

Les échelles de l'inégalité urbaine

Projet de recherche au CMH - Mars 2018

Clémentine Cottineau

Chargée de recherche CNRS, section 39, Centre Maurice Halbwachs

Lors de mon recrutement au CNRS fin 2017, deux rapports paraissaient simultanément : le rapport sur les inégalités mondiales 2018 (WID, 2017), et le rapport du Commissariat général à l'égalité des territoires sur les inégalités territoriales (CGET, 2017). Dans les deux documents, on trouve un plaidoyer pour l'utilisation de données détaillées et actualisées sur les inégalités socioéconomiques, afin de révéler et de mieux comprendre la réalité des disparités de richesse et de niveau de vie, en France et dans le monde. Dans les deux documents, on trouve aussi une analyse des causes, des conséquences et de l'évolution des inégalités observées. Toutefois, leur analyse est disjointe, puisque le rapport sur les inégalités mondiales traite (uniquement) des inégalités interpersonnelles au sein des États, tandis que le rapport du CGET traite (uniquement) des inégalités entre territoires (bien qu'à différentes échelles). Or il semble que les constats de polarisation spatiale de la richesse et de la pauvreté en géographie impliquent que les deux phénomènes soient liés. D'une part, les riches choisissent de résider près d'autres riches (Jargowsky, 2002 ; Pinçon, Pinçon-Charlot, 2009) – que ce soit au sein des grandes métropoles (Pumain *et al.*, 2006 ; Sarkar *et al.*, 2016) plutôt que dans les villes secondaires à l'échelle du pays ou dans les banlieues "chic" plutôt que dans les centres urbains denses à l'échelle de la ville – tandis que les plus pauvres tendent à résider près d'autres pauvres (bien que dans une moindre mesure, Prêteceille, 2006). La disparité des territoires est donc influencée initialement par les inégalités interpersonnelles. D'autre part, la littérature sur le *scaling* urbain (West, 2017) et les effets de lieux (Galster, 2010) suggère que l'espace agrégé des pratiques individuelles tend à rétroagir sur ces pratiques, et donc sur le niveau des inégalités locales. La recherche relative aux effets de contexte révèle ainsi que les performances scolaires (Roscigno *et al.*, 2006), le niveau de santé (Marmot, 2006 ; Wilkinson, Pickett, 2010) et de mobilité sociale (Andersson, Musterd, 2010 ; Chetty *et al.*, 2014 ; van Ham *et al.*, 2016) sont soumis à des mécanismes de renforcement lorsque les différents groupes sociaux et économiques sont spatialement très concentrés, ségrégués et exposés à différentes compositions sociales et économiques. L'étude des inégalités de richesse ne peut donc s'abstraire entièrement de la géographie économique du pays dans lesquelles elles sont observées. Mon projet de recherche part de cette tension entre l'objet multiscale des inégalités économiques et son étude segmentée par des disciplines voisines (économie, sociologie, géographie). Il vise à identifier et modéliser les compatibilités entre des théories explicatives encore disjointes pour représenter l'évolution des inégalités économiques spatialisées. À terme, un tel modèle permettra de simuler des scénarios d'évolution et l'impact de politiques publiques à plusieurs échelles territoriales (l'État, les régions, communes ou les territoires prioritaires d'intervention de la politique de la Ville par exemple).

Dans ce document, je décris brièvement ma formation scientifique et mes préoccupations de recherche, avant de présenter l'état des inégalités urbaines, l'état des théories explicatives de leur évolution et des politiques de lutttes contre les inégalités et enfin mes propositions pour une modélisation multiscalaire du phénomène.

1. Formation et travaux antérieurs

Mes travaux de recherche portent sur la géographie urbaine, l'économie spatiale et la modélisation de systèmes complexes. Plus précisément, j'étudie la dynamique des interactions socioéconomiques entre les villes et au sein des villes, selon trois principes méthodologiques : l'appropriation de méthodes nouvelles pour **systématiser** les analyses urbaines et étudier leur sensibilité, **l'accumulation** de savoirs reproductibles *via* la reprise de modèles anciens, la mise à disposition libre et ouverte des données et programmes créés dans mes projets et enfin la **comparaison** (temporelle, inter-échelle et internationale).

Systematiser. Issue d'une double formation en géographie et en économie (Univ. Paris 1), j'ai été familiarisée conjointement à la dualité des modèles, représentant à la fois la régularité des processus et, en négatif, les particularités – notamment locales – des configurations mal prises en compte par le modèle. Toutefois, l'abstraction et la réduction d'un phénomène à une forme simple supposent un nombre de choix de simplification qui n'ont pas tous le même niveau d'évidence ou de certitude. Dans mes propres travaux, chaque décision a posé la question des conséquences qu'aurait eu le choix d'une option alternative et de l'importance de cette décision sur l'ensemble de l'édifice. C'est ainsi que je me suis mise à explorer de manière systématique la sensibilité des modèles aux choix liés à leur implémentation. Bien que cette tâche soit techniquement demandeuse (notamment en raison de la croissance exponentielle des résultats découlant de la mécanique combinatoire des hypothèses), elle est éminemment thématique et qualitative, puisqu'elle procède bien souvent de la déconstruction des catégories d'analyse. Par exemple, dans l'analyse systématique des lois d'échelle (*scaling*) urbaines en fonction des paramètres de définition des villes (Cottineau *et al.*, 2017), il s'agissait de comprendre la stabilité des économies d'échelles mesurées face aux différents territoires intra-urbains pris en compte dans cette mesure. De même, l'analyse de la sensibilité des résultats du modèle de ségrégation de Schelling à la forme urbaine initiale (monocentrique, polycentrique, diffuse) a été un exercice visant à réfléchir sur l'intrication entre les contraintes physiques et la réalisation des dynamiques sociales (Cottineau *et al.*, 2015c).

Accumuler. Le champ de recherche des études urbaines et celui des inégalités sont si larges et pluridisciplinaires qu'il existe déjà bien souvent une version des hypothèses et des intuitions que l'on peut avoir aujourd'hui. L'état de la l'art sur la question est en continuelle expansion. Une grande part de mon temps de recherche est donc consacrée à la lecture de cette littérature diverse et à sa capitalisation sous une forme accessible à d'autres, sous forme de notes de lectures (revues de livres : Cottineau, 2011b ; Cottineau, 2014c ; Cottineau, 2017c), de méta-analyse (concernant les publications liées à la loi de Zipf par exemple, (Cottineau, 2017b) ou d'application interactive pour l'analyse de corpus bibliographiques (Chasset *et al.*, 2016). Cette revue de littérature constante et la recherche d'accumulation m'a amené à revisiter un

certain nombre de classiques : la “loi” rang-taille de Zipf (Pumain *et al.*, 2015 ; Cottineau, 2017b), le modèle de croissance aléatoire de Gibrat (Cottineau, 2013 ; Cura *et al.* 2017), la simulation de comportements émergents de ségrégation de Schelling (Cottineau *et al.*, 2015c) ou encore l’ancêtre du modèle de Christaller avec la traduction du texte du XIX^e siècle de Jean Reynaud (Cottineau, Morphet, 2016).

Comparer. La recherche d’exhaustivité dans la systématisation et l’accumulation va de pair avec la volonté de comparer les villes entre différents pays (ex-Union soviétique, France, Royaume-Uni jusqu’à présent), à différentes dates (du XIX^e siècle à nos jours) et selon différents périmètres (entités politico-administratives, agglomérations bâties, aires métropolitaines), afin de mieux comprendre ce qui engendre la croissance démographique, l’évolution physique des villes, leurs différentiels de prospérité ou d’inclusion sociale. Ces différentes réalisations du même concept de ville (ou de quartier) illustrent l’espace des possibles et des impossibles de l’évolution urbaine, qui peut être d’un intérêt certain pour la conduite de politiques publiques.

1.1. Doctorat en géographie : l’évolution des villes post-soviétiques

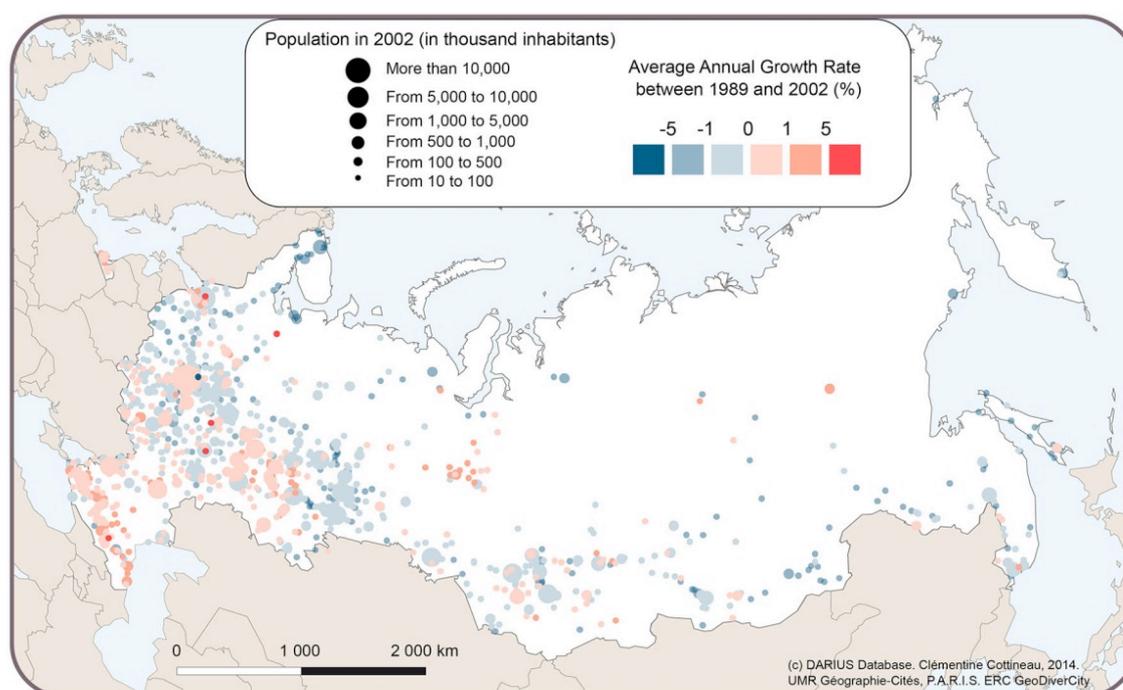
Ma thèse a été consacrée à l’étude du système de villes de l’espace post-soviétique sur le temps long. Sous la direction de Denise Pumain à l’Université Paris 1, j’ai cherché à identifier la part de la mécanique urbaine générale et à la distinguer de la part de la singularité socialiste et russe dans la croissance des villes. Mon hypothèse de travail a été la suivante : *“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 [...] la théorie évolutive des villes [...] permet de mieux comprendre cette évolution, pour mieux en saisir les enjeux à venir.”* (Cottineau, 2014a, p. 12). Pour comprendre et expliquer la particularité de l’urbanisation (post-)soviétique, j’ai eu recours à différents types de modèles. Épistémologiquement, ces modèles (théoriques, statistiques, de simulation) ont joué le rôle de filtres, prenant en charge la dynamique générale d’un système de ville et mettant en valeur les particularités sous forme de résidus (ou écarts au modèle). De manière itérative, la modélisation de la croissance urbaine et de la répartition du peuplement devait permettre de révéler les aspects généraux, particuliers (c’est-à-dire les résidus qui peuvent être modélisés) et singuliers (c’est-à-dire les résidus qui ne peuvent être interprétés sans avoir recours à l’histoire contingente de la ville en question).

Sur le plan thématique, la critique des statistiques urbaines et la création d’une base de données urbaines ont fourni une description inédite de l’urbanisation sur le territoire anciennement soviétique car longitudinale, harmonisée et comparable à d’autres systèmes urbains. Cette description s’est basée sur la démographie de près de 2 000 agglomérations morphologiques situées sur le territoire anciennement soviétique entre 1840 et 2010 (Cottineau, 2014b). Cette source d’informations harmonisées a permis de confirmer l’extrême poussée de l’urbanisation des années 1920 et 1930, puis le ralentissement de la croissance jusqu’à la chute de l’URSS et enfin l’ampleur de la décroissance urbaine, qui concerne 70 % des villes russes dans les années 1990 et 2000 (figure 1, Cottineau, 2016a).

Sur le plan de la théorie urbaine, j’ai pu caractériser le niveau d’adéquation de différents modèles urbains au cas de l’ex-Union soviétique au cours du dernier siècle écoulé. Il est apparu que la “loi” rang-taille par exemple décrit succinctement la hiérarchie urbaine, tandis que les écarts au modèle révèlent les principes

christallériens de l'organisation soviétique et la sous-dotation des centres urbains secondaires en infrastructures, limitant la taille d'une douzaine de villes à un million d'habitants environ. L'analyse de la transition urbaine a mis en lumière les différentes temporalités de l'urbanisation : démarrant tôt dans les grands centres agricoles du centre de la Russie, plus tardivement mais plus rapidement le long du TransSibérien et des camps de prisonniers, encore plus tardivement et encore plus rapidement dans les régions périphériques et pluriethniques de l'empire (Caucase et Asie centrale principalement). Enfin, j'ai mis en relation statistique les taux de croissance des villes et leurs caractéristiques géographiques (site et situation, proximité de ressources naturelles) et fonctionnelles (administrative, industrielle) à différentes périodes pour identifier les facteurs candidats à l'explication de cette évolution urbaine (Cottineau, 2013 ; Cottineau, 2017).

