

SORBONNE UNIVERSITÉ
MASTER ANDROÏDE 2ND ANNÉE

MOSIMA 2024-2025

Projet Ecotopia - cahier des charges

Encadrants :

Tristan BERSOUX
Cédric HERPSON
Jean-Daniel KANT

25 OCTOBRE 2024

Table des matières

1	Objectifs du projet	2
1.1	Contexte	2
1.2	Objectifs	2
2	Approche proposée	2
2.1	Caractérisation des objectifs	2
2.2	Description du système modélisé	3
2.2.1	Environnement	3
2.2.1.1	Territoire	3
2.2.1.2	Écosystème	3
2.2.2	Population	4
2.2.3	Secteurs	4
2.2.3.1	Urbanisme	5
2.2.3.2	Alimentation	5
2.2.3.3	Transport	5
2.2.3.4	Énergie	6
3	Sorties	7
3.1	Interface	7
3.1.1	Tracés	7
3.1.2	Interactions avec l'utilisateur	7
3.2	Analyses de sensibilité	7
3.3	Autres sorties	7
4	Méthode	8
4.1	Gestion de projet	8
4.2	Répartition des tâches	8
4.3	Planning	8
4.4	Fiabilité, vérification	9
4.5	Outils utilisés	9
5	Validation du modèle	9
5.1	Interprétation des indicateurs	9
5.2	Données utilisées	9
6	Matrice EM	10

1 Objectifs du projet

1.1 Contexte

La simulation multi-agents est souvent utilisée pour étudier des systèmes réels par des approches descriptives et explicatives. Dans le cadre de ce projet, on propose une nouvelle approche consistant à évaluer, par une méthode scientifique, une société alternative durable et soutenable à horizon 50-100 ans.

Cette approche normative permet d'expérimenter des modèles de sociétés a priori perçues comme "idéales" qui pourraient inspirer notre monde actuel, tout en conservant une démarche scientifique.

Le livre Ecotopia, écrit par Ernest Callenbach en 1975, décrit une société utopique centrée sur le respect de la nature et le bien-être individuel et social, dans laquelle l'objectif premier n'est plus le développement mais le maintien de l'équilibre écologique. Cet ouvrage est un parfait candidat pour ce projet de par son acuité et son actualité compte-tenu de l'état d'urgence climatique.

1.2 Objectifs

L'objectif de ce projet est de simuler avec une MOSIMA la société décrite dans Ecotopia sur le territoire Français afin de l'évaluer. On cherche notamment à déterminer si le mode de vie décrit dans Ecotopia permettrait d'atteindre et de maintenir un état d'équilibre avec l'environnement si on l'appliquait aujourd'hui. Autrement dit, déterminer si ce mode de vie est viable à long terme. La MOSIMA réalisée devra permettre de vérifier l'existence ou non d'un équilibre, de décrire ce dernier s'il existe, et sinon de proposer des améliorations pour s'en rapprocher.

On adoptera une approche systémique afin d'étudier cette société dans son ensemble ainsi que les interactions entre les composants du système. Pour ce faire, on modélisera un environnement et une population humaine. En raison des contraintes du projet, on se limitera à 4 composants structurels d'une société (appelés "secteurs" dans la suite de ce document) : les transports, l'énergie, le logement et l'alimentation. Le mode de vie d'Ecotopia sera appliqué à la France de 2022.

2 Approche proposée

2.1 Caractérisation des objectifs

Ecotopia est décrite dans le livre comme une société stable, respectueuse de l'environnement et générant le moins de déchets possible. Afin de déterminer la stabilité du système modélisé et sa pérennité, nous attendons plusieurs indicateurs. *Libre à vous d'en rajouter d'autres s'ils vous paraissent pertinents, notamment toute mesure permettant de caractériser la circularité de l'économie.*

Indicateurs globaux :

- taille de la population
- la matrice EM présentée en section 6 :
 - quantité de ressources disponibles (stock) et produites
 - quantité de ressources consommées au total
 - quantités de GES¹ émis au total
- surface au sol utilisée pour chaque type d'élément (agriculture, forêt, panneaux solaires, logements,...)
- embouteillages (saturation d'un arc de transport) : caractérisation (nombre par ticks, durée, etc...)
- nombre de constructions de logement par ticks
- nombre de déménagements par ticks et nombre de déménagement moyen par individu

Note : Les indicateurs suivant seront calculés à partir de la matrice EM.

