

Modèle multi-acteurs de l'espace habité

1.	INTRODUCTION.....	4
1.1.	VERS L'ÉLABORATION D'UN MODÈLE BASÉ ACTEURS	4
1.2.	UNE AUTRE ÉPISTÈME	4
1.3.	LE JOURNAL DU MODÈLE ET SA NUMÉROTATION	5
1.4.	UN VOCABULAIRE SUR MESURE D'UN MODÈLE BASÉ ACTEURS	5
2.	MODÈLE SIMPLIFIÉ DE LA MOBILITÉ RÉSIDEN- TIELLE.....	7
2.1.	L'ÉBAUCHE D'UN MODÈLE	7
2.2.	OBSERVATIONS	8
3.	ATTITUDE À L'ÉGARD DE L'HÉTÉROGÉNÉ- ITÉ : « ALLOPHILIE » ET « ALLOPHOBIE »	9
3.1.	RÉFLEXIONS	9
3.2.	NOUVELLE VERSION DU MODÈLE	10
3.2.1.	<i>Les attributs des lieux</i>	10
3.2.2.	<i>Les attributs des individus</i>	10
3.2.3.	<i>Le paramètre global : la proportion d'allophiles</i>	10
3.2.4.	<i>État initial et dynamique</i>	11
3.2.5.	<i>Sémantique graphique</i>	11
3.3.	OBSERVATIONS	12
4.	ALLOPHILIE, ALLOPHOBIE, INDIFFÉRENCE, ASCENSION SOCIALE ET MÉMOIRE.....	14
4.1.	RÉFLEXIONS	14
4.2.	NOUVELLE VERSION DU MODÈLE	14
4.2.1.	<i>Les attributs des lieux</i>	14
4.2.2.	<i>Les attributs d'individus</i>	15
4.2.3.	<i>Paramètres</i>	16
4.2.4.	<i>État initial et dynamique</i>	16
4.2.5.	<i>Éléments graphiques</i>	18
4.3.	OBSERVATIONS	18
5.	PREMIERS IMPACTS DE L'ESPACE ET L'HÉTÉROGÉNÉ- ITÉ PERÇUE.....	21
5.1.	RÉFLEXIONS THÉORIQUES	21
5.2.	NOUVELLE VERSION DU MODÈLE	22
5.2.1.	<i>Attributs liés au lieu</i>	22
5.2.2.	<i>Attributs d'interface : Exposition à l'altérité</i>	23
5.2.3.	<i>Paramètres</i>	23
5.2.4.	<i>Dynamique</i>	23
5.2.5.	<i>Éléments graphiques</i>	24
5.2.6.	<i>État initial</i>	25

5.3.	OBSERVATIONS	26
6.	PORTAGE DU MODÈLE SUR JAVA-REPAST ; EXPLICITATION DU RÉFÉRENT MÉTRIQUE ET INTÉGRATION D'UN NOMBRE RÉALISTE D'ACTEURS	28
6.1.	RÉFLEXIONS THÉORIQUES	28
6.2.	RECHERCHE DE SOLUTIONS TECHNIQUES	28
6.3.	LA NOUVELLE VERSION DU MODÈLE	29
6.3.1.	<i>L'état initial</i>	29
6.3.2.	<i>Les variables liées aux lieux</i>	30
6.3.3.	<i>Les variables rattachées aux acteurs</i>	31
6.3.4.	<i>Paramètres globaux (user-set)</i>	31
6.3.5.	<i>La dynamique résidentielle</i>	31
6.3.6.	<i>Sémantique graphique</i>	32
6.4.	RÉSULTATS	33
7.	VERSION FINALE : INTRODUCTION DES ATTRIBUTS INDÉPENDANTS DES LIEUX ET DE LA NOTION D'ACCESSIBILITÉ	36
7.1.	RÉFLEXION	36
7.1.1.	<i>De l'hétérogénéité subjective à la mixité objectivée</i>	37
7.1.2.	<i>De l'indifférence à l'ascension sociale</i>	37
7.1.3.	<i>Introduction de facteurs pesant sur l'individu</i>	37
7.1.3.1.	La somme effectivement payée dans le cas d'un emprunt.....	38
7.1.3.2.	Le coût de l'enfant	38
7.1.4.	<i>Les subventions</i>	39
7.2.	NOUVELLE VERSION DU MODÈLE	40
7.2.1.	<i>Les attributs des lieux</i>	40
7.2.1.1.	La proportion initiale des nombres d'individus appartenant à des classes de revenus définies	40
7.2.1.2.	Le nombre de non résidents	41
7.2.1.3.	Le prix foncier.....	42
7.2.1.4.	La diversité fonctionnelle	42
7.2.1.5.	L'accessibilité automobile	42
7.2.1.6.	L'accessibilité pédestre	42
7.2.1.7.	Variables synthétiques : score allophilique, score allophobique et score d'ascendance sociale	43
7.2.2.	<i>Les attributs liés aux individus</i>	45
7.2.2.1.	Attribut d'acteur : attitude par rapport aux lieux	45
7.2.2.2.	Attribut d'agent : classe de revenu	46
7.2.2.3.	Attributs d'acteur 2 : Les multiplicateurs du prix foncier : enfants et propriété.....	47
7.2.3.	<i>Les paramètres</i>	47
7.2.3.1.	Paramètres déterminés lors de l'initialisation	47
7.2.3.2.	Paramètres modifiables au cours de la simulation	48
7.2.4.	<i>Notes sur l'usage du modèle</i>	49
7.2.5.	<i>Les paramètres d'initialisation</i>	50
7.2.6.	<i>Simulation</i>	50
7.3.	SÉMANTIQUE GRAPHIQUE.....	50
7.4.	RÉSULTATS DE LA DERNIÈRE VERSION DU MODÈLE.....	51

7.4.1.	<i>Dominance allophile</i>	51
7.4.2.	<i>Dominance allophobe</i>	55
7.4.3.	<i>Dominance du désir d'ascension sociale</i>	59
8.	CONCLUSIONS GÉNÉRALES	62
9.	RÉFÉRENCES	63
9.1.	ARTICLES.....	63
9.2.	INTERVENTIONS PUBLIQUES	64

1. Introduction

1.1. Vers l'élaboration d'un modèle basé acteurs

L'objectif du troisième module de « *Our Inhabited Space* » a été de construire un modèle du lien entre un nombre réduit de modèles basiques de comportement individuel urbain contextualisé et la structure globale de l'espace urbain.

Des facteurs économiques et politiques ont été pris en compte comme contexte des décisions individuelles, mais précisément *en tant que contexte* et non pas en tant que déterminant des comportements individuels en termes de mobilité résidentielle. C'est par le moyen méthodologique d'un « modèle basé automates » [Benenson/Torrens 2004] que nous avons relevé ce défi. Néanmoins, contrairement à d'autres modèles réalisés dans ce domaine – où le vouloir-habiter des individus est souvent traité comme invariante du système étudié – nous avons cherché, ce faisant, à mettre l'accent sur l'impact des stratégies individuelles (basées sur des modèles d'urbanité individuellement intériorisés) sur la structuration de l'espace urbain. Dans cette perspective, les diverses alternatives explorées par le modèle distinguent clairement, d'un côté, les diverses configurations du contexte sociétal et, de l'autre côté, la diversité des attitudes et des réponses des individus. Les changements du contexte constituent bien les *inputs* aux pondérations individuelles mais ne la déterminent pas. Ces *inputs* sont toujours filtrés et interprétés au sein des schèmes stratégiques des individus idéaux-typiques.

La définition de ces schèmes s'est faite sur la base de travaux empiriques déjà réalisés, dans lesquels il nous a été possible de définir un nombre réduit d'idéaltypes de stratégie urbaine individuelle, dont les choix concrets en termes de localisation résidentielle et de mobilité modifient l'espace urbain [Stock 2001a; Kaufmann et al. 2003; Scalab 2004].

Nous avons ainsi construit une interface rendant possible un grand nombre de *scénarios*, dont les variations se jouent aussi bien du point de vue des stratégies d'habiter individuelles que du point de vue des contextes de déploiement de ces stratégies.

1.2. Une autre épistémè

Un modèle dynamique ne saurait en aucun cas incorporer tous les aspects connus d'un phénomène mais seulement un sous-ensemble sélectionnée de ces derniers. La sélection se fait en vue d'une clarification du lien formel existant entre des aspects dont nous avons acquis l'intuition par une observation empirique du phénomène urbain. La démarche modélisatrice constitue, dans ce sens, une exploration logique de notre propre connaissance du phénomène urbain en tant que système : elle nous force à formaliser nos intuitions et à les soumettre à l'examen d'une représentation algorithmique strictement soumise, à son tour et en tant que

machine de Turing, aux règles de constructibilité¹. Pour cette raison, dans une démarche de modélisation comme celle que nous entreprenons ici, le processus de construction d'un modèle est pour le moins important aussi important que son résultat.

La démarche constructiviste que nous avons adoptée renvoie à tout cela : le modèle de l'espace habité a été constitué par étapes, dont chacune représente l'implémentation d'un élément de nos connaissances théoriques sur l'espace habité et sur ses habitants. En même temps, chacune des étapes constitue une avancée dans cette connaissance théorique elle-même, dans la mesure où elle la formalise. À chaque ajout, nous nous efforçons de dépasser une pratique répandue en modélisation dynamique en sciences sociales : il ne s'agit pas de justifier les ajouts d'éléments par leur apport en termes de la ressemblance morphologique des résultats de simulation avec une réalité statistique mais par la *significations* de ces ajouts, en termes d'une pratique individuelle de l'espace et en termes de la compréhension du lien entre ces pratiques et la dynamique urbaine globale : un pas nécessaire, préconisé notamment par Ourednik [2005] et Ourednik/Dessemontet [2007].

C'est afin de répondre à ces exigences que nous avons tenu un **journal du modèle**.

1.3. Le journal du modèle et sa numérotation

Chaque partie de ce chapitre 3 de l'annexe de « Our Inhabited Space » présente un modèle, où sont d'abord introduites les réflexions théoriques sur les manques de la version précédente et où sont introduits les nouveaux éléments, clairement identifiés, au niveau des *attributs* utilisées, des *conditions initiales* et de la *dynamique* du modèle, ainsi que de la sémiologie utilisée pour l'affichage graphique. Toutes les versions du modèle peuvent être consultées et exécutées en ligne sur le site du projet, à l'URL suivante :

<http://ois.choros.ch/model>

1.4. Un vocabulaire sur mesure d'un modèle basé acteurs

En géographie humaine, la modélisation formelle basée individus s'appuie souvent sur un appareil théorique incomplet. Alors que les concepts mathématiques (équations aux différences, machines de Turing, automates cellulaires, théorie de la complexité et du chaos etc.) sont abondamment invoqués, les références aux concepts liés à l'individu et à son action sont quasiment absentes. Cet état des choses est gênant, dans la mesure où la rigueur formelle d'un modèle complexe de la société exigerait, en principe, qu'une attention soit

¹ Pour le dire avec une devise désormais connue, énoncée par les pionniers de la modélisation dynamique basée individus en sciences sociales : « *you understand it if you can 'grow' it* » [Epstein/Axtel 1996]

accordée à une définition claire de son objet constitutif, et que soient toujours explicitées les modalités de la réduction épistémique de cet objet.

Nous avons souhaité opérer selon des principes qui échappent à la tendance citée ci-haut et avons donc cherché à articuler les noms attribués aux divers éléments de notre modèle au vocabulaire de l'individu et de l'habitant des sciences sociales contemporaines². Voici les termes dont nous ferons usage :

- **objet** : élément du modèle, correspondant à l'usage de cette notion dans les langages de programmation orientés objet. Dans le langage Java, dont nous avons fait usage, un objet correspond à une « classe ».
- **attribut** : une variable textuelle, numérique ou booléenne rattachée à un objet. Nous distinguons entre les trois types d'attributs suivants :
 - **attributs de lieu** : variables d'un objet représentant un lieu.
 - **attributs d'actant** : variables d'un objet représentant un individu non-humain : un animal, une institution, voire un bâtiment. Nous n'en ferons pas usage dans le modèle actuel mais n'excluons pas leur inclusion dans des versions futures de ce dernier.
 - **attribut d'agent** : variable d'un objet représentant un individu humain, associée à sa dimension d'agent. Un attribut d'agent peut être l'âge, le sexe, l'ethnie, voire le revenu, c'est-à-dire, tout aspect de l'individu ne relevant pas de son libre choix.
 - **attribut d'acteur** : variable d'un objet représentant un individu humain, associée à sa dimension d'acteur. Un attribut d'acteur peut être, *e.g.*, une préférence de mode de transport ou le type du rapport à l'altérité. L'ensemble des attributs d'acteur est ce qui fonde, pour nous, une « stratégie d'habiter ». Les acteurs de notre modèle sont des **résidents** et nous nous y référerons comme tels.
- **paramètre** : variable « globale », définissable par l'opérateur du modèle, dont la valeur se répercute sur les attributs lors de l'initialisation ou de l'exécution dynamique du modèle formel.

Nous distinguerons d'autre part, entre les notions de modèle et de simulation. Le « **modèle** » désigne ici le résultat de la construction d'un ensemble de lieux, d'individus, de leurs attributs et des règles de transition qui déterminent leurs transformations mutuelles. Par « **simulation** », nous désignons le déploiement du modèle dynamique ainsi construit dans le temps ou, en d'autres mots, l'exécution de son algorithme.

² Selon des termes adoptés notamment à partir de Latour [1987]. Cf. Lussault [2007].

2. Modèle simplifié de la mobilité résidentielle

Version en ligne : 1 | Outil de simulation : NetLogo 3.0

2.1. L'ébauche d'un modèle

Le premier modèle que nous avons conçu illustre l'effet de la mobilité résidentielle sur la structure de l'espace résidentiel dans un contexte où il existe un seul critère de choix, faisant consensus parmi tous les habitants et déterminant ainsi de manière univoque la qualité résidentielle d'un lieu. Cette première ébauche nous permet entre autres d'identifier les aspects du modèle qui seront repris dans toute la suite du processus de construction, à savoir la notion d'éléments, de conditions initiales, de dynamique et de sémantique graphique.

Notre première version est réduite à deux **éléments** : les acteurs-résidents et les lieux ($\xi \in \Xi$). Chaque acteur possède un attribut d'acteur implicite, consistant en la préférence pour le lieu le plus attractif³. Chaque lieu possède deux attributs : un *nombre de résidents*, $N(\xi)$ ⁴, et une *attractivité*, $B(\xi) \in [0,100] \in \mathbb{N}$. Le modèle est composé de 25 lieux mutuellement accessibles et équidistants.

Dans les **conditions initiales**, qui déterminent l'état du modèle au début de chaque simulation, il y a 500 résidents concentrés en un seul lieu. L'attractivité B des lieux est attribuée au hasard.

La **dynamique** du modèle consiste à « proposer » de manière aléatoire à un acteur de déménager de son lieu actuel, ξ_1 , vers un autre lieu, ξ_2 . Si $B(\xi_2) > B(\xi_1)$, le déménagement a lieu.

Les **éléments graphiques** de la version actuelle représentent des lieux et les déplacements qui se font entre ces derniers. Les lieux sont représentés par des cercles et agencés de manière aléatoire sur l'écran de sortie. Leur disposition et distance réciproque sur l'écran est sans incidence et dépourvue de signification, les lieux étant, comme nous l'avons dit, mutuellement interconnectés. La taille des cercles indique leur population, leur couleur leur attractivité :

attractivité minimale



attractivité maximale

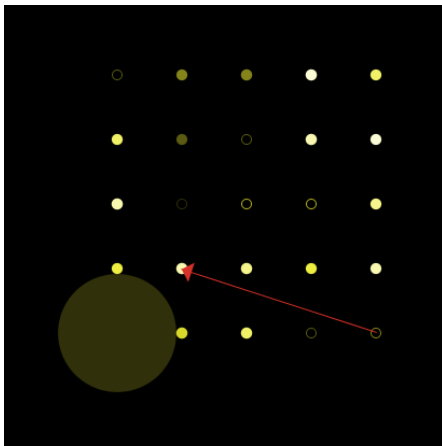
Le cercle vide indique une population nulle. Lors de la simulation, les déplacements sont signalés par des flèches rouges.

³ Cette définition peut paraître tautologique mais elle va être complexifiée par la suite.

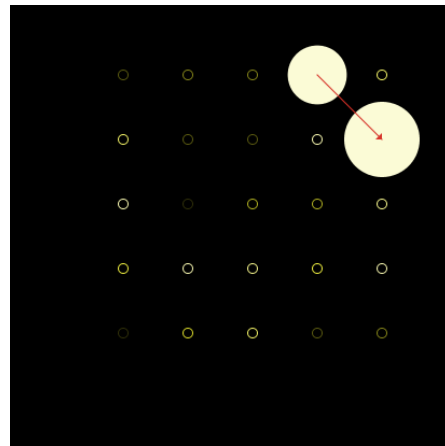
⁴ On remarquera que nous utilisons une notation fonctionnelle pour les attributs. Ceci afin de pouvoir appeler, par la suite et dans des fonctions plus complexes, les attributs d'un lieu ou d'un acteur particulier.

2.2. Observations

Dans les conditions simplifiées de ce premier modèle, après un nombre d'observations limité, tous les habitants se concentrent dans le(s) lieu(x) le(s) plus attractif(s) et y restent. Ce résultat est peu surprenant mais donne une base à la suite de notre réflexion.



conditions initiales



résultat

3. Attitude à l'égard de l'hétérogénéité : « allophilie » et « allophobie »

Version en ligne : 2 | Outil de simulation : NetLogo 3.0

3.1. Réflexions

Dans la version précédente du modèle, tous les acteurs évaluaient les lieux de la même manière, ainsi que cela est le cas dans la plupart des modèles économiques classiques. Dès cette deuxième version, nous avons souhaité introduire une possibilité, pour les acteurs, d'adopter des attitudes différentes, c'est-à-dire, d'évaluer un même contexte résidentiel de manières différentes.

Étant donné que la composition sociale d'un lieu constitue un critère majeur de son acceptabilité ou non-acceptabilité en tant que lieu de résidence, c'est par rapport à cet aspect que nous avons défini deux attitudes opposées : celle de l'*allophilie* et celle de l'*allophobie*.

Pour cette raison, nous introduisons la notion d'*allophilie* et d'*allophobie*. Les termes sont construits à partir du grec *ἄλλος*, équivalent du latin *alius* : autre. Les individus allophiles recherchent un environnement résidentiel qui les expose à l'altérité, les individus allophobes cherchent à éviter un tel environnement. Dans la version actuelle, ainsi que dans les versions suivantes du modèle, nous serons ainsi confrontés au problème de définir ce qui rend un environnement plus exposant qu'un autre.

Nous introduisons également la notion de contrainte à la mobilité. Cette contrainte prend, dans cette version, la forme de présence ou d'absence de connections de réseau entre les lieux. Ces liens ne sont pas à comprendre comme indiquant la présence d'un réseau de transport mais comme abstraction d'une possibilité de déménager, ou non, d'un lieu ξ_1 en un lieu ξ_2 .

3.2. Nouvelle version du modèle

3.2.1. Les attributs des lieux

Chaque lieu, dans cette nouvelle version, possède 4 attributs :

La **population**, $N(\xi)$, indique le nombre de résidents déclarés du lieu, dont on peut mesurer la **fortune moyenne**, $\bar{f}(\xi)$. Le deuxième de ces attributs n'a pas d'impact direct sur la dynamique mais sert à visualiser la concentration d'une population à fortune haute ou à fortune basse.

L'**hétérogénéité**, $\sigma_f(\xi)$, d'un lieu est mesurée par l'écart-type des fortunes des résidents⁵ :

$$\sigma_f(\xi) = \sqrt{\frac{1}{N(\xi)} \sum_{\forall i | iR\xi} (f_i - \bar{f}(\xi))^2}$$

où $iR\xi$ dénote la relation de résidence de l'individu i dans le lieu ξ ⁶.

Le voisinage réseau, enfin, fait également partie des attributs d'un lieu. Il consiste en une matrice de lieux auquel chaque $\xi \in \Xi$ est connecté.