Figure 1. La décroissance des villes russes dans les années 1990-2000



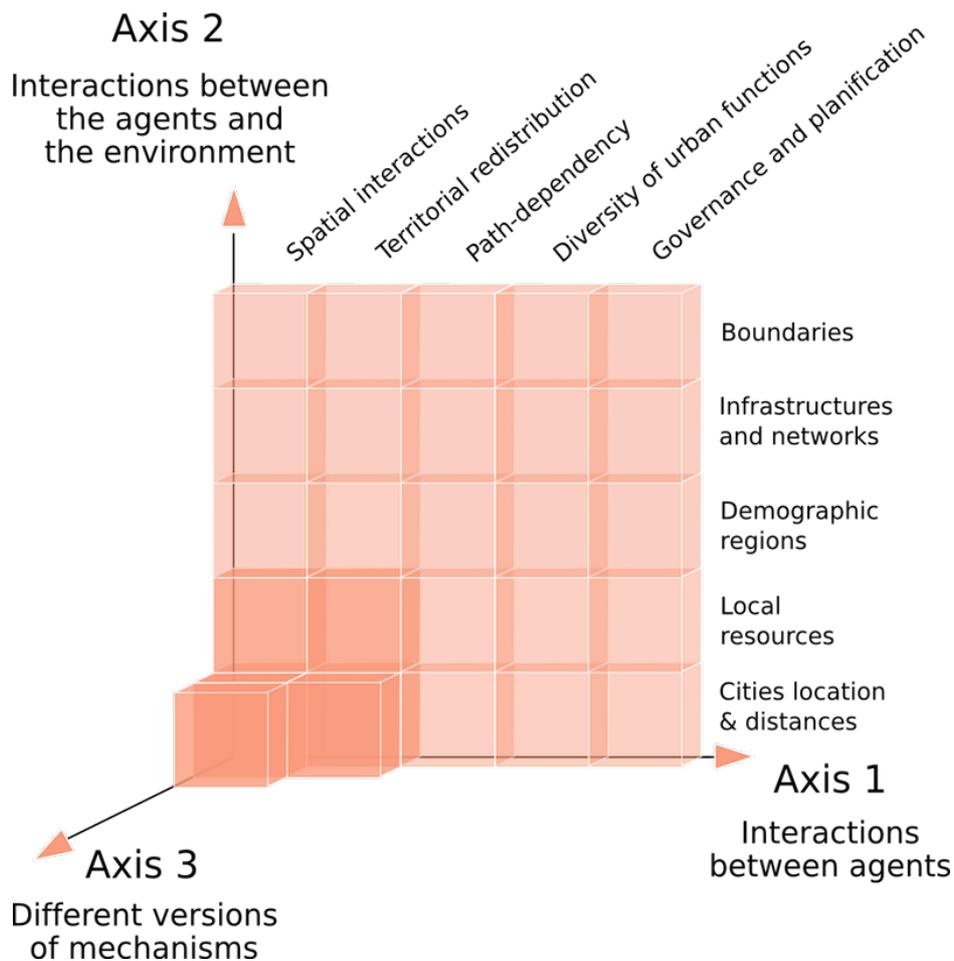
Source. Cottineau, 2016, §24

Sur le plan méthodologique, ma thèse a été l'opportunité de mettre en œuvre un projet de modélisation en collaboration avec deux chercheurs en informatique de l'Institut des Systèmes Complexes, à l'intersection entre mon questionnement sur la généralité des processus d'urbanisation et la contingence de la trajectoire urbaine observée et leur questionnement sur le développement de méthodes d'évaluation de modèles de simulation complexes et l'exploration d'espaces de paramètres par des algorithmes génétiques. Nos échanges ont ainsi conduit à développer une méthode inédite de construction de modèles de simulation urbaine, intégrant des mécanismes de plus en plus complexes caractérisant les interactions entre villes, d'une part, et entre les villes et leur environnement géographique, d'autre part (figure 2, Cottineau *et al.*, 2015a, 2015b ; Chérel *et al.*, 2015 ; Chapron *et al.*, 2017). À chaque itération, le modèle et son espace de paramètres sont évalués vis-à-vis de données historiques. Plus le nombre

de mécanismes requis pour simuler les trajectoires de villes observées empiriquement est grand, plus le système de villes simulé est particulier.

Au final, ma thèse a permis de démontrer que l'urbanisation de l'espace (post-) soviétique avait été relativement classique lorsqu'on l'observe à l'échelle nationale. Les particularités du peuplement et de la dotation en ressources naturelles expliquent les disparités régionales de croissance démographique et urbaine à un second niveau de généralité, tandis que c'est à l'échelle des villes que la singularité soviétique se manifeste le plus nettement. Ainsi, l'émergence et la croissance exponentielle des villes industrielles comme Naberejnye Tchelny, Togliatty ou Magnitogorsk sont inexplicables si l'on ne tient pas compte des décisions du régime d'y implanter des entreprises monopolistiques produisant respectivement tous les camions, toutes les Lada ou une grande part de la sidérurgie. Cette mise en relation des niveaux de généralité et des échelles spatiales me semble constituer un cadre pour distinguer différents niveaux d'attentes quant à la qualité prédictive des modèles selon l'échelle. Les modèles généraux apparaissent suffisants pour construire des scénarios d'évolution de la hiérarchie urbaine, tandis qu'il faudra un niveau de connaissance beaucoup plus fin pour prétendre fournir des prédictions sur la croissance d'une ville en particulier à partir de modèles de simulation.

Figure 2. Un modèle, plusieurs mécanismes. Stratégie de complexification



Source. Cottineau *et al.*, 2015a, § 2.7

1.2. Postdoc en analyse spatiale: analyser les effets d'échelles

J'ai été recrutée par le *Centre for Advanced Spatial Analysis* de *University College London* pour participer au projet ERC de Michael Batty sur la morphologie urbaine et les "lois d'échelle". Le thème des "lois d'échelle" regroupe un certain nombre de travaux quantitatifs sur la ville visant à identifier des régularités statistiques entre la taille des villes et leurs propriétés morphologiques et fonctionnelles. Le postulat des pionniers de ce type de recherche (Pumain, 2004 ; Bettencourt *et al.*, 2007) est qu'il existe des relations non-linéaires entre ces attributs et la population totale des villes, puisque les villes sont sujettes à des économies d'échelle, des rendements croissants et une capacité à générer et capter l'innovation qui augmente avec la taille. Toutefois, la variabilité des résultats mesurés sur différents systèmes de villes et pour différentes définitions de la ville est venue interroger l'universalité des prétendues "lois d'échelle". Dans l'application qui m'a occupée, je me suis posée la question suivante : les villes sont-elles plus riches à mesure qu'elles croissent et deviennent-elles aussi de plus en plus inégales? Le sont-elles uniformément selon les espaces considérés comme urbain ?

Mon premier projet a consisté à tester la validité des lois d'échelles pour une variété d'indicateurs urbains et pour une variété de manières de définir ce qu'est une ville en France. L'INSEE par exemple a produit en 2010 deux définitions de ce qu'est une ville. L'unité urbaine est une agrégation de communes dont le tissu est bâti en continu (i.e. les bâtiments y sont distants de moins de 200 mètres). L'aire urbaine est l'agrégation d'une unité urbaine centre de plus de 1 500 emplois et des communes dont 40 % au moins de la population active résidente occupe un emploi dans l'unité urbaine centre. La méthode développée par Elsa Arcaute (UCL) et Erez Hatna (NYU) pour définir les villes à partir de l'exemple britannique systématise ce type de procédure : au lieu d'un seuil arbitraire à 200 m, à 40 % ou à 1 500 emplois, ils produisent une multiplicité de représentations du système de villes en combinant les valeurs de trois paramètres de définition au sein d'intervalles pertinents. Une représentation du système correspond à des villes définies comme des communes contiguës d'une densité supérieure à X habitants par km², intégrant des communes envoyant plus de Y % de leurs navetteurs au centre, dont la population totale est supérieure à Z habitants. En faisant varier X entre 100 et 2 000 hab/km², Y entre 0 et 100 % et Z entre 0 et 50 000 pour le cas de la France, nous avons produit 4 914 représentations du système de villes en 2011 (figure 3). Pour chacune de ces façons de définir la ville et pour chacun des vingt indicateurs sélectionnés, j'ai mené une régression entre la quantité agrégée de l'indicateur et la population totale des villes, soit un total d'environ 100 000 estimations. Outre le défi d'automatisation de cette procédure et de visualisation des résultats que ce projet m'a posés, le défi le plus important a été celui d'interpréter conjointement la relation, d'un côté, entre la quantité urbaine et la population, et la relation, de l'autre, entre cette relation et la façon dont les villes étaient définies. Mon apport au projet en tant que géographe a été de caractériser l'aspect des villes pris en compte par chaque combinaison de valeurs de paramètre, et d'interpréter les résultats de régression en conséquence.

Les résultats peuvent être synthétisés ainsi (Cottineau *et al.*, 2017a):

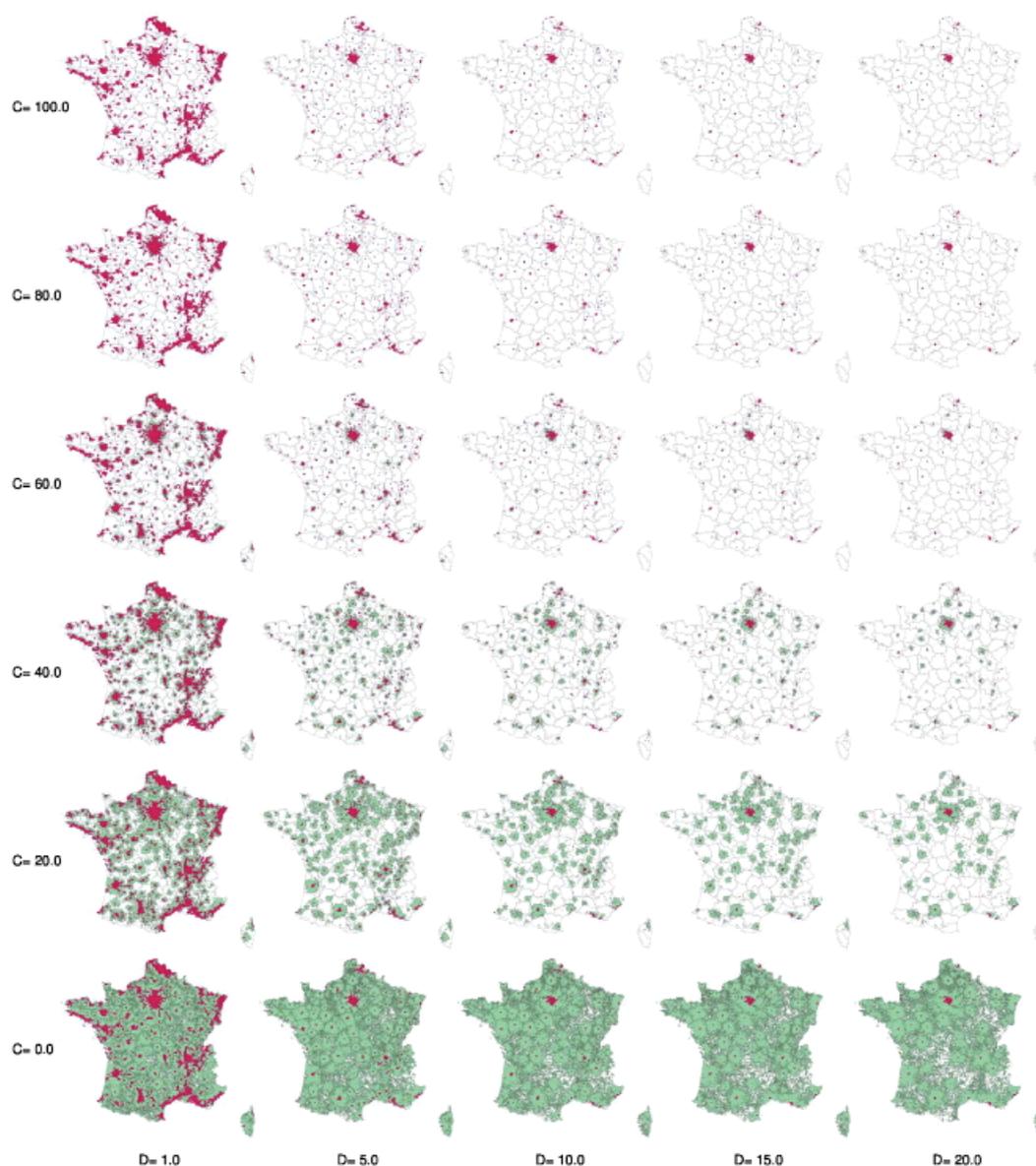
- Les relations scalaires entre attributs urbains et population ne sont pas universelles et dépendent de la manière dont les villes sont définies.
- La façon de définir la ville détermine le type d'espaces inclus dans l'analyse (pour caricaturer : des espaces centraux denses ou des espaces centres + leurs couronnes périurbaines) et la multiplication des définitions renvoie une image plus complète des relations d'échelle. Ainsi par exemple, les villes définies comme des

zones centrales denses sont d'autant plus économes en infrastructure par habitant qu'elles sont peuplées ; tandis que les aires métropolitaines sont plus que proportionnellement consommatrices de ces mêmes infrastructures par habitant. Ce résultat amène à réviser les recommandations faites en termes de politique publique visant à favoriser les villes compactes sur la base d'estimations "d'efficacité" menées uniquement sur les zones centrales des agglomérations puisqu'au final, en intégrant les espaces périphériques associées à ces grands centres par les navettes journalières, on aboutit à la recommandation contraire : les petites aires métropolitaines ont besoin de moins de kilomètres de route par habitant en moyenne.

- Enfin, j'ai montré qu'il existait des groupes d'attributs urbains (les services de proximité, les activités innovantes, etc.) dont la relation avec la taille des villes évoluait de manière similaire avec la définition urbaine.

En se concentrant sur l'analyse de variables économiques issues du Trésor public (le revenu imposable des ménages en 2012 par tranche d'imposition) et de la base CLAP de l'INSEE (pour la rémunération issue des entreprises), j'ai aussi pu revisiter avec Olivier Finance (Univ. Louvain la Neuve) les hypothèses liées aux économies d'agglomération et à la circulation spatiale des richesses, en identifiant les façons de définir la ville qui mènent à l'observation de ces externalités liées à la taille (Cottineau *et al.*, 2018).

Figure 3. Multiplier les définitions urbaines, un exemple de trente combinaisons



D is the minimum density of residents per ha which defines urban centres (in red). *C* indicates the minimum share of Commuters (in %) living in the periphery and working in the density-based urban clusters (in green). *P*, the population minimum, is here set to 0. Aggregation is performed using the 2013 GeoFla geometry of communes. <https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/geofla-communes/>

Source. Cottineau *et al.*, 2016a, p. 4

En l'occurrence, les économies d'agglomération liées aux rémunérations ne sont significatives que lorsque l'on considère des espaces urbains centraux denses en emplois, tandis que la concentration des revenus au lieu de résidence est la plus marquée à l'échelle des aires métropolitaines. Le niveau d'inégalité et de ségrégation économique des villes a été mis en relation avec la taille pour chacune des villes des 4 914 définitions. La conclusion majeure de l'article qui détaille cette recherche est que la taille est un prédicteur insuffisant du niveau de richesse, d'inégalité et de ségrégation d'une ville : d'autres facteurs sont requis pour expliquer la diversité des situations économiques en France. Toutefois, des premiers résultats obtenus en

corrélant niveaux de ségrégation et mobilité à partir de données Orange de téléphonie mobile de Maarten Vanhoof (Univ. Newcastle) montrent que les habitants des villes les plus ségréguées tendent à circuler dans un nombre plus restreints de lieux (c'est-à-dire d'antennes téléphoniques) en moyenne, quelles que soient la taille et la définition de la ville.

Au final, après avoir étudié la relation entre taille de ville et production économique qui manquait à mon travail de modélisation durant la thèse, j'en viens désormais à questionner les mécanismes menant aux différences de richesses et aux effets-tailles, notamment les mécanismes intégrant les migrations résidentielles et les transferts spatiaux de richesse.

