

RAPPORT D'ÉTUDE

Projet MOSIMA

Equipe :

Maxence MAIRE
Loona MACABRE
Nassim AHMED ALI
Nacer BERRADA
Marc BUISSON
Jules CASSAN

Encadrants :

Jean-Daniel KANT
Cédric HERPSON
Maël FRANCESCHETTI
Tristan BERSOUX

RENDU MODÈLE MACROSCOPIQUE



Sommaire

1	<u>Introduction</u>	3
2	<u>Bloc Énergie</u>	4
2.1	Introduction	4
2.2	Modélisation	4
2.2.1	Modélisation du secteur Photovoltaïque	4
2.2.2	Modélisation du secteur Éolien	5
2.2.3	Modélisation du secteur Hydro-électrique	6
2.2.4	Modélisation du secteur Nucléaire	6
2.3	Simulation du bloc énergétique	7
2.3.1	Gestion de la demande	7
2.3.2	Transition énergétique	8
2.4	Analyse des résultats	9
3	<u>Bloc Alimentation</u>	12
3.1	Modélisation	12
3.2	Interactions avec les blocs extérieurs	13
3.3	Analyse de données	13
3.4	Remarques et pistes pour la suite	17
4	<u>Bloc Transport</u>	18
4.1	Etat de la société dans la modélisation	18
4.1.1	Présentation générale	18
4.1.2	Rendu visuel du bloc transport	19
4.2	Production et consommation	20
4.2.1	Ressources produites	20
4.2.2	Consommation d'énergie	20
4.2.3	Emissions de co2	20
4.2.4	Fonctionnement du bloc	20
4.3	Résultats du modèle	21
4.3.1	Analyse des résultats	21
4.3.2	Transition du modèle	22
5	<u>Bloc Urbanisme</u>	23
5.1	Modélisation et choix	23
5.1.1	Données des immeubles	23
5.1.2	Données des maison	24
5.1.3	Données de consommation énergétique	24
5.2	Interactions	24
5.2.1	Bloc démographique	24

5.2.2	Bloc Territoire	24
5.2.3	Autres Blocs	24
5.3	Expérimentation	25
6	<u>Conclusion</u>	27
6.1	Répartition du travail	27
6.2	Nouveaux objectifs et perspectives	27

1 Introduction

Ce document est dédié au projet Ecotopia et offre une description détaillée de notre modèle macroscopique pour la simulation de la société française, envisageant une adoption du mode de vie écotopien. Nous examinerons, de manière exhaustive, chaque bloc, décrivant les choix d'implémentation que nous avons effectués, partageant nos expérimentations, et évoquant les éléments que nous prévoyons d'améliorer ou d'ajouter.

Pour cette première phase de présentation macroscopique, nous avons introduit des hypothèses visant à simplifier notre modèle, assurant ainsi une exécution rapide de la simulation. Cette approche nous permet d'obtenir un aperçu significatif des défis liés aux ressources, à la modélisation et à la représentation de nos différents blocs. Précisément, notre nombre d'agents population est fixé à 10 000, auquel on applique un facteur multiplicatif de 6 700 pour obtenir la population française. Leurs taux de natalité et de mortalité initiaux inchangés. Notre focalisation initiale s'est portée sur les ressources et les émissions de carbone de chaque bloc, sans considération immédiate pour les effets de la simulation sur la démographie. Par conséquent, les pénuries d'eau, de logement ou de nourriture n'ont actuellement aucune incidence sur la démographie.

Nous détaillerons uniquement les blocs Agriculture, Energie, Transport et Urbanisme dans les prochaines sections. Toutefois, nous avons ajouté un cinquième bloc Territoire pour modéliser les ressources du territoire, c'est à dire la surface et l'eau potable. C'est ce bloc qui "produit" ces ressources et se charge de l'allocation des ressources aux autres blocs. Il maintient aussi les ressources en quantité stable en les régénérant à chaque tick.

2 Bloc Énergie

2.1 Introduction

Le bloc énergie repose sur l'analyse de la production énergétique française, englobant tant les sources renouvelables que non renouvelables. Dans cette démarche, une attention particulière est accordée à la production d'énergie non renouvelable afin de mieux appréhender une période de transition énergétique et de refléter au mieux la réalité. Étant donné une population simulée de 10 000 personnes, ce bloc énergie intègre un facteur d'échelle équivalent à 6000 pour mettre en perspective la demande à l'échelle nationale. Cette approche vise à fournir une modélisation équilibrée et réaliste du paysage énergétique français, prenant en compte les diverses sources d'énergie et les défis liés à la transition vers des solutions plus durables.

2.2 Modélisation

2.2.1 Modélisation du secteur Photovoltaïque

Équation de Puissance Photovoltaïque Théorique : La puissance photovoltaïque théorique P peut être calculée à l'aide de l'équation :

$$P = \text{Rendement} \times \text{Surface} \times \text{Énergie reçue}$$

Paramètres :

- Rendement : 0.20
- Surface d'un panneau solaire : 1.7 m²
- Quantité d'irradiation annuelle : 1220 kWh
- Quantité d'irradiation par mois : 100 kWh

Résultats Approximatifs :

- Quantité produite par panneau solaire par an : [270 kWh , 420 kWh] (moyenne \sim 345 kWh)
- Quantité produite par panneau solaire par mois : $\frac{345 \text{ kWh}}{12} \sim 29 \text{ kWh}$
- Quantité totale produite par tous les panneaux solaires en France : 15'095GWh
- Quantité de déchets produite en 1 an : 30 g/kWh \times 15,095 GWh $\sim 4.6 \times 10^5 \text{ gCO}_2$

Analyse du Parc Photovoltaïque Français :

- La quantité totale d'énergie solaire produite en France : 15,095 GWh
- Nombre total de panneaux solaires en France : 43,753,623

Superficie et Impact Environnemental :

- Superficie totale occupée par les panneaux solaires : 43,753,623 \times 1.7 m² \sim 74,381,159.1 m² \sim 74,381 hectares
- Quantité de déchets produite en 1 an : $4.6 \times 10^5 \text{ gCO}_2$

Durée de Vie et Modèle de Simulation :

- Durée de vie d'une installation : 30 ans
- Taille d'un panneau solaire : 1.7 m^2
- Nombre total de panneaux solaires en France : $\frac{15,095,000,000}{345} \sim 43,753,623$
- Fonctionnement : Si pas assez de ressources, créer un nouveau panneau solaire pour répondre à la demande, puis laisser l'excédent en stock.

2.2.2 Modélisation du secteur Éolien

Équation de puissance Éolienne Théorique : La puissance éolienne théorique peut être calculée à l'aide de l'équation :

$$P = \frac{1}{2} \rho A C V^3$$

L'énergie produite est donnée par $P \times t \times C$, où :

- P est la puissance éolienne théorique en watts (W),
- ρ est la densité de l'air en kilogrammes par mètre cube (kg/m^3),
- A est la surface balayée par les pales de l'éolienne en mètres carrés (m^2),
- C est le coefficient de puissance,
- V est la vitesse du vent en mètres par seconde (m/s).