Indicateurs de consommation des ressources :

- saturation de la demande : $\frac{\text{consommé}}{\text{produit}}$ à échelle macro (toute la population).
- En complément on pourra mesurer le temps (en mois) qu'il faut pour épuiser l'ensemble des ressources : $f \times \frac{\text{produit}}{\text{consommé}}$, avec f qui dépend du choix du tick.
- quantité totale consommée par individu : $\frac{\text{consommé}}{\text{taille_pop}}$
- part du total consommée par individu : $\frac{\text{consommé}}{(\text{stock} + \text{produit}) \times \text{taille_pop}}$

1. Gaz à Effet de Serre (GES), ici : CO_2 + méthane

- quantités de GES émises par individu : $\frac{\text{GES émis}}{\text{taille_pop}}$

Stabilité dans le temps :

- horizon du système avec la consommation observée sur la période T : $\frac{\text{stock}}{\max(0, \text{consommé}^T - \text{produit}^T)}$
- part des GES émis qui sont absorbés, sur la période T : $\frac{\text{GES absorbés}^T}{\text{GES émis}^T}$

2.2 Description du système modélisé

Note de modélisation :

On définit par défaut qu'un **tick correspond à un mois**. Il sera possible de définir différentes échelles de temps afin de gérer les événements ayant des intervalles différents.

On représente à minima les ressources suivantes :

- eau
- énergie (électricité)
- bois (utilisé pour la construction des bâtiments)
- nourriture (composée d'aliments végétaux et animaux)
- coton (sert à la fabrication du plastique utilisé pour la construction des bâtiments)

2.2.1 Environnement

2.2.1.1 Territoire

La société d'Ecotopia sera appliquée à la France de 2022. On utilisera une carte (fournie) aux dimensions réelles, la superficie française étant de 543 940 m^2 . Le territoire sera donc délimité par les frontières.

Le relief français est varié, présentant des zones de plaines et des hautes montagnes ainsi que de zone plus ensoleillées dans le Sud. Le littoral est parsemé de baies et de nombreuses rivières parcourent le territoire. En raison de leur nombre très important et de leurs ramifications, seuls les plus importants cours d'eau sont représentés.

Autour des villes seront construites des constellations de mini-villes, qui possèdent chacune une gare en son centre. Une mini-ville a un rayon par défaut de 1 km, ce dernier pourra varier lors d'expérimentations. Les mini-villes d'une même constellation sont séparées par une distance d'au moins 1 km et sont par défaut toutes reliées entre elles par des trains.

Les principales grandes villes existantes serviront de point de repère pour le placement des mini-villes et du réseau de transport.

Les activités agricoles sont décentralisées tout comme l'exploitation du bois. Les fermes sont isolées dans les campagnes. Les usines sont situées dans les mini-villes, souvent assez proche de la gare. Les commerces, usines, ateliers et bureaux sont également intégrés aux immeubles en bois nouvellement construits dans les mini-villes.

2.2.1.2 Écosystème

Les forêts sont la première source de matière première pour la construction des villes avec les champs de coton utilisés pour produire du plastique.

Certaines zones trop escarpées ne sont pas exploitées et servent uniquement au camping et à la préservation de la vie sauvage. Pour assurer un approvisionnement en bois, les écotopiens ont reboisé d'énormes régions et ont aussi replanté des centaines de milliers d'hectares qui avaient été déboisés pour en faire des vergers et des champs. Les régions reboisées sont très peuplées par du gibier. De nombreux espaces verts sont également présents dans les villes.