2. L'état des inégalités

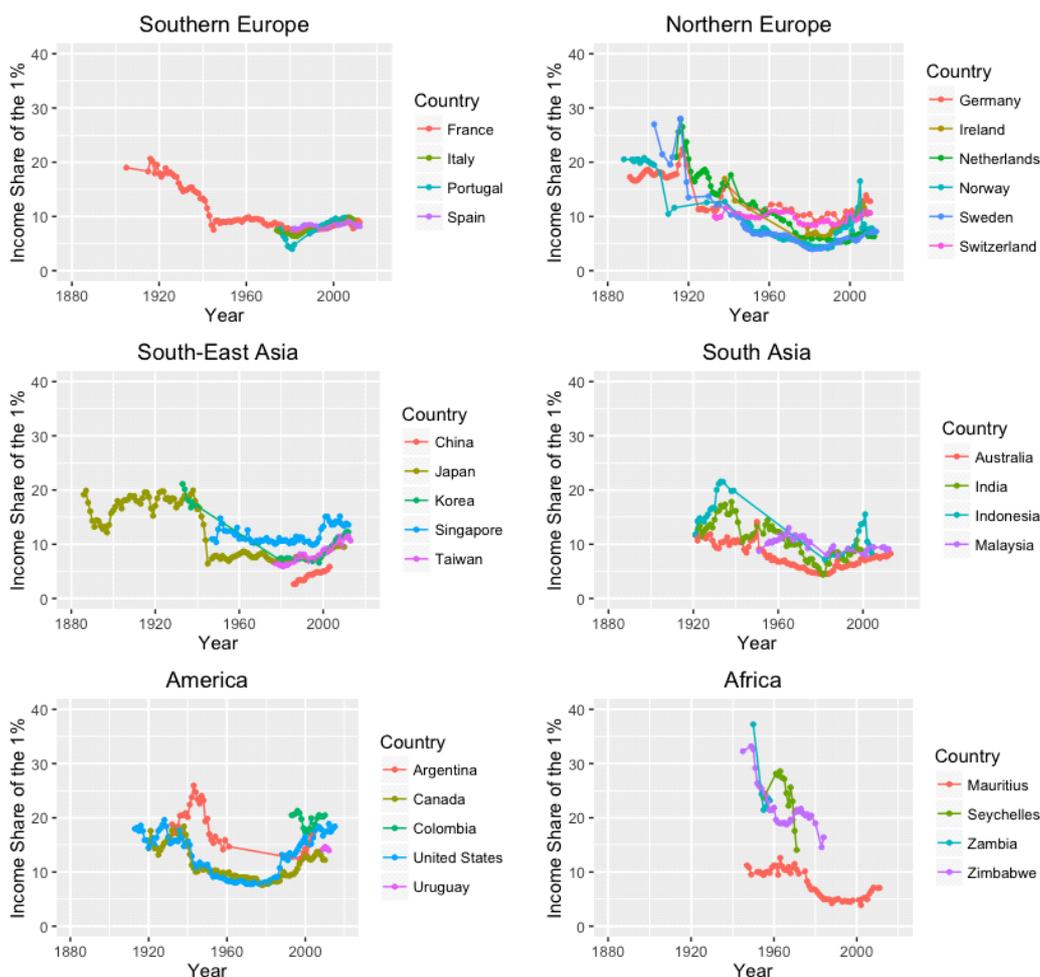
Bien que les inégalités économiques retrouvent aujourd'hui des niveaux historiquement hauts à l'échelle des États (Piketty, 2013), on observe un désinvestissement du financement des services publics par les politiques publiques, couplé à des réductions d'impôts pour les plus riches (Stiglitz, 2015). Parallèlement, alors que la différence de revenu entre les habitants des pays riches et ceux des pays pauvres ne cesse de se réduire depuis quarante ans (Sala-i-Martin, 2006), la réduction des inégalités figure de plus en plus haut dans les préoccupations des grandes institutions internationales et des objectifs de développement durable de l'ONU. Ces deux phénomènes suggèrent l'importance de l'échelle géographique dans la description et la représentation des inégalités économiques. Dans quelle mesure la localisation des individus importe-t-elle dans la distribution interpersonnelle des richesses et du revenu ? Dans quelle mesure les différences de localisation reflètent-elles d'autres disparités géographiques (Shorrocks et Wan, 2005) ? En principe, l'égalité commence par la reconnaissance d'une valeur équivalente entre tous les individus d'une même société, et cette reconnaissance est renforcée par le partage de pratiques communes et la rencontre quotidienne de tous les groupes de la société (Phillips, 2016). Or, cette rencontre quotidienne est contrainte spatialement et les réseaux sociaux restent souvent limités à des espaces de proximité (Krings *et al.*, 2009). La majorité des interactions et des représentations est ainsi liée aux lieux de résidence, de travail et d'activité, ainsi qu'au capital de mobilité de chacun, que l'on sait socialement et économiquement différencié (Orfeuill, 2004 ; Jouffe *et al.*, 2015). Est-il possible d'intégrer les différentes échelles de l'inégalité urbaine dans un cadre conceptuel et méthodologique commun ? Comment inclure les différents niveaux géographiques dans un même ensemble de mesures quantitatives des inégalités économiques ?

2.1. Inégalités mondiales

À l'échelle mondiale, les inégalités individuelles de revenu ont baissé de manière significative et univoque durant la seconde moitié du xx^e siècle. Entre 1979 et 2000, l'indice de Gini a baissé de 3,8 % (de 0,662 à 0,637), l'indice d'Atkinson de 6-8 % et le rapport entre les 10 % les plus riches et les 10 % les plus pauvres (P10/P90) a baissé de près de 20 % pour atteindre 25,7 en 2000, tandis que le rapport P20/P80 a baissé de 30 %, passant de 10,3 à 8,2 (Sala-i-Martin, 2006, p. 384). La baisse des inégalités mondiales dans les années 1980-2000 est attribuée à l'enrichissement rapide des pays en développement (notamment la Chine) où le niveau de revenu moyen correspond approximativement à ce que représenterait un revenu mondial réparti de manière égalitaire entre tous les habitants de la planète, soit environ 760 euros par mois.

Toutefois, l'ordre de grandeur entre pays riches (env. 2 500-3 000 euros par mois) et pays pauvres (env. 150-250 euros) est de 10 à 20 (Piketty, 2013). L'inégalité entre les habitants de différents pays s'explique généralement en termes de stade de développement et de position des États dans la division mondialisée du travail (Herd et Kaya, 2007 ; Firebaugh, 2015). À cette échelle en effet, ce sont aussi les différences de politiques macroéconomiques, d'institutions et de culture qui expliquent les différentiels de croissance sur le long terme (Polèse, 2005). L'inégalité entre les pays constitue environ deux tiers des inégalités inter-individus au niveau mondial, mais cette part a baissé depuis les années 1970. Au contraire, l'inégalité entre citoyens d'un même pays est passée de 30 % des inégalités mondiales en 1970 à 35-40 % aujourd'hui, et la mesure de cette inégalité augmente aussi en valeur absolue (Sala-i-Martin, 2006, p. 390-1). Enfin, si l'on raisonne non pas en termes de revenu mais en termes de patrimoine, « *la réalité est que l'inégalité du capital est beaucoup plus domestique qu'internationale : elle oppose davantage les riches et les pauvres à l'intérieur de chaque pays que les pays entre eux. [...] Dans toutes ces sociétés, la moitié la plus pauvre de la population ne possède presque rien : les 50% les plus pauvres en patrimoine possèdent toujours moins de 10% du patrimoine national, et généralement moins de 5%* » (Piketty, 2013, p.80-404).

Figure 4. L'évolution de la part du revenu capté par le 1% le plus riche



Données. Alvaredo et al., *The World Wealth and Income Database*, 2016.

2.2. Inégalités nationales

C'est à l'échelle des États que les données et mesures des inégalités économiques et sociales ont connu le plus grand développement, depuis les tables sociales de Gregory King dans l'Angleterre du XVIII^e siècle jusqu'à la base de données des hauts revenus (*Top Income Database*). En effet, l'origine de la mesure des revenus et de leur comparaison vient du besoin de collecter l'impôt (une tâche éminemment nationale) plutôt que de le redistribuer (une tâche potentiellement plus décentralisée). Bien que le niveau d'inégalité soit une fonction négative du niveau de la richesse nationale, ce sont les pays les plus riches qui ont connu la plus forte croissance des inégalités au cours des trente dernières années. Cette période de "remontée des inégalités" fait suite à une phase de baisse puis de stagnation de la part du revenu capté par les plus riches et observée dans le monde après la Seconde Guerre mondiale (figure 4). La forte croissance démographique et la mise en place de l'État providence sont à l'origine de la réduction des inégalités de richesse des années 1950-1970. À l'inverse, depuis les années 1980, la faible croissance démographique des pays riches et leurs politiques de libéralisation se cumulent pour concentrer la richesse entre les mains des ménages les plus riches (Atkinson, 2003 ; Piketty, 2013 ; Stiglitz, 2015).

2.3. Inégalités régionales et urbaines

Contrairement aux statistiques nationales, sur lesquelles se basent la plupart des études économiques, les données économiques locales sont rares, hétérogènes et peu harmonisées entre les pays et dans le temps. Exceptionnellement, l'exploitation de fichiers individuels des impôts ou de registres permet de combler ce déficit. Lorsque ces informations individuelles sont accessibles (Chetty *et al.*, 2014 ; Andersson et Malmberg, 2015), c'est-à-dire en Suède, aux Pays-Bas et plus récemment aux États-Unis, les résultats d'analyse montrent une disparité spatiale très forte du potentiel de mobilité sociale et économique, ainsi qu'un lien avec la ségrégation spatiale des villes en question (Lee *et al.*, 2008). De même, le processus de concentration du revenu au sein des États se traduit spatialement par des différences sensibles de richesse et de niveaux de vie entre urbains et ruraux (Sorrocks et Wan, 2005 ; Young, 2013), entre régions (Kanbur et Venables, 2005 ; Boulant *et al.*, 2016) et entre villes selon leur structure de production et leur orientation résidentielle (Davezies et Talandier, 2014).

Figure 5. Des villes plus inégalitaires que leur enveloppe nationale

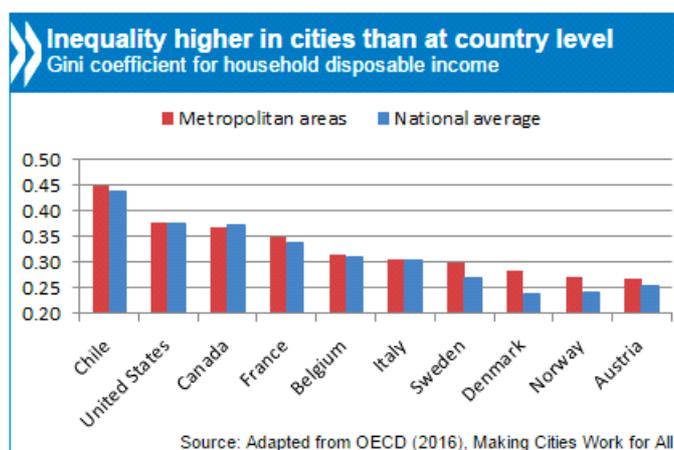
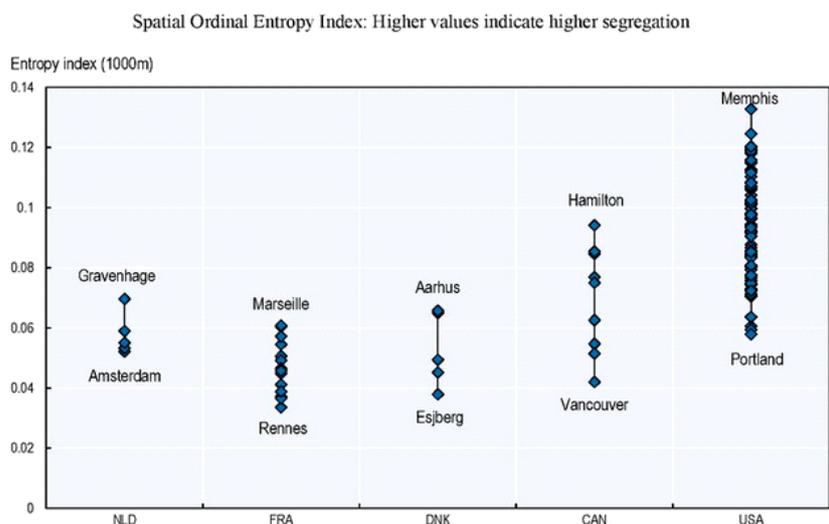
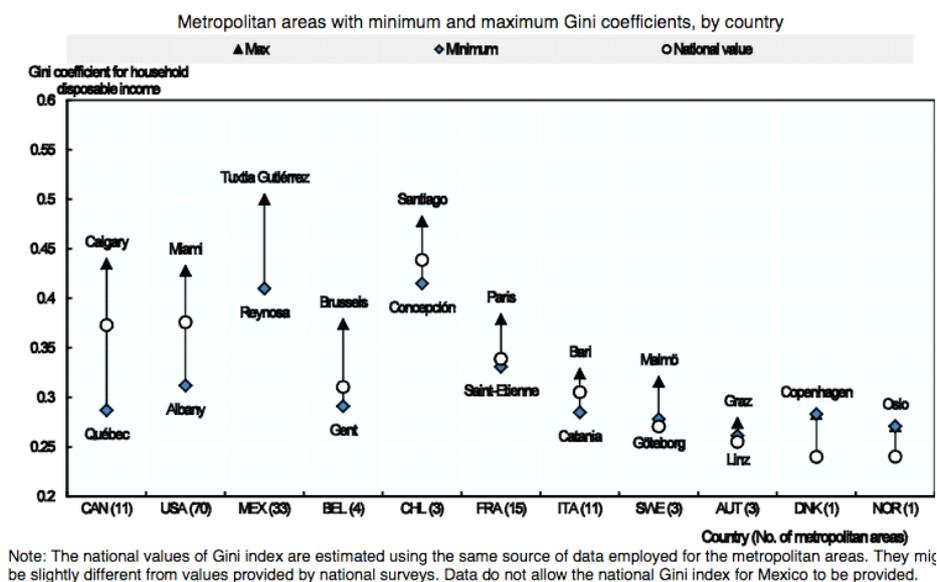


Figure 6. Inégalité et de ségrégation économique entre villes d'un même État



Notes: Data refer to 2014 for the United States; 2013 for Denmark; 2011 for Canada and France; 2009 for the Netherlands. Danish cities include Copenhagen and the functional urban areas of Aarhus, Aalborg, Esbjerg and Odense.

Source. OCDE, 2016

De plus, l'inégalité interne aux villes est généralement plus élevée que celle mesurée pour la population nationale (figure 5), suggérant une concentration des plus pauvres allant de pair avec la concentration des plus riches. Non seulement les villes sont d'autant plus riches et productives qu'elles sont peuplées en moyenne, mais elles abritent aussi des niveaux d'inégalités qui augmentent avec leur étalement (Wheeler, 2006) et leur population (Glaeser *et al.*, 2009 ; Boulant *et al.*, 2016 ; Sarkar *et al.*, 2016, Cottineau *et al.*, 2018). La variation inter-urbaine des niveaux d'inégalité est forte. Aux États-Unis par exemple, il existait en 1980, selon Glaeser *et al.* (2009), une différence de 12 points en pourcentage entre l'indice de Gini de l'aire métropolitaine la plus égalitaire (Appleton, Wisconsin, Gini = 0,33) et la plus inégalitaire (Gainesville, Florida, 0,45). Vingt ans plus tard, les écarts sont mineurs car toutes les aires métropolitaines

se sont alignées sur un haut niveau d'inégalité (entre 0,42 et 0,46). Selon les mesures récentes de l'OCDE, il existe de tels écarts entre les villes canadiennes, mexicaines et belges (figure 6).

Enfin, la situation socioéconomique au sein des villes peut elle-même être contrastée, avec des quartiers spécialisés dans la résidence de ménages de différents niveaux de revenus. Aux États-Unis, P. Jargowsky montre que la concentration de la pauvreté s'est accrue au sein des villes du fait du développement périurbain de quartiers et de logements dédiés à une population homogène (blanche et aisée) depuis les années 1980. 18 % des urbains pauvres vivaient dans des quartiers majoritairement pauvres en 1990, contre 12 % seulement en 1970 (Jargowsky, 2002). Enfin, les travaux de Wheeler (2006) ont mis en avant la relation entre inégalité économique, ségrégation et forme urbaine. Ils indiquent qu'aux États-Unis, l'augmentation de l'inégalité allant de pair avec la dé-densification des aires métropolitaines entre 1980 et 2000 est due majoritairement à un accroissement des inégalités internes aux unités géographiques plutôt qu'à un accroissement de la ségrégation spatiale. Toutefois, l'étude de ces processus s'arrête généralement à l'échelle de la ville (américaine), comme si chaque aire métropolitaine fonctionnait comme un système clos exempt d'échange avec les autres villes (et territoires).