Paramètres :

- $\rho = 1.225 \text{ kg}/\text{m}^3$
- $D = 120 \text{ m}$
- $A = \left(\frac{D}{2}\right)^2 \pi$
- $C = 0.3$
- $V = 6 \text{ m}/\text{s}$

Résultats Approximatifs :

- $P \approx 1.5 \text{ MW}$
- Énergie produite sur 1 an par une éolienne $\approx 4,000 \text{ MWh}$
- Énergie produite sur 1 mois par une éolienne $\approx 330 \text{ MWh} \approx 330,000 \text{ kWh}$
- Énergie produite par le parc éolien français en 2021 : $37,015 \text{ GWh}$

Analyse du Parc Éolien Français :

- Nombre d'éoliennes en France : $\frac{37,015 \text{ MWh}}{4,000 \text{ MWh}} \approx 9,000$

Superficie et Impact Environnemental :

- Superficie nécessaire pour une éolienne : $(D \times 5)^2 \text{ m}^2 \approx 360,000 \text{ m}^2$
- Superficie du parc éolien français : $8,000 \times 360,000 \text{ m}^2 \approx 3,000,000,000 \text{ m}^2$
- Quantité de déchets produite en 1 an : $10 \text{ g}/\text{kWh} \times 37,015 \text{ GWh} \approx 3.7 \times 10^8 \text{ kWh}$

Durée de Vie et Modèle de Simulation :

- Durée de vie d'une installation : 20 ans
- Modèle de simulation : À chaque fois que les ressources en éolienne ne sont pas suffisantes, demander à l'agent territoire une superficie de $360,000 \text{ m}^2$ et ajouter une capacité de $330,000 \text{ kWh}$ par mois pour répondre à la demande.

2.2.3 Modélisation du secteur Hydro-électrique

Équation de Puissance Hydraulique Théorique : La puissance hydraulique théorique (P) peut être calculée à l'aide de l'équation :

$$P = \eta \times \rho \times g \times Q \times H$$

Le débit d'eau moyen (Q) peut être calculé comme suit :

$$Q = \frac{P}{\eta \times \rho \times g \times H}$$

Paramètres :

- η : Efficacité moyenne des centrales hydrauliques
- ρ : Densité de l'eau en kg/m^3
- g : Accélération due à la gravité (approximativement 9.81 m/s^2)
- Q : Débit d'eau moyen en m^3/s
- H : Hauteur de chute d'eau moyenne en mètres

Résultats Approximatifs :

- η : 0.8
- ρ : 1000 kg/m^3
- g : 9.81 m/s^2
- Q : Débit d'eau moyen en m^3/s
- H : 200 m
- Puissance hydraulique théorique P en fonction des paramètres locaux

Analyse des Centrales Hydrauliques en France :

- Nombre total de centrales hydrauliques en France : 3000
- Capacité moyenne d'une centrale hydraulique en un an : $21 \text{ GWh}/\text{an} \rightarrow 21'000'000 \text{ kWh}$
- Capacité moyenne d'une centrale hydraulique en un mois : $1.75 \text{ GWh} \sim 1750'000 \text{ kWh}$
- Capacité totale installée : $21 \text{ GWh} \times 3000 = 63,000$

Superficie et Impact Environnemental :

- Superficie d'une centrale hydroélectrique : $1'000'000 \text{ m}^2 = 1 \text{ km}^2$
- Quantité d'eau nécessaire pour une centrale produisant 21 GWh avec une hauteur de chute d'environ 200m : $23'700'000 \text{ litres}$
- Émissions de CO_2 : 7 gCO_2 par kWh

Durée de Vie et Modèle de Simulation :

- Durée de vie moyenne des centrales hydrauliques : 100 ans

2.2.4 Modélisation du secteur Nucléaire

Équation de Puissance Nucléaire Théorique : La puissance nucléaire (P) peut être déterminée par la formule :

$$P = \eta \times m \times c^2$$

où :

- η est l'efficacité du réacteur nucléaire,
- m est la masse convertie en énergie,
- c est la vitesse de la lumière (3×10^8 m/s).

Paramètres :

- η : Efficacité opérationnelle des réacteurs nucléaires en France
- m : Masse de matière fissile convertie en énergie
- c : Vitesse de la lumière

Résultats Approximatifs :

- Puissance nucléaire théorique (P) en fonction des paramètres opérationnels
- Contribution actuelle à la production d'énergie en France : 379,361 GWh
- Émissions de CO₂ associées à la production nucléaire : 1.517×10^{12} gCO₂

Analyse du Secteur Nucléaire en France :

- Nombre de réacteurs nucléaires en activité : 56
- Puissance moyenne par réacteur en un an : 6,800 GWh \rightarrow 6'800'000'000 kWh
- Puissance moyenne par réacteur par mois : 570'000'000 kWh
- Capacité totale installée : 379,361 GWh
- Part de l'énergie nationale fournie par le nucléaire : /

Superficie et Impact Environnemental :

- Surface totale occupée par les centrales nucléaires et les installations associées : 5,520 hectares
- Superficie moyenne d'une centrale nucléaire : 306.67 hectares \sim 3'000'000 m²

Gestion des déchets nucléaires et impact sur l'environnement :

- Quantité d'uranium en France : 76,500 tonnes
- Quantité d'uranium pour une centrale de 7 TWh/an : 175 tonnes

Durée de Vie et Modèle de Simulation :

- Durée de vie des réacteurs nucléaires en exploitation : 40 à 60 ans \sim 50 ans
- Perspectives futures : intégration de nouveaux réacteurs et technologies

Fiche Énergétique Nucléaire :

- Quantité produite en 1 an : 379,361 GWh
- Quantité de déchets produite en 1 an : 1.517×10^{12} GWh
- Superficie totale consacrée au nucléaire : 5,520 hectares
- Émissions de CO₂ par hectare : 2.76×10^4 kgCO₂
- Émissions de CO₂ par 1 GWh : 4×10^3 kgCO₂
- Conversion de surface en énergie : 1 hectare \sim 69 GWh

2.3 Simulation du bloc énergétique

2.3.1 Gestion de la demande

Le bloc énergie est étroitement lié au bloc territoire, lequel fournit les ressources nécessaires pour la production d'énergie renouvelable. Toutes les valeurs sont ex-

traites de sources réelles.

Chaque mois, en fonction du nombre de centrales nucléaires, photovoltaïques, éoliennes et hydroélectriques, le bloc énergie dispose d'une quantité d'énergie pouvant être produite. Si cette quantité n'est pas suffisante pour répondre à la demande, ou si le nombre d'infrastructures est insuffisant, le bloc énergie adresse une requête au bloc territoire. Cette requête vise à déterminer s'il existe suffisamment de ressources pour augmenter la production électrique.

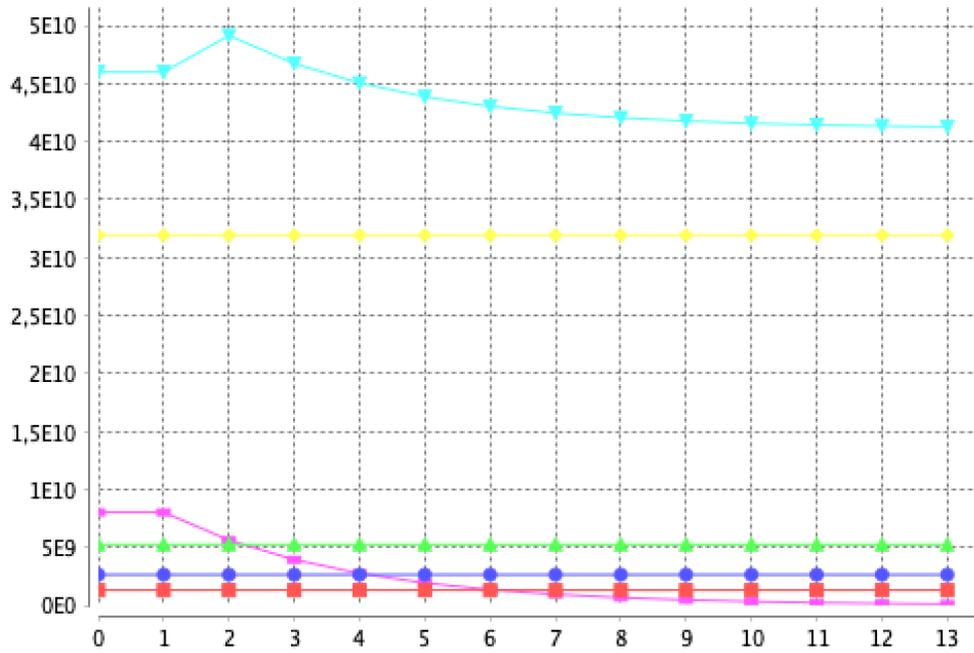
Le bloc énergie adopte une approche intelligente afin d'éviter les conflits liés aux ressources, notamment en ce qui concerne l'eau. Il privilégie la production des centrales nucléaires, photovoltaïques et éoliennes par rapport à celle des centrales hydroélectriques, dans le but de mieux gérer les ressources naturelles. Cette stratégie prend en considération les besoins prioritaires du bloc agriculture, qui dépend davantage de l'eau que le bloc énergie.