3.2.2. Les attributs des individus

Chaque individu i du système possède un attribut d'acteur, qui est son **attitude (allophile ou allophobe) à l'égard de l'altérité** et un attribut d'agent, sa **fortune** $f(i) \in \{0,1,2,3\}$, attribuée de manière aléatoire lors de l'initialisation.

Les individus allophiles recherchent, dans cette version, un environnement résidentiel aussi hétérogène que possible, c'est-à-dire remplissant la condition $\sigma_f(\xi) = \max(\sigma_f(\Xi))$. Les individus allophobes recherchent un lieu aussi homogène que possible, c'est-à-dire, remplissant la condition $\sigma_f(\xi) = \min(\sigma_f(\Xi))$.

3.2.3. Le paramètre global : la proportion d'allophiles

Dans cette deuxième version, nous introduisons pour la première fois un **paramètre**, notion mentionnée dans les définitions du §1.4. L'unique paramètre du modèle actuel est la proportion d'individus allophiles dans la population totale, variant entre 0% et 100%.

⁵ Dans NetLogo 3.0 : standard-deviation values-from individus-here [revenu]

⁶ L'expression $\forall i | iR\xi$ se lit « pour tout individu résidant dans le lieu ξ ».

3.2.4. État initial et dynamique

Dans l'état initial [Figure 2a], tous les lieux ont la même probabilité d'accueillir des résidents. Un nombre aléatoire de liens entre les lieux est également défini.

À chaque itération, un acteur choisi au hasard se voit proposer un déménagement vers un lieu choisi, lui aussi, au hasard. L'acteur a ainsi à comparer entre ξ_0 , son lieu actuel et ξ_1 , le lieu proposé. Il réalise le déménagement à condition que les deux conditions suivantes soient remplies :

1. l'acteur est allophile & $\sigma_f(\xi_0) \leq \sigma_f(\xi_1)$ ou l'acteur est allophobe & $\sigma_f(\xi_0) \geq \sigma_f(\xi_1)$.
2. la fortune moyenne du lieu de destination ne diffère pas significativement de la fortune de l'acteur concerné.

La deuxième condition joue deux rôles. D'une part, elle permet de prendre en compte le fait que ce n'est pas seulement l'homogénéité sociale d'un lieu qui compte du point de vue allophobe, mais également le fait que cette homogénéité soit, oui ou non, centrée autour de sa propre classe. D'autre part, et dans la mesure où l'attribut d'agent f (fortune) est de type économique, la deuxième règle permet de simuler l'effet de la rente foncière (*bid-rent*) [voir notamment Alonso 1964] : la limitation de l'accessibilité des lieux par un frein financier peut en effet être lue en termes d'une adaptation de la rente foncière à l'offre du plus-offrant.

3.2.5. Sémantique graphique

Comme dans la version précédente, nous utilisons des cercles pour représenter les lieux. La taille est proportionnelle à la population et la couleur indique la composition de cette population [Figure 1]. Pour rendre bien visibles les lieux vides, un symbole distinct du cercle est utilisé lorsque la population d'un lieu baisse à zéro. Les lignes jaunes représentent le réseau de transports.

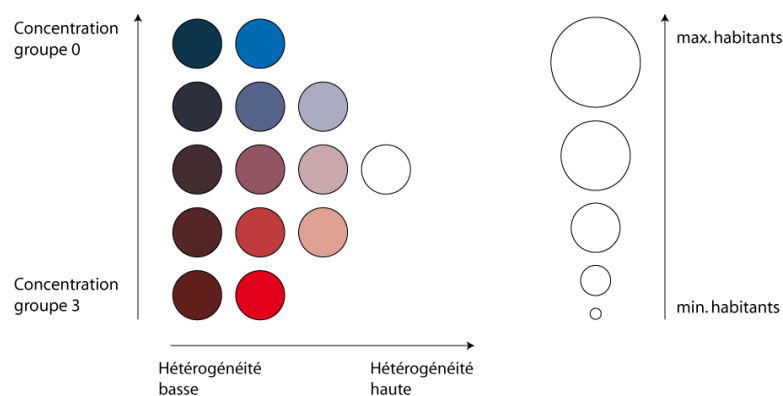


Figure 1: Chaque lieu est représenté par un cercle : signification de la couleur et de la taille de cercles.

3.3. Observations

Dans le modèle ainsi conçu, nous pouvons observer deux types de résultats en fonction du paramètre de la proportion d'allophiles.

Dans le cas de 0% d'allophiles (respectivement, de 100% d'allophobes) [Figure 2b], une ségrégation maximale des types de population a lieu. Deux effets intéressants, seulement, sont à relever. Tout d'abord, nous voyons que cette ségrégation ne mène pas nécessairement à la dispersion de la population. Une concentration élevée du groupe $\{i|f(i)=0\}$ est en effet à observer dans la Figure 2b. Rappelons, pour comprendre cet effet, que seule l'homogénéité et la proximité de leur propre groupe social est recherchée par les allophobes, dont l'attitude n'est aucunement influencée par la densité de population⁷. Le deuxième effet intéressant à observer, ici, est celui du réseau de liens entre lieux. En rappelant que ce réseau détermine la possibilité des acteurs à se déplacer d'un lieu vers un autre, notons que la population des lieux déconnectés demeure la même tout au long des simulations. Mais relevons surtout l'apparition de lieux contenant une population « prise entre » des alternatives localement désavantageuses. C'est ainsi que s'explique un poche de population mixte [Figure 2b, cercle violet, 1^e ligne depuis le haut, 2^e colonne depuis la gauche], prise entre deux lieux à concentration élevées d'individus du groupe $\{i|f(i)=3\}$. Cet effet, dans sa forme actuelle, ne trouve pas de référent dans la mobilité au sein d'une agglomération métropolitaine mais pourrait sans doute avoir une signification à l'échelle de la migration internationale, raison pour laquelle nous le signalons pour l'intérêt d'autres programmes de recherche. La prise en compte du réseau de transport pourrait d'autre part être pertinente si l'on souhaitait, par la suite, considérer le rôle du lieu de travail dans le choix résidentiel. C'est néanmoins dans leur nature résidentielle que nous souhaitons modéliser les lieux, ici, et nous mettrons donc l'aspect réseau entre parenthèses dans la suite de ce travail.

Dans le cas de 100% d'allophiles [Figure 2c], c'est une mixité prononcée de la population que nous pouvons observer, ainsi que l'apparition de lieux vides. Ce deuxième effet est dû au fait que les lieux vides ont une hétérogénéité ϕ_f nulle. Attirants pour les allophobes, l'état d'un lieu vide est absorbant⁸ dans un monde à 100% d'allophiles.

⁷ Cet aspect de l'allophobie ne sera introduit que dans les versions ultérieures du modèle.

⁸ Dans le sens d'un état d'une chaîne de Markov.

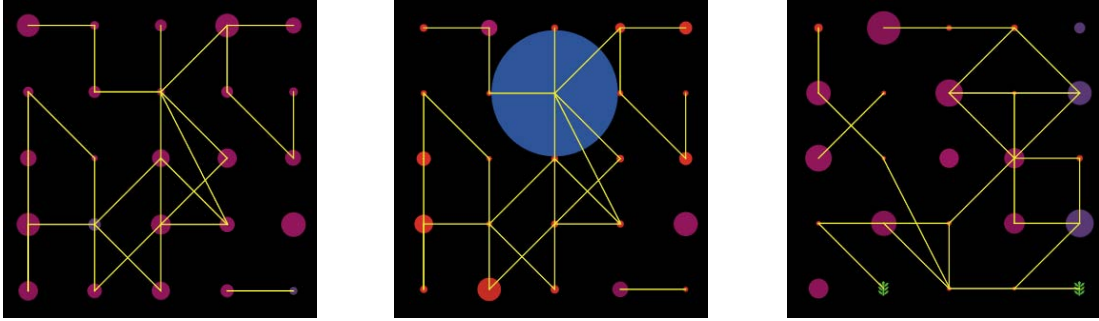


Figure 2: Résultats de la simulation : a) état initial ; b) cas de 0% d'allophiles ; c) cas de 100% d'allophiles.

4. Allophilie, allophobie, indifférence, ascension sociale et mémoire

Version en ligne : 3 | Outil de simulation : NetLogo 3.1 | finalisé : 14.3.2006

4.1. Réflexions

Dans la version précédente du modèle, seuls deux attitudes possibles à l'égard de l'altérité ont été prises en compte : l'allophilie et l'allophobie. A été omis le « tiers inclus » de ces deux dispositions contradictoires, à savoir une stratégie de mobilité résidentielle orientée par des critères entièrement indépendants de celui de l'exposition à l'altérité. Dans la version actuelle, nous introduisons donc sous le nom d' « indifférence » une telle attitude et lui ajoutons une autre : celle d'un rapport à l'altérité orienté uniquement par la moyenne des revenus du potentiel lieu de destination, que nous appellerons « ascendante ».

Dans la version précédente, on présuppose d'autre part une connaissance parfaite que les individus auraient de leur environnement de lieux possibles. Afin de rendre compte de l'imperfection – c'est-à-dire, de l'incomplétude – de cette connaissance (qui renvoie à l'expérience individuelle de l'espace) on intègre, afin de la tester, la possibilité de prendre en compte un facteur de subjectivité : la mémoire.

Nous souhaitons ajouter, enfin, deux aspects graphiques. D'une part, le nombre de lieux a été multipliée et disposé visuellement de telle manière à ce que l'espace urbain ressemble davantage à un espace urbain réel, telle qu'on peut l'observer à une échelle hectométrique⁹ à savoir, une plus grande densité de lieux au centre et une plus faible densité de lieux à la périphérie. Nous avons de même souhaité dépasser un nombre fixe de lieux, en donnant au système la possibilité de générer de nouveaux lieux dans un contexte local congestionné.

Les liens de réseau ont été supprimés par défaut (pour des raisons évoquées dans le chapitre précédent) quoique nous ayons conservé une possibilité optionnelle d'observer leurs effets.

4.2. Nouvelle version du modèle

4.2.1. Les attributs des lieux

Parmi les attributs de lieux, par rapport à la version précédente du modèle, on retient le **nombre d'habitants** ($N(\xi)$) et le **revenu moyen** ($\bar{f}(\xi)$). Dans le but de nos rapprocher de la

⁹ Voir le chapitre 1 des annexes, module « population ».

réalité empirique¹⁰, nous introduisons néanmoins un **seuil d'occupation** de chaque lieu que nous fixons provisoirement à 50 habitants.

Pour mesurer l'**hétérogénéité** $H(\xi)$ des lieux, finalement, nous remplaçons l'écart σ -type, utilisé dans la version précédente, par la mesure plus répandue de l'*entropie de Shannon*¹¹, définie comme suit (où p_g représente l'occurrence relative dans la population totale d'un individu de classe de revenu g dans le lieu ξ , les groupes étant formés en fonction du revenu) :

$$H(\xi) = - \sum_{g=0}^3 p_g \log_2 p_g$$

où $p_g = \frac{N(\{i|f(i)=g, iR\xi\})}{N(iR\xi)}$

ce qui, dans le script NetLogo apparaît comme suit :

```

let i 0
let H 0
let p 0
while [i < 3] [
  set p count individus-here with [revenu = i] / count individus-here
  set H ifelse-value (p > 0) [H + (p * ln p)] [H]
  set i i + 1
]
report (- H)

```

4.2.2. Les attributs d'individus

Comme annoncé, nous incluons d'abord une **attitude**, $\tau(i)$ indifférente à l'égard de l'altérité ainsi qu'une attitude à l'égard de la moyenne des revenus que nous désignerons comme ascendante. Nous obtenons ainsi six attitudes possibles, déterminées d'une part par le rapport à l'altérité et de l'autre par le rapport à la situation socioéconomique d'un lieu :

attitude	allophile	indifférent	allophobe
indifférent	11	12	13
ascendant	21	22	23

¹⁰ Ainsi que nous avons pu l'observer dans le module 1 (population), la densité résidentielle d'un lieu ne dépasse jamais 850 par hectare. Dans la version actuelle du modèle, pour des raisons techniques liés à l'usage de l'interface NetLogo, nous n'avons pas encore la possibilité d'opérer avec des nombres d'individus aussi élevés de résidents par lieu et avons donc choisi un seuil moins élevé.

¹¹ L'*entropie de Shannon* constitue une autre mesure de l'hétérogénéité dont nous avons décidé de faire usage. Cet indice fut conçu pour refléter la diversité statistique, (ou « surprise », dans le domaine de la communication) et peut être compris de la manière qui suit : supposant que nous construisions des mots binaires pour désigner chaque catégorie sociale d'une population donnée, avec des mots courts pour les catégories hautement représentées et des mots longs pour des catégories moins représentées, l'entropie de Shannon donne la longueur moyenne de la phrase que nous composerions en nommant au hasard une série de n individus (la longueur étant mesurée relativement à la phrase la plus longue possible que l'on puisse composer avec les noms de n individus de notre choix).

Nous ajoutons d'autre part l'attribut expérimental d'une **mémoire** des acteurs. Un individu possède une mémoire des 5 derniers lieux occupés, avec les valeurs des attributs que ces lieux avaient lorsque l'individu considéré les avait occupés. Cette mémoire aura un impact direct sur la dynamique car, dans la mesure où il en aura souvenir, un individu jugera tout lieu « proposé » par le système non pas par ses valeurs d'attributs actuelles mais par celles qu'il en a retenu. Nous parvenons ainsi à simuler l'influence du passé sur le présent que portent en eux les individus humains.

L'attribut d'agent, le **revenu**, quant à lui, demeure le même, variant aléatoirement entre 0 et 3 lors de l'initialisation et conservant son statut d'indicateur de la « classe sociale ».

4.2.3. Paramètres

La nouvelle version du modèle contient quatre paramètres, dont un seul est de véritable importance pour la simulation, à savoir celui de l'**attitude dominante**. Cette dernière vient remplacer le dichotomisant paramètre de proportion d'allophiles. Il y a trois attitudes dominantes possibles, correspondant aux trois attitudes individuelles [cf. §4.2.2]. Lors de l'attribution stochastique des attitudes aux individus, ces dernières sont réparties autour de l'attitude dominante selon la distribution de Poisson.

Le deuxième paramètre est celui de la **prise en compte de la mémoire** des acteurs. Ainsi que nous le verrons par la suite, ce paramètre n'a que peu d'influence dans le modèle actuel et il ne sera donc pas rapporté aux versions suivantes.

Pour donner une bonne compréhension du déroulement du modèle, l'interface donne aussi la possibilité de visualiser les individus en déménagement. Nous donnons également la possibilité d'activer et de voir les réseaux de liens entre les lieux, paramètre conservé pour des effets de test, dans la continuité de la version précédente, ainsi qu'en vue d'une éventuelle prise en compte du réseau de transports dans choix résidentiel¹².

4.2.4. État initial et dynamique

Dans l'état initial, tous les lieux possèdent un nombre d'habitants égal (30 résidents). Le processus de déménagement est identique à celui de la version précédente, ou l'acteur a à comparer entre ξ_0 , son lieu actuel et ξ_1 , le lieu proposé. Il réalise le déménagement si le taux d'occupation du lieu de destination est inférieur à un seuil limite (50 résidents) et si l'une des conditions suivantes est remplie:

- L'individu est un allophile indifférent à la moyenne des revenus ($\tau(i) = 12$) et $H(\xi_0) > H(\xi_1)$.

¹² Comme nous l'avons mentionné précédemment, le fait qu'un lieu soit, ou non, relié au lieu de travail d'un individu par le réseau de transport peut avoir un impact considérable sur le choix résidentiel.

- L'individu est entièrement indifférent ($\tau(i) = 12$).
- L'individu est un allophobe indifférent à la moyenne des revenus ($\tau(i) = 13$), $H(\xi_0) < H(\xi_1)$ et $|\bar{f}(\xi_0) - \bar{f}(\xi_1)| < 1.5$.¹³
- L'individu est un allophile ascendant ($\tau(i) = 21$), $H(\xi_0) > H(\xi_1)$ et $\bar{f}(\xi_1) > \bar{f}(\xi_0)$.
- L'individu est un indifférent ascendant ($\tau(i) = 22$) et $\bar{f}(\xi_1) > \bar{f}(\xi_0)$.
- L'individu est un allophobe ascendant ($\tau(i) = 23$), $H(\xi_0) < H(\xi_1)$ et $|\bar{f}(\xi_0) - \bar{f}(\xi_1)| < 1.5$ et $\bar{f}(\xi_1) > \bar{f}(\xi_0)$.

Dans le script NetLogo, ces conditions se présentent comme suit :

```
to-report deplacementPossibleEtFavorable [remoteRevenu localHeterogeneity
remoteHeterogeneity other-quartier]
  if ((allo = 3) and abs (remoteRevenu - revenu) > 1.5) [report false]
  if (remoteRevenu - revenu) < 0 and ascendant = 1 [report false]
  let i 0
  if consulter-memoire [
    while [i < 5] [
      if (other-quartier = item 0 item i memoire) [
        let presentation "Je suis "
        if (allo = 1) [set presentation presentation + "alloPHILE : "]
        if (allo = 2) [set presentation presentation + "INDIFFERENT : "]
        if (allo = 3) [set presentation presentation + "alloPHOBE : "]
        ifelse (allo = 1 and item 1 item i memoire < localHeterogeneity)
          [report true]
          [ifelse (allo = 3 and item 1 item i memoire > localHeterogeneity)
            [report true]
            []]
        set i i + 1
      ]
    ]
  ]
  if (allo = 1 and remoteHeterogeneity < localHeterogeneity) [report false]
  if (allo = 3 and remoteHeterogeneity > localHeterogeneity) [report false]
  report true
end
```

La dynamique de cette version inclut également, comme annoncé, une possibilité de génération de nouveaux lieux, dans la perspective de modéliser le processus de densification du bâti dans les centres urbains. Cette génération a lieu dans tout espace disponible dont la population voisine (dans un voisinage de Moore) dépasse 280 (ce qui équivaut à 35 individus par lieu voisin) :

```
ask patches with [count quartiers-here = 0 and sum values-from neighbors [phabitants] >
8 * 35] [
  sprout-quartiers 1 [set mesRoutes [] set habitants 0 set heterogeneity 0 semantique]
  output-show "nouveau quartier!"
]
```

¹³ Remarquons que, dans la version actuelle, seul l'allophobe cherche à centrer sa position

4.2.5. Éléments graphiques

Les éléments graphiques de cette nouvelle version reprennent ceux de la précédente à l'exception près du fait que nous avons coloré les individus : les individus du groupe $\{i | f(i) \leq 1\}$ apparaissent en bleu, les autres en rouge.

4.3. Observations

Avec le modèle ainsi conçu, nous avons procédé à des simulations en variant sur l'attitude dominante et sur l'effet de mémoire.

Avec une dominance d'allophiles [Figure 3], nous constatons, comme l'on s'y serait attendu, une hétérogénéité moyenne des lieux plus haute que lors des deux autres simulations ($\bar{H} > 0.95$ contre 0.8 dans le cas d'une majorité d'allophobes). La population, d'autre part, a tendance à se concentrer dans plusieurs quartiers, et cela souvent jusqu'au seuil d'occupation maximal. Dans le centre, par ailleurs, on assiste à une production occasionnelle de nouveaux lieux occupables. Les allophobes, minoritaires dans la population, tendent à se concentrer dans quelques quartiers de petite taille.

Avec une dominance d'indifférence à l'égard de l'exposition à l'altérité [Figure 4], nous obtenons des résultats en tout point similaires à ceux de la dominance allophile, si ce n'est pour de moindres écarts dans l'hétérogénéité des lieux. Cette observation s'explique par le fait que, sans chercher explicitement l'hétérogénéité, les indifférents se mélangent, produisant (pour ainsi dire malgré eux) une mixité sociale. Ainsi que l'on peut l'observer sur la Figure 4, cette mixité est presque meilleure que celle de la situation à dominance allophile, dû au fait que les indifférents, contrairement aux allophiles, repeuplent des poches d'homogénéité occupées par les allophobes. **Nous constatons ainsi ici un effet paradoxal de l'allophilie : celui de contribuer passivement à l'émergence de ghettos d'homogénéité.**

Avec une dominance allophobe [Figure 5 et Figure 6], finalement, on observe l'émergence de grands centres homogènes. Contrairement au cas de 100% d'allophobes observé dans la version précédente du modèle, néanmoins, on constate l'apparition d'un grand nombre de lieux hétérogènes, dus à la présence d'une minorité d'allophiles et d'indifférents.

