

Faculté des Sciences et Ingénierie - Sorbonne université

Master Informatique parcours ANDROIDE



MOSIMA - Modélisation et Simulation Multi-Agents

Rapport de la version macro

Projet Ecotopia

Groupe C :

Joe CHAMOUN - 21312860

Walid GHENAIET - 21307720

Nour Ismahane SLIMANI - 21221230

Imane HADBI - 21201851

Khaoula ALAYAR - 21203806

Romain NODA - 28720263

Thomas ROIG - 28708645

Ronan HOUÉE - 21308445

Zhengqing LIN - 21317948

Décembre 2024

Table des matières

Introduction	1
1 Structure générale du modèle	2
1.1 Fonctionnement des ticks	2
1.2 Les blocs fonctionnels	2
1.3 Coordination centrale	3
2 Ecosysteme	4
2.1 Fonctionnalités principales	4
2.1.1 Gestion des stocks de ressources	4
2.1.2 Régénération naturelle	4
2.1.3 Consommation des ressources	4
2.1.4 Réponse aux demandes	5
3 Agriculture	6
3.1 Consommation	6
3.2 Production	7
3.3 Mise à jour des données	8
3.4 Analyse des résultats	8
3.5 Amélioration possible pour la version micro	9
4 Énergie	10
4.1 Consommation	10
4.1.1 Consommation de la population	10
4.1.2 Consommation des autres secteurs	11
4.2 Production	11
4.2.1 La pénurie	12
4.3 Suivi des données	12
4.3.1 Améliorations prévues pour la version micro	12
5 Urbanisme	14
5.1 Consommation	14

5.2	Production	15
5.3	Expérimentations	16
5.3.1	Objectif	16
5.3.2	Configuration des expérimentations	16
5.3.3	Résultats	17
5.4	Conclusion	18
6	Transport	20
6.1	Conception Transports	20
6.2	Choix de modélisation pour les activités	20
6.2.1	Travail	20
6.2.2	Scolarité	21
6.3	Choix de modélisation pour les loisirs	21
6.4	Analyse	21
	Conclusion générale	23

Table des figures

1.1	Graphe présentant les dépendances entre les différents secteurs	3
3.1	Graphe présentant l'évolution de la population	8
3.2	Graphe présentant différentes données de l'agriculture	8
5.1	Évolution de la répartition des logements occupés par type	17
5.2	Dynamique de construction des logements	18
6.1	Graphe présentant l'évolution des consommations en électricité des transports au cours du temps	22

Introduction

Ce projet a pour objectif de modéliser un monde utopique durable, où les besoins de la population sont satisfaits tout en respectant l'environnement.

L'approche adoptée repose sur la conception de 4 secteurs interdépendants : l'urbanisme, l'énergie, l'agriculture et le transport.

A travers cette simulation, nous cherchons à identifier des stratégies qui permettent à notre société de prospérer durablement dans un environnement autosuffisant.

Ce rapport détaille les principes de conception, les mécanismes de fonctionnement et les résultats obtenus des différents secteurs.

Structure générale du modèle

La simulation est centrée sur une seule miniville. Pour cette version macro, la population de la miniville est représentée par :

1. Sa taille : Le nombre d’habitants dans la miniville.
2. Des répartitions, comme l’âge, le genre et des activités (travail, loisirs..)

1.1 Fonctionnement des ticks

Chaque tick comprend deux phases clés :

1. Phase de consommation :

- Les blocs évaluent les besoins de la population (logements, énergie, nourriture, etc.).
- Les pénuries sont identifiées, et des demandes sont générées pour répondre aux besoins non satisfaits.

2. Phase de production :

- Les blocs produisent les ressources et infrastructures nécessaires identifiées en phase de consommation.
- Les consommations de ressources, les émissions de gaz à effet de serre, et les stocks sont mis à jour.

1.2 Les blocs fonctionnels

Le modèle est structuré autour de plusieurs blocs fonctionnels, chacun simulant un aspect clé de la société utopique. Ces blocs sont coordonnés pour garantir un fonctionnement intégré et cohérent :

Bloc Agriculture : Gère la production végétale et animale pour subvenir aux besoins de la population.

Bloc Énergie : Produit et fournit l’énergie nécessaire aux infrastructures et à la population.

Urbanisme : Gère la construction, l’attribution et la gestion des logements.

Transport : Gère les déplacements des individus

Bloc Démographie : Modélise les dynamiques de la population.

Bloc Ecosystème : Gère les ressources naturelles essentielles telles que l'eau et les forêts.

1.3 Coordination centrale

Un agent coordinateur gère les blocs et assure leur synchronisation à chaque tick. Ses principales responsabilités incluent :

L'enregistrement des blocs : Chaque bloc est inscrit au démarrage de la simulation, avec identification de ses entrées et sorties (ressources produites ou consommées).

La définition de l'ordre d'exécution : Un ordre de passage des blocs est établi pour assurer un fonctionnement cohérent.