2.3.2 Transition énergétique

Le processus de transition énergétique du bloc énergie démarre à partir de la production actuelle d'électricité en France, englobant les différentes sources telles que l'énergie nucléaire, photovoltaïque, éolienne, hydroélectrique, et d'autres sources non renouvelables telles que le pétrole, le charbon et le gaz.

Le bloc énergie vise à définir un facteur de transition écologique, où chaque mois, une partie de l'électricité produite à partir de sources non renouvelables est convertie en capacité de production électrique renouvelable. À court terme, sur une période d'un an, l'objectif est de parvenir à une conversion complète de toute l'énergie produite à partir de sources non renouvelables en énergie renouvelable. Ce processus stratégique permet d'atteindre une plus grande durabilité dans le paysage énergétique, contribuant ainsi à la transition vers des solutions plus respectueuses de l'environnement.

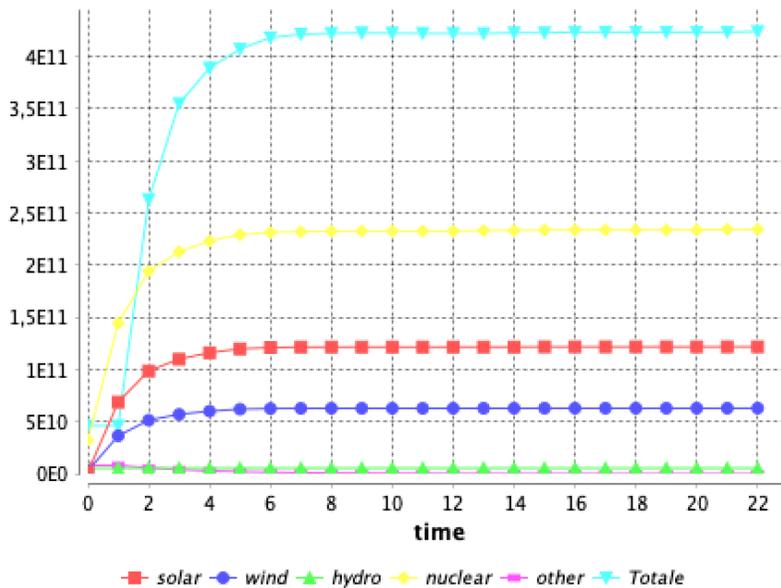
Total production per resource per month



La transition énergétique est représentée graphiquement par la ligne rose. Elle tend vers 0 en quelques mois.

2.4 Analyse des résultats

Total production per resource per month

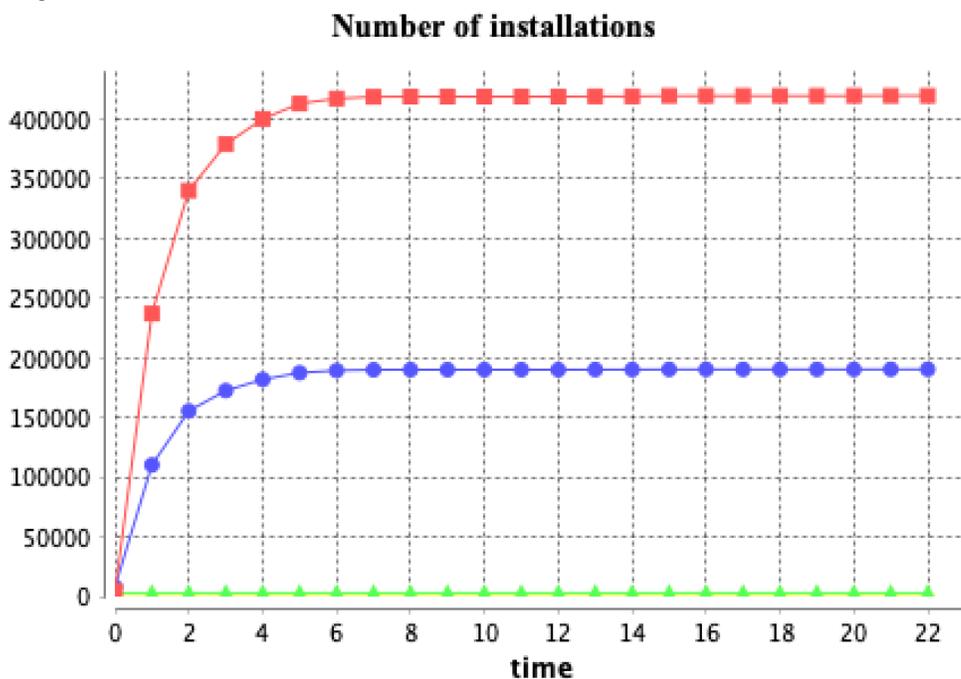


En quête d'un mix énergétique optimal, l'objectif est d'atteindre une composition de 50 d'énergie nucléaire, 30 d'énergie solaire, 15 d'énergie éolienne, et seulement 5 d'énergie hydraulique.

La décision est prise de limiter l'utilisation de l'énergie hydraulique à 5 , ce choix stratégique vise à restreindre la demande en eau et à la réserver exclusivement au bloc agriculture.

En analysant la quantité totale d'énergie nécessaire, estimée à environ 4×10^{11} kWh, cela équivaut à environ 400TWh. À titre de comparaison, la consommation française en 2020 a dépassé les 2500 TWh.

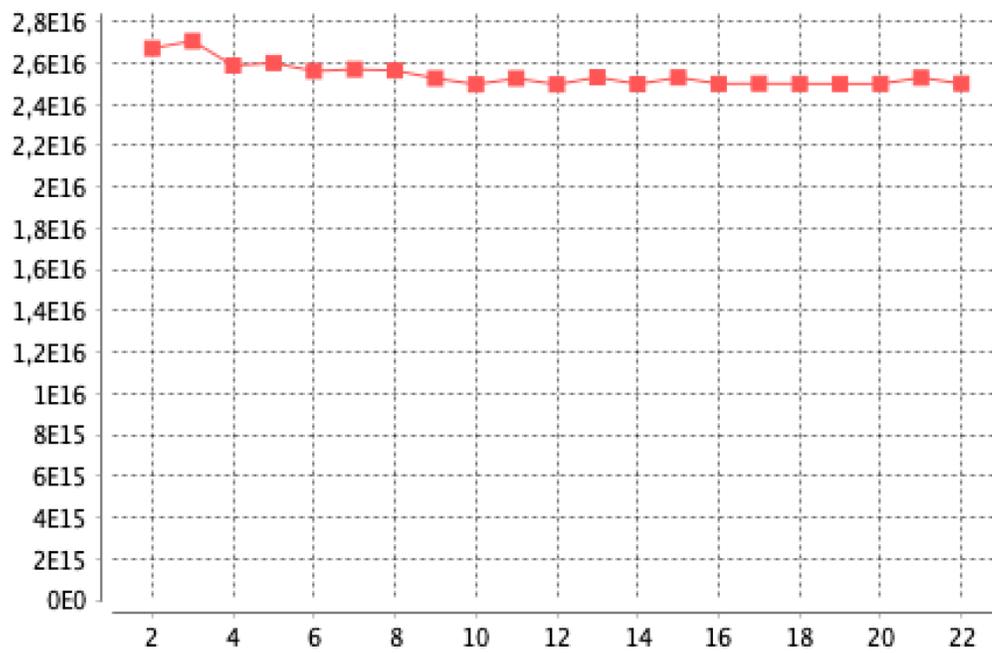
Cette observation conduit à la conclusion que le régime Écotopien, caractérisé par une demande énergétique moindre, serait plus viable en termes de production d'énergie.