La mesure et la comparaison des inégalités et de la ségrégation à l'intérieur des villes est sujette au problème du *Modifiable Areal Unit Problem* (MAUP ; Openshaw, Taylor, 1979), c'est-à-dire à la définition des mailles géographiques de l'analyse. Les rares travaux qui s'en libèrent, en définissant des voisinages locaux circulaires autour des individus (Lee *et al.*, 2008) parviennent alors à distinguer des minorités "macro-ségrégées" – comme les Noirs vis-à-vis des Blancs dans les aires métropolitaines américaines – dont la séparation se fait en grands secteurs de la ville, tandis que les minorités "micro-ségrégées" – comme les Hispaniques et les Asiatiques vis-à-vis des Blancs – sont concentrées de manière plus locale. L'intérêt de l'approche de ces auteurs est aussi de pouvoir distinguer entre les facteurs les plus corrélés avec la ségrégation selon le niveau d'observation. Les inégalités économiques et leur inscription spatiale doivent donc, à l'instar de la ségrégation ethnique, être analysées, mesurées et modélisées différemment à différentes échelles pour espérer comprendre la mécanique d'amplification à l'œuvre et les moyens de renverser la dynamique.

L'état de l'art proposé jusque là suggère deux angles morts de l'étude multiscale des inégalités. D'une part, il manque un cadre conceptuel et méthodologique permettant de lier les inégalités (inter-)nationales aux configurations locales de la concentration du revenu. En effet, il existe des contraintes fortes entre la situation d'inégalité observée à un niveau géographique et la situation observable aux niveaux géographiques inférieurs. Pour un même niveau d'inégalité à l'échelle nationale, la répartition spatiale des individus dans les villes et entre les différentes villes peut se traduire par une distribution économique identique à la distribution nationale à chaque échelon géographique, tout comme elle peut se traduire par des sociétés locales plus inégalitaires, ou séparées entre espaces uniformément pauvres et uniformément riches. Toutefois, un pays très inégalitaire offre un plus grand nombre de situations potentielles d'inégalités locales qu'un pays égalitaire. De plus, les effets de lieux, en homogénéisant les revenus, les résultats scolaires et/ou la santé des habitants, peuvent réduire la diversité locale des situations sociales. L'inégalité économique ne doit donc plus seulement être décomposée spatialement (Shorrocks et Wan, 2005), mais ses effets sur la santé, l'éducation et la mobilité sociale intergénérationnelle doivent être pensés en incluant ces différentes échelles spatiales, ainsi que les échelles de la redistribution et des politiques sociales. Il s'agit de se doter d'outils

appropriés pour mesurer et comparer l'évolution des inégalités dans et entre les villes de différents pays au cours des quarante dernières années.

D'autre part, il manque une réflexion multiscalaire sur les mécanismes produisant et reproduisant les inégalités économiques dans (et par) l'espace géographique. En effet, la mesure des inégalités et son analyse statique « *comportent le risque d'une confusion entre description et explication. Les processus ségrégatifs, nécessairement dynamiques, ne peuvent apparaître dans une approche statique. [...] Pour [les] identifier, il faut avoir recours à d'autres méthodes qui incorporent le mouvement, et notamment la mobilité des individus et des groupes* » (Bacqué et Lévy, 2009, p. 318). Une manière innovante d'interroger les processus de (re-)production des inégalités à différentes échelles serait de les traduire sous forme de règles d'action et de simuler leur effet sur une population synthétique. La liberté de cette approche est de pouvoir combiner des règles d'action qualitatives formalisées, des mécanismes quantitatifs, et d'inclure l'effet des politiques publiques à plusieurs échelles, tout cela au sein d'un même modèle (de type multi-agents) permettant l'exploration de scénarios non-observables empiriquement.

3. L'état des théories explicatives de l'inégalité urbaine

3.1. Les mécanismes d'amplification des inégalités économiques

La modélisation des inégalités économiques et de leur évolution suppose d'abord de retranscrire les processus causaux mentionnés dans la littérature sous forme de mécanismes et de règles d'action individuelles et collectives. Afin de représenter la diversité des causes et des approches dans l'émergence et l'amplification des inégalités sociales et géographiques de richesse, je procède ci-dessous à un état de l'art des explications et à une liste provisoire de mécanismes proposés comme étant à l'origine des inégalités économiques entre individus et entre territoires.

Mécanismes d'inégalité interpersonnelle. La richesse produite et distribuée à un pas de temps donné (les revenus par exemple) est toujours plus équitablement répartie que la richesse stockée et accumulée sous forme de capital (le patrimoine par exemple). Toutefois, les flux de richesse sont ce qui crée le stock de capital, et l'accumulation de richesse produit à son tour des flux d'intérêt et de rente, qui rendent caduque la stricte séparation des mécanismes d'amplification des différentes inégalités économiques. De manière statique, les différences de niveau d'éducation produisent des différences de revenu, puisque les années passées en formation sont considérées comme un investissement (Eeckhout *et al.*, 2004). Les inégalités découlant de la différence entre les salaires du public et du privé peuvent avoir un impact fort dans les pays en transition (Milanovic, 1999). Le revenu étant composé du salaire, des revenus du capital mais aussi des prestations sociales, les inégalités observées entre les individus de manière statique sont aussi liés à la structure de leur foyer. « *Pour ce qui est de l'inégalité des revenus du capital, les processus les plus importants sont les comportements d'épargne et d'investissement, les règles de transmissions et de successions, le fonctionnement des marchés immobiliers et financiers. Trop souvent, les mesures statistiques des inégalités de revenus utilisées par les économistes et dans le débat public sont des indicateurs synthétiques – comme l'indice de Gini – mélangeant des choses très différentes, et notamment les inégalités face au travail et celles face au capital, si bien qu'il est impossible de séparer clairement les différents mécanismes à l'œuvre et les multiples dimensions des inégalités* » (Piketty, 2013, p. 384-5).

Sur le plan micro-économique, R. Chetty met en avant un certain nombre de mécanismes contribuant à réduire ou augmenter les niveaux d'inégalité et la mobilité sociale. La structure familiale (mono- ou bi-parentale, l'âge des parents ainsi que leur capital social) joue ainsi le rôle de modèle pour l'ambition des enfants, leur accès à l'information sur les choix de carrière possibles ainsi que sur leur capacité à réaliser ces ambitions. Le système éducatif, et notamment la qualité des enseignements fournis, joue sur les mêmes ressorts, et une simple mobilité vers un établissement mieux coté sur le plan éducatif accroît les revenus futurs des Américains étudiés (environ 30 millions, Chetty *et al.*, 2011), de manière linéaire tout au long de leur parcours scolaire.

"[Cumulative Advantage] becomes part of an explanation for growing inequality when current levels of accumulation have a direct causal relationship on future levels of accumulation."(DiPrete et Eirich, 2006, p. 272). Sur le plan macro-économique, les différences d'information, d'opportunité et de masse critique des individus quant à leur capital s'apparentent à cet avantage cumulatif, puisque les épargnes et investissements importants rapportent proportionnellement plus que les petites épargnes stockées sur des livrets A. Ainsi, le patrimoine moyen des 30 à 40 personnes les plus riches a augmenté de 6,8% entre 1980 et 2000, tandis que « le patrimoine moyen mondial par habitant adulte a progressé de 2,1% par an, et le revenu moyen mondial de 1,4% par an » (Piketty, 2013, p. 692).

Enfin, certains supposent que les processus menant aux inégalités n'ont même pas besoin d'être discriminatoires pour amplifier les différences. Ainsi, Scheffer *et al.* (2017) montrent que « dans la société comme dans la nature », la dynamique du hasard (ou la chance) peut rendre compte d'une grande partie des inégalités observées, lorsque les quantités comparées sont sujettes à des gains et des pertes multiplicatifs (la richesse, la population d'une espèce, etc.).

« The worries about inequality before the outbreak of populism were all about interpersonal inequality (e.g. Piketty, 2014 ; Sassen, 2001). [...] Territorial inequality was mostly dismissed as ancillary or even irrelevant. As a consequence, intervening in low-income, low-density places was regarded, at best, as a second-best solution to targeting interpersonal inequality (Kline and Moretti, 2014, 656) and, at worst, as inefficient and leading to little discernible impact (Glaeser and Gottlieb, 2009). [...] Populism took hold not among the poorest of the poor, but in a combination of poor regions and areas that had suffered long periods of decline. It has been thus the places that don't matter, not the "people that don't matter", that have reacted » (Rodrigues-Posé, 2018, p. 12-13)

Mécanismes d'inégalité territoriale. Que ce soit entre pays ou entre régions (bien que les données pour ces dernières soient plus rares), les économistes ont développé des modèles expliquant les inégalités territoriales faisant intervenir la répartition hétérogène des ressources, les disparités de développement et le rôle du commerce (Krugman et Venables, 1995). Plusieurs mécanismes sont toutefois avancés pour expliquer la stabilisation des inégalités de richesse entre le(s) centre(s) et la périphérie :

- les migrations résidentielles au cours du cycle de vie, faisant du centre une région d'attraction de jeunes travailleurs venus accroître leurs compétences et leurs revenus, avant de migrer à nouveau vers la périphérie (Fielding, 1992).
- les transferts de revenus entre régions du centre et régions périphériques par le biais de l'économie résidentielle (Davezies et Talandier, 2014), c'est-à-dire la dépense engendrée par les ménages travaillant dans les régions productives dans les régions

qui le sont moins. Ces auteurs incluent les transferts liés aux navettes pendulaires, aux résidences secondaires et au tourisme en général, ainsi que les migrations de retraités.

À l'échelle des villes et de l'inégalité observée entre leurs niveaux moyens de revenu, la taille de la population des villes est un facteur souvent mentionné. Les mécanismes en jeu, souvent regroupés sous le terme d'économies d'agglomération, passent généralement par la structure de l'emploi, en moyenne plus productif (Rosenthal et Strange, 2004 ; Duranton et Puga, 2004) et polarisé en termes de compétences (Sassen, 1991 ; Baum-Snow et Pavan, 2012 ; Eeckhout *et al.*, 2014) dans les grandes villes. La productivité plus importante viendrait d'une meilleure adéquation entre offre et demande de compétence, d'un meilleur partage de ressources et d'information, et d'une auto-sélection des entreprises les plus innovantes dans les plus grandes villes. « *This, in turn, increases productivity, but also income inequality, as the returns to skills of urban residents increase, pushing earning differences up (Behrens and Robert-Nicoud, 2014).* » (Boulant *et al.*, 2016, p.16). L'explication des économies d'agglomération n'est cependant pas unanimement partagée. Polèse (2005), par exemple, suggère que les villes (et notamment les plus grandes) sont la conséquence de la croissance économique et des institutions nationales plutôt que les moteurs de la croissance et de la productivité. Leur rôle serait de concentrer la richesse nationale et d'ajuster le système de peuplement au niveau de développement, et non de produire nécessairement par elles-mêmes les facteurs de croissance à long terme. Cette contribution a le mérite d'articuler de manière explicite et originale le lien économique entre villes et nation, et de remettre en cause les politiques de concentration de l'action publique dans les villes les plus performantes. Au contraire, Davezies et Talandier (2014) suggèrent que la concentration des moyens dans les villes productives produit des retombées "automatiques" dans les autres espaces nationaux par la mobilité des agents économiques (navettes, résidences secondaires, retraites). Dans les deux cas cependant, la prise en compte des trajectoires résidentielles et des mobilités met en valeur les propriétés d'ajustement des villes aux situations économiques nationale et régionales.

Bien qu'il n'y ait pas de connexion nécessaire entre la morphologie urbaine et la concentration des groupes économiques dans l'espace (Jargowsky, 2002), le marché du logement contribue aussi à la séparation des groupes lorsque les logements construits en périphérie sont destinés à un même type de population (classe moyenne blanche par exemple, Spielman et Logan, 2012). La forme urbaine peut en effet influencer la réalisation des comportements sociaux en offrant des zones tampons (*buffers*) venant réduire l'accessibilité des habitants et l'expansion de leurs réseaux de proximité. C'est ce que montre Banos (2012) à partir du modèle parcimonieux de la ségrégation proposé par T. Schelling, en y ajoutant des réseaux de différentes structures entre les unités d'habitation. Le modèle de Schelling (1978) traduit la réaction en chaîne issue du déménagement de résidents sur la base de leurs préférences quant à l'homogénéité de leur voisinage perçu. Les agents, localisés sur une grille homogène, sont de différents types (couleur, catégorie sociale ou économique). Ils évaluent leur satisfaction résidentielle de manière binaire : bonne si la part des membres de l'autre groupe est inférieure à leur seuil de tolérance, mauvaise sinon. En cas d'insatisfaction, ils migrent vers une nouvelle case au hasard. Ce modèle très simplifié et peu explicatif a l'avantage de mettre en relation l'échelle locale de l'action individuelle et l'échelle urbaine de la ségrégation émergente. Si l'on admet les postulats sur lesquels repose le modèle, alors la morphologie urbaine influence le niveau de ségrégation urbaine en variant l'amplitude de la perception des agents, puisqu'un environnement dense et central inclura un plus grand nombre de voisins dans le champ de l'agent qui évalue sa satisfaction vis-à-vis de son voisinage (Laurie

et Jaggi, 2003 ; Fossett et Dietrich, 2009 ; Cottineau *et al.*, 2015b). À partir d'un autre modèle, Watson (2006) met en lumière le processus de rétroaction par lequel un accroissement des inégalités au sein d'une ville permet la segmentation du marché entre logements pour les pauvres et logements pour les riches profitant des biens publics et aménités locales. Par ailleurs, la ségrégation économique s'ajuste plus rapidement au niveau urbain des inégalités lorsque le marché du logement est "liquide" et dynamique, permettant à chacun de se répartir dans la ville selon son niveau de ressources.

À l'échelle des inégalités intra-urbaines de richesse, les partisans de l'effet de quartier, (cf. van Ham *et al.*, 2016) identifient trois processus concourant au lien entre ségrégation économique locale importante, haut niveau global d'inégalités et faible mobilité sociale au cours du temps : l'auto-sélection des plus riches au sein de clubs et de quartiers exclusifs, l'effet des normes collectives ou de la stigmatisation collective, et enfin une inadéquation spatiale (*spatial mismatch*) entre les emplois locaux et les compétences des résidents. L'auto-sélection des plus riches dans certains quartiers et réseaux socio-spatiaux entretient l'existence d'un effet de club réduisant les opportunités et la provision de ressources aux membres (i.e. aux voisins, i.e. aux individus de même niveau économique). L'effet des normes ou stigmates collectifs tendrait à réduire l'ambition et l'effort des individus dans les quartiers pauvres et au contraire à induire un sentiment de droit à une position sociale minimale pour les individus des quartiers et familles plus riches (Dorling, 2014). De plus, il a été montré dans certains cas que la géographie de la réussite scolaire reproduit celle de la réussite économique (Roscigno *et al.*, 2006 ; Poupeau et François, 2009), renforçant par là les inégalités économiques sur la base de l'adresse du domicile. Toutefois, l'application des résultats, concepts et méthodes nord-américaines à d'autres terrains d'étude ne va pas de soi, puisque les structures sociales, fiscales et institutionnelles y sont différentes. Bacqué et Fol notent aussi que « le système scolaire nord-américain étant financé sur la base des impôts fonciers, il en résulte des inégalités très fortes entre écoles de centre-ville et écoles de banlieue. Il n'est guère étonnant que, mieux encadrés, des enfants réussissent mieux. Pour autant, ont-ils bénéficié d'un effet d'entraînement lié à leur cohabitation avec des enfants appartenant à d'autres groupes sociaux ? La question reste ouverte » (Bacqué et Fol, 2010, p. 189-90). C'est, de manière plus globale, le mécanisme des effets de quartier et du voisinage qu'elles interrogent, au profit d'une recherche des causes et processus (nécessairement dynamiques) guidant les trajectoires sociales et résidentielles des urbains au travers du logement et de la localisation dans les quartiers (pauvres ou riches).