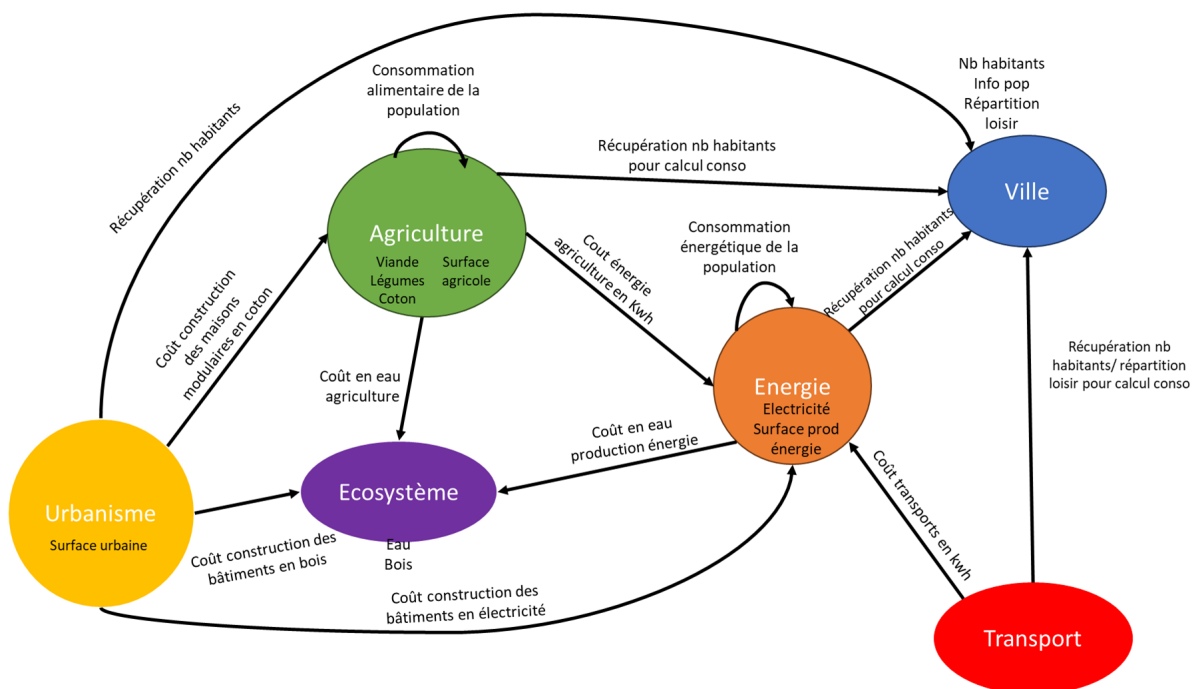


FIGURE 1.1 – Graphe présentant les dépendances entre les différents secteurs

Ecosysteme

Le bloc Écosystème joue un rôle fondamental dans la simulation en modélisant la gestion et la régénération des ressources naturelles, notamment l'eau et les forêts. Il assure que les ressources nécessaires aux autres blocs (comme le bois pour l'urbanisme ou l'eau pour l'agriculture) soient fournies.

2.1 Fonctionnalités principales

Le bloc Écosystème se concentre sur deux ressources principales : l'eau et le bois. Voici les fonctionnalités principales de ce bloc :

2.1.1 Gestion des stocks de ressources

Stock d'eau initial : Le modèle commence avec un stock global d'eau en litres (`water_stock`), représentant les ressources disponibles pour tous les blocs consommateurs.

Surface forestière initiale : La surface des forêts est exprimée en m^2 et est utilisée pour produire du bois.

2.1.2 Régénération naturelle

Régénération de l'eau : A chaque tick, une quantité d'eau est ajoutée au stock grâce à un mécanisme de recharge naturelle, simulant les précipitations (`water_production`).

Régénération des forêts : La surface forestière augmente chaque tick en fonction d'un coefficient de repoussement (`coef_foret`), représentant la capacité des forêts à se régénérer naturellement.

2.1.3 Consommation des ressources

Eau : Les blocs consommateurs (comme l'agriculture) soustraient une quantité d'eau du stock global.

Bois : Le bloc Urbanisme consomme la surface forestière pour produire du bois nécessaire à la construction.

2.1.4 Réponse aux demandes

Lorsqu'un autre bloc fait une demande de ressources (eau ou bois), le bloc Écosystème :

- Vérifie la disponibilité de la ressource demandée.
- Déduit la quantité consommée des stocks
- Retourne un signal pour indiquer si la demande a pu être satisfaite ou non.

Agriculture

Le modèle du secteur de l'Agriculture vise à simuler la consommation et la production alimentaire dans une mini-ville. On considère que la viande sont des bœufs élevés et les légumes sont des pommes de terres, des tomates, des brocolis et des choux-fleurs. Il prend en compte la croissance de la population et lors de la production on ne produira que ce qui sera demandé pour minimiser les déchets alimentaires.

Ce modèle repose sur deux mécanismes principaux :

3.1 Consommation

La fonction `consume(miniville mv)` de l'agent `agri_consumer` calcule d'abord la consommation de la population du mini-ville puis consomme depuis le stock. Si la consommation est plus grande que le stock, on a une pénurie, sinon on stockera ce qui reste.

Fonctionnement de la consommation

Calcul de la consommation de la population : On connaît la consommation moyenne d'un habitant en France par mois et on multiplie cela par le nombre d'habitants du mini-ville.

$$C_{VL} = nb\ population * consommation\ d'un\ habitant\ en\ viande/mois$$

$$C_{LL} = nb\ population * consommation\ d'un\ habitant\ en\ légumes/mois$$

avec :

- C_{VL} : la consommation de la population en viande par mois.
- C_{LL} : la consommation de la population en légumes par mois.