Note de modélisation :

- On modélisera les émissions de GES des différentes activités.
- Il n'est pas imposé de modéliser les populations animales.

2.2.2 Population

La France compte 67 920 000 habitants en 2022. La population est composée de 51,7% de femmes en 2022. 17,5% a moins de 15 ans, 26% de la population a plus de 65 ans et l'espérance de vie est de 82,7 ans en 2022 (79,3 pour les hommes et 85,1 pour les femmes).

On ne tient, dans un premier temps, pas compte des villes existantes dans ce modèle : on considère qu'elles ne sont pas peuplées. La population est donc répartie exclusivement dans les mini-villes. Dans Ecotopia, une mini-ville réunit environ 10 000 habitants, un ensemble de mini-villes peut par exemple réunir 40 à 50 000 habitants. Dans le modèle réalisé, on définira en entrée la taille de la population simulée ainsi que le nombre d'individus par mini-ville. On fournira également la taille de la population réelle afin de calculer le facteur d'échelle pour le respect des proportions (pour l'emploi et la démographie).

Les individus représentés auront plusieurs états possibles : scolarisé, étudiant, actifs (travailleurs, forestier), inactifs (chômeurs, inactifs et retraités inclus, étudiants non inclus). Plusieurs motifs de transition entre ces états sont possibles : perte d'emploi, abandon de recherche d'emploi, retraite, entrée dans la vie active.

Note de modélisation :

- On considère dans un premier temps un modèle *stationnaire*, au sens où la démographie sera constante (statique) et où les individus ne déménagent pas.
- On ajoutera ensuite une démographie dynamique et une possibilité de déménagement.

On demande de comparer la viabilité de ces 2 régimes : celui avec démographie stable et fixée aux données actuelles, et celui avec la démographie dynamique selon les règles d'Ecotopia rappelées ci-dessus et dans la section Urbanisme. Un modèle démographique, basé sur les données de 2019, est fourni avec le code du projet en Gama. Ce dernier pourra être utilisé, l'écart avec 2022 n'ayant pas un gros impact sur la trajectoire globale.

Note de modélisation :

On partira de données réelles : P^R la population réelle de la France actuelle, et MVH^R le nombre d'habitant par mini-ville "réel" (10 000, selon le livre). On en déduit alors le nombre MV^R de mini-villes à représenter pour accueillir toute la population française.

L'utilisateur du simulateur devra alors fixer : (1) la taille de la population simulée, (2) le nombre de mini-villes simulées (MV^S), et (3) le nombre d'individus par constellation de mini-villes.

A partir de ces informations, le simulateur devra calculer le nombre d'habitants par mini-ville dans la simulation MVH^S . On calculera ensuite les facteurs d'échelle : α le facteur d'échelle pour le nombre de mini-villes, et β le facteur d'échelle pour le nombre d'habitants par mini-ville.

On affichera toutes ces nombres dans un tableau : $P^R, MVH^R, MV^R; P^S, MV^S, MVH^S; \alpha$ et β .

Loisirs

Les individus pratiquent régulièrement différents loisirs : sport, musique, danse, chant, peinture...

On définit les règles suivantes pour le choix des destinations de loisirs :

- 50% des loisirs se feront dans un espace naturel accessible : point d'eau (lac, rivière, mer...), forêt, montagne. Par défaut, si aucune de ces zones n'est accessible à proximité (< 2h de trajet), on choisira une destination en extérieur en dehors de la mini-ville de résidence.
- 30% auront lieu en extérieur dans leur mini-ville de résidence ou en bordure de celle-ci.
- Les 20% restants resteront à leur domicile.

Travail

Les individus en emploi se rendront sur leur lieu de travail afin d'y exercer leur activité. Si un individu a un temps de trajet trop élevé (> 1h de trajet) pour se rendre au travail, il cherche alors un emploi plus proche de son domicile.