Synthèse. Les mécanismes issus de cet état de l'art sont synthétisés dans le tableau 1, qui indique aussi l'échelle temporelle et spatiale à laquelle le mécanisme agit principalement. Cette liste est encore non exhaustive et hétérogène. L'un des premiers chantiers de cet aspect de mon projet est de compléter les mécanismes listés, en y ajoutant des processus qualitatifs et quantitatifs de renforcement des inégalités économiques et de leurs disparités spatiales. Dans un deuxième temps, je chercherai à répondre à la question suivante : comment synthétiser et hiérarchiser la complexité des processus sociaux décrits par la littérature qualitative et les rendre commensurables avec les modèles quantitatifs existants ? Par exemple, comment formaliser les rapports de domination dans l'espace et rendre ce mécanisme commensurable avec celui de l'évolution des taux d'intérêts globaux ? Il semble qu'aucune solution clé-en-main n'existe pour le moment, mais qu'une modélisation modulaire et flexible soit une des voies possibles pour y parvenir.

Tableau 1. Mécanismes d'amplification des inégalités et échelles de la ségrégation

Mécanisme	Agents et canaux d'action	Echelle temporelle	Echelle spatiale	Réf.
I				
Inégalité interpersonnelle				
1. Inégalités de rendement du patrimoine	Le taux de rendement du capital tend à augmenter avec la taille du patrimoine. Les patrimoines importants s'accroissent plus vite que les petits patrimoines, et les inégalités s'accroissent mécaniquement.	Année	Globale Nationale	[1]
2. Croissance de la richesse et croissance démo.	Lorsque la richesse s'accroît plus rapidement que la population, l'héritage joue un rôle plus important dans la constitution du patrimoine et les inégalités s'accroissent.	Génération	Globale Nationale	[1]
3. Système de redistribution	Le niveau de l'impôt et des prestations sociales atténuent les inégalités interpersonnelles sur le revenu	Décennie	Nationale Urbaine	[1-3]
4. Services publics d'éducation	La provision d'une éducation publique et son égale provision spatiale tendent à réduire les inégalités individuelles de réussite sociale et économique.	Génération	Nationale Urbaine	[4-7]
5. Structure familiale et aspirations	La réussite individuelle des parents en terme économique et social constitue un des modèles de l'ambition des enfants.	Génération	Famille Individu	[6-8]
6. Normes collectives et normes de classes	La stigmatisation de certains quartiers et la production de normes collective homogénéise le devenir social de leurs habitants, ce qui accroît les disparités spatiales de revenu.	Génération	Locale	[8-9]
Inégalité territoriale				
7. "Spatial Mismatch"	La non-coïncidence spatiale entre les emplois et les demandeurs d'emploi défavorise ces derniers et accroît les inégalités d'accès à l'emploi, donc aux revenus du travail	Années	Urbaine	[9]
8. Marché du logement	Les marchés du logement fluides permettent une segmentation plus rapide de la population par niveau économique en cas d'inégalité forte.	Années Décennie	Urbaine Locale	[10-11]
9. Péri-urbanisation	Le développement périurbain orienté vers les classes moyennes et aisées renforce la concentration des groupes économiques dans les villes et accroît les inégalités à long terme	Années Décennie	Urbaine Locale	[12]
10. Économies d'agglomération	La concentration de l'activité économique produit des économies d'échelle (meilleure adéquation des compétences, partage et apprentissage) qui accroît les inégalités entre les villes selon leur taille / densité.	Années Décennie	Nationale Urbaine	[13-15]
11. Sélection et filières de mobilité	L'auto-sélection des ménages les plus aisés dans les mêmes lieux crée des concentrations actives et passives de voisins similaires (éducation, ressources).	Années Décennie	Nationale Urbaine Locale	[16-18]
12. Production et allocation	Les migrations et mobilités entre villes ajustent et amortissent les différentiels de productivité entre villes et entre espaces urbains et ruraux.	Années Décennie	Nationale Urbaine Locale	[19-20]

Références: [1] Piketty, 2013 [2] Striglitz, 2015 [3] OCDE, 2016 [3] Roscigno *et al.*, 2006 [5] Poupeau, François, 2009 [6] Chetty *et al.*, 2011 [7] Andersson et Malmberg, 2015 [8] Dorling, 2014 [9] van Ham *et al.*, 2016 [10] Lee *et al.*, 2008 [11] Watson, 2006 [12] Jargowsky, 2002 [13] Rosenthal et Strange, 2004 [14] Duranton et Puga, 2004 [15] Sassen, 1991 [16] Baum-Snow et Pavan, 2012 [17] Eeckhout *et al.*, 2014 [18] Boulant *et al.*, 2016 [19] Polèse, 2005 [20] Davezies et Talandier, 2014.

4. Propositions pour une modélisation multiscalaire des inégalités

« *The main objectives of [...] inequality studies are dealing with three problems: The existence and magnitude of regional inequality, the mechanism and determinants of regional inequality, and the coping strategy for reducing regional inequality.* » (Li et Fang, 2014, p. 156). Ainsi, les propositions de mon projet visent à développer de nouvelles mesures des inégalités et construire des modèles de mécanismes générateurs, permettant d'intégrer l'effet de politiques publiques de réduction des inégalités.

4.1. Mesurer les inégalités de manière multi-scalaire

Dans le premier volet du projet, je cherche à intégrer la mesure des inégalités économiques et celle de leur inscription spatiale dans un cadre conceptuel permettant de faciliter la recherche des causes de leur amplification. Pour cela, je procéderai en trois temps : identifier les attendus d'une nouvelle famille de mesures multiscalaires des inégalités ; confronter des indicateurs candidats à des situations théoriques traduisant les attendus identifiés ; appliquer cette famille de mesures aux cas d'étude permis par la disponibilité et l'adéquation des données économiques individuelles et locales.

Construire une représentation des inégalités cohérente dans l'espace économique et dans l'espace géographique. La mesure des inégalités économiques constitue un domaine de recherche en soi, qui a ceci d'intéressant qu'il mêle un effort de description de la disparité de richesse à une estimation normative de la distance à un état social souhaitable. Ainsi, A. Sen (1973) évalue l'intérêt de chacune des mesures classiques (indice de Gini, de Theil, variance, etc.) quant à leur capacité à satisfaire à des axiomes normatifs. Par exemple, le transfert de revenu d'un individu pauvre vers un individu riche doit accroître la valeur de l'indice – ce que ne traduit pas l'étendue –, un transfert de revenu identique doit avoir une conséquence plus importante dans le bas de la distribution – ce que les logarithmes illustrent bien (cf. tableau 1 en annexe). De même, dans les travaux sur la décomposition spatiale de l'inégalité, les indicateurs sont généralement composés d'une somme de termes correspondant à l'inégalité intra- et à l'inter-niveau (par exemple interrégionale). Cette dernière représente « *the level of inequality obtained by replacing the income of each person with the mean income of their respective subgroup.* » (Shorrocks, Wan, 2005, p.62).

Toutefois, aucun des indices traditionnellement utilisés dans la littérature sur les inégalités économiques n'intègre la dimension spatiale des inégalités ni la distribution multiscalaire des individus et de leur richesse. Inversement, la plupart des indices de ségrégation économique raisonnent à inégalité constante et cherchent à décrire uniquement l'effet de la répartition des individus dans l'espace administratif ou continu des villes (cf. tableau 2 en annexe). Au sein de ce cadre, plusieurs dimensions peuvent caractériser la distribution spatiale étudiée : la concentration de groupes économiques, l'exposition des membres d'un groupe aux membres d'autres groupes, leur agglomération, centralisation ou ubiquité (Massey et Denton, 1988). Les indices de dissimilarité, de Theil, de Moran, d'exposition et autres, forment ainsi un univers au sein duquel la distribution d'une population résidente, composée généralement de deux groupes, est décrite en fonction des unités administratives d'une ville ou d'une région à une date censitaire donnée.

Face à ces limites, quelques travaux récents sur la ségrégation, issus d'horizons pluridisciplinaires, constituent des points de départ et d'inspiration pour ce projet. Ainsi, Reardon (2006, 2009) développe des mesures incluant l'aspect multi-groupe et ordinal de la ségrégation économique. Wong *et al.* (1999) cherchent à réduire l'effet du MAUP¹ en lissant les données administratives sur un espace continu tandis que Roberto (2015) inclut des éléments d'accessibilité physique, tel le réseau viaire², dans sa mesure de ségrégation. Schnell et Yoav (2001) ont initié la prise en compte de la coprésence des groupes socio-économiques au cours de la journée selon leurs activités et emplois du temps, tandis que Roux *et al.* (2017) utilisent les enquêtes ménages-déplacements pour mesurer "l'horloge de la ségrégation". Enfin, sur le front multiscalaire, Manley *et al.* (2015) proposent d'intégrer l'imbrication des niveaux administratifs dans l'analyse temporelle de la ségrégation ethnique d'Auckland (Nouvelle-Zélande): « *By analyzing the ratios for localities around the city-wide figure, ratios for area units around their respective locality figures, and ratios for meshblocks around their respective area unit figures, the modeling procedure adopted here explicitly incorporates the spatial element of segregation processes* » (Manley *et al.*, 2015, p. 957). Une autre approche de la multiplicité des échelles dans la mesure de la ségrégation ethnique (Lee *et al.*, 2008) ou des effets de contexte (Andersson et Malmberg, 2015) consiste à définir un voisinage individu-centré. Ainsi, le contexte n'est plus figé et dépendant de la maille spatiale mais comprend un nombre unique (mais variable) de voisins. La modélisation multi-niveaux permet d'identifier le degré de dépendance des individus à la structure spatiale à laquelle ils appartiennent dans la ségrégation économique (Andersson et Musterd, 2010). Enfin, les approches de Barner (2017) et Chodrow (2017), toutes deux basées sur la théorie de l'information et sur les propriétés de décomposition de l'entropie, tentent d'intégrer l'aspect multiscalaire de la ségrégation indépendamment des divisions administratives.

Pour satisfaire nos exigences, un ensemble de mesures des inégalités géo-urbaines devra permettre de décrire la distribution économique des individus autant que leur répartition spatiale. Étant donnée la contrainte imposée par un niveau géographique sur le niveau inférieur, l'ensemble de ces mesures devra permettre de distinguer (figure 7) :

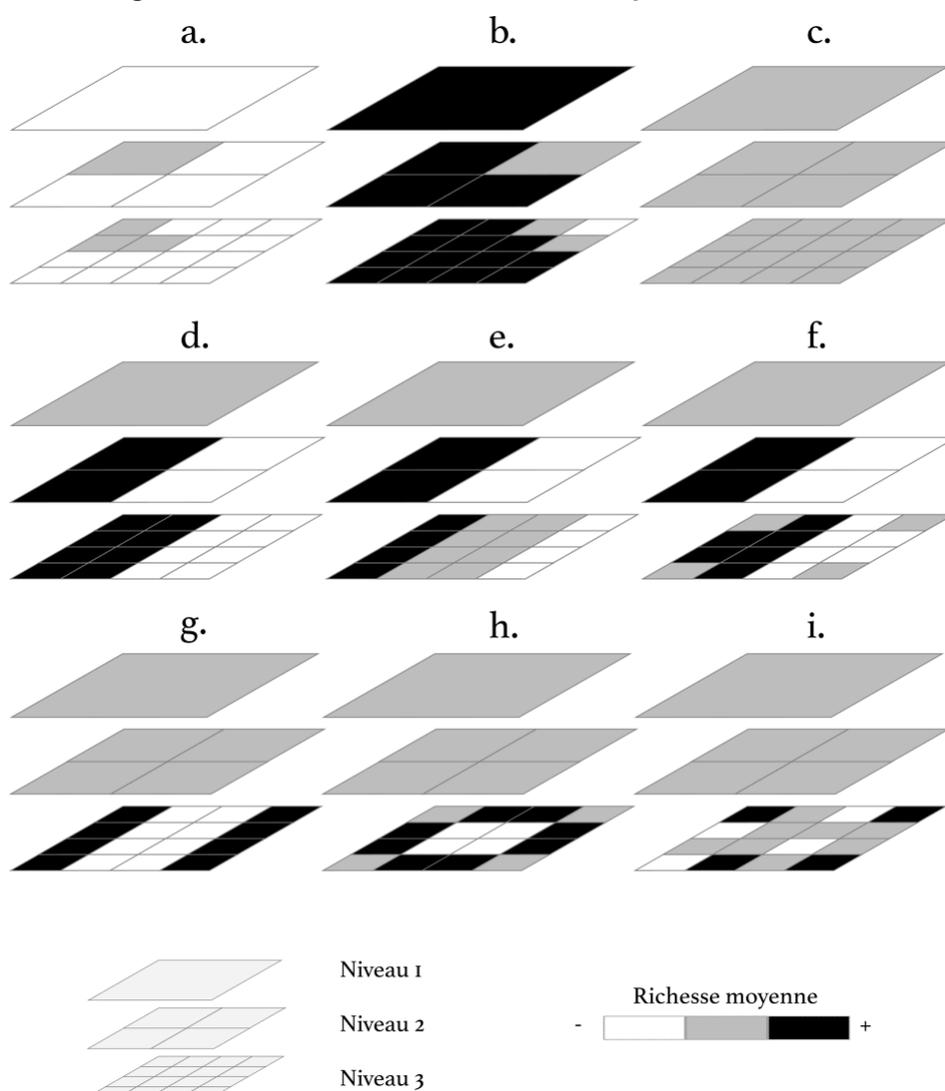
- Les deux situations 'a' et 'b', c'est-à-dire des sociétés homogènement pauvres ('a') et homogènement riches ('b').
- Les multiples distributions aboutissant à la situation 'c' d'homogénéité moyenne.
- La situation 'c' où la répartition spatiale des individus est uniformément moyenne et invariante d'échelle des situations 'd', 'e' et 'f' où l'homogénéisation du niveau 1 est le résultat d'une concentration méso-scalaire des individus de revenus très différents dans des zones exclusives.
- La situation 'c' où la répartition spatiale des individus est uniformément moyenne et invariante d'échelle des situations 'd', 'e' et 'f' où l'homogénéisation du niveau 1 et 2 est le résultat d'une concentration micro-scalaire des individus de revenus très différents dans des zones plus ou moins exclusives.
- Les deux situations 'd' et 'e' quant à la présence ou non de transitions locales entre zones économiques.
- Les deux situations 'g', 'h' et 'i' quant à la présence ou non de motifs marqués dans la distribution locale des individus.
- Les évolutions temporelles de deux configurations initiales similaires.