Gestion du stock et de la pénurie : Une fois le calcul effectué, on cherche à savoir s'il restera du stock ou s'il y a une pénurie. Pour cela on prend la différence entre le stock et la consommation (y compris la pénurie au tick précédent). Si cette valeur est positive cela revient à dire qu'on aura du stock, sinon on a une pénurie.

$$stock_{aliment\ t+1} = stock_{aliment\ t} - consommation_{aliment\ t} - pénurie_{aliment\ t-1}$$

ou

$$pénurie_{aliment\ t} = pénurie_{aliment\ t-1} + consommation_{aliment\ t} - stock_{aliment\ t}$$

3.2 Production

La fonction `produce(map<string, float> demand)` de l'agent `agri_producer` calcule la quantité de ressources nécessaires pour produire une demande. Cette demande est une estimation de la consommation du tick prochain calculé à partir de la consommation et de la pénurie du tick courant.

Fonctionnement de la production

Calcul de la quantité de ressources nécessaires : Nous calculons la quantité de ressources requises pour la viande, les légumes ou le coton. Les ressources nécessaires sont :

- L'eau en L ;
- L'énergie en kWh ;
- La surface en m²

Demande aux producteurs externes : Certaines ressources sont produites par d'autres blocs comme l'eau et l'énergie, donc on fait appel aux producteurs externes (l'écosystème et l'énergie) pour ces ressources.

Gestion des surfaces agricoles (pas encore implémenté totalement) : Après avoir calculé la surface nécessaire pour produire de la viande, des légumes et/ou du coton demandé, on vérifie si on dispose assez suffisamment de surface. Si l'on ne dispose pas on met un flag à `true` pour pouvoir gérer les surfaces agricoles.

La partie gestion des surfaces n'est pas encore implémenté car on suppose que cette manque de surface ne sera pas présent dans la version macro donc la priorité est faible.

Production et émission de gaz à effet de serre : Pour l'instant on produit la totalité de la demande car toute manque sera complété par l'import (à calculer la quantité exacte de l'import). On calcule aussi l'émission de gaz à effet de serre produit lors de la production.

3.3 Mise à jour des données

Au début du chaque tick, différentes données sont collectées. Ces données jouent le rôle des indicateurs qui permet de visualiser et d'analyser cette simulation.

3.4 Analyse des résultats

Résultat obtenu pour une simulation de 50 ans (600 ticks) :