Avec cette combinaison énergétique, le résultat final se traduit par la mise en place de 410 réacteurs nucléaires, 190,000 éoliennes, 4 milliards de panneaux solaires, et 3000 centrales hydroélectriques.

Aujourd'hui en France on compte 56 réacteurs nucléaires, 8000 éoliennes, 75 Millions de panneaux solaires, et 3000 centrales hydroélectriques

Production emissions per resource month



Pendant la simulation, une observation notable est la réduction des émissions de CO₂ entre le début et la fin du processus. Cette diminution significative, évaluée à $2,3 \times 10^{16}$ g de CO₂, est attribuable à la transition énergétique mise en œuvre au cours de la simulation, comparée aux $6,4 \times 10^{14}$ g de CO₂ enregistrés en France en 2021.

L'accroissement des émissions pendant la simulation peut être expliqué par le nombre élevé de panneaux solaires, atteignant 4 milliards d'unités. Chaque unité de panneau solaire génère environ 30 g de CO₂, contribuant ainsi à cette augmentation globale.

3 Bloc Alimentation

3.1 Modélisation

Le bloc d'alimentation est structuré autour de deux entités distinctes : un agent producteur et un agent consommateur. L'agent producteur assume la responsabilité de la production des denrées alimentaires, comprenant la viande, les légumes, les fruits, les céréales, ainsi que le coton, en se conformant à un modèle de production à la demande. En parallèle, l'agent consommateur représente la population française, incarnant les individus qui consomment ces produits.

L'agent producteur fonctionne comme suit :

- Pour chaque élément demandé, on calcule la quantité à produire et on y applique un bruit gaussien ;
- On vérifie ensuite si les ressources nécessaires pour cultiver ces produits sont disponibles et en quantité suffisantes. Ces ressources sont l'eau potable (L), la surface à cultiver (m^2) et l'énergie (kWh). Si une des ressources n'est pas suffisante, l'agent n'a pas le droit de produire l'aliment ;
- Si il n'y a pas de problème au niveau de l'allocation de ressources, l'agent calcule ensuite les émissions de carbone engendrées par la production de l'aliment dans la quantité demandée.

L'agent consommateur fonctionne comme suit :

- On ne considère que les produits directement consommés par la population, c'est-à-dire les produits alimentaires.
- Pour un individu, on calcule la quantité souhaitée d'aliments à consommer.
- On fait intervenir un facteur appelé `vegetarian_factor`, initialisé à 0.022 et destiné à représenter la proportion de la population dont le régime alimentaire exclut complètement la viande (estimée à 2,2% d'après nos recherches). Ce facteur permet de calculer la quantité de viande et de légumes consommée. On utilise les formules suivantes :

$$\text{quantite_viande} = \text{conso_viande} * (1 - \text{vegetarian_factor})$$

$$\text{quantite_légumes} = \text{conso_légumes} * (1 + \text{vegetarian_factor})$$

`conso_viande` et `conso_légumes` sont les consommations individuelles de viande et de légumes respectivement. Ce sont des valeurs que nous avons obtenues durant la recherche de données. Cette formule est sans doute trop simple statistiquement parlant mais permet de voir assez rapidement les effets d'une baisse de consommation de viande sur les productions.

- Comme pour la production, on applique un bruit gaussien à la quantité d'aliments à demander. On ajoute aussi un bruit "saisonnier", qui est notre façon

simple de modéliser la production saisonnière des aliments, en particulier des fruits et légumes.

Note sur cette modélisation : Nous avons l'intention d'intégrer des stocks, mais en raison de problèmes techniques, notre implémentation n'a pas pu être opérationnelle. Actuellement, l'aspect saisonnier des cultures est pris en charge dans la consommation plutôt que dans la production, bien que cela aurait été plus logique. Cependant, en l'absence d'un système de stockage fonctionnel, l'ajout de fluctuations dans la quantité d'aliments produits n'avait que peu de pertinence.

3.2 Interactions avec les blocs extérieurs

Le bloc Agriculture interagit de manière significative avec les autres blocs pour assurer la production de ressources alimentaires pour la population ainsi que la fourniture de matières premières liées à d'autres secteurs.

- Le bloc **Territoire** gère les ressources naturelles et l'espace alloué aux différents blocs. Nous sollicitons ce bloc pour obtenir des allocations d'espace et d'eau nécessaires à nos activités.
- Le bloc **Énergie** fournit la puissance requise pour les machines de production, de récolte et d'entretien. Cette source d'énergie est cruciale pour garantir le bon fonctionnement de nos opérations.
- Le bloc **Urbanisme** requiert la production de coton de notre part, indispensable à la construction des bâtiments et des habitations. Nous assurons ainsi une collaboration étroite pour répondre à leurs besoins en matière première.

3.3 Analyse de données

Dans cette section, notre objectif est de répondre à la question de la viabilité de notre modèle en analysant les données de consommation et de production de notre module. Tout d'abord, nous cherchons à déterminer si la consommation actuelle en France est viable dans le contexte de notre modèle de production écologique.