¹ *Modifiable Areal Unit Problem*, c'est-à-dire l'effet artificiel de la forme, de la taille et du positionnement d'un maillage géographique sur les mesures de répartition d'un phénomène.

² C'est-à-dire le réseau des rues et des routes.

En première approche, un indicateur multidimensionnel, c'est-à-dire composé d'un ensemble d'indices plus ou moins indépendants et orthogonaux, combinant distance économique et distance géographique entre les individus, semble prometteur. Cet indicateur prendrait des valeurs plus faibles en cas de transfert de richesse des plus riches vers les plus pauvres (réduisant la distance économique totale). De même, lorsque riches et pauvres se déplacent et se rencontrent aux mêmes destinations, la distance géographique devra faire baisser la valeur de l'indice. Pour évaluer de nouvelles mesures au regard des critères listés plus haut, je prévois de construire un ensemble de situations et d'évolutions théoriques à différencier, et d'y confronter un ensemble de mesures candidates dans leur capacité à respecter des principes formels mieux que les mesures existantes, à la manière de S. Reardon (2009) dans ses travaux sur la ségrégation.

Figure 7. Situations multiscales théoriques à différencier



Afin de tracer un tableau renouvelé des inégalités économiques, il faudra toutefois s'assurer de l'adéquation des données utilisées pour rendre compte des différentes échelles de l'inégalité économique.

Choisir des données adaptées à l'étude multiscalaire des inégalités

En principe, les données appropriées à ce projet doivent :

- couvrir les **différentes dimensions de la richesse économique** (revenus du travail et du capital avant transferts, transferts, patrimoine, loyers et crédits, particuliers et professionnels), ainsi que les dimensions associées aux **facteurs d'amplification** des inégalités (éducation, ressources, infrastructure, santé, réseaux sociaux).
- être **agrégables à partir de l'échelon le plus fin** ou accessibles à différents échelons géographiques.
- être **comparables** et disponibles pour plusieurs points **dans le temps**, si possible de manière longitudinale.
- être **comparables pour plusieurs villes**, pour des villes de différentes tailles et pour **plusieurs pays**.
- inclure les **flux de richesse**, entre individus et entre zones géographiques.
- être **exhaustives** pour prendre en compte de manière précise les valeurs centrales autant que la dispersion des distributions économiques.
- être **ouvertes** pour permettre le partage et la reproductibilité des résultats.

En termes de faisabilité, le premier défi du projet est donc celui de l'accès à des données adéquates, en commençant par identifier les jeux de données déviant le moins possible des principes énoncés plus haut, tout en apportant un angle original à l'étude des inégalités (au-delà du seul exemple américain par exemple). À l'échelle mondiale, les données individuelles et longitudinales les plus complètes sont celles du Danemark, de la Suède (Andersson et Malmberg, 2015) et des Pays-Bas (van Ham *et al.*, 2016), où un numéro unique identifie un individu dans tous les fichiers administratifs, permettant la mise en relation de ses données de santé, d'emploi et d'éducation tout au long de la vie. Ces systèmes statistiques sont très précieux mais peu généralisables, étant donné que ces pays sont caractérisés par un niveau parmi les plus bas d'inégalités socio-économiques.

Le deuxième type de sources envisagé concerne les relevés d'impôts (*tax records*) tels que disponibles pour la recherche en Australie, Autriche, Belgique, Canada, Estonie, France, Hongrie, Italie, Norvège et au Japon (Boulant *et al.*, 2016), voire aux États-Unis pour des extractions particulières (Chetty *et al.*, 2014). Ces données sont généralement peu désagrégées spatialement, souvent unidimensionnelles et parfois incompatibles dans le temps, en plus d'être sujettes à une sous-estimation due à l'évasion fiscale et au travail informel. Leur couverture spatiale garantit cependant une montée en généralité plus plausible dans le cadre des pays riches. Observer les inégalités économiques de villes et de systèmes de villes inscrits dans des États aux traditions politiques très différentes me semble d'un intérêt majeur pour deux raisons. D'une part, la multiplicité des exemples fournit un "espace des phases" (Byrne, 1998) à partir duquel il est possible d'explorer les différentes trajectoires possibles de l'inégalité économique urbaine, voire de tenter de généraliser certains mécanismes d'émergence ou d'amplification. D'autre part, l'étude d'un même objet dans des contextes politiques très différents est une opportunité pour évaluer l'impact de différentes politiques publiques appliquées à des situations d'inégalités diverses.

En l'absence de ce type de données, il sera nécessaire d'avoir recours à des données d'enquête ou à des données agrégées au sein de zones géographiques locales. Ces données rendent l'analyse sujette à l'erreur écologique mais elles sont potentiellement plus largement disponibles, notamment dans les pays en développement. L'accent est mis sur les sources officielles de données, plutôt que sur les grandes masses de

données (*big data*) par exemple, en raison de l'exigence d'exhaustivité/représentativité des distributions. Toutefois, si des données individuelles longitudinales plus ou moins exhaustives et multidimensionnelles devenaient accessibles au cours du projet, l'opportunité serait évidemment évaluée.

Le cas des États-Unis pourra être considéré dans un premier temps (pour son caractère classique, comparatif et la facilité d'accès aux données de revenus). Il sera ensuite comparé au Royaume-Uni pour lequel je bénéficie d'un accès sécurisé à des données individuelles de salaires, localisées au code postal du lieu de travail et de résidence, entre 2004 et 2014 (*Annual Survey of Hours and Earnings*, ONS 2004-2014) et à la France, pour laquelle la base CLAP (Connaissance locale de l'appareil productif, INSEE) et les DADS (Déclaration annuelle de données sociales) fournissent le même type de renseignements. À plus long terme, l'objectif sera de compiler, cartographier et analyser les inégalités ainsi mesurées aussi largement que possible, en travaillant de manière collaborative avec des spécialistes de terrains non-occidentaux (Afrique du Sud, Brésil, Chine, Russie, etc.). L'intérêt potentiel de ce cadre d'indicateurs multiscalaires concerne enfin son application à l'évaluation de l'action publique. Les politiques liées aux personnes et aux espaces seront envisagées de manière intégrée au sein d'un cadre d'analyse unique. En effet, celles-ci consistent généralement soit à réduire les différences de richesse entre individus (*people-based*), c'est-à-dire la distance économique totale entre tous les citoyens qu'importe leur localisation ; soit à réduire la distance géographique entre les membres des différents groupes, par la promotion de la mixité sociale et le renouvellement urbain, par exemple (*place-based*). Une mesure multiscalaire des inégalités permettrait de comparer ces différentes stratégies sur un même plan, notamment grâce à la simulation de leurs conséquences économiques et spatiales.

4.2. Multi-modélisation et scénarios de réduction des inégalités

Dans le deuxième volet du projet, mon objectif est d'explorer les causes possibles de l'émergence et de l'amplification des inégalités dans les différents contextes urbains retenus. D'une part, il s'agira de chercher les covariations entre caractéristiques urbaines et hétérogénéité économique par la modélisation statistique, de préférence multiniveaux, multi-mécanismes et spatialement explicite (cf. Li et Fang, 2014 pour un exemple lié aux inégalités territoriales chinoises). D'autre part, je souhaite utiliser la simulation de mécanismes générateurs pour tester des hypothèses concernant les processus menant à des configurations inégalitaires multiscalaires. La formalisation des processus s'appuiera sur la connaissance apportée par l'observation empirique quantitative, la modélisation statistique et la formalisation de résultats d'études qualitatives.

Modéliser l'évolution des inégalités économiques. L'objectif ultime de ce projet est d'implémenter les mécanismes influençant l'évolution des inégalités de manière informatique, sous forme de règles d'action appliquées à des agents artificiels afin de simuler des évolutions réalistes, des scénarios moins probables et l'effet de politiques publiques à différentes échelles. Dans cette optique, chaque mécanisme constituera une brique de base d'un modèle composite visant à expliquer et reproduire les évolutions d'inégalités observées. L'idée de coupler les méthodes d'observation qualitatives, quantitatives et de modélisation n'est pas nouvelle (Sanders, 2001). La sociologie quantitative (Byrne, 1998 ; Goldthorpe, 2001 ; Manzo, 2009) procède selon la séquence suivante : l'analyse multivariée pour décrire le système, la modélisation pour expliquer les processus, la simulation pour animer le modèle et explorer différents scénarios. « *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). Cette propriété des modèles de simulation les rend d'un intérêt particulier pour comprendre et expliquer les processus causaux, ainsi que pour évaluer les conséquences de différents scénarios, à la manière d'un laboratoire virtuel pour l'évaluation de mécanismes causaux et de scénarios de politiques publiques complexes (Batty et Torrens, 2005). Mon apport à cet édifice sera d'opérationnaliser une approche de multi-modélisation, c'est-à-dire la construction d'un modèle intégrant des mécanismes issus de différentes théories à différentes échelles ; et de l'appliquer à l'étude multiscalaire des causes d'amplification des inégalités économiques.

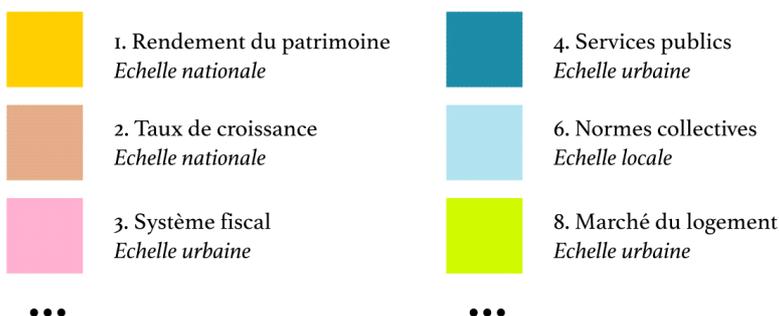
La "multi-modélisation" n'est pas une démarche entièrement nouvelle non plus en sciences sociales et écologiques (Levins, 1956 ; Hermann, 1957 ; Openshaw, 1988). Elle consiste à inclure différentes hypothèses causales et différentes explications au cours de la construction du modèle, afin de confronter et compléter les mécanismes implémentés. Au-delà de l'ouverture théorique, cette méthode permet une analyse de sensibilité des modèles aux contingences de leur implémentation informatique ou mathématique (Levins, 1966 ; Grimm et Berger, 2016). Dans le cadre de modèles de simulation, la multi-modélisation est souvent prônée (Openshaw, 1983 ; Thiele et Grimm, 2015) mais rarement mise en œuvre. En effet, la multiplication des modules de modèle multiplie les analyses de robustesse et de sensibilité, et multiplie les opérations de calibrage et d'exploration. Cette multiplication crée des données massives combinatoires qui nécessitent des outils d'analyse et de visualisation dédiés. Toutefois, il semble qu'il s'agisse du meilleur moyen de valider les modèles théoriques de simulation et de tirer des conclusions thématiques, à l'heure où le calcul distribué et les méthodes de validation des modèles (Schmitt *et al.*, 2015 ; Reuillon *et al.*, 2015) permettent l'exploration et la visualisation simultanée de dizaines de combinaisons de modèles (Cottineau *et al.*, 2015a), leur confrontation avec des données empiriques (Cottineau *et al.*, 2015b) et l'exploration de l'espace des possibles en termes de résultats qualitatifs du modèle (Chérel *et al.*, 2015).

Un modèle de simulation des inégalités économiques et de leur manifestation géographique devra inclure une (ou plusieurs) formulation(s) des mécanismes causaux répertoriés plus haut, à savoir les mécanismes d'amplification des inégalités individuelles (*via* la différence entre taux de rendement du capital et taux de croissance démographique ou l'effet taille de l'épargne sur son rendement), spatiales (*via* le marché du logement ou les effets de contexte) et scalaires (*via* l'accroissement de la productivité et la spécialisation sectorielle dans les grandes villes). La confrontation entre évolution des inégalités simulées et évolution des inégalités observées empiriquement permettra d'identifier la combinaison de mécanismes la mieux à même d'expliquer les processus inégalitaires à une période donnée. Par exemple, dans le modèle que j'ai développé au cours de ma thèse sur l'urbanisation post-soviétique, il existait un mécanisme d'interaction entre villes selon le modèle gravitaire, un mécanisme de redistribution fiscale au sein des régions, un mécanisme d'extraction de ressources locales (charbon et hydrocarbures) et un mécanisme d'exode rural. La méthode de multi-modélisation mise en place a permis de différencier la combinaison la plus efficace pour simuler les trajectoires démographiques avant et après 1991 (Cottineau *et al.*, 2015b). Avant la chute de l'URSS par exemple, le mécanisme d'exode rural doit faire partie du modèle pour obtenir les simulations les plus proches de la réalité. Après 1991, c'est le mécanisme d'extraction des ressources du sous-sol qui devient primordial. De même, je participe actuellement à un projet de modélisation des inégalités socio-spatiales de nutrition en Île-de-France, dans lequel sont comparés

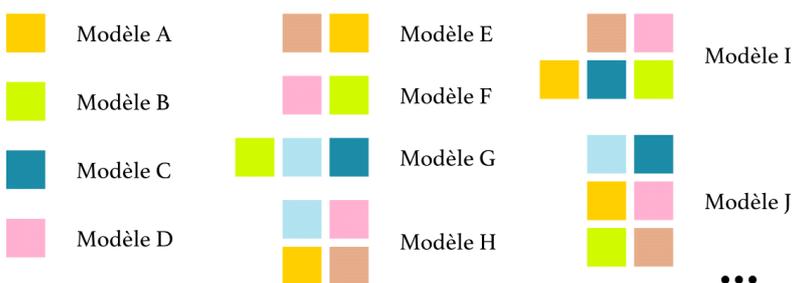
des modèles de changement de comportement (manger 5 fruits et légumes par jour) comprenant ou non un mécanisme de mobilité quotidienne des agents entre lieux de résidence et d'activité (Cottineau *et al.*, 2018).

Figure 8. Plan d'expérience pour une multimodélisation des inégalités économiques

1. Implémentation des différentes briques de base



2. Assemblage en modèle, simulations et calibrage



3. Evaluation de chaque assemblage paramétré



Source. D'après (Cottineau *et al.*, 2015b), appliqué aux inégalités.

Dans le cadre des inégalités économiques et de leurs disparités géographiques, on peut appliquer cette méthode aux premières hypothèses listées dans le tableau 1. La figure 8 identifie quelques uns de ces mécanismes à des briques fonctionnant à une échelle particulière, qu'il sera possible d'assembler à d'autres briques guidant l'évolution des ménages dans les villes et entre les villes. La gestion des dépendances entre ces différents mécanismes sera un travail important mais faisable, qui résultera en un certain nombre de structures de modèles de taille et de complexité différentes.

Des exécutions de ces modèles selon une multiplicité de valeurs de paramètres produiront une quantité importante de simulations parmi lesquelles identifier les combinaisons les plus aptes à expliquer l'évolution observée des inégalités. La troisième étape de cette méthode vise ainsi à confronter les inégalités simulées pour chaque assemblage paramétré avec les inégalités observées dans un contexte donné.

L'étape d'évaluation du multi-modèle doit s'appuyer sur les différents jeux de données empiriques et pourra contribuer à identifier des mécanismes communs à certains types de villes, de périodes ou de territoires, des particularités et singularités urbaines. Enfin, l'exploration des structures de modèles pertinents permettra d'explorer leur espace des possibles, en répondant par exemple aux questions : jusqu'à quel niveau est-il possible de réduire la ségrégation économique étant donné le niveau de l'inégalité économique ? Quel est l'intervalle d'inégalités économiques crédible pour tel niveau de croissance démographique et étant donnée la présence d'effets de contexte ?