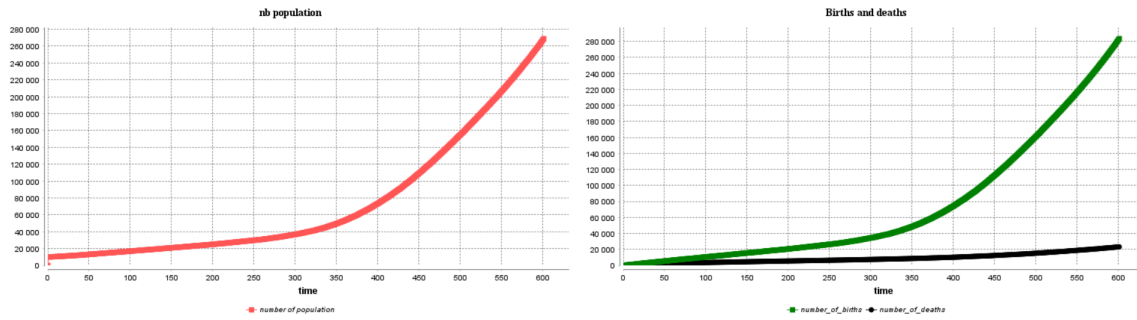


FIGURE 3.1 – Graphe présentant l'évolution de la population

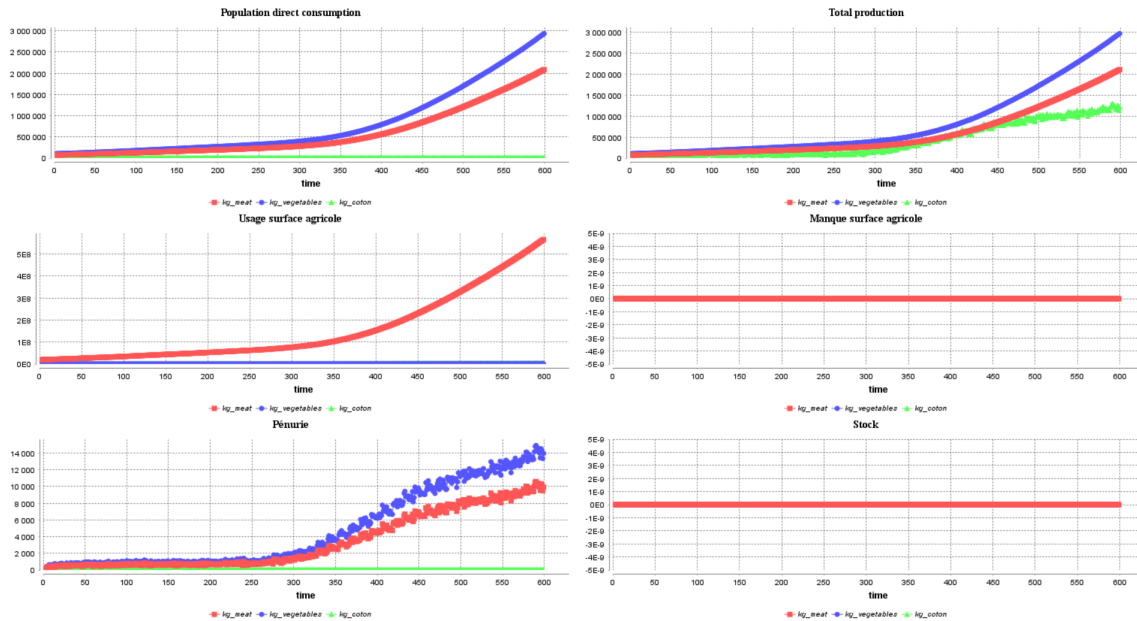


FIGURE 3.2 – Graphe présentant différentes données de l'agriculture

Comme on avait prévu, on observe qu'on a pas de manque en surface agricole dans la version macro. Mais sachant qu'au bout de 50 ans le nombre de population a augmenté jusqu'à 270 000 et que la surface utilisé pour la viande est de $5.5 \cdot 10^3 \text{ m}^2$, et la population française actuelle est d'environ 68 millions donc 243 fois plus. Et si on multiplie la surface utilisé pour la viande par 243 on obtient $1.3 \cdot 10^{11} \text{ m}^2$, or on possède que $3.8 \cdot 10^{10} \text{ m}^2$ pour

la ferme. Ce problème pourrait venir de la supposition que la viande est composé que du bœuf.

Le fait qu'on n'a jamais de stock et que de la pénurie provient du fait que la production est faite à partir de la consommation et de la pénurie calculé au même tick et donc néglige l'évolution de la démographie.

3.5 Amélioration possible pour la version micro

Pour résoudre les problèmes trouvés depuis l'analyse et la gestion des surfaces agricoles, on prévoit les méthodes suivantes :

- implémenter d'autres types de viande comme le porc, le volaille, etc...;
- ajouter des céréales pour compensé la manque de viande ;
- produire plus que demandé (à voir si on gère avec un coefficient, si on produit plus à chaque fois ou lorsqu'il y a une pénurie, etc...) ;
- gérer les surfaces agricoles avec les flags ;

Énergie

Ce secteur fournit quatre types d'énergie : énergie hydroélectrique, solaire, éolienne et nucléaire. Il les produit selon la demande de la population et des autres secteurs. Il consomme par conséquent du terrain pour mettre en place les centrales et de l'eau pour les refroidir, et il résulte des gaz à effet de serre.

La demande d'énergie peut spécifier, ou non, le type d'énergie souhaité. Pour le premier cas, le choix du type est respecté, pour le deuxième, la demande est produite selon un mix de tous les types d'énergie selon des taux fixes (40 % nucléaire, 25 % solaire, 15 % hydroélectrique, 20 % éolien).

En ce qui concerne les gaz à effet de serre, nous nous sommes concentrés particulièrement sur le gaz de CO₂ étant le seul gaz produit par les quatre types d'énergie modélisés. Cela nous permettra dans la version micro de le prendre en compte pour pouvoir varier les taux utilisés pour le mix d'énergie.

4.1 Consommation

4.1.1 Consommation de la population

Le besoin de la population en énergie est actuellement calculé par le secteur d'énergie, en se basant sur la taille de la population de la miniville considérée dans cette version macro, et sur le besoin individuel en énergie par mois (tick) :

$$C_{pE} = \text{nb pop} \times \text{random}(\text{consommation}_{\min}, \text{consommation}_{\max}) \quad (4.1)$$

Comme mentionné dans l'équation, la consommation est définie aléatoirement entre une valeur minimale et maximale, ce qui permettra d'ajouter un aspect dynamique à ses besoins au fil des ticks.

Nous faisons l'hypothèse que la population est indifférente au type d'énergie qu'elle consomme. Pour cela, nous répondons à son besoin en produisant l'énergie de type *any_energy* qui représente le mix énergétique.

Nous considérons que le besoin de la population en énergie est satisfait lors du tick 0 ; néanmoins, cette énergie consommée sera produite au tick suivant.

4.1.2 Consommation des autres secteurs

Les besoins des autres secteurs en énergie sont traités par le biais de leurs demandes. Chaque demande précise soit le type d'énergie souhaité, soit elle utilise *any_energy* pour indiquer une indifférence au type. La quantité demandée est exprimée en kWh.

4.2 Production

La production est effectuée par l'agent *energy_producer*, qui reçoit les demandes d'une façon anonyme.

Les demandes des autres secteurs sont formulées au fur et à mesure lors de leurs phases de production, ces demandes sont produites d'une façon instantanée. Par ailleurs, l'énergie consommée par la population est produite au tick suivant (peut être à modifier).

Lorsque la demande d'énergie ne spécifie pas un type en particulier, le mix d'énergie est calculé en utilisant :

- 40 % nucléaire,
- 25 % solaire,
- 15 % hydroélectrique,
- 20 % éolien.

Afin de tenir compte des pertes d'énergie liées à la production, au stockage, au transport et à la transformation de l'énergie, un coefficient multiplicateur de 2.3 est utilisé. Cela signifie qu'il est nécessaire de produire 2.3 fois la quantité d'énergie demandée afin de pouvoir y répondre entièrement.

La production d'énergie s'accompagne d'une demande accrue en eau et en terrain à l'écosystème. L'utilisation du terrain est gérée de façon minutieuse et bornée par une surface maximale. Les terrains supplémentaires ne sont mobilisés que lorsque la demande énergétique nécessite la construction de nouvelles centrales. Autrement dit, à chaque fois qu'une demande doit être produite, nous analysons d'abord si les centrales existantes peuvent y répondre. Dans le cas défavorable, une surface supplémentaire est utilisée pour compenser le déficit. La surface utilisée par l'énergie est mise à jour en conséquence.