Si un individu est inactif (chômage, retraite), il s'adonne à des loisirs à la place du travail.

Scolarité

Les individus scolarisés se rendront sur leur lieu d'étude. Un individu étudie forcément dans sa mini-ville de résidence.

2.2.3 Secteurs

Dans le cadre de l'UE, chacun des 4 secteurs ci-après correspond à l'une des dimensions perçue comme essentielle pour modéliser une société.

2.2.3.1 Urbanisme

Les zones de construction possibles pour les mini-villes seront définies à l'initialisation et seront statiques. On rappelle que, en dehors de l'utilisation de leur localisation comme points de références, les villes existantes (Paris, Orleans, Marseille,...) n'existent pas.

Logements

Les logements accueillent des "familles" composées de 5 à 20 personnes qui ne sont pas nécessairement reliées biologiquement. Les célibataires d'une famille trouvent souvent leur partenaire au-dehors, et il en résulte l'addition ou la soustraction d'un membre de la famille.

Les logements se dégradent avec le temps et ont une durée de vie limitée. Les déchets alimentaires, les eaux usées et les ordures sont intégralement recyclés.

On retrouve deux types de logements :

- **Immeubles en bois** : Des immeubles de 3 ou 4 étages sont construits en bois dans les mini-villes. Les gens conçoivent et construisent eux-mêmes les habitations où ils vivront avec leur communauté. Afin de pouvoir construire son logement, il faut séjourner et travailler plusieurs mois dans un camp forestier.
- **Maisons modulaires** : Des maisons en plastique écotopien (produit à partir de coton) sont construites à partir de structures tubulaires. Le chauffage solaire avec pompes à chaleur ne consomme ni combustible fossile ni eau, requiert seulement une infime quantité d'électricité pour faire tourner les pompes. Quand un membre de la famille part ou meurt, sa chambre est parfois découpée puis recyclée. Quand un bébé naît ou qu'une nouvelle personne rejoint la famille, on colle une nouvelle pièce à la maison existante.

La proportion de chacun de ces types de logements sera fixée en paramètre du modèle.

Espaces de loisirs

On retrouvera des lieux de loisirs en intérieur (e.g. salle de sport, atelier de peinture, centre de loisirs, salle d'arcade). Les mini-villes posséderont également de nombreux espaces verts (e.g. parc) permettant la pratique de loisirs d'extérieur.

En dehors des mini-villes, il sera possible d'effectuer des loisirs en pleine nature (e.g. bord de mer, forêt, montagne).

Lieux de travail

Des lieux de travail se trouveront en ville (e.g. bureaux, ateliers, usines), ils seront intégrés dans les immeubles en bois. Les ateliers et usines sont situées à proximité de la gare centrale de leur mini-ville.

Éventuellement, les exploitations forestières et agricoles, les centrales de production d'énergie, ou toute autre infrastructure de production située en-dehors des mini-villes, pourront également être considérés comme des lieux de travail.

Lieux d'études

Des écoles seront situées en périphérie des mini-villes. Chaque constellation disposera d'universités.

2.2.3.2 Alimentation

La production et la consommation alimentaire seront représentées, au minimum de façon simplifiée. On considérera la production végétale et animale totale, les surfaces requises, ainsi que la consommation alimentaire des individus de la population.

Si l'on se base sur le modèle agricole d'Ecotopia, les animaux sont élevés en condition presque naturelle. Aucun pesticide n'est utilisé dans l'agriculture et 99% des déchets sont recyclés, notamment en engrais.

Note de modélisation :

- A minima, on demande de représenter la surface des cultures et la surface occupée par l'élevage.
- Il n'est pas demandé de modéliser les fermes ni les méthodes de production employées.

