autres ensembles territoriaux ; un grand nombre de villes nouvelles ont été créées par le régime soviétique qui a promu officiellement un discours sur la fonction socialiste de la ville, l'organisation rationnelle de l'espace et la gestion planifiée de l'économie. Ces particularités urbaines et les multiples événements démographiques et politiques du XX^e siècle font des villes de l'espace post-soviétique un ensemble qui pose question quant à sa comparabilité et à ses ruptures. Cette thèse vise à montrer que l'on peut appliquer le concept de système de villes et les méthodes générales de la géographie urbaine (notamment les modèles) pour rendre compte de l'évolution urbaine dans l'espace post-soviétique à long terme, c'est-à-dire mieux comprendre cette évolution et éventuellement prédire des tendances à venir. Nous avons confronté plusieurs modèles statistiques avec la dynamique urbaine observée et montré que la structure macro-géographique des villes était comparable à celle d'autres systèmes de villes (hiérarchie des tailles, espacement, différenciation fonctionnelle). On a aussi observé des trajectoires particulières liées à la dimension du territoire, ses ressources naturelles, sa dynamique démographique récente et diverses décisions politiques. La connaissance des évolutions observées a été intégrée dans une démarche incrémentale de simulation multi-agents qui vise, à partir d'hypothèses théoriques sur les mécanismes générateurs de l'évolution observée, à reproduire des faits stylisés généraux et particuliers, le plus parcimonieusement possible. L'évaluation progressive de modèles de plus en plus complexes a abouti à une simulation satisfaisante des évolutions urbaines observées et mis en valeur les trajectoires les plus particulières qui « résistent » à la modélisation.

Mots-clés : Système de villes, Espace post-soviétique, Modèle, Général/Particulier, Simulation, Évolution urbaine

Summary : The Russian and Soviet urbanisation process happened late and fast, compared to other territories. Many new towns and cities were created by the Soviet regime that officially promoted discourses about the socialist function of the city, rational organisation of space and a planned management of the economy. These urban particularities and the multiple demographic and political events of the 20th century have made cities in the post-Soviet space an interesting case and raised question regarding its ruptures and comparability. This dissertation thesis aims to show that the concept of system of cities and generic methods in urban geography (especially models) are useful in the study of urban evolution over the long term in this space, to eventually better understand past trends and predict future ones. We confronted several statistical models with the observed urban dynamics and concluded that the macro-geographical structure of cities in the post-Soviet space was comparable to that of other systems of cities (hierarchy of sizes, spacing, functional differentiation). We also observed specific trajectories related to the size of the territory, natural resources, the recent demographic shrinkage and the effect of particular political decisions. This knowledge about observed evolutions has been included in an incremental approach of agent-based modeling. Starting from theoretical hypotheses about generative mechanisms, we tried to generate generic and specific stylised facts, with a model as parsimonious as possible. The progressive evaluation of increasingly complex models led to the satisfactory simulation of observed urban evolution and highlighted specific trajectories that « resist » modeling.

Key-words : System of cities, Post-Soviet space, Model, Generic/Specific, Simulation, Urban evolution

Абстракт : По сравнению с другими территориями процесс урбанизации на территории Советского союза произошел довольно поздно и быстро. В период плановой экономики создание советских городов базировалось на идеях социалистической функции города и рациональной организации пространства. Учитывая особенности советской урбанизации, а также демографические и политические трансформации XX века, города постсоветского пространства представляют собой интересный объект исследования, а именно дополнительного изучения требуют вопросы сопоставимости системы городов на постсоветском пространстве с другими системами городов. Цель данного диссертационного исследования - доказать, что концепция системы городов и общие методы городской географии (и в частности моделирование) могут быть эффективно использованы для изучения процессов эволюции городов в долгосрочной перспективе с учетом особенностей существующего пространства, а именно моделирование системы городов может быть использовано для объяснения предыдущих этапов и понимания будущих траектории городского развития. Сравнение некоторых статистических моделей с наблюдаемой городской динамикой позволило прийти к выводу, что макро-географическая структура системы городов на постсоветском пространстве сопоставима с другими системами городов (иерархия размеров, распределение, функциональная дифференциация). Также в результате анализа были выявлены типы траекторий городского развития в зависимости от размера территорий, сырьевой базы, демографической динамики и эффективности тех или иных политических решений. Полученные результаты были использованы для поэтапного агент-ориентированного моделирования. Начиная с теоретических гипотез о генерирующих механизмах, на базе простого моделирования мы симулировали «стилизованные факты». Прогрессивная оценка более сложных имитационных моделей привела к удовлетворительной симуляции городской эволюции и выявила специфичные траектории городской эволюции. Также были выявлены специфические городские траектории, неподдающиеся моделированию.

Ключевые слова : Система городов, Постсоветское пространство, Модель, Общий/Специфичный, Симулирование, Городская эволюция