La surface totale utilisée représente la somme de la surface occupée par chaque type d'énergie. La répartition de ces terrains utilisée est calculée en fonction de la quantité de demande pour le type considéré et de la surface nécessaire pour le produire. Ainsi, pour un type d'énergie donné, plus la surface nécessaire à la production de 1 kWh est grande, plus l'augmentation de la demande pour ce type d'énergie se traduit par une utilisation importante du terrain.

4.2.1 La pénurie

En cas de production non accomplie, les types et quantités d'énergie non produite sont enregistrés. Chaque type d'énergie manquant est ajouté au compteur de pénurie correspondant (*tick_penurie*). Cela permet un suivi précis des insuffisances en production.

L'idée de ce *tick* est de l'utiliser pour satisfaire les insuffisances tout en cherchant à le minimiser autant que possible au fil du temps, afin de tendre vers l'autosuffisance.

4.3 Suivi des données

Le suivi des différents indicateurs est assuré par des graphiques qui permettent de visualiser :

- La consommation directe de la population,
- La production totale par type d'énergie,
- Les ressources utilisées (eau, terrain),
- Les émissions de gaz à effet de serre par type d'énergie.

Les données correspondantes sont stockées dans un fichier CSV (*data_energy_plot.csv*), qui peut être exploité pour construire la matrice d'évaluation (EM). Ce fichier contient notamment :

- Les productions par type d'énergie,
- La consommation totale et celle de la population,
- Les émissions de CO2 associées,
- Les pénuries enregistrées.

Les résultats montrent que le modèle macro est capable de satisfaire les besoins énergétiques dans la plupart des cas. Cependant, il nécessite des ajustements pour optimiser l'utilisation des ressources.

Les émissions augmentent au fil du temps, ce qui suggère un besoin de solutions pour limiter ces émissions.

Les pénuries sont gérables jusqu'à un certain point, mais des problèmes apparaissent, généralement après 500 ticks notamment pour l'hydroélectrique, où l'augmentation de la population semble exacerber le besoin de terrain.

4.3.1 Améliorations prévues pour la version micro

Pour affiner le modèle et mieux répondre aux questions soulevées, plusieurs améliorations seront mises en œuvre :

- Adaptation dynamique du mix énergétique au fil du temps pour s'aligner avec les besoins évolutifs.
- Intégration des variations contextuelles, telles que les fluctuations saisonnières.
- Augmentation du nombre d'agents pour modéliser précisément les acteurs individuels, notamment pour chaque type d'énergie.

Urbanisme

Le modèle du secteur de l'Urbanisme vise à simuler la gestion des logements dans notre simulation. Il prend en compte la croissance de la population et répond à ses besoins en logements tout en optimisant l'utilisation des ressources et en minimisant les impacts environnementaux.

Ce modèle repose sur deux mécanismes principaux :

5.1 Consommation

Nous avons une fonction `consume(miniville)` qui gère l'attribution des logements existants à la population d'une miniville et identifie les besoins non satisfaits (pénuries : manque de logements). Si des pénuries sont détectées, elle génère une demande pour de nouveaux logements en fonction des types nécessaires. Nous avons défini une répartition fixe pour les types de logements, exprimée en pourcentages. Cette répartition est utilisée pour orienter la construction et l'attribution des logements, en fonction des besoins de la population :

- 60% de logements en bois (immeubles en bois) : Ils sont privilégiés pour leur capacité d'hébergement élevée et leur durabilité.
- 40% de logements modulaires : Sont choisis pour leur rapidité de construction et pour éviter la déforestation.

Cette répartition garantit que les deux types de logements sont utilisés de manière équilibrée, tout en tenant compte de leurs avantages spécifiques.

Fonctionnement de la consommation

Calcul de la capacité de logement disponible : La fonction `consume` calcule la capacité totale d'accueil des logements existants. La différence entre la population et cette capacité détermine le nombre de personnes sans logement.

Nous avons défini une capacité d'accueil maximale pour les immeubles en bois, les maisons modulaires ainsi que les camps forestiers.

Gestion des besoins en cas de logements suffisants : Si la capacité existante est suffisante pour loger toute la population :

- Les immeubles en bois sont prioritairement attribués jusqu'à leur capacité maximale.
- Les maisons modulaires sont utilisées pour héberger toute le reste de la population s'il en reste.

Gestion des besoins en cas de pénurie : Si la population dépasse la capacité des logements existants :

- Les camps forestiers sont utilisés pour héberger les personnes sans domicile.
- Les besoins en logements sont calculés :
 - Les logements en bois à construire sont estimés en fonction de la population sans domicile et l'indice de répartition.
 - Les maisons modulaires nécessaires sont déterminées de la même manière.

Création d'une demande pour de nouveaux logements : On génère une demande pour construire les immeubles en bois et les maisons modulaires nécessaires afin de répondre aux pénuries identifiées.

Mise à jour des consommations et statistiques : Les quantités de logements attribués, utilisés, et les besoins en nouvelles constructions sont enregistrés dans des variables, permettant un suivi précis de la consommation et des pénuries.

5.2 Production

La fonction `produce(demand)` dans la species `urbanisme_producer` est responsable de la satisfaction des demandes en logements générées par la consommation. Elle consomme les ressources nécessaires, construit les logements, et met à jour le stock.