2.2.3.3 Transport

Moyens de transport

A l'intérieur des mini-villes, les écotopiens circulent à pied, en vélo, en minibus (similaire à un tramway) et rarement en taxis. Des vélos en libre service sont présents un peu partout. Les voitures personnelles ne seront pas

considérés dans ce projet. Des camions servent exclusivement au transport d'encombrants, de marchandise et de ressources.

1. Marche à pied
 - Ce moyen de transport est toujours possible dans les mini-villes et sur leur bordure.
2. Minibus
 - Les minibus couvrent uniquement les déplacements au sein d'une mini-ville.
3. Taxi électrique
 - Les taxis permettent de se déplacer dans et entre les mini-villes via un réseau routier.
 - Ils sont construits en plastique.
4. Vélo
 - Les vélos permettent de se déplacer dans les mini-villes.
 - Des vélos en libre service sont accessibles partout dans la ville.
 - Des pistes cyclables sont construites dans toute la ville.
5. Train
 - Un réseau de train interurbain relie les mini-villes entre elles.
6. Camions
 - Les camions peuvent se déplacer dans et en dehors des mini-villes (e.e. campagne).
 - Ils sont utilisés exclusivement pour livrer des ressources.

Note de modélisation :

- On dispose d'une carte géographique fournie qui décrira l'environnement des individus : où sont situés les bâtiments, les mini-villes, les chemins pédestres, et toute autre information nécessaire.
- Sur cette carte se superposera un réseau de transport (au sens large) qui inclut les transports en commun, les voies cyclables et routières.
- On interdit les trajets multi-transports : un seul moyen de transport utilisé, la fin du trajet sera complétée par de la marche à pied sur la distance restante.
- Il n'est pas imposé de modéliser la fabrication des véhicules ni l'importation des ressources nécessaires.
- La consommation n'est pas modélisée (excepté pour l'alimentation), le transport en camion sert donc uniquement pour la construction des logements et éventuellement le transport des aliments, coton et des déchets à recycler.

Déplacements

On considère différentes activités qui impliquent des déplacements : les loisirs et le travail (pour les enfants et étudiants, on considère à la place du travail la scolarité).

On définit plusieurs règles pour les déplacements s'appliquant à toutes les constellations :

- Les déplacements pour le travail ont une durée en moyenne inférieure à une heure (sinon, l'individu cherche un travail plus proche)
- Les individus peuvent faire des déplacements plus longs une fois par semaine (pour travail, loisirs, vacances ou autre) avec une certaine probabilité, n'importe où en France.
- Le réseaux de transport a une capacité maximale.

2.2.3.4 Énergie

Si l'on se base sur Ecotopia, l'énergie est essentiellement issue du soleil, des vents et des marées. Une part de l'énergie produite provient néanmoins du nucléaire.

Le mix énergétique sera donné par vecteur de paramètres fixant la proportion de chaque type d'énergie pour sa production. On partira du mix suivant : 40% nucléaire, 25% solaire, 15% hydro-électrique, 20% éolien. Des variations autour de cette répartition devront ensuite être effectuées, au moins statiquement (modification du mix à l'initialisation). Des variations dynamiques pourront être considérées dans un second temps (durée de vie des installations et construction de nouvelles centrales conduisant à modifier progressivement le mix énergétique si le remplacement n'est pas fait à l'identique).

Nous détaillons ci-dessous les éléments de production et de consommation d'énergie décrits dans le livre.

— Production

- De nombreuses installations hydro-électriques (barrages, réservoirs) sont présentes sur le territoire dans les zones adaptées.
- Des champs de panneaux solaires sont utilisés, un ensemble des panneaux contigus formant une centrale et couvre une superficie donnée.
- De nombreuses éoliennes et panneaux solaires sont installées sur les toits des habitations

— Consommation

- Différents électro-ménagers sont utilisés : vidéo-phones, écrans de TV, plaques chauffantes, théière, lave-linge et sècheuse,...
- Les rues ne sont pas éclairées la nuit.