Dans les trois simulations, la prise en compte de la mémoire ne joue pas d'effet constatable dans les résultats et ne sera donc plus incluse dans les versions suivantes.

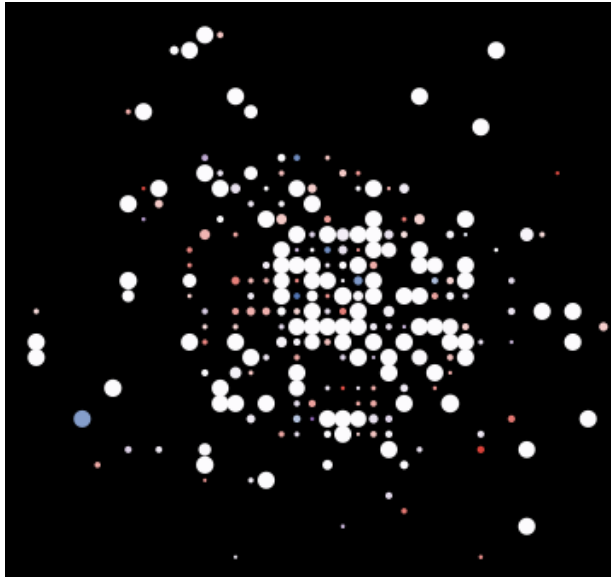


Figure 3 : Dominance d'allophiles, sans mémoire.

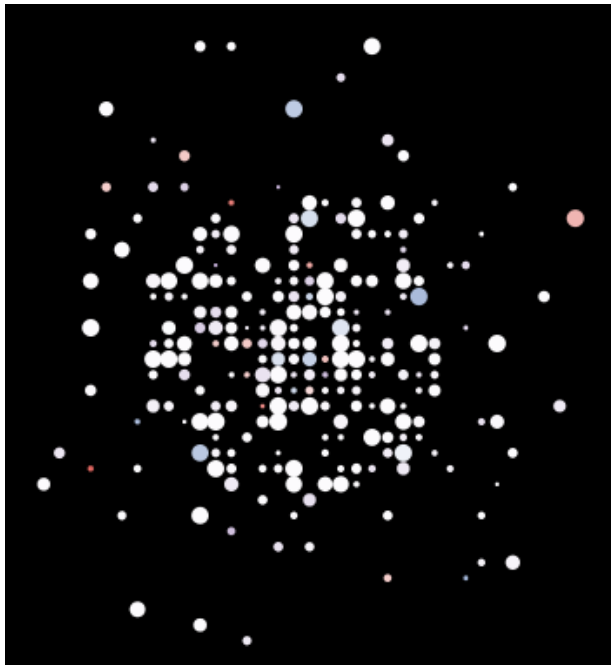


Figure 4 : Dominance d'indifférents.

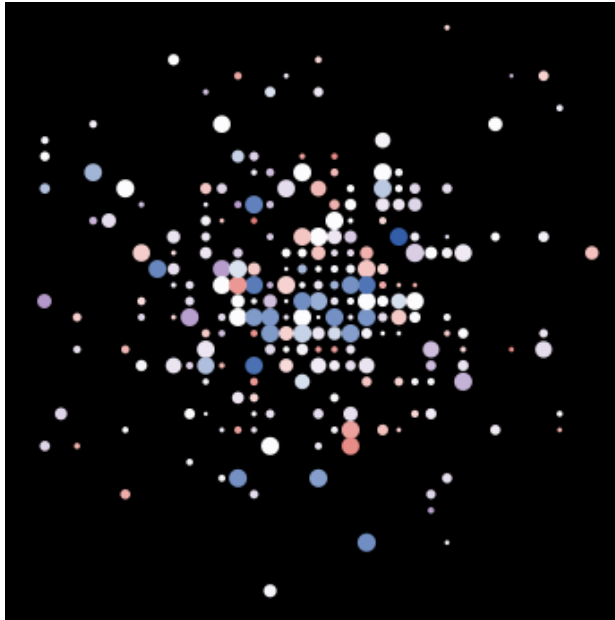


Figure 5 : Dominance d'allophobes avec mémoire

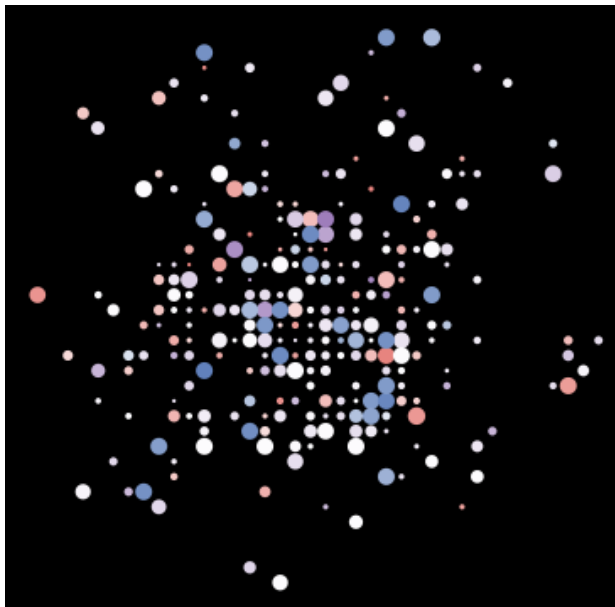


Figure 6 : Dominance d'allophobes, sans mémoire.

5. Premiers impacts de l'espace et l'hétérogénéité perçue

Version en ligne : 4 | Outil de simulation : NetLogo 3.1.4

5.1. Réflexions théoriques

Dans la mesure où ni la distance séparant les lieux de départ et d'arrivée des agents, ni les propriétés des voisins d'un lieu n'étaient prises en compte dans les versions précédentes, la topologie et la métrique de ces versions n'étaient que visuelles : elles existaient dans la représentation graphique sans avoir aucun impact sur l'évolution du système modélisé. Nous voulons désormais remédier à cette « absence d'espace », en introduisant l'hypothèse raisonnable selon laquelle les individus humains habitent un espace plus vaste que celui de leur environnement immédiat (de l'ordre de l'hectomètre) et participent ainsi à l'hétérogénéité sociale des lieux voisins¹⁴. C'est pourquoi leur présence dans les lieux voisins sera prise en compte dans le calcul de l'hétérogénéité.

Deuxièmement, jusqu'ici, l'hétérogénéité des lieux était traitée comme une donnée objective, mesurable par un indicateur unique, valable indépendamment des points de vue. Or, une réalité comme celle de l'hétérogénéité d'un lieu dépend justement fortement du point de vue que représente chaque individu. Pour cette raison, nous introduirons pour la première fois, dans la version actuelle, un **attribut d'interface** permettant de rendre compte de la somme des distances sociales que porte en lui un lieu du point de vue d'un individu donné. L'aspect économique (qui, dans la deuxième version du modèle, jouait le rôle de discrimination de la somme des écarts sociaux par rapport à celle d'un individu et qui, dans la version précédente, permettait de définir une attitude ascendante) est mis en parenthèse, ici, dans le but d'étudier l'effet de la redéfinition de l'espace et de l'introduction de l'attribut d'interface.

Étant donné que la disposition relative des lieux dans l'espace a désormais une influence sur l'évolution du modèle, nous avons également souhaité améliorer l'algorithme de génération de la structure de ce dernier. La structure monocentrique utilisée dans la version précédente sera ainsi remplacée par une structure polycentrique.

Pour les raisons énoncées dans le chapitre précédent, finalement, nous supprimons les attributs d'individus liés à la mémoire des lieux.

¹⁴ Nous avons ici à l'esprit une mobilité quotidienne à très courtes distances, dont les motivations peuvent être les plus diverses : achats dans les commerces de proximité, jogging, promenade des animaux domestiques, détente, contact avec le voisinage d'un quartier etc.

5.2. Nouvelle version du modèle

5.2.1. Attributs liés au lieu

Plusieurs modifications ont dû être introduites dans le modèle afin de refléter les partis pris dans les réflexions théoriques. Tout d'abord, nous adaptions l'**indicateur objectif d'hétérogénéité** pour prendre en compte les présences des individus des lieux voisins. La formule générale de l'entropie de Shannon est conservée mais nous modifions p_g , la probabilité qu'un individu choisi au hasard dans un lieu donnée ξ_a soit un individu du groupe g . Voici la redéfinition de l'indicateur :

$$H(\xi) = - \sum_{g=0}^3 p_g \log_2 p_g$$

$$\text{où } p_g = \frac{N(\{i|f(i)=g,iR\xi\}) + \sum_{\forall v|\xi_v V \xi} N(\{i|f(i)=g,iR\xi_v\})/4}{N(iR\xi) + \sum_{\forall v|\xi_v V \xi} N(iR\xi_v)/4}$$

$\xi_v V \xi$ dénote ici une relation de voisinage de Moore¹⁵ entre les lieux ξ_v et ξ . La division par 4 est introduite pour tenir compte du fait que la contribution des résidents des lieux voisins à l'hétérogénéité d'un lieu est malgré tout moins importante que la contribution des résidents locaux. Dans le script NetLogo, nous avons :

```
to-report Shannon
  let i 0
  let H 0
  let p 0
  let p_totale count individus-here
  let p_totaleV count individus-on neighbors
  while [i < 3] [
    set p (count individus-here with [revenu = i]) / p_totale
    set H ifelse-value (p > 0) [H + (p * ln p)] [H]
    set i i + 1
  ]
  set i 0
  while [i < 3] [
    ifelse p_totaleV > 0 [set p ((count (individus-on neighbors) with [revenu = i]) /
    (p_totaleV)) / 4] [set p 0]
    set H ifelse-value (p > 0) [H + (p * ln p)] [H]
    set i i + 1
  ]
  report (- H)
end
```

Rappelons que les individus ne réagissent plus par rapport à cet indicateur qui ne sert qu'à l'observation extérieure du système, la perception individuelle étant prise en compte dans les attributs d'interface.

L'autre modification, moins importante, de la version actuelle a consisté à relever la **limite d'occupation des lieux**, introduite dans la version précédente, à 200 résidents.

¹⁵ L'espace de référence est un espace euclidien.

5.2.2. Attributs d'interface : Exposition à l'altérité

Ce qui est susceptible de motiver les déplacements d'un individu en un lieu n'est pas nécessairement une hétérogénéité « objective » mais la *perception* de cette hétérogénéité par l'individu modélisé. Et c'est seulement en quantifiant cette perception – dont le lieu perçu et l'individu percevant sont les deux éléments indissociables – que le modèle saura rendre compte de la nature intersubjective de la réalité modélisée.

Pour ce faire, nous avons défini un **indicateur individuel d'exposition à l'altérité**, $E(i, \xi)$ dont voici l'expression formelle pour tout individu i résident par rapport à un lieu ξ donné :

$$E(i, \xi) = \frac{N(j|f(j) = f(i), iR\xi)}{N(j|jR\xi)} + \frac{\sum_{v \in \xi_v} N(\{j|f(j) = f(i), jR\xi_v\})}{4 \sum_{v \in \xi_v} N(\{j|jR\xi_v\})}$$

Ainsi que l'on peut voir, $E(i, \xi)$ reflète simplement le nombre de personnes différentes de l'individu i auxquelles ce dernier se voit (ou verrait) exposé dans un lieu ξ . Ces personnes sont d'abord celles qui résident dans ξ mais également celles qui se trouvent dans les lieux immédiatement adjacents (ξ_v), l'exposition à ces derniers étant à nouveau pondérée par le facteur 1/4. Dans la mesure où la taille des lieux est inférieure à un rayon de déplacements pédestres fréquent de leurs résidents, il est en effet raisonnable, comme nous l'avons dit, de supposer qu'une partie de la population d'un lieu en « déborde » et soit ainsi perçue dans les lieux voisins.

5.2.3. Paramètres

Le seul paramètre du système est l'attitude dominante, décrite dans la version précédente.

5.2.4. Dynamique

Mis à part sa simplicité et sa capacité de formaliser la perception individuelle d'un lieu, l'intérêt de l'indice $E(i, \xi)$ est de prendre en compte à la fois la masse et de la diversité de la population d'un lieu.

Comme dans les versions précédentes, à chaque itération, l'algorithme choisit plusieurs individus et il propose à chacun de ces derniers de se déplacer en un lieu autre que le lieu occupé au moment présent. Le déplacement est effectivement accompli, en fonction de l'indice si le taux d'occupation du lieu de destination est inférieur à un seuil limite (200 résidents) et si l'une des trois conditions suivantes est remplie :

- l'individu i est *indifférent*.
- l'individu i est *allophile* et le lieu de destination ξ possède, de son point de vue, un indice $E(i,\xi)$ plus élevé.
- l'individu i est *allophe* et le lieu de destination possède, de son point de vue, un indice $E(i,\xi)$ moins élevé.

En script NetLogo, nous avons :

```
to-report deplacementPossibleEtFavorable [my-quartier remoteGroupe remoteRevenu
  localHeterogeneity remoteHeterogeneity other-quartier]
  if (allo = 3) and remoteGroupe != groupe-dominant-of my-quartier [report false]
  if (allo = 1 and remoteHeterogeneity < localHeterogeneity) [report false]
  if (allo = 3 and remoteHeterogeneity > localHeterogeneity) [report false]
  report true
end
```

Ainsi que nous le voyons, l'aspect économique a été mis en parenthèses dans cette version et les groupes sociaux ne sont pas à interpréter de manière ordinale : il s'agit bien de quatre catégories de population dont la clé de catégorisation est indéfinie dans cette version.

Le lecteur familier de la modélisation dynamique notera que le modèle ci-présenté ressemble ainsi en maints points au très connu « solitaire de Schelling »¹⁶. Cela est vrai aussi bien en ce qui concerne le type de voisinage pris en compte pour chaque lieu qu'en ce qui concerne le rôle central que joue l'appartenance à des groupes sociaux divers dans la dynamique du modèle. Plusieurs aspects majeurs, néanmoins, les séparent. Tout d'abord, le caractère de populations agrégées que possèdent les lieux. Ensuite, le caractère non-aléatoire des déplacements : un acteur ne part pas d'un lieu parce que ce dernier lui déplaît de manière intrinsèque pour se déplacer n'importe où ailleurs dans l'espace disponible, il se déplace car la *différence* entre le lieu actuel et un autre lieu proposé par le processus s'avère être à son avantage. Ce qui distingue enfin le plus notre modèle est qu'il permet de prendre en considération diverses stratégies de mobilité individuelle à l'égard de l'altérité. Notre modèle ne se limite pas à un seuil de tolérance à l'égard des individus d'autres groupes mais rend compte de la liberté d'un individu à rechercher ou à fuir ceux qui ne lui ressemblent pas.

5.2.5. Éléments graphiques

Les éléments graphiques [Figure 7] de la version actuelle ont été redéfinis de manière à refléter la mise en parenthèses de l'aspect économique de l'appartenance de groupe.

¹⁶ [Shelling 1978], cf. [Ourednik 2007].

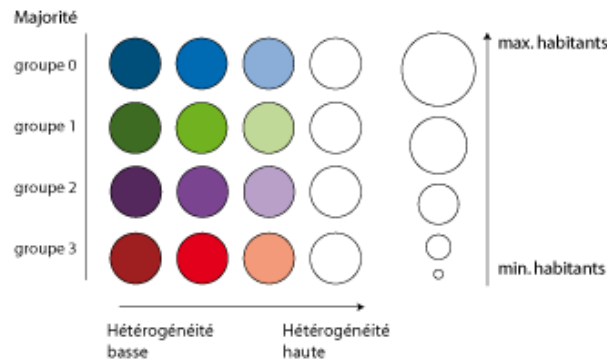


Figure 7: Légende de l'affichage : des variables associées aux lieux. Également légende des Figures 2 à 4. (La taille des cercles est exagérée pour une meilleure lisibilité)

5.2.6. État initial

Afin de rendre comparables les simulations d'un modèle complexe, il est indiqué de définir de manière précise un état initial constant, sur lequel on ne varie, par la suite, que quelques paramètres pertinents pour la question posée. Pour respecter cette indication, nous n'avons procédé qu'une seule fois à la génération aléatoire de l'espace urbain, qui nous a fourni un état initial fixe, avec 247 lieux répartis dans l'espace à la manière d'un système urbain polycentrique [cf. ALLAIN 2004, 50]. Comme dans les versions précédentes, on a de même fixé le nombre de résidents par lieu à 30 personnes, chacune desquelles a été attribuée de manière aléatoire à un groupe social. L'état initial ainsi généré est présenté sur la Figure 8.

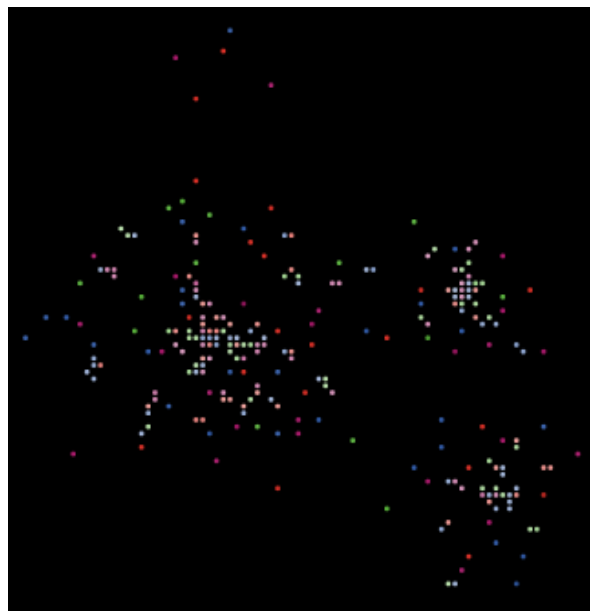


Figure 8: État initial. Dans cette figure, on voit que l'hétérogénéité des lieux non-isolés est toujours supérieure à celle des lieux isolés. Cela est dû à la prise en compte du voisinage dans le calcul de la diversité.

5.3. Observations.

La Figure 9 et la Figure 10 montrent les deux structures spatiales, formées pour l'une d'une population majoritairement allophile et pour l'autre d'une population majoritairement allophobe. La comparaison des deux figures permet de constater une nette différence : si l'allophile conduit à la constitution d'une ville fortement concentrée, avec des lieux peuplés jusqu'au seuil d'occupation maximal, la tendance urbanistique d'une société d'allophobes semble être celle d'une « *exopolis* » [SOJA 1992], avec une large masse de la population occupant une périphérie hautement ségréguée.

Comment cette structure s'explique-t-elle à partir de la dynamique formelle du modèle ? Pour ce qui est des taux d'occupation élevés des allophiles, elle découle du rôle joué par la taille des populations dans l'exposition à l'altérité. Le même principe explique également la plus faible *concentration* de la ville d'allophobes. Les unités spatiales des centres-villes exposent en effet tout individu qui s'y rend à une plus grande population, étant donné que, ainsi que je l'avais évoqué en définissant l'indice $E(i,\xi)$, cette dernière est composée non seulement de la population du lieu ξ mais également, en partie, de celle des unités voisines (ξ_v). Ne possédant point d'unités voisines et exposant ainsi leur habitant à une population plus faible, les lieux périphériques sont préférés par les allophobes.

Le lecteur notera que des lieux moyennement voire hautement peuplés ont pu se constituer dans la ville à dominance allophobe. Cela également s'explique. Tout d'abord, on notera que les lieux moyennement peuplés situés dans la périphérie [Figure 10] le sont par une population uniforme. Malgré le nombre de leurs habitants, ils n'exposent ainsi que très faiblement un individu à l'altérité, pour le peu qu'il fasse partie du groupe dominant du lieu. Pour ce qui est des quartiers hautement peuplés et hautement hétérogènes se trouvant au centre de la ville, il faut rappeler que seule une majorité de la population est composée d'allophobes : c'est dans le centre ville que les allophiles minoritaires mais présents se concentrent.