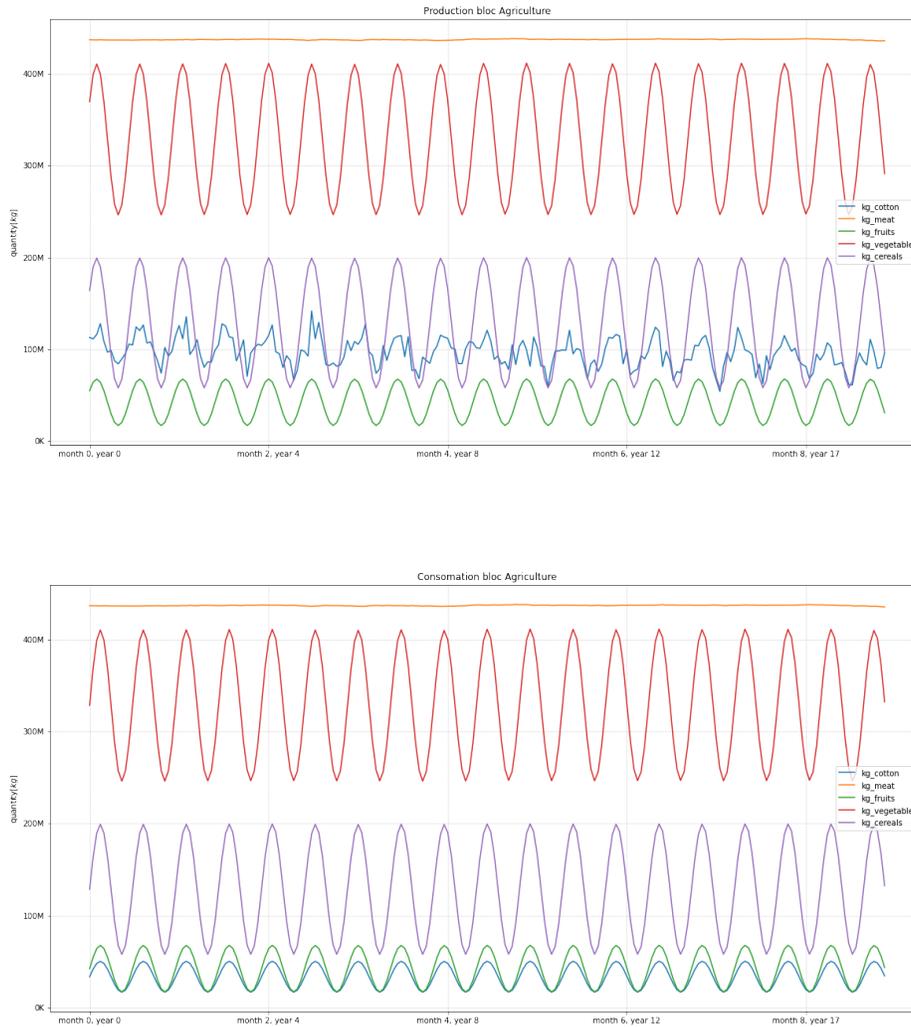


FIGURE 1 – Production et consommation alimentaires sur 20 ans pour la France actuelle

Ces premiers graphes montrent la production et la consommation des différentes denrées cultivées, chaque mois sur 20 ans. Toutes les cultures alimentaires ont des mesures sinusoïdales : c'est la conséquence du bruit que nous avons évoqué plus haut. Dans cette simulation la quantité de fruits, légumes et céréales est fortement réduite en hiver du fait de nos paramètres. On pourra affiner cela à l'avenir.

On observe également que la quantité de viande produite chaque mois est proche de 450 millions de kg, et c'est tout à fait ce à quoi on s'attend : d'après un rapport d'Agreste, environ 85 kg de viande sont consommés par an et par habitant, ce qui multiplié par la population totale donne 5,7 milliards de kg par an soit un peu plus

de 450 millions de kg de viande consommés par mois.

On remarque aussi que la production de coton est différente, cela est dû au fait qu'il s'agit de la demande du bloc Urbanisme pour ses logements.

Voyons maintenant les effets d'un régime à grande majorité végétarienne sur la France et passons `vegetarian_factor` de 2,2% à 80%.

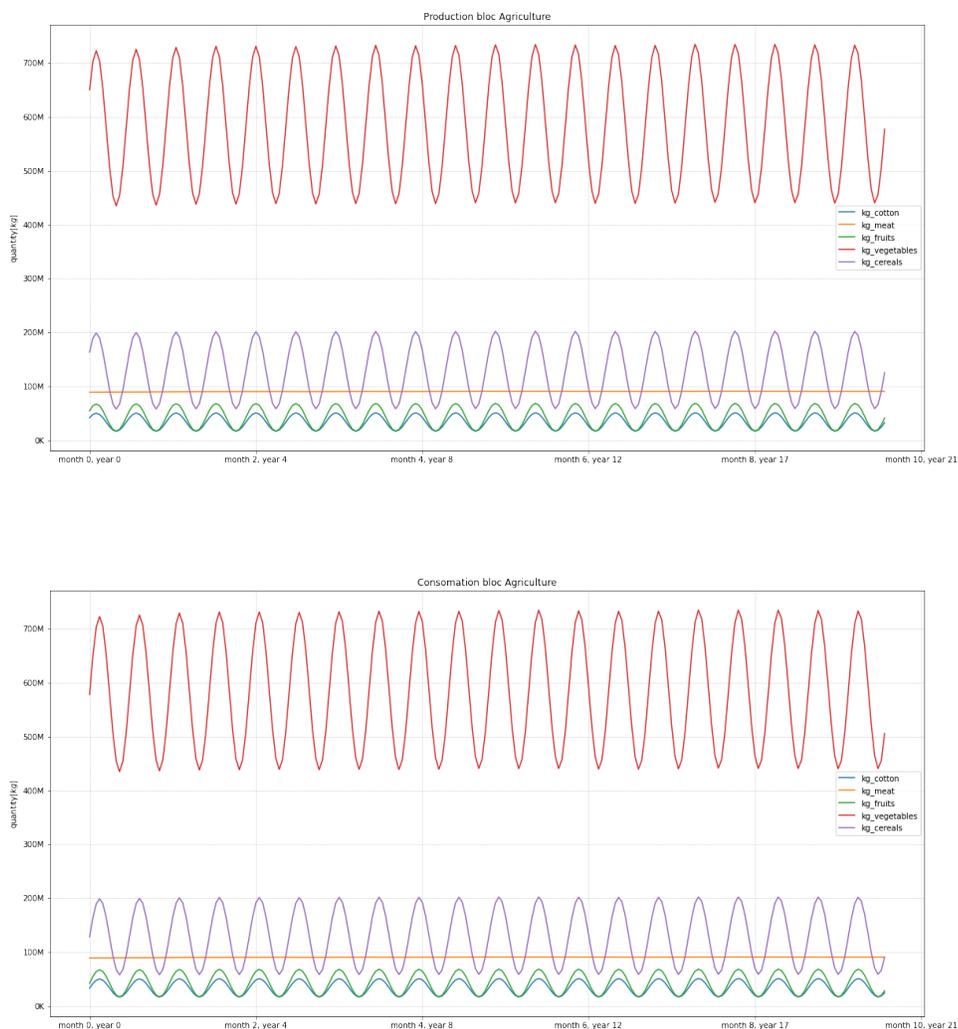


FIGURE 2 – Production et consommation alimentaires sur 20 ans pour une France à 80% végétarienne

Concernant les productions et consommations, les résultats sont assez évidents : puisque la demande en viande est nettement réduite, la production de viande est faible et à l'inverse, la production de légumes augmente du fait que la population

en consomme bien plus. On peut tout de même s'attendre à ce qu'en réalité, il y ait aussi plus d'incidence sur les céréales et surtout les fruits, mais nous avons uniquement considéré la viande et les légumes pour le moment.

Regardons maintenant les effets sur la consommation d'eau et les émissions carbone.