3 Sorties

3.1 Interface

3.1.1 Tracés

Au minimum :

- On affichera la carte de la France et de son relief. Les surfaces utilisées pour l'habitat, l'agriculture et l'énergie devront être représentées, au moins en terme de proportions. Les zones de construction et les autres informations utiles (lieux/bâtiments d'intérêt, transports, ressources) pourront être indiquées sur la carte si souhaité.
- On tracera la courbe de démographie de la population ainsi que les quantités de ressources disponibles et les autres indicateurs principaux.
- On indiquera les taux de natalité et de mortalité.
- On indiquera également la saturation de la demande en ressources dans le temps : le ratio consommation/production pour chacune des ressources.
- On intégrera à l'interface le tracé des émissions de gaz à effet de serre (GES) durant la simulation.
- On affichera les valeurs des facteurs d'échelle α et β (cf. 2.2.2)
- Une visualisation globale (systémique) témoignant des différentes activités humaines et de leur impact est attendue.

3.1.2 Interactions avec l'utilisateur

L'interface permettra d'initialiser, démarrer et arrêter la simulation. Les tracés seront dynamiques.

L'utilisateur aura au minimum la possibilité de modifier via l'interface la durée de la simulation, la taille de la population, le nombre de mini-villes, la proportion de chaque type de logement (en bois ou en plastique écotopien) ainsi que la composition du mix énergétique (% de solaire, ..).

Il sera possible de choisir si la population est stationnaire ou non.

3.2 Analyses de sensibilité

Des analyses de sensibilité seront réalisées pour les paramètres suivants :

- Taille de la population
- Nombre de mini-villes
- Proportion de maisons en bois et en plastique
- Mix d'énergie utilisé
- Répartition des destinations pour les loisirs

Libre à vous d'ajouter d'autres analyses de sensibilité en complément si vous le souhaitez.

3.3 Autres sorties

On sauvegardera à chaque ticks la matrice EM (voir page 10) du système dans un fichier. On sauvegardera également les données des différents tracés (population, ressources, et les autres indicateurs) dans des fichiers de log. *La matrice EM et les variations des différents indicateurs associés devront être présentés et discutés lors de l'analyse des résultats.*

4 Méthode

4.1 Gestion de projet

Le projet sera mené en suivant la méthodologie agile. Un référent de groupe sera désigné, ainsi qu'un référent pour chaque secteur (transport, énergie, logement, environnement). Des réunions de suivi auront lieu régulièrement au sein de l'équipe. Une réunion aura lieu chaque semaine avec les encadrants.

4.2 Répartition des tâches

Les tâches seront extraites du cahier des charges puis réparties entre les équipes selon les domaines concernés. Les tâches seront distribuées sur des périodes (itérations) d'une durée d'une semaine. Chaque semaine, les tâches à accomplir durant la nouvelle itération seront distribuées équitablement entre les membres de chaque équipe selon la charge de travail attribuée à chacun et selon la priorité des tâches. Chaque semaine, chaque groupe devra veiller à ce que le travail de conception et d'implémentation réalisé au sein de chaque secteur soit :

- partagé avec l'ensemble des membres du groupe,
- ajouté au dépôt,
- testé afin de garantir qu'il fonctionne une fois connecté aux autres secteurs

4.3 Planning

Nous attendons deux versions différentes du modèle :

- Une première version **macroscopique**, dans laquelle la production et la consommation seront simplifiées et agrégées au sein de chaque secteur. Ce modèle a pour intérêt d'être plus rapide à concevoir et à exécuter, tout en permettant d'obtenir des résultats à l'échelle nationale et de valider les données et équations utilisées.
- Une seconde version **microscopique**, dans laquelle on détaillera les comportements à une échelle plus petite (ex : individuelle). Le modèle microscopique permet de tenir compte de l'hétérogénéité des comportements et d'expliquer les comportements et phénomènes observés de façon plus détaillée (ex : effets de seuil). Le comportement observé à l'échelle microscopique devra être cohérent avec le modèle macroscopique, aux variations liées au niveau de détail près. Ce modèle comptera de l'ordre de 10 000 agents logiciels, quelles que soient les entités auxquelles ils correspondent.