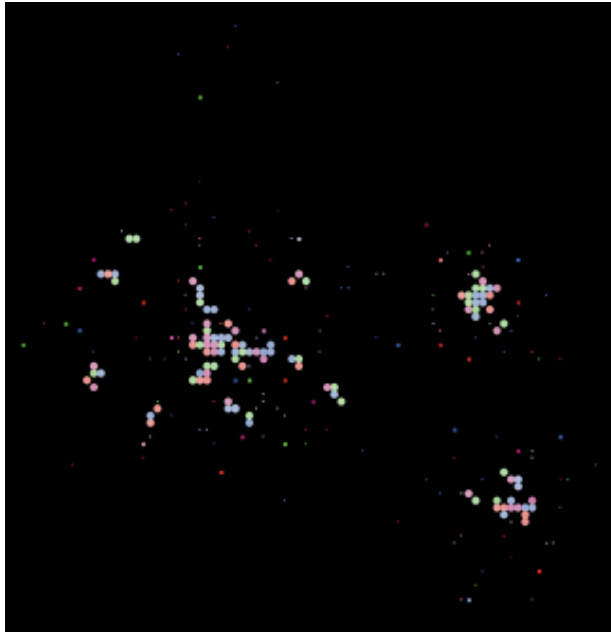


Figure 9: La cité majoritairement *allophile* : centrée et mixte.

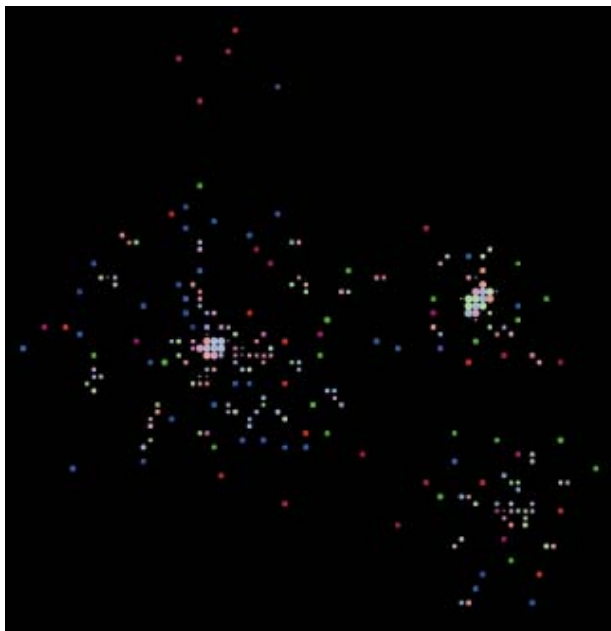


Figure 10 : La cité majoritairement *allophobe* : péri-urbanisée et ségrégée.

Une critique importante que l'on peut adresser à la version actuelle du modèle et à ses résultats est un effet structurel de l'espace peut-être trop marqué : de par l'effet de voisinage topographique que nous avons inclus – en conjonction de l'importance que la taille de la population prend dans la mesure de l'exposition à l'altérité dans le calcul de la valeur de l'attribut d'interface $E(j)$ – entraîne presque automatiquement une exposition à l'altérité plus élevée dans les centres villes. D'un autre côté, néanmoins, cet effet est bien corroboré par la réalité montrée dans le premier module (densité) du présent projet.

6. Portage du modèle sur Java-Repast ; explicitation du référent métrique et intégration d'un nombre réaliste d'acteurs

Outil de simulation : Java, Repast 3.0

6.1. Réflexions théoriques

Les versions précédentes du modèle opéraient dans des espaces sans référence métrique concrète est dont la répartition originelle des lieux était redéfinie à chaque fois, selon un algorithme simulant la répartition d'une population dans un espace urbain tripolaire. Pour la suite du développement de notre modèle, néanmoins, nous avons souhaité définir des conditions initiales constantes, plus précises, et plus directement comparables à des espaces urbains concrets.

Deux soucis ont orienté la définition de cet état initial. Nous souhaitons, d'une part, que notre modèle reflète une région métropolitaine suisse : celle de Zürich, de Bâle ou de l'arc lémanique, notamment. Mais nous souhaitons également que notre modèle puisse servir à construire des énoncés pertinents également pour d'autres espaces urbains. La définition de l'état initial et de la structure du modèle relève ainsi d'un compromis entre la généralisabilité et la spécificité régionale du modèle.

6.2. Recherche de solutions techniques

Pour atteindre le réalisme visé, il a été nécessaire de passer à un système différent de celui de *NetLogo*. Cela d'une part pour rendre possible une configuration initiale multi-variée, relevant d'un objet de type SIG, non lisible dans *NetLogo*. Mais il nous a surtout été nécessaire de choisir un système capable de minimiser la définition des acteurs d'une manière à pouvoir traiter plus d'un million d'acteurs de manière simultanée.

Nous avons considéré plusieurs systèmes de modélisation alternatifs, dont *OBEUS*, système opérant en C#, dont la documentation s'est malheureusement avérée incomplète et qui n'a pas été renouvelé depuis 2005, et *UrbanSim*, opérant avec Python. Au moment de nos considérations, *UrbanSim* utilisait Java comme langue de programmation et était à un stade peu avancé du développement. Les deux systèmes de modélisation présentent par ailleurs un désavantage similaire : leur structure est d'emblée porteuse d'un modèle théorique de l'espace urbain. Voulant conserver une marge de liberté maximale dans le développement de notre propre modèle, c'est pour l'interface de modélisation plus générique et généreusement

documentée, *Repast*, que nous avons opté. Au moment de l'adoption du système, *Repast* consistait en une librairie Java. Le système est aujourd'hui disponible sous forme d'une interface de programmation graphique, *Repast Symphony*, dont nous n'avons pas fait usage, étant trop avancé dans le développement d'un modèle basé sur la version précédente.

6.3. La nouvelle version du modèle

6.3.1. L'état initial

La nouvelle version du modèle consiste d'abord en un état initial nouveau, prévoyant l'emplacement résidentiel d'un nombre d'acteurs comparables à celui que l'on peut recenser pour des zones métropolitaines suisse majeures : la Métropole Lémanique, portant 1.8 millions d'habitants sur une superficie de 8'900 km² (incluant les cantons suisses Genève et Vaud, les districts valaisans de Monthey et de Saint-Maurice, le district fribourgeois de la Broye et les départements français Haute Savoie et Ain) ou la Grande région de Zurich, comptant entre 1.2 et 1.9 millions d'habitants suivant la façon de la considérer [cf. Diener *et al.* 2004]. Dans le cas de notre modèle, c'est avec population de 1.26 millions que nous travaillons, répartie de la manière montrée dans le Tableau 1 sur un territoire de 2'500 km² seulement.

On notera que le total de la population effectivement modélisé est inférieur à ce chiffre, ne comptant que 1'033'070 individus. Ceci est dû au fait que ce ne sont que des **acteurs** résidentiels que nous prenons en compte. Les enfants, associés au ménage des parents et dont le nombre s'élève à 0.223 enfants par acteur en moyenne¹⁷, sont « dissouts » dans ces acteurs, en tant que facteurs plutôt que preneurs de décision. En faisant la multiplication, ce sont bien 1'263'444 individus humains que le modèle prend en compte.

En combinant cette répartition à une densité résidentielle initiale, définie pour chaque type urbain, nous obtenons le nombre de kilomètres carrés à prévoir pour chaque type [dernière colonne du Tableau 1].

¹⁷ Calculé à partir des données OFS, 2003.

Tableau 1: Répartition de la population lors de l'initialisation du modèle.

Type	Nombre résidents état initial	Densité résidentielle initiale par km ²	Nombre de km ² occupés par ce type urbain
A Hypercentre	56000	8000	7
A Centre	150000	10000	15
A Banlieue aisée	100000	2000	50
A Banlieue moyenne	100000	4000	25
A Banlieue populaire	102000	6000	17
A Périurbain	100000	500	200
B Hypercentre	21000	3000	7
B Centre	72000	8000	9
B Banlieue aisée	51000	1500	34
B Banlieue moyenne	51000	3000	17
B Banlieue populaire	52000	4000	13
B Périurbain	60000	500	120
C Centre	12000	6000	2
C Banlieue	24000	2000	12
C Périurbain	10000	500	20
D Ville	12000	4000	3
E Station	10000	2000	5
F Station	5000	1000	5
G Station	1000	1000	1
Hypo-urbain	18000	90	200
Infra-urbain	26070	15	1738
TOTAL	1033070	NA	2500

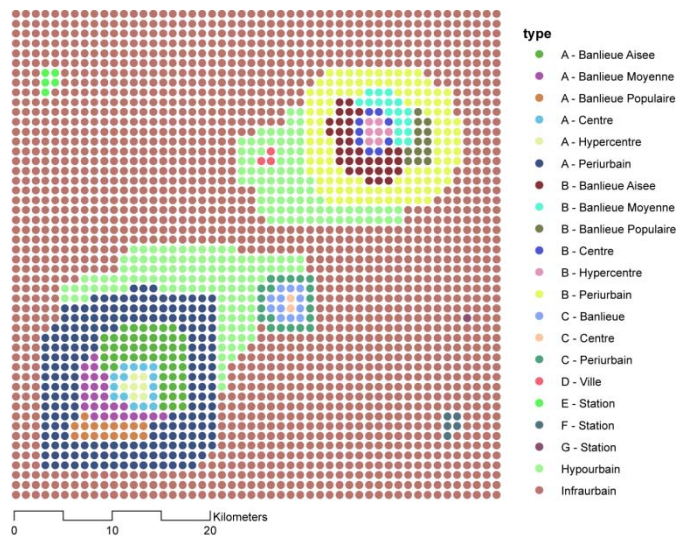


Figure 11: Espace métropolitain utilisé comme base du modèle.

6.3.2. Les variables liées aux lieux

C'est à partir de la répartition de population définie dans le Tableau 1 que nous avons défini un espace métropolitain théorique présenté dans la Figure 11. Cet espace a été construit dans un système d'information géographique (*ArcGIS*), de manière à permettre chaque point de se voir donner tout attribut supplémentaire qui sera nécessaire dans la suite du modèle.

Une variable importante est celle de la capacité, variant entre les lieux, par type de lieu. La capacité de chaque lieu est en effet définie en termes d'un facteur multiplicateur (ici 2.0) de sa population initiale. Ceci a été défini de manière à ne pas permettre au système de laisser croître un lieu de façon indéfinie et également pour tenir compte du fait que la capacité de croissance d'un lieu, en termes de places de logement disponibles, peut être considérée comme proportionnelle au nombre de places de logement existants¹⁸.

Le nombre de résidents, et la répartition de leur population dans les quatre classes sociales est également une variable synthétique rattachée directement au lieu.

Contrairement à la version précédente, les lieux ne sont pas influencés par de voisinage, car c'est l'effet de limitation de population qui permet de distinguer le centre de la périphérie.

6.3.3. Les variables rattachées aux acteurs

Les acteurs, comme dans la version précédente du modèle (implémentée dans NetLogo) incarnent une classe sociale {a, b, c, d} et une attitude {allophile, allophobe, indifférent}.

6.3.4. Paramètres globaux (user-set)

Comme dans la version précédente, le système contient un seul paramètre global, modifiable par l'utilisateur, déterminant l'attitude dominante à l'égard de l'altérité (c'est cette attitude qu'ont 80% des acteurs modélisés par le système).

6.3.5. La dynamique résidentielle

La dynamique de mobilité résidentielle des acteurs est, elle aussi, fortement similaire à celle de la version précédente du modèle. La comparaison entre les caractéristiques d'un lieu se fait du point de vue de chaque acteur, en fonction de ses attentes en termes de l'environnement résidentiel.

À chaque itération, une partie des acteurs se voit proposer de déménager dans un lieu autre, tiré au hasard, que celui de leur lieu de résidence actuel. L'acteur compare alors le taux d'exposition à l'altérité du lieu actuel au taux d'exposition dans le lieu proposé. Ce taux constitue une **variable d'interface** entre acteurs et lieux. Il se mesure, comme dans la version précédente, par la proportion d'acteurs de classe sociale différente de celle de l'acteur interrogé par rapport à ceux de la même classe sociale. Dans le code, ce taux est obtenu par la procédure `getExpoCompFast()` définie comme suit :

¹⁸ La prise en compte de l'existence d'un logique de zonage pour l'utilisation du sol soutient notamment cette vision. Nous la mettrons néanmoins en cause dans la version suivante du modèle.-

```

public float getExpoCompFast(Place place){
float all = place.num_residents_here;
float different = all - place.habitants_par_classe[groupeSocial];
float exposition;
if (all == 0) {exposition = 0;}
else {exposition = (float)different / (float)all;}
return exposition;
}

```

La réaction par rapport à ce taux dépend alors de l'attitude de l'acteur. S'il est indifférent, et qu'il y a encore de la place dans le lieu de destination, le déménagement se fait dans tous les cas. S'il est allophile, c'est le lieu à plus forte exposition à l'altérité qui est choisi, et inversement, le lieu à plus faible exposition s'il est allophobe :

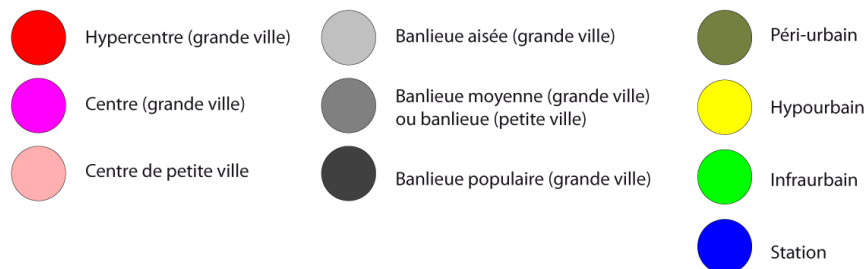
```

public boolean testAttitude(Place otherPlace){
float expositionCompare = getExpoCompFast(myplace)- getExpoCompFast(otherPlace);
if (attitude == "indifferent"){return true;}
else if (attitude == "allophile"){
if (expositionCompare > 0) {return true;}
}
else if (attitude == "allophobe"){
if (expositionCompare < 0) {return true;}
}
else return false;
}

```

6.3.6. Sémantique graphique

Dans Figure 11, visant à fournir un aperçu de la structure métropolitaine obtenue à partir de l'espace abstrait défini dans le tableau de donnée, nous attribuons des couleurs à chaque type (hypercentre, centre, banlieue etc.) et à chaque lieu (A, B, C, D, E, F, G). Dans l'interface de simulation et pour la représentation de résultats, nous utilisons un nombre de couleurs plus réduit, afin de faciliter la lisibilité et afin d'insister sur les divers types urbains. Le schéma utilisé est le suivant :



Comme dans les versions précédentes, la taille des cercles est proportionnelle à la population des lieux.

6.4. Résultats

Si l'on représente la répartition de la population donnée par le Tableau 1 avec la sémantique définie ci-haut, nous obtenons l'image fournie par la Figure 12. C'est également de cette manière qu'apparaît l'état initial de notre système. Ce dernier est identique pour chaque simulation, à la différence de toutes les versions précédentes du modèle¹⁹.

Dans leur principe, les résultats obtenus dans cette version du modèle ressemblent fortement à ceux de la version précédente, mais s'expriment différemment. Dans la version précédente, seuls certains lieux étaient définis comme pouvant être occupés lors de l'initialisation du système. La tendance des allophobes à une occupation homogène de l'ensemble de l'espace, que nous observons également dans l'expérience présente [Figure 13], était entièrement contrainte par cet *a priori*, donnant le résultat observable sur la Figure 10. Dans la version actuelle du modèle, la fixité de la structure de l'espace urbain est atténuée, dans le sens où chaque lieu est occupable, seulement à divers degrés. La dispersion homogène des allophobes sur l'ensemble de l'espace métropolitain n'est ainsi freinée que par la limite des « places » disponibles dans les kilomètres carrés infra- et hypo-urbains.

Le cas d'une dominance de l'attitude allophile, quant à lui, entraîne un résultat étrange, observable sur la Figure 14 : c'est dans les banlieues pauvres, plutôt que dans les centres, que se concentre la grande partie des populations. Cet effet s'explique néanmoins lui aussi par la tendance à l'agrégation qui résulte de la recherche de l'exposition à l'altérité²⁰, observées dans les versions précédentes du modèle. Étant donné que ce sont les kilomètres carrés de banlieues pauvres qui offrent la plus grande densité, c'est dans ces dernières que se concentre une population n'ayant d'autre critère de mobilité résidentielle que celui de la maximisation de l'exposition à l'altérité. Malgré l'intérêt théorique de ce résultat d'un point de vue *ceteris paribus*, il définit surtout les objectifs de la version suivante du modèle, dans laquelle il s'agira de repousser encore plus les limites de la fixité de la structure de l'espace métropolitain et d'introduire, surtout, des critères de mobilité résidentiels menant à des résultats plus réalistes en termes de la répartition finale.

¹⁹ Même si, dans la précédente, nous avons sauvegardé un état constant lors des simulations.

²⁰ Rappelons, ainsi que nous l'avons déjà évoqué, qu'une préférence pour des contextes de plus grande proportion de personnes différentes entraîne une préférence pour des lieux plus peuplés, sans même que la population des lieux soit prise en compte dans le calcul de la variable d'exposition.

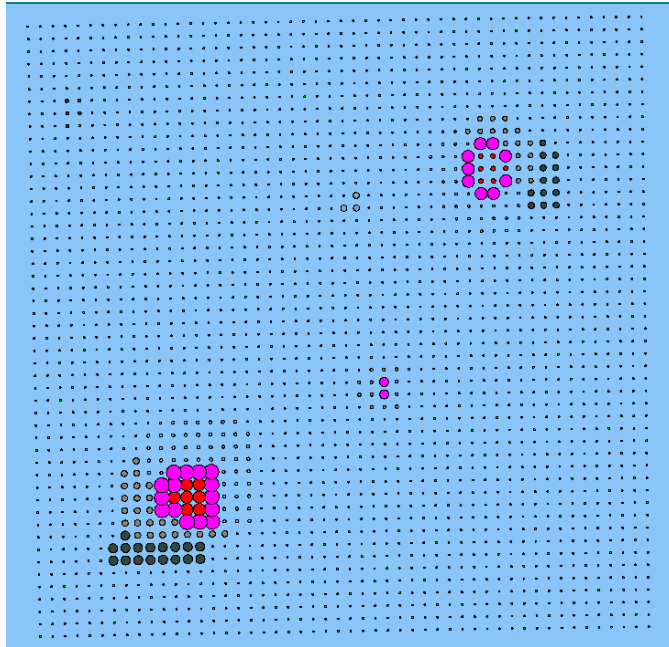


Figure 12: Conditions initiales, avec les tailles des cercles proportionnelles au nombre d'acteurs.

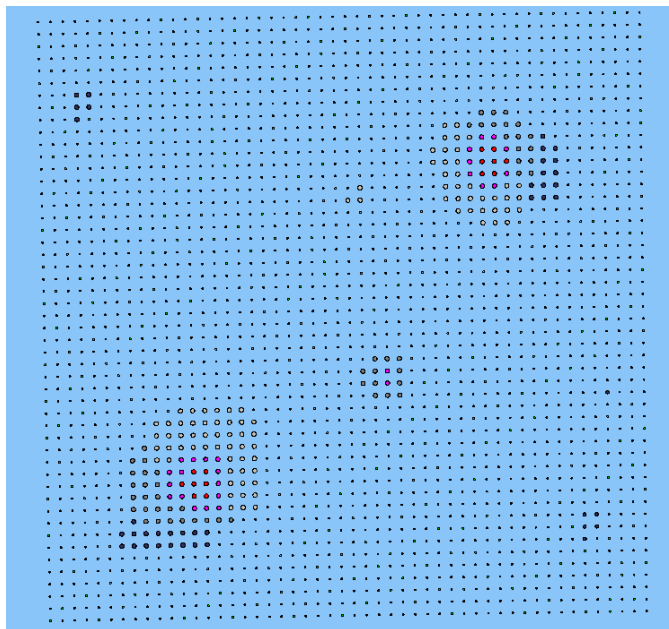


Figure 13: Résultat après 300 itérations, dans la situation d'une dominance allophobe.