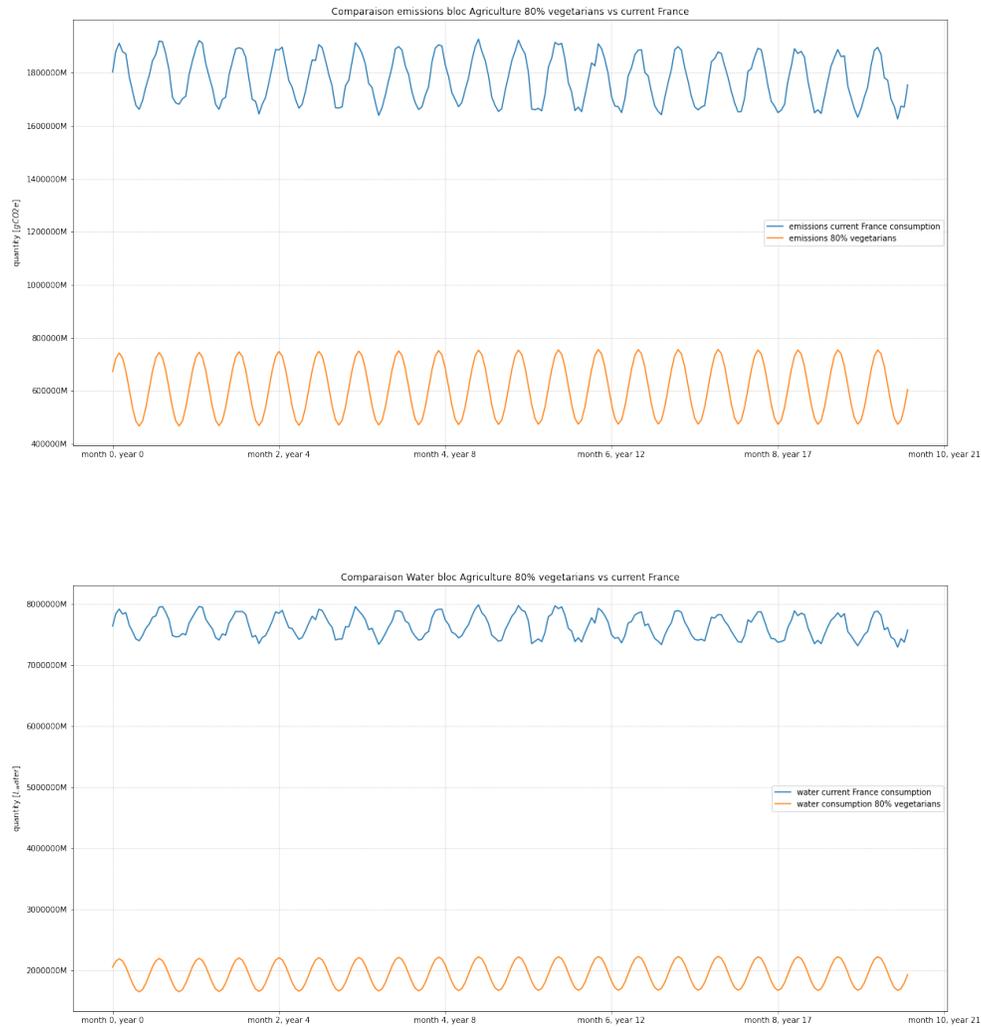


FIGURE 3 – Comparaison des quantités d'eau et émissions carbone entre la France actuelle et une France à 80% végétarienne

Sans surprise, le régime à 80% végétarien réduit énormément la consommation d'eau et les émissions carbone. Étant donné que l'élevage demande beaucoup d'eau

et génère beaucoup d'émissions carbone, on s'attendait à une amélioration nette sur ces deux aspects lors du passage au végétarisme, d'autant plus qu'on se place dans une France auto-suffisante.

3.4 Remarques et pistes pour la suite

Concernant les données : Nous avons récolté un grand nombre de données concernant la production et la consommation en France des différentes denrées que nous représentons. Ces données ne sont pas forcément en accord avec le fonctionnement de la société écotopienne, mais simuler la transition entre la France et Ecotopia nous semble trop ambitieux étant donné le temps que nous avons à disposition. C'est pourquoi nous pensons opter pour une solution plus simple, où nous allons utiliser des facteurs du même type que `vegetarian_factor` pour changer les habitudes alimentaires de la population française et en observer les effets.

Il pourra être intéressant aussi d'ajouter plus de produits, comme le poisson et les produits laitiers, ainsi que d'autres régimes (végétaliens, pescétarien, flexitarien...) pour venir compléter notre modèle.

Concernant le modèle : Nous avons plusieurs fois été confrontés à des problèmes pour lesquels nous avons été tentés d'ajouter des éléments à l'API. En particulier, nous aimerions changer la fonction `produce` pour qu'elle ne retourne pas uniquement un booléen. Cela pourrait être utile pour le stockage aussi.

4 Bloc Transport

4.1 Etat de la société dans la modélisation

4.1.1 Présentation générale

Dans la simulation, on a une utilisation des véhicules écotopiens, mais en nous calant sur le parc de véhicules de la France actuelle. On n'utilise cependant pas les voitures individuelles.

Les véhicules utilisés sont :

- Trains de marchandises [[freight_trains](#)] : trains utilisés pour transporter des objets sur de longues distances, entre les mini-villes. Assimilés à des TGVs pour la durée de vie, les propriétés d'émission et de consommation, et utilisation des données françaises pour le nombre de rames et la capacité.
- Camions [[trucks](#)] : utilisés pour transporter des objets sur des longues et courtes distances. Utilisation des données françaises actuelles pour le nombre de véhicules, la capacité, la consommation, les émissions et la durée de vie.
- Trains de passagers [[freight_trains](#)] : trains utilisés pour déplacer des passagers sur de longues distances, entre les mini-villes. Assimilés à des TGVs pour le nombre de rames, la capacité, les émissions et la durée de vie.
- Taxis électriques [[taxis](#)] : taxis utilisés pour déplacer des passagers sur des courtes et longues distances. Utilisation des données du parc de voitures électriques en France pour le nombre de véhicules, l'émission, la consommation et la durée de vie.
- Mini-bus [[minibuses](#)] : minibus utilisés pour le transport de passagers au sein d'une mini-ville. Utilisation des données sur les bus en France pour le nombre de véhicules, la capacité, l'émission, la consommation et la durée de vie.
- Vélos [[bicycles](#)] : vélos en libre service. Aggrégation des vélos personnels et des vélos en libre service en France pour les données.

4.1.2 Rendu visuel du bloc transport



FIGURE 4 – Affichage du bloc transport

Graphs :

- a : Total demand : la demande française en transports de marchandises et de passagers, sur courte et longue distance (échelle logarithmique)
- b : Satisfaction of demand : entre 0.0 et 1.0, la proportion de la demande qui est actuellement satisfaite par la production
- c : Vehicles : nombre total de véhicules produits, et nombre total de véhicules utilisés (échelle logarithmique)
- d : Energy consumption : demande d'énergie par le bloc transport en kWh
- e : CO2 emission : émissions de co2 par le bloc transport en kg

Paramètres :

- Vehicles
 - Nombre de chaque véhicule au début de la simulation
 - Facteur de dégradation de chaque véhicule
 - Coefficient de rapidité de construction des véhicules
- Usage
 - Proportion d'utilisation de chaque véhicule
- Consumption
 - Multiplicateur de consommation par agent (6700 par défaut)
 - Consommation de chaque type de trajet par habitant par tick

4.2 Production et consommation

4.2.1 Ressources produites

Le bloc Transport produit quatre types de ressources :

```
list<string> production_outputs_T <- [  
  "goods_transport_short_dist", "goods_transport_long_dist",  
  "passenger_transport_short_dist", "passenger_transport_long_dist"  
];
```

- Trajets de passagers courte distance : les trajets quotidiens, entre le logement et le lieu de travail, et les trajets dans une mini-ville. Se fait par taxi et train.
- Trajets de passagers longue distance : les trajets que font les Ecotopiens n'importe où en France une fois par semaine. Se fait par minibus, taxi et vélo.
- Trajets d'objets courte distance : transport de nourriture, vêtements, marchandises, déchets au sein d'une mini-ville. Se fait exclusivement par camions.
- Trajets d'objets longue distance : transport de nourriture, vêtements, marchandises, déchets entre des mini-villes et en campagne. Se fait par camions et par trains de marchandises.

4.2.2 Consommation d'énergie

Le bloc Transport consomme, pour l'instant, exclusivement de l'énergie (kWh).

```
list<string> production_inputs_T <- ["kWh_energy"];
```

4.2.3 Emissions de co2

Le bloc Transport produit des émissions de co2 (en kg).

```
list<string> production_emissions_T <- ["gCO2e emissions"];
```

4.2.4 Fonctionnement du bloc

À chaque tick, le bloc doit générer des trajets pour répondre à la demande Ecotopienne. On essaie d'abord de répondre à cette demande en respectant les proportions indiquées par les paramètres de la catégorie Usage. Si l'on manque de véhicules, on pallie avec les véhicules restants. On demande ensuite une quantité d'énergie correspondante au bloc Energie, et l'on émet les gaz à effet de serre correspondants. Si la demande n'est pas satisfaite du fait d'un manque de véhicules, au prochain tick on produit des véhicules dont on avait besoin (proportionnellement au coefficient de rapidité de construction des véhicules. À chaque tick, une partie des véhicules est détruite, selon la durée de vie de chaque véhicule.