Le planning retenu est le suivant :

- Semaines 1,2 : Analyse du cahier des charges, travail collaboratif de réflexion sur la modélisation macroscopique et son extension à un modèle microscopique, prise en main de l'API.
- Chaque semaine suivante : Enrichissement du modèle, implémentation, intégration, validation
- **Livrable 05/12/2024 21h59** : Modèle macroscopique (conception, code, résultats, matrice EM)
- **Livrable 16/01/2025 21h59** : Modèle microscopique (conception, code, résultats, matrice EM)

Tout au long du projet, les différents secteurs du modèle seront approfondis et enrichis progressivement, de manière itérative. **La version courante devra être fonctionnelle et validée chaque semaine** avant d'approfondir plus. Le cycle de développement du modèle est illustré Figure 1.

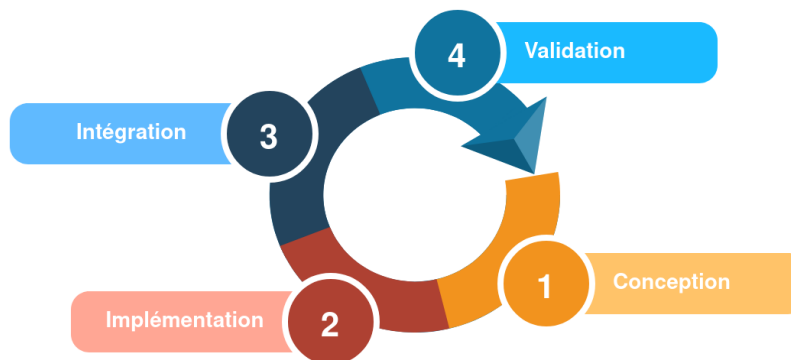


FIGURE 1 – Cycle de développement du modèle

4.4 Fiabilité, vérification

La complexité des fonctions sera évaluée afin de maîtriser les temps de calcul. Les fonctionnalités seront testées dans leur ensemble lors de chaque phase d'intégration (comportement aux valeurs extrêmes, tests de non régression, montée en charge).

4.5 Outils utilisés

Le modèle sera développé en Gama. Les analyses seront réalisées en Gama, Python, R ou autre.

Les outils collaboratifs suivants seront utilisés :

- gestion de projet et développement : Gitlab
- communication : discord et mattermost
- partage de documents : nuage du LIP6

5 Validation du modèle

5.1 Interprétation des indicateurs

La matrice EM donne une vision globale et permet d'identifier certains des déséquilibres dans le système. Sur cette base, vous devrez proposer des caractérisations de la notion d'équilibre présentée en début de document (économie circulaire).

Le modèle de société proposé dans Ecotopia n'ayant pas été instancié dans la réalité, nous ne disposons pas de données permettant de confronter le modèle mise en oeuvre avec des données empiriques. Néanmoins, nous pouvons vérifier la cohérence du modèle avec des faits stylisés observés dans notre réalité. On mesurera l'écart éventuel de la société française avec la société écotopienne proposée à travers notre modèle :

- L'horizon (\sim durée de vie) du système idéal devrait être infinie. En effet, plus cette valeur est grande, plus le système pourra perdurer dans le temps.
- Pour chaque type de ressource naturelle, la saturation de la demande est inférieure à 1 dans une situation idéale : la consommation est inférieure à la production (pas d'épuisement des ressources naturelles). La consommation par individu ne doit pas aller au-delà de ce que la production et les réserves permettent. La part des GES émis qui sont absorbés devrait également être égale à 1 dans des conditions optimales.
- Le réseau de transport est parfaitement optimisé au regard des besoins de la population (minimisation de la consommation en ressources tout en garantissant la satisfaction de la demande).