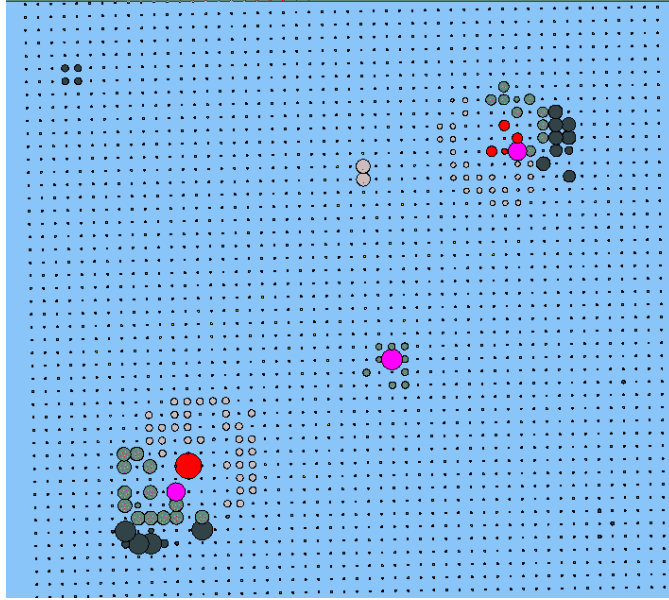


Figure 14: Résultat après 300 itérations, dans la situation d'une dominance allophile.

7. Version finale : introduction des attributs indépendants des lieux et de la notion d'accessibilité

7.1. Réflexion

Ainsi qu'il a été dit, les résultats étranges de la version précédente du modèle (dans le cas de la dominance de l'attitude allophile, notamment [Figure 14]) s'expliquent par le fait que seules les variables liées à la composition sociale sont prises en compte comme motifs de la mobilité résidentielle.

Le premier objectif de l'actuelle et dernière version du modèle sera donc d'introduire d'autres attributs des lieux, capables d'expliquer la motivation des déménagements.

Le deuxième objectif sera de dépasser une fixité trop arbitraire²¹ de la structure de l'espace urbain, introduite dans la version précédente, en supprimant la proportionnalité entre la limite du nombre de résidents et le nombre initial de ces derniers. Une limite de peuplement unique, identique pour tous les lieux sera donc réintroduite. Nous serons néanmoins plus attentifs, dans la définition de la « population » d'un lieu, à prendre en compte ce que nous a confirmé l'étude des populations [chapitre 1 des annexes] : que les centres et hypercentres présentent une population de non-résidents considérable qui participe à la population totale. Une telle population de non-résidents de base sera ainsi attribuée à chaque lieu.

Le troisième objectif sera d'introduire un système de contraintes quant à l'accessibilité économique des lieux. Jusqu'ici, les contraintes se réduisaient en effet aux limites de peuplement de chaque lieu. Bien que, dans la perspective économique du lien entre l'offre et la demande, la notion du surpeuplement peut être considérée comme intégrant, de manière abstraite, celle du prix prohibitif à partir d'une demande trop forte, nous souhaitons entrouvrir la boîte noire de ce lien afin de mettre en lien le facteur économique avec celui du choix individuel, dont nous souhaitons montrer le lien avec la structure de l'espace habité. Le point de vue de contrainte pure (*i.e.* la dimension « agent » des individus) sera, lui aussi, intégré en donnant un sens moins abstrait aux groupes sociaux {a, b, c, d}. Ces derniers seront resémantisés en classes de revenu, l'appartenance auxquelles jouera un rôle dans la possibilité de résider, ou non, dans tel ou tel type urbain. Cette introduction aura néanmoins plusieurs répercussions sur d'autres éléments du modèle.

²¹ Bien qu'il soit, en tenant compte des lois de zonage, raisonnable de penser que la capacité des lieux déjà construits peut augmenter proportionnellement à leur taux de construction, cette vision porte déjà un regard trop fixiste sur la dynamique de l'espace. Des dynamiques politiques de redéfinition des zones constructibles peuvent en effet avoir lieu, notamment s'il existe une pression populaire quant à ce sujet.

7.1.1. De l'hétérogénéité subjective à la mixité objectivée

La redéfinition des groupes sociaux en termes de groupes de revenu fait partie des raisons pour lesquelles nous rapportons l'attribut d'attractivité d'un lieu du point de vue allophile ou allophobe sur ce lieu même. Dans les deux versions précédentes, en effet, c'est du point de vue d'un individu donné que nous calculions l'hétérogénéité du lieu qui lui était proposé. Cette hétérogénéité, rappelons-le, était définie par la somme des distances sociales des autres occupants du lieu par rapport à cet individu. Cette manière de mesurer demeurerait pertinente tant que nous saisissons la notion de groupe social de manière abstraite. Mais dans le nouveau contexte, où les groupes sociaux ont acquis une signification économique, continuer à mesurer ainsi l'attractivité d'un lieu reviendrait à faire des énoncés difficilement rapportables dans le monde réel : comment illustrer, par exemple, l'aversion d'un allophobe à revenu modeste à résider dans un lieu à revenu moyen élevé ? Il est par contre imaginable que le même allophobe, quelque soit sa classe de revenu, souhaite vivre dans un lieu aussi homogène que possible, et de découpler ainsi la notion d'allophilie/allophobie de la notion de revenu.

7.1.2. De l'indifférence à l'ascension sociale

L'introduction de classes de revenu nous permet également de donner plus de précision à l'attitude de l'indifférence quant à la composition sociale des lieux. Jusqu'ici, cette attitude conduisait à un déplacement résidentiel des acteurs dans tous les cas d'une proposition de déménagement. Un tel comportement peut trouver des correspondances dans le monde réel, vu que l'on peut, bien sûr, s'imaginer une longue liste de motifs autres que l'allophilie ou l'allophobie pouvant justifier un déplacement : départ des enfants, séparation de couple, volonté de rapprochement du lieu de travail etc. Néanmoins, nous n'avons pas souhaité doter notre modèle d'un élément de simulation d'itinéraires sociologiques des acteurs, voulant nous axer plutôt sur la définition d'un nombre limité d'attitudes à l'égard d'autrui. C'est donc également dans ce sens que nous avons défini une troisième attitude, orthogonale aux deux autres, consistant dans une volonté d'ascension spatio-sociale : une volonté de vivre dans un lieu à moyenne de revenus plus élevée que la moyenne du lieu actuel. Dans ce sens, il n'existe donc plus d'attitude « indifférente » dans notre modèle, cette dernière ayant été fusionnée avec le désir d'ascension sociale et rendue orthogonale à l'axe allophile-allophobe [cf. §4.2.2].

7.1.3. Introduction de facteurs pesant sur l'individu

L'introduction de limites à l'accessibilité économique des lieux permet également de laisser jouer d'autres facteurs, relevant de décisions individuelles, et pouvant peser sur l'aptitude économique de ce dernier. Parmi les facteurs majeurs qui jouent ce rôle dans les sociétés

occidentales nous pouvons compter a) le choix de posséder, ou non, son logement, et celui b) de fonder une famille plus ou moins nombreuse.

7.1.3.1. La somme effectivement payée dans le cas d'un emprunt

Sans implémenter un modèle de processus complexes liés à l'investissement immobilier, on peut estimer que le choix de l'accès à la propriété augmente le prix d'un logement, *ceteris paribus*, par un facteur correspondant approximativement à celui de l'intérêt sur le remboursement d'un emprunt hypothécaire sur une période de vingt ans.

Le taux hypothécaire variable pratiqué par les banques suisses, par exemple, correspond à 3.25%²². Connaissant ce taux, le facteur multiplicateur peut être calculé avec la formule standard pour les remboursements d'emprunt :

$$S = \frac{A \cdot C \cdot i}{1 - (1 + i)^{-A}}$$

où S correspond à la somme totale payée, C à la somme empruntée, A à la durée de l'emprunt en années et i au taux d'intérêt. Pour $A = 20$ et $i = 3.25$, nous obtenons $S = 1.38C$. Le remboursement hypothécaire sur un emprunt de vingt ans demande donc une somme effectivement payée de 1.38 fois le prix initial du logement. C'est ce facteur que nous prenons comme multiplicateur du prix d'un lieu du point de vue des acteurs modélisés souhaitant être propriétaires de leur logement.

7.1.3.2. Le coût de l'enfant

Pour ce qui est du choix de fonder une famille, c'est en termes d'une diminution du pouvoir d'achat que pèse ce dernier. Des coûts directement liés aux besoins de l'enfant (nourriture, assurance maladie, garderie, école) et les coûts d'opportunité²³ doivent être pris en compte dans cette estimation. Parmi les coûts d'opportunité [voir, *e.g.*, Gustafsson/Kjulin, 1994]., nous pouvons citer notamment les heures consacrées au *childcare*, non convertibles en heures de travail rémunéré, ainsi que les pertes de salaire potentiel dues aux difficultés de promotion professionnelle liées, elles aussi, à l'indisponibilité du temps consacré aux enfants.

« Ainsi, le coût économique de l'enfant est proportionnel au revenu disponible dont disposeraient les parents en l'absence d'enfant : dans l'hypothèse où il est âgé de moins de 14 ans, le coût moyen d'un enfant vivant avec ses deux parents est estimé à 20 % de ce revenu (33 % s'il a 14

²² Moyenne donnée par comparis.ch

²³ Le coût d'opportunité est incarné par l'activité rémunérée qu'une personnes du ménage (souvent la femme) ne peut pas exercer pour cause de m(p)aternité.

ans ou plus) et à 30 % s'il vit avec un seul de ses parents (50 % s'il a 14 ans ou plus). Le coût de l'enfant est différencié selon son âge, avec un seuil (conventionnel) à 14 ans, mais il ne dépend pas de son rang dans la fratrie. » [Albouy/Roth, 2003]

Ces coûts sont sensibles à de nombreuses autres réalités sociales (prix de la nourriture, gratuité des écoles) et comme le constate Bourguignon [1999], leur estimation est un problème connu des économistes depuis de longues années qui n'a pas trouvé de solution satisfaisante à ce jour. Divers auteurs [Espenshade 1974, Douthitt/Huh 1994, Albouy/Roth 2003] donnent des coûts entre 15% et 50% du salaire d'un ménage par enfant, en insistant sur la dépendance de cette proportion sur le salaire du ménage (qui peut être un ménage monoparental). Tous les auteurs ne s'accordent pas sur le lien entre le coût de l'enfant et son rang dans la fratrie, bien qu'une majorité soutienne que ce dernier joue un rôle. Le coût de l'enfant diminue par ailleurs avec l'âge, que nous ne prenons pas en compte dans notre modèle.

Aucun chiffre concluant ne peut, ainsi, être fourni mais afin de constituer un modèle dynamique opérationnel, il est nécessaire de trancher la question. Pour l'usage de notre modèle, nous retenons ainsi une diminution du pouvoir d'achat de 25% en présence d'un enfant, de 45% en cas de deux enfants, et de 60% en cas de trois enfants et plus.²⁴ Comme dans le cas des surcoûts liés à la propriété du logement, nous traduisons cette diminution en un facteur multiplicateur du prix d'accès à un lieu. La logique de ce calcul veut que la disponibilité de 75% du pouvoir d'achat ramène le coût d'un objet coutant 100 au coût de 100/75, c'est-à-dire, à 133. Nous obtenons, de cette manière, des multiplicateurs de prix d'accès suivants, en fonction du nombre d'enfants :

nombre d'enfants	perte en pouvoir d'achat	multiplicateur du prix d'accès des lieux
1	25%	1.33
2	45%	1.81
3 et plus	60%	2.5

7.1.4. Les subventions

Mais la prise en considération du facteur financier permet également de prendre en compte le rôle de la politique publique sur la structure du territoire. Cette dernière peut tenter, en effet, de promouvoir des structures urbaines cibles en allégeant l'accès au logement dans certains types urbains. Elle peut également palier aux difficultés d'accès au logement dans le cas d'un handicap financier qui pèserait sur l'individu et auquel la société se jugerait

²⁴ Ces valeurs dépendent bien sûr grandement de la politique d'allocation familiale, sur laquelle nous reviendrons plus bas.

responsable de palier. Un tel exemple sera, dans notre cas, la subvention en cas de présence d'enfants dans le ménage.

7.2. Nouvelle version du modèle

7.2.1. Les attributs des lieux

Comme dans la version précédente du modèle, c'est à partir de la répartition de population définie dans le Tableau 1 que nous avons défini un espace métropolitain théorique présenté dans la Figure 11. D'autres attributs, néanmoins, ont été ajoutés aux lieux :

7.2.1.1. La proportion initiale des nombres d'individus appartenant à des classes de revenus définies

Cet attribut joue un rôle lors de l'initialisation du modèle. Souhaitant partir d'une situation initiale réaliste, nous avons déterminé pour chaque type de lieu urbain sa composition sociale, en termes de classes de revenu. La Figure 15 montre la population totale des diverses classes, obtenues en faisant la somme pondérée des populations par classe de revenu et type urbain²⁵.

²⁵ Notons, ici, qu'une répartition initiale homogène est souvent utilisée dans la modélisation basée agents, afin de pouvoir observer des phénomènes d'émergence et l'installation d'équilibres dynamiques. Pour notre part, nous avons préféré partir d'une situation initiale plus réaliste.

Tableau 2: Proportion des populations d'acteurs par type urbain et classe de revenu .

Type	« riches »	« moyen supérieur »	« moyen inférieur »	« pauvres »
A Hypercentre	0.20	0.40	0.20	0.20
A Centre	0.15	0.30	0.25	0.30
A Banlieue aisée	0.30	0.40	0.20	0.10
A Banlieue moyenne	0.15	0.25	0.40	0.20
A Banlieue populaire	0.05	0.15	0.40	0.40
A Périurbain	0.25	0.30	0.35	0.10
B Hypercentre	0.15	0.35	0.30	0.20
B Centre	0.10	0.30	0.35	0.25
B Banlieue aisée	0.25	0.40	0.25	0.10
B Banlieue moyenne	0.10	0.20	0.45	0.25
B Banlieue populaire	0.05	0.10	0.35	0.50
B Périurbain	0.20	0.35	0.35	0.10
C Centre	0.10	0.25	0.40	0.25
C Banlieue	0.10	0.20	0.45	0.25
C Périurbain	0.15	0.25	0.40	0.20
D Ville	0.10	0.20	0.40	0.30
E Station	0.20	0.30	0.20	0.30
F Station	0.10	0.20	0.35	0.35
G Station	0.05	0.20	0.35	0.40
Hypo-urbain	0.05	0.15	0.35	0.45
Infra-urbain	0.05	0.15	0.35	0.45

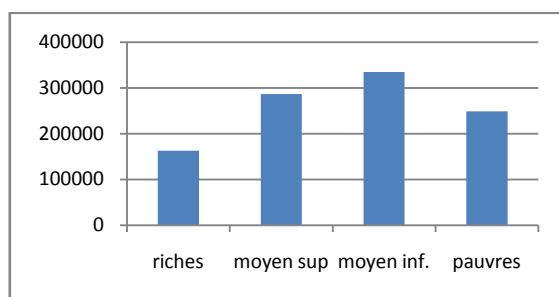


Figure 15: Distribution de la population par classe de revenu

7.2.1.2. Le nombre de non résidents

Dans le cadre de notre modèle, la présence de non-résidents a surtout un rôle limitant pour le nombre de places résidentielles disponibles, vu qu'ils sont pris en compte dans le décompte de la population d'un lieu et que chaque lieu, selon notre définition, ne peut pas « contenir » plus de 20'000 individus par km²²⁶. Le nombre de non-résidents pour chaque lieu est constant tout au long de la durée de la simulation. Il y en a en tout 59'155 dans le système.

²⁶ Ce chiffre est à comparer à celui de 25'000 résidents par km² que l'on observe dans les villes les plus peuplées du monde.

7.2.1.3. Le prix foncier

Attribut variant entre 1 et 9, propre à chaque lieu, selon son type urbain et le rang de la ville. Il joue un rôle dans l'accessibilité économique des lieux et ne varie pas au cours de la simulation. La valeur de cet attribut est constante pendant la durée de la simulation.

7.2.1.4. La diversité fonctionnelle

Attribut variant entre 1 et 9, propre à chaque lieu, selon son type urbain et le rang de la ville. Il dénote à quel point d'autres types d'habiter que celui du résider ont lieu dans ξ . Cet attribut ajoute à l'attractivité d'un lieu du point de vue allophile.

7.2.1.5. L'accessibilité automobile

Attribut variant entre 1 et 5, propre à chaque lieu, selon son type urbain et le rang de la ville. Considérant que l'un des rôles de la voiture, dans le milieu urbain, est de permettre la mobilité en préservant l'individu du contact avec l'altérité, l'accessibilité automobile est prise en compte comme un facteur augmentant l'attractivité d'un lieu du point de vue allophobe, dans la mesure où la voiture constitue un moyen de transport privatif, permettant de limiter l'exposition à l'altérité même pendant les déplacements [cf. Lévy 1999].

7.2.1.6. L'accessibilité pédestre

Attribut variant entre 1 et 8, propre à chaque lieu, selon son type urbain et le rang de la ville. Étant donné que le déplacement à pieds est un mode de mobilité exposant nécessairement celui qui en fait usage à l'altérité, cet attribut constitue un facteur d'attractivité pour les allophiles.

Tableau 3: Variables rattachées aux lieux.

Type	Nombre de non-résidents par km2	Prix foncier	Diversité fonctionnelle	Accessibilité automobile	Accessibilité pédestre
A Hypercentre	12000	9	9	1	8
A Centre	5000	8	9	2	7
A Banlieue aisée	1000	7	6	4	3
A Banlieue moyenne	1000	6	6	4	3
A Banlieue populaire	1000	5	6	4	3
A Périurbain	100	5	3	5	2
B Hypercentre	10000	8	8	2	6
B Centre	4000	7	8	3	5
B Banlieue aisée	750	6	5	4	3
B Banlieue moyenne	750	5	5	4	3
B Banlieue populaire	750	4	5	4	3
B Périurbain	100	4	3	5	2
C Centre	3000	4	7	4	4
C Banlieue	500	3	4	5	3
C Périurbain	100	3	3	5	2
D Ville	1000	5	5	5	3
E Station	10000	8	7	5	5
F Station	5000	6	4	5	3
G Station	3000	4	3	4	3
Hypo-urbain	90	2	2	5	2
Infra-urbain	15	1	1	4	1
TOTAL	59155	NA	NA	NA	NA

7.2.1.7. Variables synthétiques : score allophilique, score allophobique et score d'ascendance sociale

Comme dans les versions précédentes, la mobilité résidentielle des individus de notre modèle se déroule en fonction des caractéristiques des lieux et de leurs attributs d'agent et d'acteur. Mais le nombre de variables a sensiblement augmenté par rapport à ces versions. Dans la version actuelle, nous avons donc développé des indicateurs synthétiques, permettant de comparer chaque paire de lieux en fonction de l'attribut d'acteur d'un individu (allophile, allophobe ou ascendance économique). Nous aurons, de cette manière, trois scores différents pour chaque lieu. Ces scores remplacent l'attribut d'interface $E(i, \xi)$ utilisée dans les deux versions précédentes [cf. §5.2.2].