Fonctionnement de la production

Estimation des ressources nécessaires : En fonction des demandes générées par la consommation, nous calculons les quantités exactes de ressources requises pour chaque type de logement à construire :

- Bois (en kg) pour les immeubles en bois.
- Coton (en kg) pour les maisons modulaires.
- Énergie (en kWh) et terrain (en m²) pour les deux types.

Demande aux producteurs externes : La fonction fait appel à des producteurs externes (Énergie et Agriculture) pour combler les besoins. Ces producteurs disposent de mécanismes d'importation pour garantir l'approvisionnement.

Construction des logements : Une fois les ressources obtenues, on construit les logements demandés :

- Les nouveaux immeubles en bois sont ajoutés au stock actuel.
- De même pour les maisons modulaires.

Mise à jour des stocks et indicateurs : Les ressources consommées, les logements produits, et les émissions générées par la production sont enregistrés. Cela permet un suivi précis des activités de production pour chaque cycle de simulation. Nous enregistrons également les émissions de gaz à effet de serre afin d'évaluer l'impact environnemental de la production.

5.3 Expérimentations

5.3.1 Objectif

L'objectif principal de cette expérimentation est d'analyser les dynamiques et les impacts de différents types de logements. Les simulations permettent d'obtenir des informations quantitatives sur :

- Le nombre de logements occupées au fil du temps.
- La fréquence des cycles de construction.
- La consommation de ressources.
- L'empreinte carbone générée par les activités de construction.

En interprétant les résultats obtenus, nous cherchons à identifier les limites de l'approche macroéconomique utilisée, tout en ouvrant la voie à une analyse plus détaillée à une échelle micro, afin de répondre aux points restés en suspens.

5.3.2 Configuration des expérimentations

La simulation a été définie avec les paramètres suivants :

Affichages

- Un premier ensemble de graphiques se concentre sur l'évolution des logements occupés et sur les temps de construction ("Occupied houses" et "Tick construction").

- Un second ensemble analyse l'utilisation des ressources, les émissions, et l'occupation des terres ("Wood/Cotton usage", "Energy usage", "Land usage" et "Construction emissions").

Enregistrement des données

Les variables suivantes sont enregistrées à chaque cycle et sauvegardées dans un fichier CSV :

- Nombre total de logements construits et occupés, par type.
- Quantités de ressources consommées (bois, coton, énergie, terres).
- Emissions de CO₂.

5.3.3 Résultats

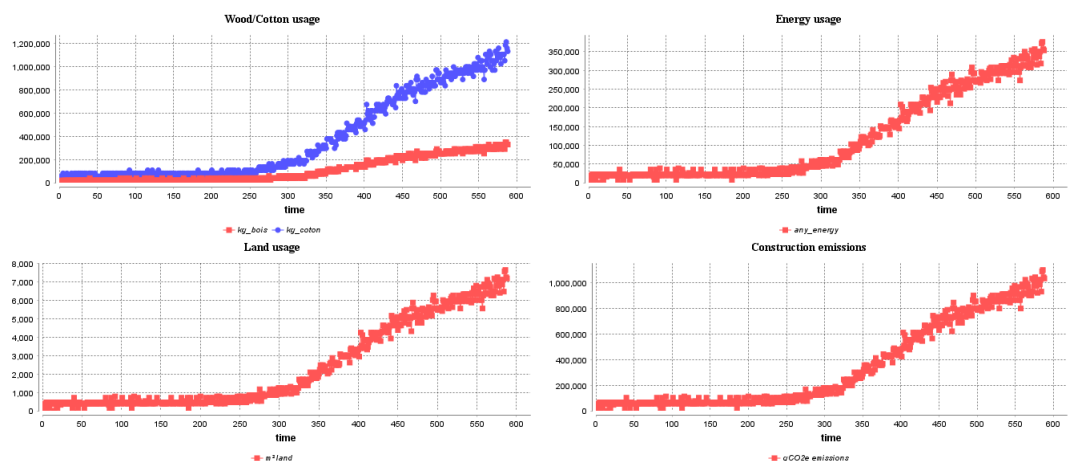


FIGURE 5.1 – Évolution de la répartition des logements occupés par type

Ce graphique illustre la manière dont les différents types de logements sont occupés au fil du temps. On observe les dynamiques suivantes :

Immeubles en bois : Leur occupation augmente progressivement en raison de leur grande capacité d'accueil (45 habitants par immeuble). Cependant, leur construction consomme beaucoup de bois et de terrain, ce qui peut limiter leur rythme d'expansion à long terme.

Maisons modulaires : Leur occupation reste relativement limitée, en raison de leur faible capacité (12 habitants par maison) et de leur indice de répartition qui est à 40%.

Camps forestiers : Ils sont utilisés de manière temporaire, lorsque la population dépasse la capacité totale des logements disponibles. Leur capacité (25 habitants par camp) et leur caractère transitoire en font une solution d'urgence.

Ces observations soulignent l'importance d'une répartition équilibrée entre ces types de logements pour répondre aux besoins immédiats tout en minimisant les contraintes en ressources.