Enfin, un tel cadre de modélisation exploré et calibré permettra d'évaluer l'effet possible de politiques publiques dans différents contextes spatiaux. Notamment, les politiques axées sur les individus (*people-based*) et sur les lieux (*place-based*) pourront être comparées de manière quantitative et *in-silico*. Dans la première catégorie, l'objectif est de réduire la distance économique entre individus, par exemple en redistribuant la richesse existante, ou en produisant plus. L'idée d'un impôt sur les patrimoines (Piketty, 2013) ou d'une politique d'éducation globale (Chetty *et al.*, 2014) pourront être implémentées. Parmi les politiques visant la réduction de la distance géographique entre groupes socio-économiques, j'envisage d'explorer des scénarios impliquant le marché du logement (mixité sociale dans le secteur privé, construction de logements sociaux), les infrastructures de transport et de communication, la taxation locale, etc. Plus précisément, des politiques locales telles que la politique de la ville (Behar *et al.*, 1998 ; Darriau *et al.*, 2014) pourront être comparées à des politiques alternatives et à d'autres échelles d'action dans le but de réduire les inégalités économiques et leur disparité géographique.

Au final, j'attends trois types de résultats de l'application de ce programme de recherche : d'une part, une avancée dans la connaissance empirique des inégalités urbaines de richesse et de revenu, par l'adoption d'un cadre de comparaison harmonisé, international et multi-échelles ; d'autre part, la réalisation de modèles de simulation de systèmes géographiques complexes, intégrés et évalués, permettant une avancée dans la compréhension et l'explication des mécanismes d'amplification des inégalités à différents niveaux géographiques ; enfin la possibilité de discuter de recommandations de politiques publiques sur la base de ces modèles, par l'exploration de scénarios appliqués au sein de simulations robustes.

Conclusion

Bien que ce projet et les attentes ainsi listées soient le résultat de mes travaux et réflexions dans les domaines de la géographie urbaine, de l'économie spatiale et de la simulation informatique, un tel chantier ne pourra aboutir que de manière collective. J'envisage donc de m'appuyer sur le CMH pour renforcer ma connaissance empirique, théorique et méthodologique des inégalités socioéconomiques et de leur manifestation géographique. Au-delà de cet environnement de recherche, mon réseau actuel de collaborations permettra de faciliter l'accès aux données britanniques, françaises et russes, aux méthodes issues des systèmes complexes et à la théorie urbaine en général et à l'étude empirique des inégalités en particulier. La collecte de données par pays (ou par registre d'explication) et leur analyse pourra être segmentée en cas d'étude et faire l'objet de projets de recherche impliquant des étudiants de master et de thèse.

L'inscription de ce projet au CMH est aussi décisive dans ce processus. Les recherches qui s'y font à propos des inégalités, des solidarités et des processus d'exclusion sont les domaines qui sont indispensables à la conduite de mon projet tout en m'étant encore relativement peu familiers. J'espère par les collaborations sur site développer mes compétences dans ces directions, diffuser certaines méthodes de modélisation au-delà de la seule géographie quantitative et participer à la co-construction de théories des inégalités économiques urbaines. Par ce choix de m'extraire des centres historiques de la modélisation en géographie, je souhaite montrer que l'entreprise de modélisation n'est pas un exercice purement technique mais une démarche fondamentalement théorique et qualitative car l'intérêt des résultats obtenus dépend du choix des processus modélisés et de la sélection des mécanismes retenus. En effet, il convient de rapprocher les spécialistes de la ville et ceux de la modélisation pour éviter : 1/ que les modèles soient l'apanage des techniciens, 2/ que les modèles se basent sur les mauvaises hypothèses faute de connaissance profonde des dynamiques sociales et que 3/ les grandes potentialités ouvertes par la simulation (exploration de futures possibles, test de scénarios *in silico*) demeurent hors d'atteinte de certaines communautés scientifiques.

Ainsi, ce projet, à l'interface disciplinaire entre géographie, économie, sociologie et systèmes complexes, est un projet de recherche à moyen et long terme visant l'intégration des différentes échelles spatiales dans la mesure et la compréhension des inégalités économiques. Outre son attrait sur les plans théorique et technique, ce projet me semble utile pour l'action politique et sociale dans un contexte de (re)montée des inégalités, et innovant par la réflexion sur de nouvelles mesures des inégalités économiques, leur application empirique et géographique, et enfin la combinaison d'approches qualitatives et quantitatives médiées par la formalisation informatique. Enfin, ce projet se distingue de démarches classiques par l'application de méthodes de simulation de pointe à un sujet brûlant de l'actualité des dix dernières années.

Bibliographie

- Andersson E., Malmberg B. (2015). Contextual effects on educational attainment in individualised, scalable neighbourhoods: differences across gender and social class. *Urban Studies*, 52 (12), 2117-2133.
- Andersson R., & Musterd S. (2010). What scale matters? Exploring the relationships between individuals' social position, neighbourhood context and the scale of neighbourhood. *Geografiska Annaler: Series B, Human Geography*, 92 (1), 23-43.
- Arcaute E., Hatna E., Ferguson P., Youn H., Johansson A., & Batty M. (2015). Constructing cities, deconstructing scaling laws. *Journal of The Royal Society Interface*, 12 (102), 20140745.
- Atkinson A. (2015). *Inequality. What can be done?*. Harvard University Press
- Avila de Sousa S., Cottineau C., Dietersdorfer L., Fernandez Agueda B., Gonul D., Hoemke M., Jaroszevska 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, 14-18 Nov. 2011, 31 p.
- Bacqué M.-H., Fol S. (2010). « 14. Effets de quartier : enjeux scientifiques et politiques de l'importation d'une controverse ». In Authier J.Y., Bacqué M.H., Guérin-Pace F. (dir.), *Le Quartier. Enjeux scientifiques, actions politiques et pratiques sociales*, Paris, La Découverte.
- Bacqué M. H., Levy J. P. (2009). « Ségrégation ». In Stébé J.M. et Marchal H. (dir.), *Traité sur la ville*, PUF, 303-352.

- Banos A. (2012). Network effects in Schelling's model of segregation: new evidences from agent-based simulation. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 39(2), 393–405.
- Barner M., Cottineau C., Molinero C., Salat H., Stanilov K., Arcaute E. (2017). « Multiscale Entropy in the Spatial Context of Cities ». *arXiv preprint arXiv:1711.09817*.
- Batty M., Torrens P. M. (2005). « Modelling and prediction in a complex world ». *Futures*, 37 (7), 745-766.
- Baum-Snow N., Pavan R. (2012). « Understanding the City Size Wage Gap ». *The Review of Economic Studies*, 79 (1), 88-127.
- Behar D., Estèbe P., Epstein R. (1998). « Les détours de l'égalité, remarques sur la territorialisation des politiques sociales en France ». *Revue française des Affaires Sociales*, No. 4, 10 p.
- Bettencourt L. M., Lobo J., Helbing D., Kühnert C., West G.B. (2007). « Growth, innovation, scaling, and the pace of life in cities ». *Proceedings of the national academy of sciences*, 104(17), 7301-7306.
- Boulant J., Brezzi M., Veneri P. (2016). « Income Levels And Inequality in Metropolitan Areas ». *OECD Regional Development Working Papers*, DOI: 10.1787/5jlwj02zz4mr-en
- Byrne D. (1998). *Complexity theory and the social sciences*. Routledge, London.
- CGET (2017), *Portraits de la France. Vers un baromètre au service de la cohésion des territoires*, Conférence nationale des territoires, Grand Cahors, Décembre, 20 p.
- Chamboredon J.-C., Lemaire M. (1970). « Proximité spatiale et distance sociale. Les grands ensembles et leur peuplement ». *Revue française de sociologie*, 11 (1), 3-33.
- Chapron P., Chérel G., Cottineau C., Cura R., Leclaire M., Pumain D. (Coord.), Reuillon R. (Coord.), Rey-Coyrehourq S., Schmitt C., Swerts E. (2017). *Urban dynamics and simulation models*, Springer.
- Chasset P.-O., Commenges H., Cottineau C., Raimbault J. (2016). « Cybergeo Networks: Geosemantics of 20 years of publication in Cybergeo », *Application web interactive*, <http://shiny.parisgeo.cnrs.fr/CybergeoNetworks/>
- Chérel G., Cottineau C., Reuillon R. (2015). « Beyond corroboration: strengthening model validation by looking for unexpected patterns ». *PLoS One*, Vol. 10, No. 9, e0138212. DOI: 10.1371/journal.pone.0138212
- Chetty R., Friedman J. N., Rockoff J. E. (2011). *The long-term impacts of teachers: Teacher value-added and student outcomes in adulthood*. National Bureau of Economic Research. <http://www.nber.org/papers/w17699>
- Chetty R., Hendren N., Kline P., Saez E. (2014). *Where is the land of opportunity? The geography of intergenerational mobility in the United States*. National Bureau of Economic Research. <http://www.nber.org/papers/w19843>
- Chodrow P. (2017). « Structure and information in Spatial Segregation ». *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 201708201, DOI: 10.1073/pnas.1708201114
- Cottineau C. (2011a). « Processus de métropolisation dans l'espace frontalier post-soviétique : l'exemple de Rostov-sur-le-Don ». *Cybergeo : European Journal of Geography*, document 563, <http://cybergeo.revues.org/24765>
- Cottineau C. (2011b). « 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, 345 p. », *Cybergeo*, Revue de livres. <http://cybergeo.revues.org/23623>
- 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, 247-265.

- Cottineau C. (2014a), « L'évolution des villes dans l'espace post-soviétique. Observation et modélisations ». *Thèse de doctorat, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne*, soutenue le 21 Novembre 2014.
- Cottineau C. (2014b). « DARIUS Database », Base de données urbaines harmonisées dans l'espace post-soviétique, 1840-2010, *Figshare*, DOI :10.6084/m9.figshare.1108081
- Cottineau C. (2014c). « Piketty T., 2013, Le capital au XXI^e siècle, Seuil, Coll. « Les livres du nouveau monde », 970 p. », *Cybergeo*, Revue de livres, <http://cybergeo.revues.org/26329>
- Cottineau C., Chapron P., Reuillon R. (2015a), « Growing models from the bottom up. An evaluation-based incremental modelling method (EBIMM) applied to the simulation of systems of cities ». *Journal of Artificial Societies and Social Simulation (JASSS)*, Vol. 18, No. 4, 9.
DOI: 10.18564/jasss.2828. <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/18/4/9.html>
- Cottineau C., Reuillon R., Cura R. (2015b). « VARIUS: Visualising empirical and simulated Agglomerations of (Imperial) Russia and the Soviet Union ». *Application web interactive*, <http://shiny.parisgeo.cnrs.fr/VARIUS/>
- Cottineau C., Le Néchet F., Le Texier M., Raimbault J., Reuillon R. (2015c). « Revisiting some geography classics with spatial simulation ». *European Colloquium of Theoretical and Quantitative Geography (ECTQG) 2015*, Bari (Italie), 3-7 septembre 2015.
- Cottineau C., Reuillon R., Chapron P., Rey-Coyrehourcq S., Pumain D. (2015d). « A modular modelling framework for hypotheses testing in the simulation of urbanization ». *Systems*, 3, Numéro spécial "Agent-Based Modelling of City Systems", 348-377, DOI: 10.3390/systems3040348 <http://www.mdpi.com/2079-8954/3/4/348/>
- Cottineau C. (2016). « A multilevel portrait of shrinking urban Russia ». *Espace, Populations, Sociétés (EPS)*, Vol. 2015/3-2016/1, Numéro spécial "Espaces en dépeuplement", eps.revues.org/6123
- Cottineau C., Morphet R. (2016). « Jean Reynaud: Seer of Space ». *CASA Working Papers*, <http://www.bartlett.ucl.ac.uk/casa/publications/working-paper-205>
- Cottineau C. (2017a). « Peut-on estimer la singularité des villes (post-)soviétiques ? ». *Revue d'économie régionale et urbaine (RERU)*, Vol. 2017, No 1, 5-32.
- Cottineau C. (2017b). « MetaZipf. A dynamic meta-analysis of city size distributions ». *PLoS ONE*, 12 (8), e0183919, DOI: 10.1371/journal.pone.0183919
- Cottineau C. (2017c), « West G., 2017, *Scale. The universal laws of growth, innovation, sustainability, and the pace of life in organisms, cities, economies, and companies*, New York, Penguin Press, 479 p. ». *Cybergeo: European Journal of Geography*, Revue de livres, <http://journals.openedition.org/cybergeo/28543>
- Cottineau C., Arcaute E., Hatna E., Batty, M. (2017). « Diverse cities or the Systematic Paradox of Urban Scaling Laws ». *Computer, Environment and Urban Systems (CEUS)*, Vol. 59, DOI: 10.1016/j.compenvurbsys.2016.04.006
- Cottineau C., Finance O., Hatna E., Arcaute E., Batty M. (2018a). « Defining urban agglomerations to detect agglomeration economies ». *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, DOI: 10.1177/2399808318755146
- Cottineau C., Slepukhina I. (2018), « The Russian urban system: evolution under transition ». In Pumain D., Rozenblat C. & Velasquez E., *International and Transnational Perspectives on Urban Systems*, Springer.
- Cottineau C., Perret J., Reuillon R., Rey-Coyrehourcq S., Vallée J. (2018b). « An agent-based model to investigate the effects of social segregation around the clock on social disparities in dietary behavior », 4^e Colloque international du CIST "Representing territories". <https://cist2018.sciencesconf.org/>

- Cura R., Cottineau C., Swerts E., Ignazzi C., Bretagnolle A., Vacchiani-Marcuzzo C., Pumain D. (2017). « Evidence from BRICS for Zipf and Gibrat's urban models: geographical contexts and data quality matters ». *Geographical Analysis*, 49, 363-386, doi:10.1111/gean.12129
- Darriau V., Henry M., Oswald N. (2014). « Politique de la ville en France métropolitaine : une nouvelle géographie recentrée sur 1 300 quartiers prioritaires ». INSEE, *France, Portrait Social*, édition 2014, 151-165, http://www.insee.fr/fr/ffc/docs_ffc/FPORSOC14.pdf
- DiPrete T. A., Eirich G. M. (2006). « Cumulative advantage as a mechanism for inequality: A review of theoretical and empirical developments ». *Annu. Rev. Sociol.*, 32, 271-297.
- Dorling D. (2014). *Inequality and the 1%*. Verso Books.
- Droujinine A. G., Kirsanova N. V., Cottineau C. (2010). « Identification des métropoles du Sud de la Russie (modélisation cartographique et SIG) ». *Forum du Sud de la Russie*, No 1, 153-157 (en russe).
- Duranton G., Puga D. (2004). « Micro-foundations of urban agglomeration economies ». *Handbook of regional and urban economics*, 4, 2063-2117.
- Eeckhout J., Pinheiro R., Schmidheiny K. (2014). « Spatial sorting ». *Journal of Political Economy*, 122 (3), 554-620.
- Firebaugh G. (2015). « Global Income Inequality ». In Scott R. A., Buchmann M. C. (dir.), *Emerging Trends in the Social and Behavioral Sciences*. John Wiley & Sons, Inc.
- Fossett M., Dietrich D. R. (2009). « Effects of city size, shape, and form, and neighborhood size and shape in agent-based models of residential segregation: are Schelling-style preference effects robust? ». *Environment and Planning B: Planning and Design*, 36 (1), 149-169.
- Davezies L., Talandier M. (2014). *L'Émergence des systèmes productivo-résidentiels*, Paris, La Documentation Française, Coll. "Travaux", No 19, 133 p.
- Fielding A. J. (1992). « Migration and social mobility: South East England as an escalator region ». *Regional studies*, 26 (1), 1-15.
- Galster G. C. (2012). « The mechanism (s) of neighbourhood effects: Theory, evidence, and policy implications ». In *Neighbourhood effects research: New perspectives*, Springer, 23-56.
- Glaeser E. L., Resseger M., Tobio K. (2009). « Inequality in Cities ». *Journal of Regional Science*, 49 (4), 617-646.
- Goldthorpe J. H. (2001). « Causation, statistics, and sociology ». *European Sociological Review*, 17 (1), 1-20.
- Grimm V., Berger U. (2016). « Robustness analysis: Deconstructing computational models for ecological theory and applications ». *Ecological Modelling*, 326, 162-167.
- Held D., Kaya A. (2007). *Global inequality: Patterns and explanations*. Cambridge, Polity.
- Jargowsky P. (2002). « Sprawl, Concentration of Poverty, and Urban Inequality », In Squires G. D. (dir.), *Urban Sprawl: Causes, consequences & Policy Responses*, Urban Institute Press, pp. 39-71
- Jouffe Caubel D., Fol S., Motte-Baumvol B. (2015). « Faire face aux inégalités de mobilité », *Cybergeo: European Journal of Geography*, document 708, DOI : 10.4000/cybergeo.26697
- Kanbur R., Venables A. J. (2005). *Spatial Inequality and Development*. OUP Oxford.
- Krings G., Calabrese F., Ratti C., Blondel V. D. (2009). « Urban gravity: a model for inter-city telecommunication flows ». *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 2009 (07), L07003.
- Krugman P., Venables A. J. (1995). « Globalization and the Inequality of Nations ». *The quarterly journal of economics*, 110 (4), 857-880.