Afin d'obtenir les scores allophiliques et allophobiques, nous calculons d'abord un indice synthétique de densité*diversité sociale :

```
double a = 0.0;
for(int i = 0; i < habitants_par_classe.length ; i++){
    a += ((double)habitants_par_classe[i] * ((double)habitants_par_classe[i] - 1)) ;
}
double b = ((double)num_residents_here * ((double)num_residents_here - 1));
diversity = b > 0 ? 1 - (a / b) : 0;

double DiversityDensity = (diversity * (double)totalpop / 20000) ;
```

La multiplication des facteurs de densité et de diversité s'impose dans la mesure où les deux se complètent pour exposer l'individu à la diversité sociale d'un lieu. Si celle-ci est forte, par exemple, mais que la population du lieu est faible, l'allophobe peut l'ignorer et l'allophile ne peut vraiment en tirer profit. Si, à l'inverse, la diversité est faible mais que la population est forte, la densité locale résultante mène malgré la faiblesse de la diversité à un sentiment d'exposition de la part de l'allophobe et à un sentiment de contact de la part de l'allophile.

Notons que la diversité (D) est calculée à l'aide de l'indice de diversité de Simpson [1949], à la différence près que nous avons, comme d'autres, redéfini ce dernier de manière à ce que 0 indique une diversité minimale et 1 une diversité maximale.

$$D = 1 - \frac{\sum_i n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)}$$

L'avantage de cet indicateur par rapport à l'entropie H' de Shannon (utilisée plus fréquemment comme indicateur de diversité, notamment en écologie) est qu'il est directement interprétable comme la probabilité que deux individus choisis au hasard dans le lieu en question soient de classe différente. Ceci permet donc de le considérer également comme un indicateur de probabilité de rencontre interclasse par rapport à un nombre X de rencontres possibles [cf. De Jong 1979]. Ayant fait des tests dans ce sens, néanmoins, nous pouvons confirmer que les indices les plus fréquemment utilisés – à savoir, celui de Shannon, celui de Gibbs/Martin [1962] et celui de Simpson – fournissent des déroulements des simulations fortement similaires.

La densité, quant à elle, est mesurée par le rapport entre la masse de population locale et le maximum possible, *i.e.*, 20'000 personnes. Rappelons, ici, que bien que la notion de densité renvoie à une surface de référence, elle peut être substituée par celle de la population dans notre cas, étant donné que chaque lieu de notre système représente une surface identique de 1 km².

Défini de cette manière, l'indice de densité*diversité varie entre 0 et 1.

Dans un pas suivant, nous combinons la densité*diversité de la population à celle des fonctions :

<code>double baseOthernessScore = (100 * DiversityDensity + (double)divfonc / 9) / 101;</code>
--

1 reste, ici, le maximum atteignable. On remarquera également que la densité*diversité de la population a été fortement pondérée par rapport à la diversité fonctionnelle. Cela n'a pas été fait dans l'intention de relever l'importance de la diversité des classes de revenu par rapport à la diversité des fonctions mais dans le but de ne pas donner une importance excessive à cet attribut statique. Nous avons en effet constaté que l'indice de densité*diversité, bien que pouvant atteindre 1 en théorie, renvoyait généralement des

valeurs inférieures au centième et avons donc jugé opportun de lui octroyer le poids nécessaire en le pondérant par 100.

Dans un dernier pas, nous avons enfin calculé le score d'allophilie final, en prenant en compte également l'accessibilité pédestre :

```
allophileScore = (baseOthernessScore + (double)accped / 16) / 1.5;
```

On notera deux choses, ici. Tout d'abord, le fait que nous divisons l'indicateur d'accessibilité pédestre par 16, sachant que son maximum se situe à 8, afin de lui donner un poids de 0.5 dans le score final de 1.5, composé ainsi, à parts égales, de ce dernier, de la densité*diversité et de la diversité des fonctions. Le score final est divisé par 1.5, afin de confiner l'indicateur entre 0 et 1. On notera, ensuite, que nous faisons intervenir l'indicateur d'accessibilité pédestre de manière séparée. La nécessité de cela, qui apparaît comme une complication superflue à première vue, devient apparente lorsque l'on considère notre manière de construire le score allophobique qui se présente comme suit :

```
allophobeScore = ((1 - baseOthernessScore) + (double)accout / 10) / 1.5;
```

Ainsi que nous le voyons, ce score correspond à la complémentaire du score allophilique, à la différence près que c'est l'accessibilité automobile et non pas l'accessibilité pédestre qui y est prise en compte. Pourquoi faisons-nous intervenir cette différence ?

Nous séparons ces deux métriques de la mobilité car nous nous trouvons, ici, face à deux facteurs non-symétriques. En effet, bien qu'il soit important, pour un allophobe, de pouvoir accéder un lieu en voiture, afin de limiter son contact avec autrui, l'accessibilité pédestre du lieu n'est pas nécessairement perçue comme un facteur négatif. Inversement, l'accessibilité automobile d'un lieu peut même améliorer, plutôt que péjorer sa mixité, pour le peu que l'accessibilité pédestre soit garantie, et n'est donc pas prise en compte comme facteur négatif dans le score allophilique.

Pour ce qui est du score d'ascendance sociale, ce dernier se réduit à la classe de revenu moyenne enregistrée pour le lieu de destination proposé.

7.2.2. Les attributs liés aux individus

7.2.2.1. Attribut d'acteur : attitude par rapport aux lieux

Des versions précédentes du modèle, nous retenons les notions d'allophilie et d'allophobie, en ajoutant celle de l'ascension sociale indifférente à la mixité. La différence praxéologique de ces trois attitudes été expliquée ci-haut.

7.2.2.2. Attribut d'agent : classe de revenu

La notion de classes de revenu a été introduite dans la version actuelle. Nous retenons quatre classes différentes, dont les valeurs numériques varient entre 1 et 4 et sont traitées comme constituant une échelle métrique dans le calcul de la classe de revenu moyenne d'un lieu [cf. § 7.2.1.7].

Pour en faciliter la lecture, nous avons qualifié les classes de manière ordinale, avec les correspondances suivantes : {1 = pauvre ; 2 = moyen inférieur ; 3 = moyen supérieur ; 4 = riche}. La Figure 15 reflète la distribution des individus dans ces classes.

Comme nous l'avons présenté dans le § 7.1.3, l'idée dont procède l'introduction des classes de revenu est de rendre compte d'un frein à l'accessibilité économique de certains types urbains. Ces limites s'expriment de la manière suivante :

```
public boolean testPlaceAccessibility(Place otherPlace){
if (revenu == 4) {return true;}
if (revenu == 3 & otherPlace.getPrixfonc() * multiplicateur_enfant_proprietaire() < 8)
    {return true;}
if (revenu == 2 & otherPlace.getPrixfonc() * multiplicateur_enfant_proprietaire() < 7)
    {return true;}
if (revenu == 1 & otherPlace.getPrixfonc() * multiplicateur_enfant_proprietaire() < 6 &
    otherPlace.getAccped() > 2) {return true;}
return false;
}
```

Comme nous le voyons dans ce code, la classe de revenu « riche » peut accéder à tout lieu. La classe de revenu « moyen supérieur » ne peut pas accéder à des lieux au prix foncier supérieur ou égal à 8 (hypercentre et centre A, hypercentre B et station E). Pour la classe de revenu « moyen inférieur », la banlieue aisée A et le centre B s'ajoutent à la liste des endroits inaccessibles. Pour la classe de revenu « pauvre », finalement, la banlieue moyenne A, la banlieue aisée B et la station F deviennent également inaccessibles. Deviennent de même inaccessibles des types urbains à prix foncier faible mais qui ne permettent pas aux « pauvres » de s'y installer, de par l'insuffisance de leur accessibilité piétonne (≤ 2). Nous considérons, en effet, que cette classe de revenu ne dispose pas de l'automobile.

Une chose importante est à noter, ici, par rapport au Tableau 2 : dans ce dernier, toutes les classes de revenu sont représentées dans tous les types urbains, malgré l'effet d'exclusion économique programmé dans la dynamique du système. Nous maintenons cette répartition afin de rendre compte des effets de latence dans la configuration de l'espace habité résidentiel, qui se manifestent, par exemple, lorsque des locataires à faible revenu occupent un logement sur une période suffisamment longue pour que le prix foncier moyen de leur quartier augmente au-delà de leurs moyens, sans les toucher directement pour autant, grâce à une limitation réglementaire sur le taux d'augmentation des loyers. L'inaccessibilité économique ne concerne alors que la prochaine génération de locataires potentiels. Vu la fréquence de cet effet de latence dans les espaces urbains développés (*i.e.* socialement réglementés), qui constituent le référent de notre modèle, nous souhaitons prendre en

compte cet effet, qui entraîne nécessairement une certaine fixité de la structure de l'espace résidentiel, notamment dans le cas d'une majorité d'« ascendants ».

7.2.2.3. Attributs d'acteur 2 : Les multiplicateurs du prix foncier : enfants et propriété

On aura remarqué, dans le code servant à calculer l'accessibilité économique d'un lieu, l'intervention d'un facteur nommé « multiplicateur_enfant_proprietaire ». Ce facteur reflète, comme son nom le suggère, l'augmentation du poids financier d'un logement, dû soit à l'ajout du taux hypothécaire à son prix de base du point de vue d'un acteur souhaitant être propriétaire, soit à la diminution du pouvoir d'achat d'un acteur ayant des enfants à charge.

En reprenant les valeurs déterminées dans § 7.1.3, ce multiplicateur est donné par $E \cdot P$, où $E = 1$ avec aucun enfant à charge, $E = 1.33$ avec un enfant, $E = 1.81$ avec deux enfants et $E = 2.5$ avec trois enfants et plus. P vaut 1 pour les locataires et 1.38 pour les propriétaires.

Voici quelques exemples de l'influence de ces facteurs :

- Un individu « riche » peut vivre partout, indépendamment de son statut locataire/propriétaire et indépendamment du nombre de ses enfants.
- Un individu de classe de revenu moyenne élevée souhaitant être propriétaire de son logement ne peut plus résider que dans les lieux suivants : banlieue populaire ou périurbain A ; banlieue moyenne, populaire ou périurbain B ; centre, banlieue ou périurbain C ; ville D.
- Un individu « pauvre » avec deux enfants ne peut plus vivre que dans la banlieue ou le périurbain C.

7.2.3. Les paramètres

Deux ensembles de sélecteurs permettent à l'utilisateur de gérer des paramètres globaux du modèle, qui ont une influence sur le déroulement de ses simulations. Le premier ensemble est pris en compte au moment de l'initialisation, le deuxième à chaque itération, de manière de permettre des interventions en direct.

7.2.3.1. Paramètres déterminés lors de l'initialisation

7.2.3.1.1. Attitude dominante et degré de domination de cette dernière

Ce premier sélecteur permet de déterminer quelle attitude individuelle est dominante. Par défaut, 80% des acteurs, indépendamment de leur localisation et de leur catégorie de revenu, adoptent l'attitude dominante. Les 20% restants adoptent l'une ou l'autre attitude non-dominante, à taux égal. Un sélecteur auxiliaire permet néanmoins de faire varier le degré de domination entre 33% (les trois attitudes sont alors représentées de manière égale) et 100% (où l'attitude dominante est celle de tous les acteurs).

7.2.3.1.2. Proportion des propriétaires

Ce deuxième sélecteur détermine la proportion des acteurs qui souhaitent être propriétaires de leur logement.

7.2.3.1.3. Nombre modal d'enfants

Le dernier sélecteur de ce groupe détermine le nombre modal d'enfants par acteur, sachant que le mode s'élève à 70% et que les autres valeurs sont représentées à 10% chacune. Voici la procédure utilisée pour déterminer le nombre d'enfants d'un acteur (*ca.enfants*) :

```
double enfrand = Math.random();
int M = 2; int a = 1; int b = 2; int c = 3;
switch (Engine.mode_nombre_enfants){
  case 0: M = 0; a = 1; b = 2; c = 3; break;
  case 1: M = 1; a = 0; b = 2; c = 3; break;
  case 2: M = 2; a = 0; b = 1; c = 3; break;
  case 3: M = 3; a = 0; b = 1; c = 2; break;
}
if (enfrand < 0.7) {ca.enfants = M;}
else if (enfrand >= 0.7 & enfrand < 0.8) {ca.enfants = a;}
else if (enfrand >= 0.8 & enfrand < 0.9) {ca.enfants = b;}
else {ca.enfants = c;}
```

7.2.3.2. Paramètres modifiables au cours de la simulation

7.2.3.2.1. Subvention

Le premier type de paramètres modifiables au cours de l'exécution du modèle est celui de la subvention. Il en existe deux types : subvention aux individus et subventions aux lieux.

Le paramètre de subvention aux acteurs est binaire et concerne le coût des enfants. Il détermine si, oui ou non, le nombre d'enfants joue un rôle dans l'accessibilité économique aux lieux. Lorsque l'utilisateur du modèle enclenche ce paramètre, il observe un système où la société aurait décidé de couvrir l'ensemble des coûts directs et indirects des enfants, afin de permettre aux pères et mères de jouir d'un droit à l'urbanité égal à celui des acteurs sans enfants.

Les paramètres de subvention des lieux peuvent s'appliquer à tout type urbain. Ils varient entre 0% et 100%, où 0% signifie que le coût de logement dans le type urbain X est entièrement à la charge de son résident. 100% signifie que le coût du logement est entièrement à la charge du système social pour ce type urbain. Pour donner un exemple : si les centres sont subventionnés au taux de 30%, le « coût d'accès » au centre A baisse à 5.6, celui du centre B à 4.9 et celui du centre C à 2.8. Même les acteurs « pauvres » ont dans ce cas accès au centre A.

7.2.3.2.2. Densification

Le dernier paramètre modifiable par l'utilisateur est celui de la densification. Ce facteur est à comprendre comme une densification du transport, amenant, bien qu'il ne soit pas directement numérisé de cette manière, plus de non résidents dans le lieu concerné. Il est également à supposer qu'une diversification des fonctions a lieu, à la fois comme moteur et comme conséquence de la densification des transports. La densification augmente simplement le score allophilique et baisse le score allophobique :

```
if (densification.intValue() > 0) {allophileScore += allophileScore *  
densification.doubleValue() / 200;}  
if (densification.intValue() > 0) {allophobeScore -= allophobeScore *  
densification.doubleValue() / 200;}
```

Comme nous le voyons, et sachant que le paramètre peut varier entre 0 et 100, l'attractivité pour allophiles peut être jusqu'à doublée par la densification et celle pour allophobes jusqu'à réduite de moitié par cette dernière.

7.2.4. Notes sur l'usage du modèle

Le modèle ainsi créée a été compilé en Java est packagé de manière à s'exécuter aisément sur les trois plateformes les plus répandues :

Sur Windows : copier *OIS_model*²⁷ sur le disque dur. À l'intérieur du dossier, lancer l'application en double-cliquant sur *start.bat*²⁸.

Sur Mac OS/X : copier *OIS_model_OSX*²⁹ sur le disque dur (de préférence dans le dossier des Applications). À l'intérieur du dossier, lancer l'application en double-cliquant sur *ModelOSX*.

Sur Linux : même procédure que sous Windows mais utiliser *start.sh*³⁰ pour le lancement. Utiliser alternativement la ligne de commande. Si *OIS_model* se trouve dans le répertoire *votre/répertoire*, la ligne de commande à utiliser est la suivante³¹ :

```
java -Xmx512M -jar votre/repertoire/OIS_model/model.jar
```

Bien qu'il soit possible de lancer le modèle directement en double-cliquant sur *model.jar*, il est préférable de le lancer à partir de la ligne de commande, de manière à allouer

²⁷ Ce dossier contient les fichiers *model.jar*, *start.bat* et *start.sh*, ainsi que les dossiers */data* et */repast*.

²⁸ Une machine virtuelle Java (1.3+) doit être installée.

²⁹ Ce dossier contient le fichier *ModelOSX.app* et le dossier */data*.

³⁰ En ayant éventuellement attribué les droits d'exécution par la commande 'sudo chmod +x start.sh'.

³¹ Notons que, sur Mac OS/X, aussi bien que sur un PC, le programme peut également être lancé directement en double-cliquant sur *model.jar*. Une exécution directe de ce type risque de bloquer lors de plusieurs simulations consécutives.








suffisamment de mémoire pour son bon déroulement, notamment lorsque l'on souhaite exécuter des simulations multiples.

7.2.5. Les paramètres d'initialisation

Il est nécessaire de fixer les paramètres d'initialisation avant l'initialisation du modèle. Il faut donc choisir l'*attitude dominante* des agents dans le menu déroulant. Le *degré de domination* de l'attitude dominante peut être fixé à l'aide du slider correspondant, de la même manière que la *proportion des propriétaires* et le *mode du nombre d'enfants*.

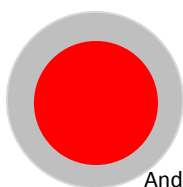
7.2.6. Simulation

Une fois les paramètres d'initialisation fixés, la simulation peut être exécutée à l'aide des boutons suivants :

-  Initialiser les paramètres du modèle et les graphiques.
-  Faire tourner le modèle.
-  Mettre le modèle en pause pour analyser une situation dans la fenêtre *OpenMap*.
-  Arrêter le modèle. L'usage de la touche « faire tourner le modèle » n'est plus possible après cela.
-  Remettre à zéro tous les paramètres en préparation d'une nouvelle exécution du modèle.
-  Afficher/Cacher le panneau des paramètres.
-  Quitter l'interface de simulation.

Au cours de l'exécution du modèle, il est possible de simuler les interventions politiques dans le système urbain. Ces options peuvent être trouvées dans l'onglet « Interventions en live ». Les *sliders* de *subvention* réduisent de 0 à 100% le prix foncier des lieux. Les *sliders* de *densification* densifient le réseau de transports, ce qui est simulé par une augmentation de l'attractivité du lieu pour les allophiles.

7.3. Sémantique graphique



Le cercle extérieur représente la population totale = résidents + non-résidents. Sa couleur est grise car les présents non résidents viennent potentiellement de tous les autres types d'environnement résidentiel. Le

cercle intérieur représente le nombre de résidents et sa couleur indique le type d'environnement résidentiel :

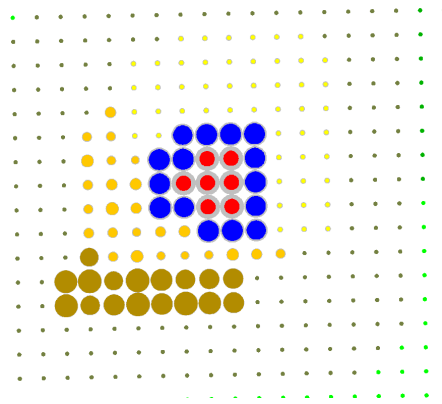


Figure 16: Exemple de sortie graphique (détail de l'espace du modèle). À noter les l'adjacence entre les plus grands cercles : cette dernière indique que la limite de population a été atteinte.

7.4. Résultats de la dernière version du modèle

Les paramètres du modèle sont nombreux et leurs relations complexes. Quelques tendances majeures, néanmoins, peuvent être identifiées, moyennant des exemples que nous avons classés selon les attitudes dominantes.

7.4.1. Dominance allophile

Dans le cas d'une dominance allophile, on peut observer une claire tendance à la centralisation urbaine. Suivant le degré de domination des allophiles, certains types urbains, comme l'infra-, l'hypo- et le périurbain, sont complètement délaissés, alors que les zones centrales sont remplies jusqu'au maximum de leur capacité, dans les limites, également, de leur accessibilité économique. Les freins économiques jouent ainsi un rôle important dans des sociétés urbaines à dominance allophile.

Un premier exemple de ceci peut être donné avec une simulation à 100% d'acteurs allophiles, un nombre modal de 3 enfants par acteur, et une proportion de 0% de propriétaires. Pendant le déroulement du modèle, à la 750^e itération, nous enclenchons la subvention aux enfants. Le résultat peut être observé dans la Figure 17, qui donne un aperçu de la structure spatiale résultante et dans la Figure 18, qui montre l'évolution du système quant à la proportion de résidents par type urbain.