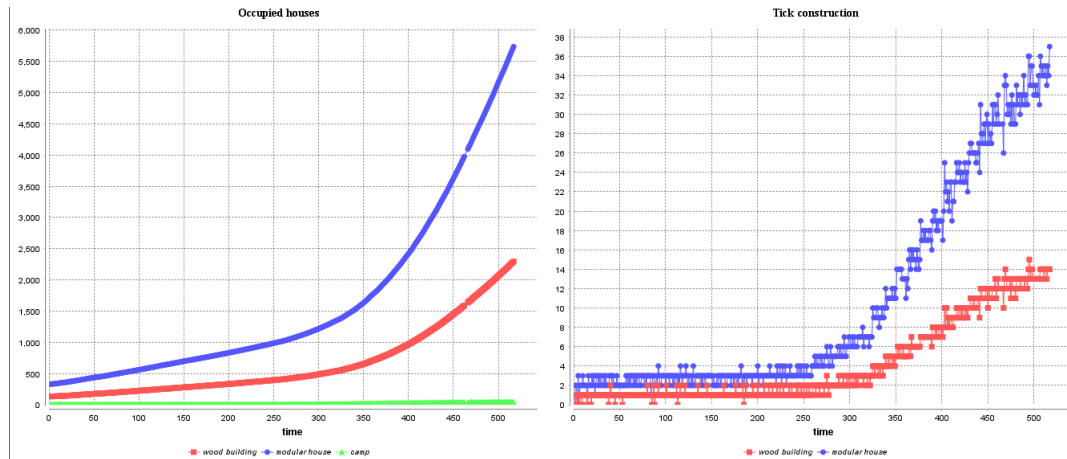


FIGURE 5.2 – Dynamique de construction des logements

Ce graphique illustre le rythme de construction des différents types de logements au fil du temps. Les tendances relevées sont les suivantes :

Immeubles en bois : La construction des immeubles en bois est prédominante, reflétant leur capacité élevée à accueillir la population (45 habitants par immeuble). Leur construction est cependant limitée par la disponibilité des ressources nécessaires (bois, terrain, énergie).

Maisons modulaires : Leur construction suit un rythme plus irrégulier, mais elles sont mises en place lorsque la demande en logements dépasse les capacités immédiates des immeubles en bois.

Camps forestiers : La construction de camps augmente lorsque la demande dépasse les capacités des autres types de logements, ce qui est tout à fait logique.

5.4 Conclusion

En conclusion, ce chapitre sur l'urbanisme montre que l'équilibre entre la construction de logements, la gestion des ressources et les impératifs environnementaux est essentiel pour un développement urbain durable. Les expérimentations ont révélé l'importance de diversifier les types de logements, d'optimiser l'utilisation des ressources disponibles et de minimiser les émissions. Cependant, pour aller plus loin, une analyse à l'échelle micro

permettra de mieux comprendre les comportements individuels et d'affiner les stratégies de gestion des ressources.

Transport

Le transport est utilisé lors de déplacements de personnes, mais aussi de marchandises. Il utilise pour cela de l'électricité produite par le bloc énergie.

Dans cette version macro, nous ne prenons en compte que les déplacements de personnes.

6.1 Conception Transports

Deux types de déplacements sont possibles : activités et loisirs. L'activité d'une personne peut être soit son travail, soit sa scolarité. Elle passe automatiquement de scolarité vers travail à 18 ans. Les loisirs d'une personne peuvent être nombreux : c'est pourquoi ils ont été divisés en trois catégories : à domicile, dans des espaces naturels ou à l'extérieur de la mini-ville. De même, le choix de la catégorie d'une personne est fait à sa naissance, et ne change pas durant sa vie.

Pour faciliter le passage à une version micro dans laquelle nous aurons en théorie 70 millions de personnes, nous avons décidé d'utiliser des mini-villes regroupant un certain nombre d'habitants plutôt que d'avoir un agent par personne. Ce faisant, nous avons quand même pu récupérer les informations sur les déplacements effectués par chacun d'entre eux. Ne disposant cependant pas de la localisation des différentes personnes, nous avons utilisé des données agrégées pour prendre en compte leurs déplacements.

6.2 Choix de modélisation pour les activités

6.2.1 Travail

Distance : Nous avons choisi une distance commune pour tous : 13.3 km (la moyenne française).[1]

Moyen de transport : Nous considérons que tous les trajets liés au travail se font en minibus.

Nombre de trajets par mois : Nous utilisons le nombre de jours travaillés par an : 229, et le divisons par 12 pour obtenir le nombre de trajets par mois.

6.2.2 Scolarité

Distance : Nous avons retenu la distance de 8 km, faute d’une statistique plus globale.[2]

Moyen de transport : nous avons choisi d’avoir un déplacement soit à vélo, soit en minibus.

Nombre de trajets par mois : le même que pour le travail.

6.3 Choix de modélisation pour les loisirs

Distances : Pour les loisirs en extérieur et dans des espaces naturels, nous avons imaginé des centres de loisirs regroupant ces espaces. Cela nous permet d’avoir des distances constantes pour les loisirs en extérieur, et pour ceux en espaces naturels. Pour ceux à domicile, la distance est nulle.

Moyen de transport : Il dépend de la distance du trajet effectué, et donc simplement du choix du type destination grâce à notre modélisation.

- A domicile, les déplacements se font évidemment à pied.
- Pour les espaces naturels, nous considérons que des minibus sont affrétés.
- Pour l’extérieur, ces déplacements plus longs se font en taxi.

Nombre de trajets par mois : Nous avons choisi de considérer deux trajets de loisirs par semaine, et donc huit par mois.

6.4 Analyse

Nous consommons de plus en plus d’eau, mais le modèle ne prend pas en compte le recyclage des ressources en eau. Par conséquent, une pénurie significative d’eau apparaît à 500 ticks. Étant donné que notre énergie électrique provient principalement de l’hydroélectricité, cette pénurie d’eau affecte donc la production d’électricité, ce qui impacte particulièrement l’utilisation totale d’énergie dans le système de transport du module Transport.