- Laurie A. J., Jaggi N. K. (2003). « Role of 'vision' in neighbourhood racial segregation: a variant of the Schelling segregation model ». *Urban Studies*, 40v(13), 2687-2704.
- Le Roux G, Vallée J, Commenges H (2018). « Social segregation around the clock in the Paris region ». *Journal of Transport Geography* (under review).
- Lee B. A., Reardon S. F., Firebaugh G., Farrell C. R., Matthews S. A., O'Sullivan D. (2008). « Beyond the census tract: Patterns and determinants of racial segregation at multiple geographic scales ». *American Sociological Review*, 73 (5), 766-791.
- Levins R. (1966). « The strategy of model building in population biology ». *American scientist*, 54 (4), 421-431.
- Li G., Fang C. (2014). « Analyzing the multi-mechanism of regional inequality in China ». *The Annals of Regional Science*, 52 (1), 155-182.
- Logan J. R. (2011). « Separate and unequal: The neighborhood gap for blacks, Hispanics and Asians in Metropolitan America ». *Project US2010 Report*, 1-22.
- Manley D., Johnston R., Jones K., Owen D. (2015). « Macro-, meso- and microscale segregation: Modeling changing ethnic residential patterns in Auckland, New Zealand, 2001-2013 ». *Annals of the Association of American Geographers*, 105 (5), 951-967.
- Manzo G. (2009). *La Spirale des inégalités : choix scolaires en France et en Italie au xx^e siècle*. Paris, Presses de l'Université Paris-Sorbonne.
- Marmot M. (2015). *The health gap: the challenge of an unequal world*. Bloomsbury Publishing.
- Massey D. S., Denton N. A. (1988). « The Dimensions of Residential Segregation ». *Social Forces*, 67 (2), 281-315. <https://doi.org/10.2307/2579183>
- OCDE (2016). *Making Cities Work for All Data and Actions for Inclusive Growth: Data and Actions for Inclusive Growth*. OECD Publishing.
- ONU (2015). *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*, Resolution No. 70/1. <https://sustainabledevelopment.un.org/?menu=1300>
- Openshaw S., Taylor P. J. (1979). « A million or so correlation coefficients: three experiments on the modifiable areal unit problem ». *Statistical applications in the spatial sciences*, 21, 127-144.
- Openshaw S. (1983). « From Data Crunching to Model Crunching: The Dawn of a New Era ». *Environment and Planning A*, 15 (8), 1011-1012.
- Openshaw S. (1988). « Building an automated modeling system to explore a universe of spatial interaction models ». *Geographical Analysis*, 20 (1), 31-46.
- Orfeuil J.-P. (2004). « Accessibilité, mobilité, inégalités : regards sur la question en France aujourd'hui ». In Orfeuil J.-P. (dir.), *Transports, pauvretés, exclusions : pouvoir bouger pour s'en sortir*, La Tour D'Aigues, Aube.
- Piketty T. (2013). *Le Capital au XXI^e siècle*. Paris, Seuil.
- Phillips A. (2016). « Are we not both human beings? », Paul Hirt Memorial Lecture, Birkbeck.
- Pinçon, M., Pinçon-Charlot M. (2009). *Les Ghettos du Gotha. Comment la bourgeoisie défend ses espaces*. Paris, Le Seuil.
- Polèse M. (2005). « Cities and national economic growth: a reappraisal ». *Urban Studies*, 42 (8), 1429-1451.
- Préteceille E. (2006). « La ségrégation sociale a-t-elle augmenté ? ». *Sociétés contemporaines*, (2), 69-93.
- Pumain D. (2004). « Scaling laws and urban systems ». *Working Paper of the Santa Fe Institute*. <http://samoa.santafe.edu/media/workingpapers/04-02-002.pdf>
- Pumain D., Swerts E., Cottineau C., Vacchiani-Marcuzzo, Ignazzi A., Bretagnolle A., Delisle F., Cura R., Lizzi L., Baffi S. (2015). « Multilevel comparison of large urban systems », *Cybergeo: European Journal of Geography*, document 706, <http://cybergeo.revues.org/26730>

- Reardon S. F. (2006). « A conceptual framework for measuring segregation and its association with population outcomes ». *Methods in social epidemiology*, 1, 169.
- Reardon S. F., Farrell C. R., Matthews S. A., O'Sullivan D., Bischoff K., Firebaugh G. (2009). « Race and space in the 1990s: Changes in the geographic scale of racial residential segregation, 1990-2000 ». *Social Science Research*, 38 (1), 55-70.
- Reuillon R., Schmitt C., De Aldama R., Mouret J.-B. (2015). A New Method to Evaluate Simulation Models: The Calibration Profile (CP) Algorithm. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 18 (1), 12.
- Roberto E. (2015). « The Boundaries of Spatial Inequality: Three Essays on the Measurement and Analysis of Residential Segregation ». PhD thesis, Yale University.
- Rodríguez-Pose A. (2018). « Commentary. The revenge of the places that don't matter (and what to do about it) ». *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, rsx024, DOI: 10.1093/cjres/rsx024
- Roscigno V. J., Tomaskovic-Devey D., Crowley M. (2006). « Education and the inequalities of place ». *Social Forces*, 84 (4), 2121-2145.
- Rosenthal S. S., Strange W. C. (2001). « The determinants of agglomeration ». *Journal of urban economics*, 50 (2), 191-229.
- Le Roux G., Vallée J., Commenges H. (2017). « Social segregation around the clock in the Paris region (France) ». *Journal of Transport Geography*, 59, 134-145.
- Sala-i-Martin X. (2006). « The world distribution of income: falling poverty and... convergence, period ». *The Quarterly Journal of Economics*, 351-397.
- Sanders L. (dir.) (2001). *Modèles en analyse spatiale*. Paris, Hermes, Lavoisier.
- Sassen S. (2001). *The Global City: New York, London, Tokyo*. Princeton University Press.
- Scheffer M., van Bavel B., Van de Leemput I. A., Van Nes E. H., (2017). « Inequality in nature and society ». *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114 (50), 13154-13157, DOI: 10.1073/pnas.1706412114
- Schmitt C., Rey-Coyrehourcq S., Reuillon R., Pumain D. (2015). « Half a billion simulations: Evolutionary algorithms and distributed computing for calibrating the SimpopLocal geographical model ». *Environment and Planning B: Planning and Design*, 42 (2), 300-315. <https://doi.org/10.1068/b130064p>
- Schnell I., Yoav B. (2001). « The sociospatial isolation of agents in everyday life spaces as an aspect of segregation ». *Annals of the Association of American Geographers*, 91 (4), 622-636.
- Sen A. (1973). *On economic inequality*. Oxford University Press.
- Schelling T. C. (1978). *Micromotives and Macrobehavior*. New York, Norton and Company
- Shorrocks A., Wan G. (2005). Spatial decomposition of inequality. *Journal of Economic Geography*, 5 (1), 59-81.
- Spielman S. E., Logan J. R. (2013). « Using high-resolution population data to identify neighborhoods and establish their boundaries ». *Annals of the Association of American Geographers*, 103 (1), 67-84.
- Stiglitz J. (2015). *The great divide*. Penguin UK.
- Thiele J. C., Grimm V. (2015). « Replicating and breaking models: good for you and good for ecology ». *Oikos*. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/oik.02170/full>
- van Ham M., Tammaru T., de Vuijst E., Zwiens M., (2016). *Spatial Segregation and Socio-Economic Mobility in European Cities*. Institute for the Study of Labor (IZA). Consulté à l'adresse <http://ftp.iza.org/dp10277.pdf>
- Varenne F. (2010). « Les simulations computationnelles dans les sciences sociales ». *Nouvelles perspectives en sciences sociales*, 5 (2), 17-49.
- Watson T. (2006). « Metropolitan Growth, Inequality, and Neighborhood Segregation by Income ». *Brookings-Wharton Papers on Urban Affairs*, 1-52.

- Wheeler C. H. (2006). « Urban decentralization and income inequality: Is sprawl associated with rising income segregation across neighborhoods? » *FRB of St. Louis Working*, 4 (1), 41-57.
- WID (2017), *World Inequality report*, <http://wir2018.wid.world/>
- Wilkinson R., Pickett K. (2010). *The spirit level: why equality is better for everyone*. Penguin UK.
- Wong D. W. S., Lasus H., Falk R. F. (1999). « Exploring the variability of segregation index D with scale and zonal systems: an analysis of thirty US cities ». *Environment and Planning A*, 31, 507-522.
- Young A. (2013). « Inequality, the Urban-Rural Gap and Migration ». *The Quarterly Journal of Economics*, 128 (4), 1727-1785.

Annexes

Tableau 1. Mesurer l'inégalité économique

Mesure	Type	Expression	Intervalle	Inconvénients
Etendue	Descriptive	$E = (\text{Max}_i y_i - \text{Min}_i y_i) / \mu$	$[0 ; n]$	Ignore la distribution entre les extrêmes.
Ecart moyen relatif	Descriptive	$M = \sum_i \mu - y_i / n\mu$	$[0 ; 2(n-1)/n]$	Insensible aux transferts de revenu entre individus du même côté du revenu moyen.
Variance	Descriptive	$V = \sum_i (\mu - y_i)^2 / n$	$[0 ; +\infty [$	Dépend de la valeur du revenu moyen.
Coefficient de Variation	Descriptive	$C = V / \mu$	$[0 ; +\infty [$	Donne un poids équivalent aux transferts dans le haut et dans le bas de la distribution.
Ecart type des logs	Descriptive	$H = \left[\frac{\sum_i (\log(\mu) - \log(y_i))^2}{n} \right]^{1/2}$	$[0 ; +\infty [$	Fonction non concave. Ne se réfère qu'à la valeur moyenne du revenu.
Gini	Descriptive	$G = \frac{1}{2} n^2 \mu / \sum_i \sum_j y_i - y_j $	$[0 ; 1]$	Unidimensionnel.
Theil	Descriptive	$T = \sum_i x_i \log(n x_i)$	$0 ; +\infty [$	Arbitraire et non intuitif.
Dalton	Normative	$D = [\sum_i U(y_i)] / nU(\mu)$	$[0 ; 1]$	Non invariant aux transformations linéaires positives.
Atkinson	Normative	$A = 1 - (y_e / \mu)$	$[0 ; 1]$	Dépend de la forme de la fonction d'utilité.

Source : Sen, 1973, p. 24-46.

N.B. $\mu = (\sum_i y_i) / n$, $U =$ fonction d'utilité, $y_e = y | [nU(y) = \sum_i U(y_i)]$

Annexes

Tableau 2. Mesurer la ségrégation économique

Mesure	Expression	Interval	Inconvénients
Neighbourhood Sorting Index (Jargowsky, 1996)	$NSI \equiv \frac{\sigma_N}{\sigma_H} \equiv \frac{\sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N h_n (m_n - M)^2}{H}}}{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^H (y_i - M)^2}{H}}} \equiv \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N h_n (m_n - M)^2}{\sum_{i=1}^H (y_i - M)^2}}$	[0 ; 1]	Requiert la variance totale, souvent indisponible
Centile Gap Index (Watson, 2009)	$CGI = \frac{0.25 - \frac{1}{H} \sum_i P_i - P_{medni} }{0.25}$	[0 ; 1]	Dépend de la géographie des unités administratives. Considère la distance économique en termes de rangs seulement
Ordinal Information Theory Index (Reardon, 2009)	$H^o = \Lambda^{(v_1)} \text{ with: } v_1 = \frac{1}{K-1} \sum_{j=1}^{K-1} -[c_j \log_2(c_j) + (1 - c_j) \log_2(1 - c_j)]$	[0 ; 1]	Indépendant du niveau d'inégalité
Ordinal Variation Ration Index (Reardon, 2009)	$R^o = \Lambda^{(v_2)} \text{ with: } v_2 = \frac{1}{K-1} \sum_{j=1}^{K-1} 4c_j(1 - c_j)$	[0 ; 1]	Indépendant du niveau d'inégalité
Ordinal Square Foot Index (Reardon, 2009)	$S^o = \Lambda^{(v_3)} \text{ with: } v_3 = \frac{1}{K-1} \sum_{j=1}^{K-1} 2 \sqrt{c_j(1 - c_j)}$	[0 ; 1]	Indépendant du niveau d'inégalité
Ordinal Absolute Difference Index (Reardon, 2009)	$D^o = \Lambda^{(v_4)} \text{ with: } v_4 = \frac{1}{K-1} \sum_{j=1}^{K-1} 1 - 2c_j - 1 $	[0 ; 1]	Indépendant du niveau d'inégalité. Ne remplit pas les critères d'échelle et d'échange (Reardon, 2009)

Source : Jargowsky, 1996 ; Reardon, 2009 ; Watson, 2009.

$$\Lambda^{(v)} = \sum_{n=1}^N \frac{h_n}{Hv} (v - v_n)$$

Avec : h_n le nombre de ménages du quartier n , $n = \{1, 2, \dots, N\}$. m_n le revenu moyen des ménages dans le quartier n . y_i le revenu du ménage i , $i = \{1, 2, \dots, H\}$. M le revenu moyen des ménages dans la ville. N le nombre de quartiers dans la ville. H le nombre total de ménages dans la ville. P_i le centile estimé du ménage i par rapport à la distribution du revenu dans la ville. P_{medni} le centile de revenu estimé du ménage médian du quartier n du ménage i dans la distribution totale de la ville. K le nombre total de catégories ordonnées de revenu. v une fonction de variation ordonnée de k pour la ville. v_n une fonction de variation ordonnée de k pour le quartier n . c_j la distribution cumulative des catégories ordonnées j .