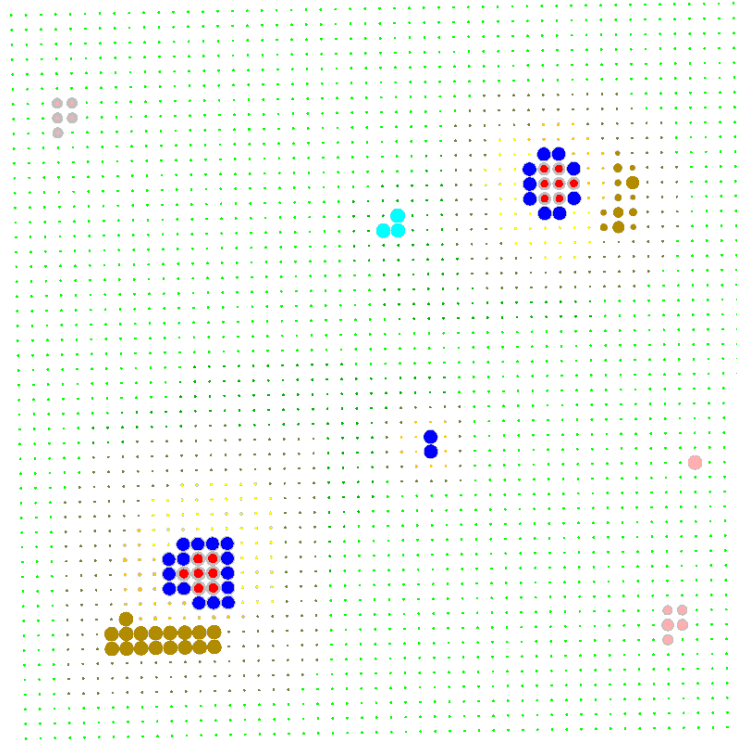


Figure 17: 3700^e itération d'une simulation avec 100% d'allophiles, 3 enfants chez 70% d'acteurs et 0% de propriétaires. Enfants subventionnés.

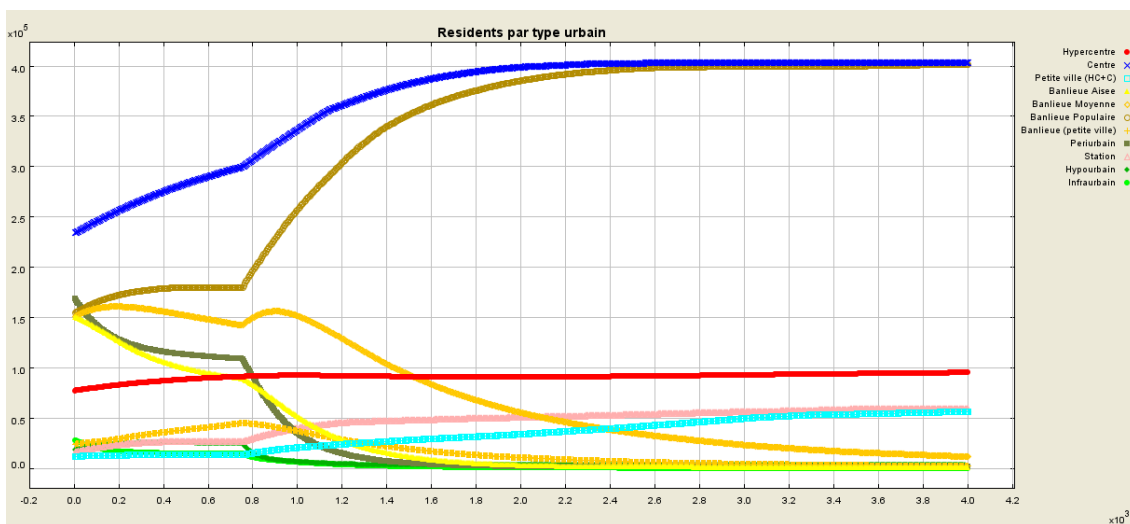


Figure 18: Simulation avec 100% d'allophiles, 3 enfants chez 70% d'acteurs, 0% de propriétaires. Activation de la subvention des enfants à la 750^e itération.

On voit, dans ces résultats, l'influence radicale de la subvention. Dès le moment de son activation, le périurbain, tout comme la banlieue des petites villes et l'hypourbain, se vident au profit du centre et des banlieues de grande villes. Nous assistons donc à la réalisation d'une volonté d'urbanité freinée par des contraintes économiques liées à la présence non-subsventionnée d'enfants dans le ménage.

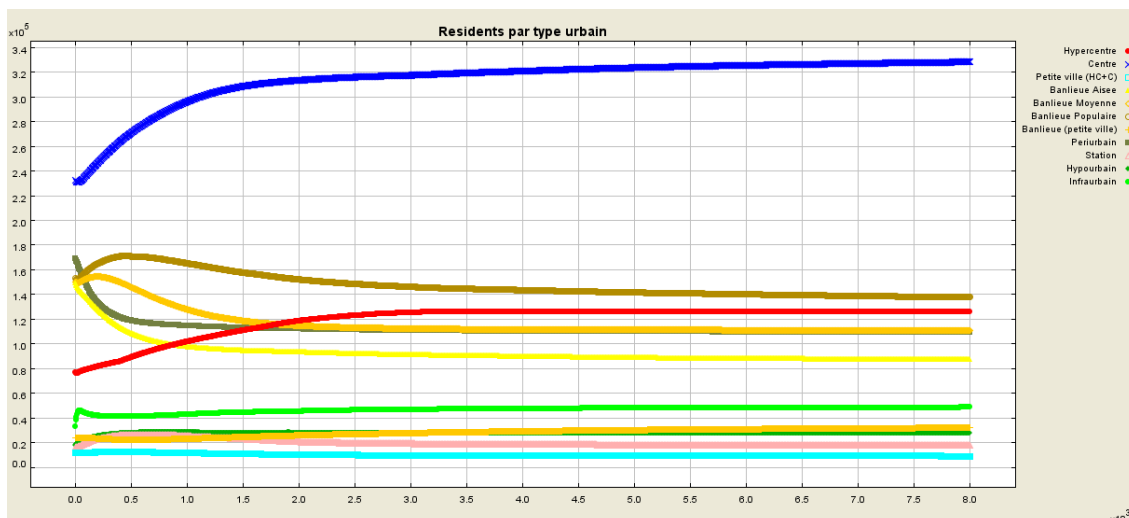
Dans une société d'allophiles, la périurbanité est maintenue par des freins financiers. La subvention, notamment celle des enfants des ménages, peut générer un retour massif en ville.

Suite au « retour en ville » permis par la subvention, des dynamiques plus subtiles se mettent en place. La croissance de la population des banlieues moyennes décline, puis s'inverse. Plusieurs facteurs expliquent ce phénomène. Tout d'abord, ce déclin est dû à la concurrence du centre et de l'hypercentre, désormais accessibles à une partie de la population financièrement « condamnée à la banlieue » jusqu'ici. Après la saturation du centre (~2400^e itération), néanmoins, ce déclin se poursuit et s'explique par le fait que les banlieues aisées et moyennes perdent au profit de la banlieue populaire qui, de par sa meilleure accessibilité financière, présente une plus grande mixité sociale³², à diversité fonctionnelle et accessibilité pédestre égale. Il est à noter que même au sein de la banlieue populaire, le système présente une concentration de la population. Ainsi dans la banlieue populaire de la ville B, où se forment des centres de banlieue.

Nous notons également une résurgence de la petite ville et des stations F et G après l'activation de la subvention. La petite ville, tout comme la station G, présentent en effet des prix fonciers inférieurs à 6 couplés à une accessibilité pédestre supérieure à 2, donnant ainsi accès à toutes les classes sociales, et donc lieu à une mixité sociale optimale. La station F, quant à elle, possède, par rapport à la banlieue moyenne une population de non-résidents cinq fois supérieure, à prix foncier et accessibilité pédestre égaux.

Dans un deuxième exemple de simulation, nous avons ramené le nombre modal d'enfants à 1 et baissé le degré de domination des allophiles à 90%. Dans cet état, nous avons activé une subvention à 60% de l'hypercentre à la 400^e itération. Cela signifie que mêmes les personnes pauvres avec un enfant y ont accès. L'évolution des populations par type urbain est présentée sur la Figure 19.

³² L'indice de mixité moyen pour la banlieue populaire est de 0.646, à comparer avec des valeurs de 0.463 et de 0.482 pour les banlieues moyenne et aisée respectivement.



**Figure 19: Simulation avec 90% d'allophiles, 1 enfant chez la majorité d'acteurs, 0% de propriétaires.
Activation d'une subvention à 60% de l'hypercentre à la 400^e itération.**

La première chose que l'on peut observer sur cette figure, et que le péri-, l'hypo-, et l'infraurbain se maintiennent, contrairement à la simulation précédente à 100% d'allophiles. L'explication de ce phénomène vient de la présence de 60'000 allophobes qui trouvent refuge dans ces types urbains, et de 60'000 ascendants qui se retrouvent notamment dans le périurbain.

L'activation de la subvention de l'hypercentre à la 400^e itération n'est pas immédiatement visible, mais l'évolution s'en accélère légèrement, malgré tout. À la 3000^e itération, l'hypercentre est saturé. Une simulation de contrôle nous a montré que c'est au détriment des banlieues que se fait cette croissance.

Aucun autre type urbain n'étant subventionné, le reste de la répartition est dominée par le facteur économique, avec une moyenne de revenu, notamment, de 2.75 dans le centre, de 2.4 dans la banlieue aisée, de 2.0 dans la banlieue moyenne et de 1.65 dans la banlieue populaire. À noter, ici, que la banlieue populaire, dans la configuration présente, ne jouit pas nécessairement de la meilleure mixité, étant donné qu'une population pauvre (avec 2 enfants et plus) y est concentrée.

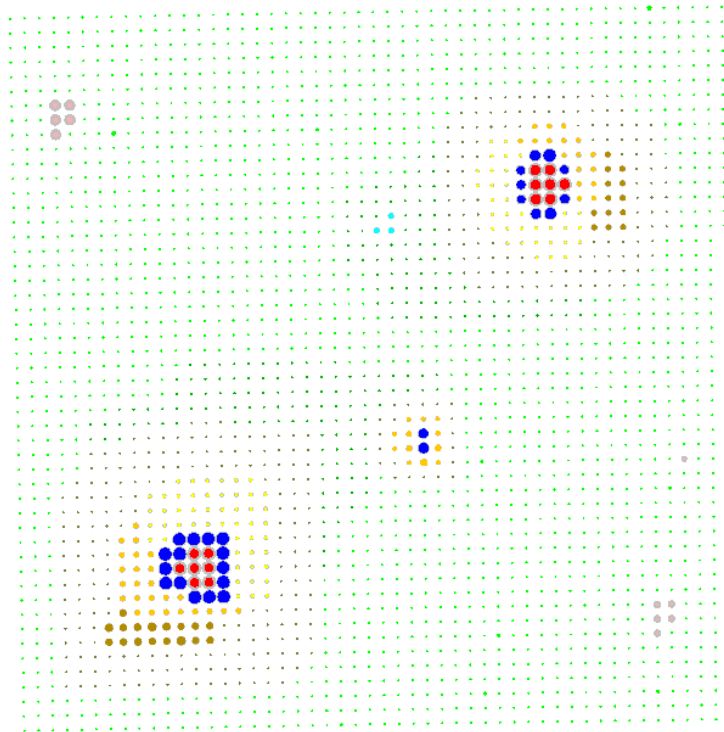


Figure 20 : Simulation avec 90% d'allophiles, 1 enfant chez la majorité d'acteurs, 0% de propriétaires. Activation d'une subvention à 60% de l'hypercentre à la 400^e itération.

7.4.2. Dominance allophobe

Pour illustrer une société d'allophobes, nous pouvons prendre l'exemple d'une simulation avec 100% de ceux-ci, 0% de propriétaires et un nombre modal de 3 enfants. Les résultats de cette simulation sont présentés dans la

Il s'est rapidement révélé qu'une telle configuration mène à une homogénéisation de la distribution de la population dans l'espace, dans les limites de l'accessibilité économique des types urbains. Une nette préférence des acteurs dans ce cas de figure va au périurbain. À la 200^e et à la 400^e itération, nous avons tenté d'infléchir cette tendance en activant consécutivement des subventions à 100% de l'hypercentre et du centre. Les deux mesures n'ont eu aucun effet, sinon celui d'un léger affaiblissement des populations de ces types urbains. Déjà impopulaires de par leur forte diversité fonctionnelle, de par leur faible accessibilité automobile et de par leur forte population partiellement composée de non-résidents, la subvention de ces lieux n'a fait qu'augmenter leur potentiel de mixité, ajoutant ainsi à leur faible attractivité du point de vue allophobe.

Dans une société d'allophobes, les subventions du logement en ville produisent aucune effet, voire même l'effet inverse au retour en ville souhaité.

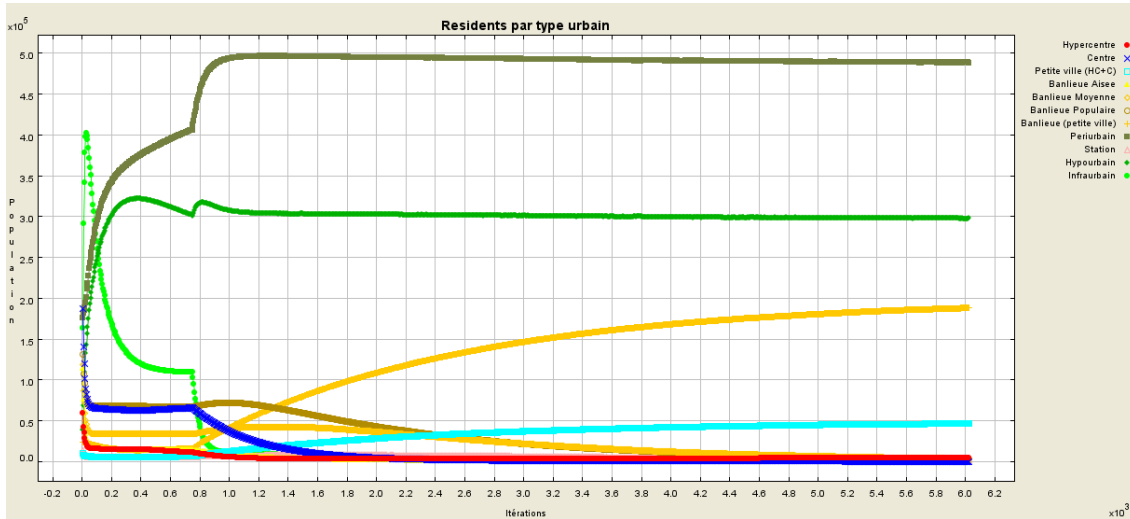


Figure 21: Simulation avec 100% d'allophobes, 3 enfants chez la plupart des acteurs, 0% de propriétaires, activation d'une subvention à hauteur de 100% de l'hypercentre (200^e itération) puis du centre (400^e itération). Activation de la subvention aux enfants à la 750^e itération.

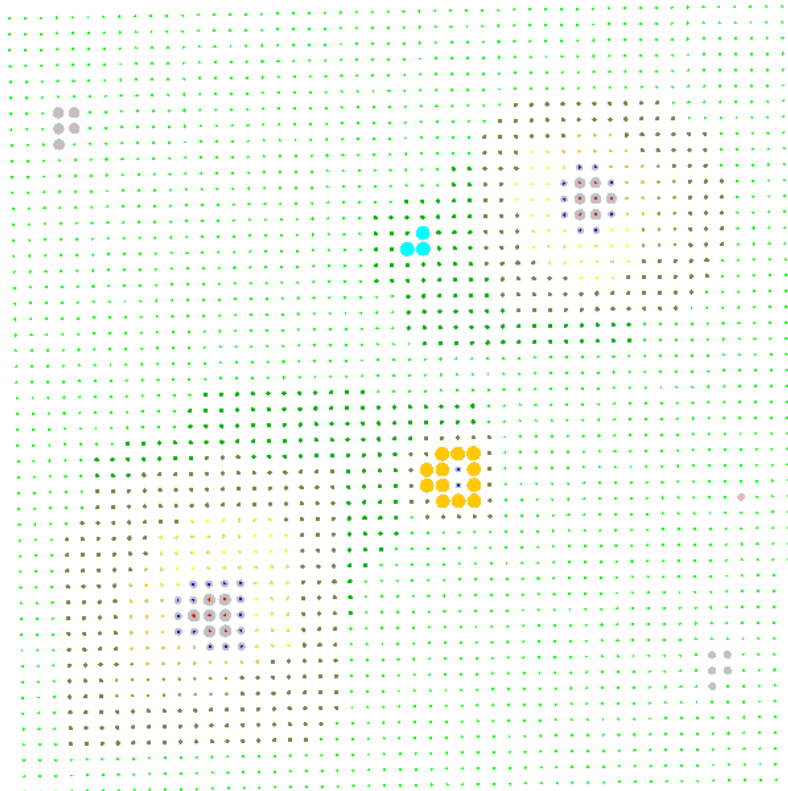


Figure 22: Simulation avec 100% d'allophobes, 3 enfants chez la plupart des acteurs, 0% de propriétaires, activation d'une subvention à hauteur de 100% de l'hypercentre (200^e itération) puis du centre (400^e itération). Activation de la subvention aux enfants à la 750^e itération.

La seule mesure publique qui ait changé les tendances, bien que d'une manière ambivalente, a été celle de la subvention aux enfants, activée à la 750^e itération. Cette dernière a eu pour résultat une augmentation du périurbain (et de l'hypourbain jusqu'ici en déclin) au détriment de l'infraurbain. Un autre effet majeur de cette subvention a été l'avenue de la petite ville et de la banlieue de la ville C, qui sont le meilleur endroit que les allophobes « pauvres » peuvent s'offrir, dans la mesure où leur faible prix foncier s'articule à une faible diversité fonctionnelle et à une forte accessibilité automobile. Ce dernier mouvement se fait surtout aux dépens des banlieues moyenne et populaire.

Bien que d'un apport moindre que dans une société d'allophiles, les subventions aux enfants sont partiellement bénéfiques même dans le cas d'une société d'allophobes, dans la mesure où elles conduisent à un retour relatif à la ville, à savoir dans le périurbain au détriment de l'infraurbain. Leur problème, néanmoins, est de permettre à des acteurs à faible revenu de rechercher des lieux à meilleure accessibilité automobile.

Une deuxième simulation a été réalisée avec 90% d'allophobes seulement, *ceteris paribus* (3 enfants, 0 % de propriétaires). Nous activons également la subvention aux enfants à la 750^e itération. Le déroulement du système est alors légèrement différent, comme on peut le voir sur la Figure 23. Le nombre de résidents dans l'hypourbain ne monte que très faiblement au dessus des 300'000, notamment, alors qu'il les avait nettement dépassé dans la simulation précédente. La décroissance du centre et de l'hypercentre, néanmoins, se fait au même rythme.

À la 1'250 itération, nous introduisons la densification du périurbain (100), dans l'idée d'augmenter la mixité de la population et de réduire ainsi sa qualité comparative avec le centre et l'hypercentre du point de vue des allophobes. Cette mesure s'avère désastreuse dans cette optique, car les allophobes se déplacent simplement un gradient d'urbanité plus loin, à savoir dans l'hypourbain. Même l'infraurbain présente alors une recrudescence de la population. L'équilibre dynamique atteint par ce processus peut être observé sur la Figure 24.