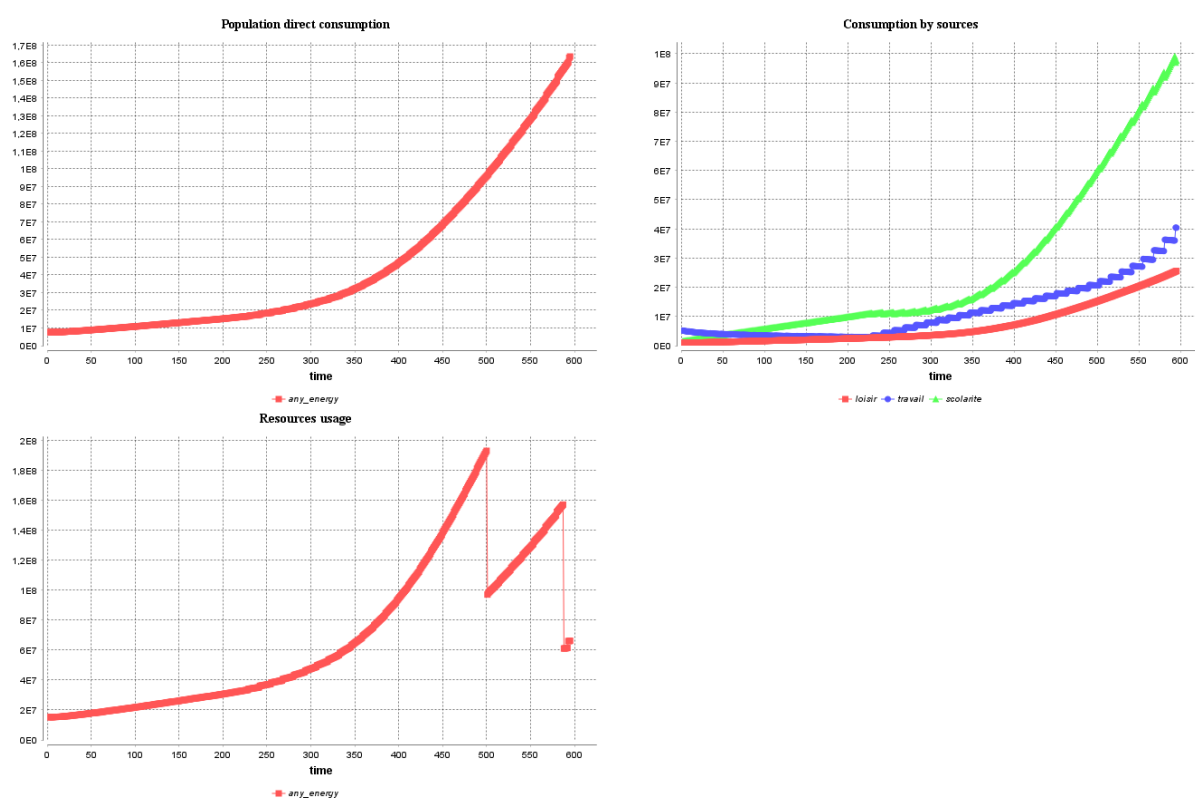


FIGURE 6.1 – Graphe présentant l'évolution des consommations en électricité des transports au cours du temps

Conclusion générale

Les résultats obtenus à l'échelle macro du modèle montrent que l'approche adoptée pour simuler une miniville durable répond globalement aux besoins essentiels de la population, tout en prenant en compte les interactions entre les secteurs de l'urbanisme, de l'énergie, de l'agriculture et des transports. Ce modèle permet une gestion intégrée des ressources, une estimation des pénuries potentielles et une mesure de l'impact environnemental, notamment les émissions de gaz à effet de serre. Toutefois, certaines limites subsistent, telles que l'absence de prise en compte des comportements individuels et l'approximation de certains paramètres.

Pour affiner les résultats et répondre de manière plus précise aux questions soulevées, il est nécessaire de passer à une échelle micro. À cette échelle, la simulation pourrait inclure des agents représentant chaque individu, permettant ainsi de mieux modéliser les comportements et les choix spécifiques (comme les préférences énergétiques ou alimentaires), ainsi que l'impact de ces choix sur les ressources et l'environnement. De plus, l'intégration d'une gestion plus fine des surfaces agricoles et des infrastructures énergétiques permettra de mieux anticiper et gérer les pénuries, ainsi que d'optimiser l'utilisation des ressources naturelles. Cette transition vers la micro-modélisation offrira la possibilité de répondre plus précisément aux défis de durabilité et d'autosuffisance, tout en affinant l'impact des stratégies mises en place à l'échelle macro.

Répartition du travail

Le travail est réparti par secteur en binôme ou trinôme :

- Agriculture : Romain et Thomas
- Démographie : Romain et Ronan
- Écosystème : Imane, Khaoula et Romain
- Énergie : Imane et Khaoula
- Transport : Lin et Ronan
- Urbanisme : Isma, Joe et Walid

Bibliographie

- [1] Laure WAGNER, *moyenne France*, <https://www.1kmapied.com/post/trajets-domicile-travail>, juin 2023.
- [2] USMB, *stat USMB*, <https://www.univ-smb.fr/2022/11/18/les-habitudes-de-deplacement-domicile-universite-des-etudiants-et-personnels-de-lusmb-a-letude/>, nov. 2022.