4.3 Résultats du modèle

4.3.1 Analyse des résultats

À l'initialisation, on essaie de subvenir aux besoins d'une société Ecotopienne en utilisant seulement une partie des ressources françaises actuelles. Si les voitures électriques sont toutes dorénavant considérées comme des taxis, on n'utilise cependant plus les voitures thermiques, qui représentent aujourd'hui 86.7% du parc automobile français, qui représente lui-même 80% des déplacements en France.

Au début de la simulation, la proportion des demandes satisfaites est donc particulièrement basse, en particulier pour les transports de passagers, puisque le pays doit effectuer une transition vers un mode de fonctionnement sans voitures individuelles.

La satisfaction de la demande en transports d'objets remonte assez rapidement à 1, puisqu'on conserve la majorité des modes de transports utilisés actuellement (trains et camions, on ne retire que les importations par avion ou bateau).

En revanche, la demande en transports de passagers met beaucoup plus de temps à être satisfaite. Cela s'explique par le fait qu'elle soit beaucoup plus élevée (avec en particulier énormément de transports quotidiens de passagers sur des courtes distances), mais également par le fait que les voitures remplissent une énorme partie de cette demande dans le modèle sociétal actuel.

On observe que la satisfaction de la demande converge vers 1.0 pour tous les types de transports :

- `goods_transport_short_dist` : convergence à 37 mois
- `goods_transport_long_dist` : convergence à 5 mois
- `passenger_transport_short_dis` : convergence à 60 ans
- `passenger_transport_long_dis` : convergence à 150 mois

Cela paraît cohérent puisque l'on peut produire plus de véhicules que le facteur de dégradation. La seule ressource limitante pour le bloc Transport est donc l'énergie disponible (kWh). À terme, on pourra aussi considérer les ressources disponibles pour construire les véhicules.

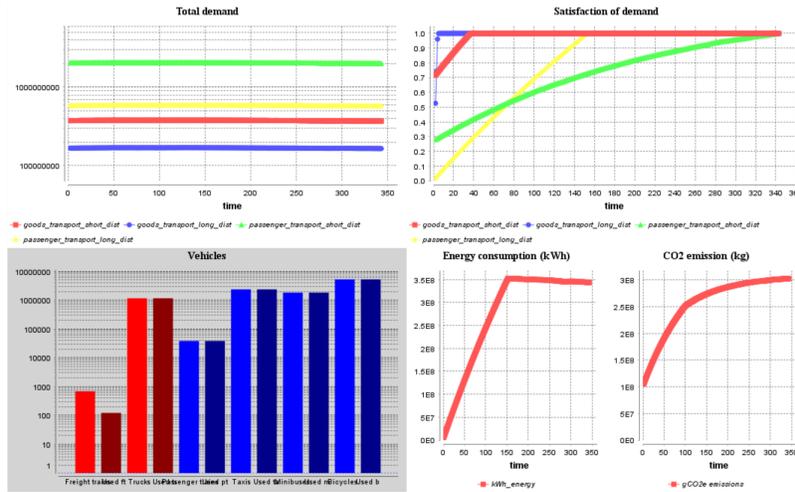


FIGURE 5 – Convergence du bloc transport

4.3.2 Transition du modèle

On peut remarquer, d’après le fonctionnement, qu’avec le système de Proportions d’utilisation des véhicules, combiné au système de Construction de véhicules quand la demande pour un type de véhicule n’est pas satisfaite, on obtient naturellement un système de transition des transports, que l’on pourrait compléter dans la suite du projet en conservant les voitures thermiques à l’initialisation du système. On aura alors une transition naturelle du système actuel français vers le système écotopien, tout en maintenant une demande satisfaite pendant cette transition. Cela pourrait simuler la transition écologique de manière plus juste. Dans le modèle actuel, la transition bloque le fonctionnement de la société pendant plusieurs années, ce qui n’est pas très réaliste.

Quand nous passerons à la simulation micro, les variations du bloc Transport seront localement plus intéressantes puisque les échanges entre les différentes régions représenteront le système de manière plus précise.

De plus, certains chiffres utilisés dans le modèle ne sont pas exacts. La consommation de trajets (biens et passagers) par habitant doit être adaptée au modèle écotopien. De plus, les véhicules ont été repris sur des véhicules français, et ne ressemblent pas tout à fait à ceux présentés dans le modèle écotopien. Certaines données pourraient donc leur être adaptées.

5 Bloc Urbanisme

5.1 Modélisation et choix

Choix principaux : Nous allons différencier l'urbanisme de la consommation des habitants dans un premier temps : Chaque thème aura son propre bloc.

Quel est le but du bloc urbanisme dans un premier temps ? Il va s'occuper de gérer l'impact de l'habitat sur le système créée. Cela consiste dans un premier temps par 2 impacts : Celui sur le sol, ainsi que celui sur la consommation des ressources pour produire les habitations. La société ecotopienne possède deux types de logements différents de base : les maisons individuelles, ainsi que les immeubles. Pour chaque types de logements, nous allons devoir donc définir leur impact respectif. La proportion d'immeubles et de maisons sera donc un paramètre définie par l'utilisateur lors de l'expérience.

Comment déterminer les impacts des deux types de logements ? Plusieurs problèmes se sont posées, et plusieurs choix étaient possibles : Dans un premier temps, la situation actuelle et les nombres actuels français ne correspondent pas actuellement à celle de la société écotopienne : devait-on simuler la transition de l'un vers l'autre, ou bien tester la viabilité de la société écotopienne dans un contexte moderne ? Le premier choix effectué a donc été de considérer la situation dans la simulation comme correspondante dès le début à celle de la société écotopienne. Les logements construits dès le premier mois obéissent tous aux critères de construction et modèles écotopiens.

Il faut par contre produire un nombre de logements correspondant à la dégradation des logements existants, où l'on estime que les logements ont une durée de vie d'environ 100 ans (que l'on pourra modifier).

5.1.1 Données des immeubles

Les immeubles sont en bois. Cette forme d'immeuble est relativement peu existante en France pour le moment à l'heure actuelle. Cependant, un équivalent plus commun existe en Amérique du Nord : Le Triple-decker. Il s'agit de 3 appartements superposés sur 3 étages. Dans le contexte écotopien, nous allons modifier un peu les caractéristiques "types" trouvables dans les triple-decker existants. Nos immeubles seront donc bien majoritairement construits en bois, avec un impact au sol de 200m^2 , ainsi que de 400m^2 de jardin. Il ont un espace commercial de 100m^2 au rez-de-chaussé, et 2 étages habitables (400m^2) pour loger des unités familiales d'entre 9 et 15 personnes.

En utilisant des données de constructions actuelles (insérer Arcabois), on peut calculer que ces immeuble, à la construction, consomment environ 30 tonnes de bois chacun pour leur structure, et 2 tonnes de coton pour l'isolation.

5.1.2 Données des maison

Les coûts en ressources des maisons est beaucoup plus complexe, tout simplement car le matériau de construction écotopien à base de coton n'existe pas. On propose avec Nassim d'utiliser une consommation de 2 tonnes de bois, et 15 tonnes de coton. L'utilisation de coton dans un contexte français est un peu surprenant, et peut-être pas optimal pour une société écologique. Il

5.1.3 Données de consommation énergétique

La consommation énergétique représente un second challenge : Utiliser les chiffres actuels ne feraient que peu de sens : la société écotopienne devrait logiquement consommer moins que nous actuellement. Nous allons donc considérer que les consommations énergétiques et émissions de CO₂ correspondent à des consommations que l'on sais atteignables avec les technologies modernes, en considérant qu'elles obéissent aux normes environnementales de points actuelles : Il s'agit de la norme RT 2012 relatif à la consommation énergétique des résidences, de 50 kWh/m²/ans, ainsi que de la norme BBCA pour la construction de logements, visant à produire 600 kg/m² en CO₂ lors de la construction. Nous ne différencions pas les immeubles des maisons sur ces points, principalement en raison du manque de données. Mais il est très probable que la conso énergétique au m² d'immeuble est plus faible que celle d'une maison.