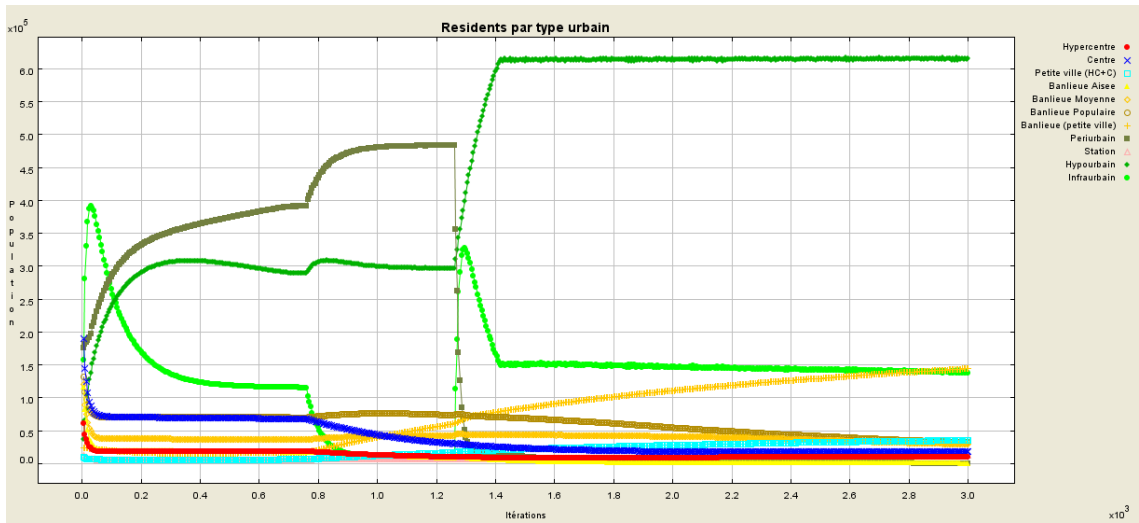


Figure 23 :

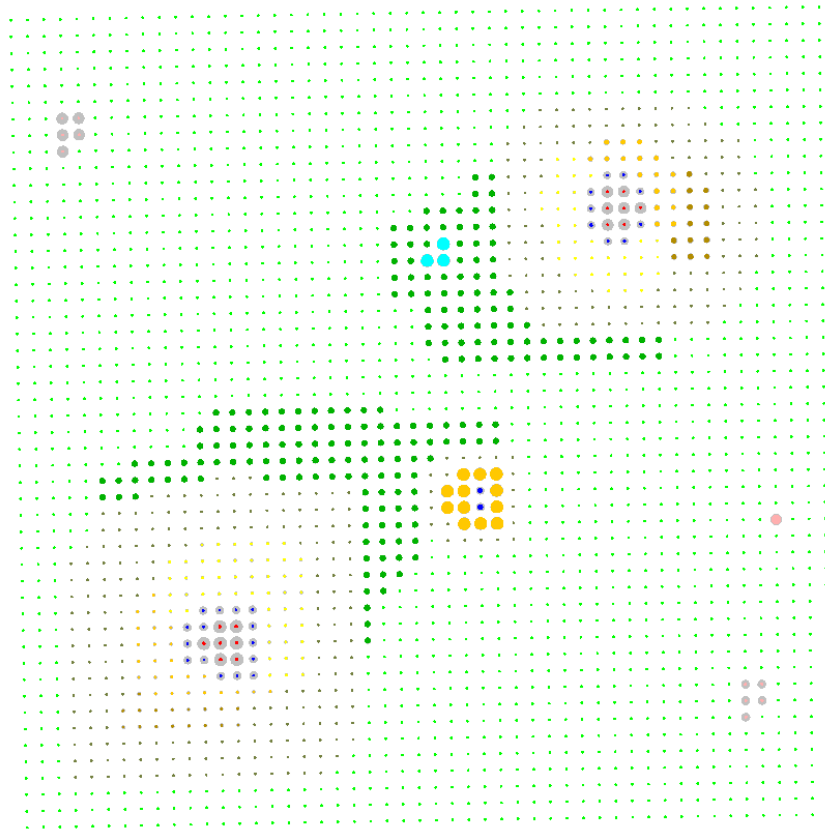


Figure 24 :

7.4.3. Dominance du désir d'ascension sociale

Afin d'illustrer l'effet d'une domination d'ascendants, nous pouvons présenter deux simulations sans intervention. La première, dont les résultats peuvent être observés sur la Figure 26 et la Figure 25, a été faite avec 100% d'ascendants et 0% de propriétaires. La majorité des acteurs possédaient 0 enfants. Une deuxième simulation, avec les mêmes paramètres mais avec 70% de propriétaires, a donné les résultats observables sur la Figure 27 et la Figure 28.

Ainsi que ces figures le montrent, c'est la banlieue aisée qui se présente comme la plus attractive dans une population à dominance ascendante. C'est en elle que se réunissent tous les habitants qui le peuvent, le deuxième choix étant l'infraurbain. Ce dernier rassemble une grande partie de la population dans la deuxième simulation, où le souhait d'être propriétaire de son logement ne laisse pas les moyens, à une grande partie des acteurs, d'habiter dans la banlieue aisée (avec un prix élevé à 9.66 par multiplication de l'intérêt hypothécaire, seuls les « riches » peuvent y accéder).

De manière intéressante, la société d'ascendants montre une tendance à faire émerger des zones de haute densité dans le périurbain ainsi que l'on peut le constater aussi bien sur la Figure 26 que sur la Figure 28.

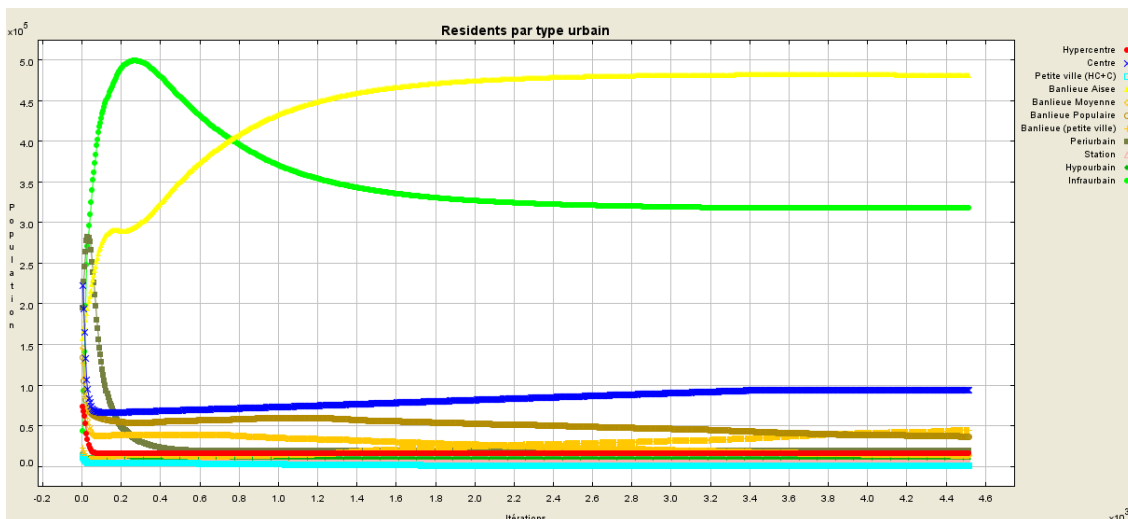


Figure 25: Simulation avec 100% d'ascendants, 0% de propriétaires, 0 enfants chez la plupart des acteurs, sans intervention.

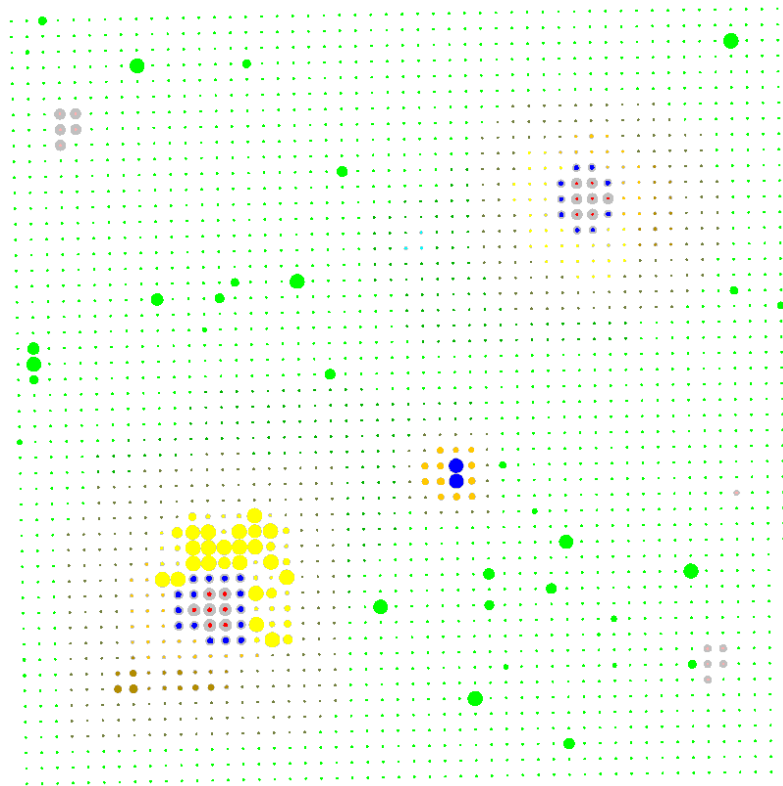


Figure 26: Simulation avec 100% d'ascendants, 0% de propriétaires, 0 enfants chez la plupart des acteurs, sans intervention.

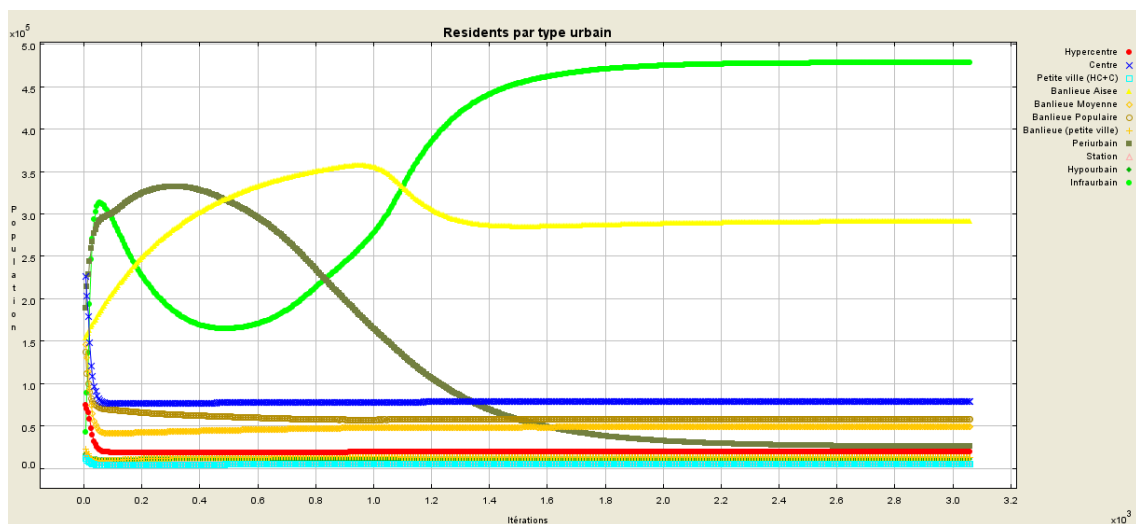


Figure 27: Simulation avec 100% d'ascendants, 70% de propriétaires, 0 enfants chez la plupart des acteurs, sans intervention.

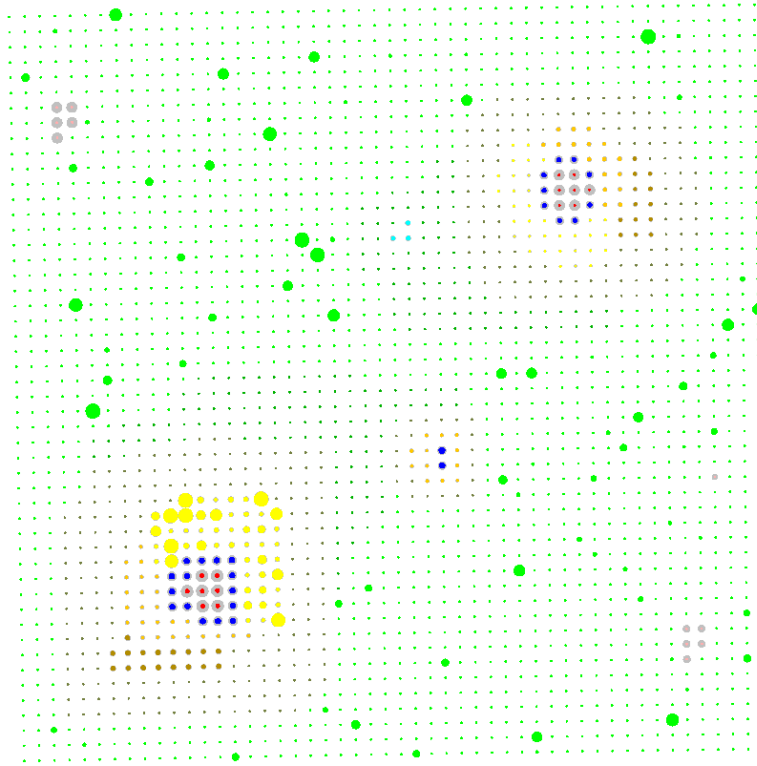


Figure 28 : Simulation avec 100% d'ascendants, 70% de propriétaires, 0 enfants chez la plupart des acteurs, sans intervention.

8. Conclusions générales

Le modèle multi-acteurs schématique mais réaliste, que nous avons développé dans ce chapitre, est centré sur les attentes et les comportements des individus. Dans les diverses versions du modèle, il a montré l'importance des choix individuels dans la fabrique de l'espace habité car les bifurcations obtenues dans la dernière version sont spectaculaires : en fonction de la dominance « allophile » (recherche d'une exposition à l'altérité sociale) ou « allophobe » dans les attentes des habitants, nous pouvons observer des dynamiques en faveur soit du modèle de la ville rassemblée, soit du modèle de l'urbain étalé et fragmenté.

Dans nos résultats, nous n'avons présenté qu'une petite part des simulations possibles grâce à notre modèle mais il est possible de résumer nos observations en trois points essentiels :

1. Les modèles d'urbanité présents dans les représentations et les attitudes des urbains ont des effets majeurs sur la production de l'espace urbain, notamment dans la dimension de l'exposition à l'altérité. Ces effets portent massivement sur les domaines de base de l'urbanisme (agencement du bâti, infrastructures de transports, densité, diversité).

2. Si elles se concentrent sur l'accès des populations insuffisamment solvables aux quartiers à prix du sol élevé, les politiques publiques peuvent clairement infléchir les évolutions dans le sens de la mixité. Néanmoins, si elles peuvent accompagner les évolutions spontanées liées à la prévalence de tel ou tel modèle d'urbanité dans la société urbaine, elles ne peuvent pas les contrecarrer.

3. L'action urbaine, notamment si elle vise, une mise en œuvre des principes du développement durable, doit viser en premier lieu l'inflexion du poids relatif des différents modèles d'urbanité dans la société.

Du point de vue des recherches futures, la pertinence confirmée de l'opposition allophile/allophobe conduit, d'une part, à rechercher une mesure quantitative de la place relative des différents modèles d'urbanité existant parmi les urbains, d'autre part, à enrichir les variantes du modèle pour en faire un outil plus efficace de politique publique. Cela peut prendre la forme, par exemple, d'une enquête sur échantillon représentatif de la population générale, de la prévalence de chacun des modèles. En outre, l'efficacité de la démonstration proposée invite à une sophistication du modèle dans le sens de davantage de réalisme, en détaillant notamment les composantes des actions publiques en matière de logement, de transports et d'espace public pour mieux évaluer leur impact sur les dynamiques urbaines.

9. Références

9.1. Articles

- Albouy et Roth (2003), *Transferts monétaires et compensation du coût de l'état : Les éléments de la mesure*, Informations Sociales, CNAF, (<http://www.cairn.info/revue-informations-sociales-2007-1-page-68.htm>)
- Allain R. (2004), *Morphologie Urbaine : Géographie, aménagement et architecture de la ville*, Paris : Armand Collin.
- Alonso W. (1964), *Location and land use : toward a general theory of land rent*, Harvard University Press.
- Appel A., Stein A., Evangelisti C. (1983). « Animating quantitative maps with cellular automata », *IBM Technical Disclosure Bulletin*, 26(3A):953-956.9.
- Benenson I. & Torrens M. P. (2004), *Geosimulation: Automata-based modeling of urban phenomena*. West Sussex: John Wiley & Sons.
- Bourguignon F. (1999), "The cost of children: May the collective approach to household behavior help?", *Journal of Population Economics*, Volume 12, Number 4 / November.
- DeJong T. M. (1975) « A Comparison of Three Diversity Indices Based on Their Components of Richness and Evenness », *Oikos*, Vol. 26, No. 2, pp. 222-227.
- Drogoul A., Ferber J. (1994), « Multi-Agent Simulation as a Tool for Studying Emergent Processes in Societies » in Gilbert, N & Doran, J, (eds), *Simulating Societies, the Computer Simulation of Social Phenomena*, London: UCL Press, 1994.
- Epstein J.M., Axtell R. L. (1996), *Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom Up*, Washington D.C.: Brookings Institution Press.
- Espenshade T. C. (1974), « Estimating the Cost of Children and some Results from Urban United States », *Social Indicators Research*, Volume 1, Number 3 / December, 1974.
- Ferber J. (1995) *Les systèmes multi-agents. Vers une intelligence collective*, Paris: InterEditions.
- Gustafsson B., Kjulin U. (1994), « Time use in child care and housework and the total cost of children », *Journal of Population Economics*, Volume 7, Number 3 / September.
- Haegel F., Lévy J., Mattei M.-F. (1995), *Identités spatiales, identités politiques en Ile-de-France*. Contrat avec le Plan Urbain, Paris.
- Latour B. (1987). *Science in action: how to follow scientists and engineers through society*, Harvard University Press.
- Le Moigne J.-L. (2003), *Le constructivisme, Tome 3 : Modéliser pour comprendre*, L'Harmattan.
- Lévy J. (1994), *L'espace légitime*, Paris: Presses de Sciences Po.

- Office Fédéral du Développement Territorial, Office Fédéral de la Statistique (2001), *La mobilité en Suisse : Résultats du microrecensement 2000 sur le comportement de la population en matière de transports*, Berne et Neuchâtel.
- Ourednik A. (2005), *La géographie cellulaire : esquisse d'une épistémologie géographique des automates cellulaires*. Mémoire de licence, sous la direction de F. Bavaud et de H Volken, Université de Lausanne.
- Ourednik A. (2007), « Mécanismes rétroactifs de ségrégation entre une société urbaine et son espace: Un modèle basé agents », *Revue Internationale de Géomatique, Dynamiques urbaines et mobilités*, vol. 17 no.2/2007, pp. 183-206.
- Ourednik A., Dessemontet P. (2007), « Interaction maximization and the observed distribution of urban populations: an agent based model of humanity's metric condition », *Proceedings of the 15th European Colloquium on Theoretical and Quantitative Geography (ECTQG'07)*.
- Pumain D. (1997), « Pour une théorie évolutive des villes », *L'Espace Géographique*, 26/2, 119-134.
- Schelling T. C. (1978), *Micromotives and Macrobehavior*, New York & London: Norton.
- Simpson E. H. (1949), « Measurement of Diversity », *Nature*, April 30, vol. 163, p. 688.
- Vanbergue D., Treuil J.-P., Drogoul A. (2000), « Modelling urban phenomena with cellular automata », *Advances in Complex Systems Journal*, 3, 1-4.
- Weiss G. (ed.) (1999), *Multiagent Systems. A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*, Cambridge, Mass.: The MIT Press.

9.2. Interventions publiques

- Ourednik A., « Cellular Segregation: towards a retroactive socio-spatial segregation model » at *ThéoQuant, 7èmes rencontres, Nouvelles approches en géographie théorique et quantitative*, Laboratoire Théma, UMR 6049, CNRS – Universités de Franche-Comté et de Bourgogne, 26 au 28 janvier 2005, ISSN : 1769-6895.
- Ourednik A., « L'identité spatiale et ses effets émergents dans un modèle basé individu sur la mobilité résidentielle » at *ThéoQuant, 8èmes rencontres, Nouvelles approches en géographie théorique et quantitative*, Laboratoire Théma, UMR 6049, CNRS – Universités de Franche-Comté et de Bourgogne, 10 au 12 janvier 2007, ISSN : 1769-6895.
- Ourednik A., Mathis S., Lévy J., « De l'individu à la ville » at *L'individu et la ville*, UMR 6173 CITERES, en liaison avec la MSH de Tours et l'organisation de la Semaine de la Ville, 09.03.2007.