5.2 Interactions

5.2.1 Bloc démographique

Le bloc démographique est l'un des deux principaux blocs avec lequel nous allons interagir : Il représente la population, et nous guide pour estimer la quantité de logements nécessaires à un temps t pour héberger tout le monde.

5.2.2 Bloc Territoire

Le bloc territoire est l'autre bloc très utile, et nous indique la plupart des limitations sur la construction de logements : On va y extraire le bois et l'espace nécessaire à la construction des logements.

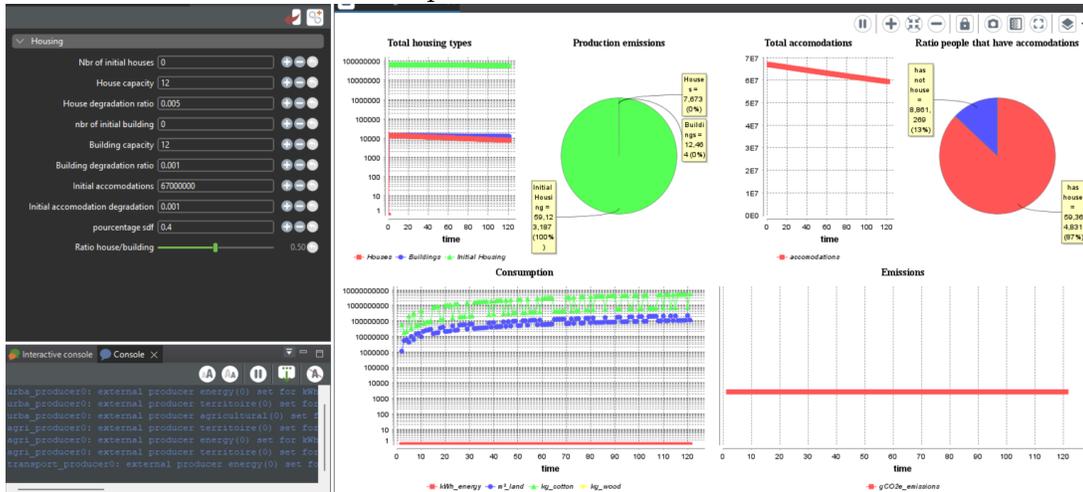
5.2.3 Autres Blocs

Les blocs agriculture et énergie sont également utilisés, afin, d'obtenir le coton et l'énergie nécessaire à la production de logements, ainsi qu'à leur consommation quotidienne.

5.3 Expérimentation

Lorsque on teste avec des données réelles, le modèle se révèle non viable, principalement en raison de la demande énergétique excessive associée à la construction des maisons.

Question sur la viabilité : La première simulation que l'on produit ne parvient à construire qu'un nombre de logements réduits. le résultat est que les logements initiaux se dégradent, en laissant au bout de 10 ans 13% de la population sans domicile, soit environ 8 850 000 habitants. A l'heure actuelle, sur notre simulation, voici les données que l'on obtient au bout de 180 mois : 87% de la population est logé. Cela se traduit par environ 8 850 000 habitants sans domiciles. On parvient laborieusement à produire suffisamment d'appartements pour 12464 habitants en immeuble et 7673 en maison écotiennes.



Dans un second temps, on a lancé une simulation en divisant les coûts de bois et coton par deux. Avec ces nombres, on ne rencontre plus de soucis de pénurie, et l'on peut construire suffisamment de logements chaque mois. Le modèle est viable, mais pas très crédible, car seulement 2% du parc immobilier est reconstruit au bout de 180 mois. Dès que l'on réduit la vitesse de dégradation des logements, le système ne parvient plus à produire malheureusement.

Housing

Nbr of initial houses: 0

House capacity: 12

House degradation ratio: 0.005

nbr of initial building: 0

Building capacity: 12

Building degradation ratio: 0.001

Initial accommodations: 67000000

Initial accommodation degradation: 0.001

pourcentage sdf: 0.4

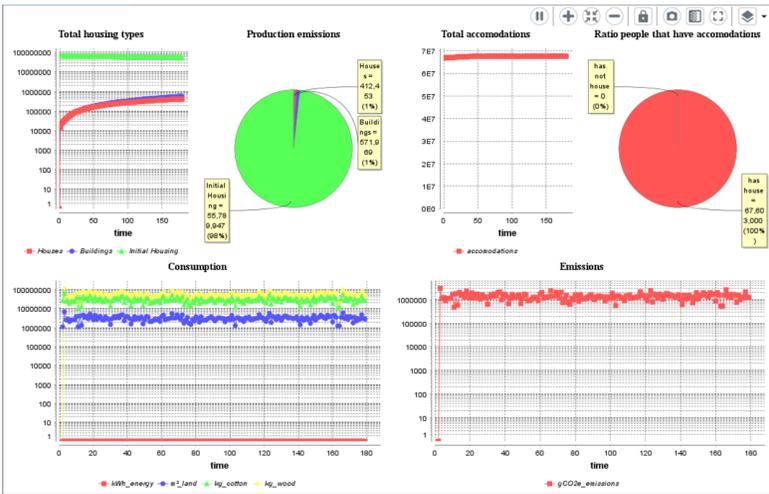
Ratio house/building: 0.50

Interactive console Console X

```

urba_producer0: external producer energy(0) set for 99
urba_producer0: external producer territoire(0) set for 99
agri_producer0: external producer agricultural(0) set for 99
agri_producer0: external producer territoire(0) set for 99
agri_producer0: external producer energy(0) set for 99
agri_producer0: external producer territoire(0) set for 99
transport_producer0: external producer energy(0) set for 99

```



6 Conclusion

6.1 Répartition du travail

La planification des tâches a été réalisée de la manière suivante : chaque membre de l'équipe s'est vu attribuer un bloc principal et un bloc secondaire. Le bloc principal constitue la principale source de travail de chaque membre, où il contribue de manière substantielle en fournissant de nouvelles modélisations, données et du code pour garantir le bon fonctionnement du bloc. Quant au bloc secondaire, il offre une perspective critique sur un bloc sur lequel on travaille moins, dans le but d'analyser et d'améliorer ce dernier. Voici la répartition des blocs pour chaque membre de l'équipe :

Nom	Bloc principal	Bloc secondaire
Loona	Alimentaire	Transport
Marc	Urbanisme	Transport
Maxence	Transport	Urbanisme
Nacer	Energie	Alimentaire
Nassim	Urbanisme	Energie
Jules	Alimentaire	Energie

FIGURE 6 – Répartition de l'équipe dans les blocs

6.2 Nouveaux objectifs et perspectives

Après avoir corrigé les bugs éventuels, la prochaine étape pour nous est de faire entrer en jeu les individus et d'observer le comportement de la population en faisant tourner la simulation. Il faudra revoir les conditions de mort et de naissance, et implémenter les mini villes. Un autre objectif sera d'introduire pour l'ensemble des blocs, des facteurs de tensions indiquant si le bloc en questions ne produit pas assez de ressources par rapport avec la demande. De manière moins urgente, on pourra aussi affiner nos données avec plus d'éléments ou bien des éléments plus récents.