Note de modélisation : Plus la population peut être importante dans un système (relativement) stable dans le temps, plus il est viable. Aussi, si vous êtes en mesure de trouver deux systèmes à l'équilibre, on préférera celui pouvant supporter la population la plus grande.

5.2 Données utilisées

Les données utilisées sont à chercher par tous les groupes et seront partagées dans un fichier commun à l'ensemble des groupes sur le nuage.

À titre d'illustration et de façon non exhaustive, on peut noter les éléments suivants :

- Afin d'initialiser la population, des statistiques sur la population française seront nécessaires : répartition de la population sur le territoire, répartition des genres, pyramide des âges, proportion des différents métiers ou des compétences.
- Concernant le logement, la quantité de bois et les surfaces de plantation nécessaires à la fabrication des logements devront être estimées à partir de données réelles. De la même manière, on devra disposer de données sur la consommation électrique des logements. Pour les maisons en plastique écotopien, il faudra estimer à partir de la surface des tubes la quantité de plastique (donc de coton) nécessaire et estimer la quantité de ressources utilisées et de GES émis en s'inspirant de technologies existantes proches.
- Des données sur la production agricole pourront servir pour modéliser l'agriculture.
- Les quantités d'énergie produites par les différentes centrales ainsi que les émissions de GES associées seront également nécessaires.
- D'autres informations comme les vitesses de déplacement et les consommations pour chaque moyen de transport devront être déterminées.

6 Matrice EM

	Logement	Transport	Ecosysteme	Fournisseur d'Energie	Agriculture			
	<i>Impact</i>	<i>Impact</i>	<i>Variation</i>	<i>Stock</i>	<i>Impact</i>	<i>Impact</i>	<i>Variation</i>	<i>Stock</i>
Bois	C_B		$P_B - C_B$	S_B				
	C_{EL}		$P_E - C_{EL}$	S_E	C_{EE}	C_{EA}		
Eau			$-C_{EE} - C_{EA}$					
Viande	C_{VL}						$P_V - C_{VL}$	S_V
Légumes	C_{LL}						$P_L - C_{LL}$	S_L
Coton	C_{CL}						$P_C - C_{CL}$	S_C
Autre	C_{Au}		$P_{Au} - C_{Au}$					
Energie	C_{EnL}	C_{EnT}			$P_{En} - C_{EnL}$	C_{EnA}		
					$-C_{EnT} - C_{EnA}$			
	E_{GL}	E_{GT}	$E_{GL} + E_{GEn}$	S_G	E_{GEn}	E_{GA}		
GES			$+E_{GT} + E_{GA}$					
			$-A_{GES}$					

TABLE 1 – Ecotopia Matrix ©

Lecture : P = "production", C = "consommation", S = "stock", E = "émission", A = "absorption".

On distingue pour chaque systeme :

- ses impacts (s'il y en a) : les matières qu'il va consommer ou émettre
- ses stocks (s'il y en a) : les matières stockées par le système, et pouvant être utilisées ultérieurement
- la variation des stocks (s'il y en a) : la manière dont les stocks vont varier, s'il vont augmenter ou diminuer

La présence d'un impact C dans une cellule indique qu'il y a un apport de la matière concernée (ligne) au système concerné (colonne) pour sa consommation. Exemple : C_B dans la colonne Logement et la ligne Bois indique que les logements reçoivent une quantité de bois qu'ils consomment. De la même manière, la présence d'une variation $-C$ indique qu'il y a un prélèvement de la matière concernée (ligne) au système concerné (colonne), cette matière étant consommée par un autre système.

La présence d'une émission E dans une cellule indique qu'il y a une émission de la matière concernée (ligne) par le système concerné (colonne). Exemple : E_{GL} dans la colonne Logement et la ligne GES indique que les logements émettent des GES. Ces GES sont également présents dans la variation des stock de GES de l'écosystème : ils sont ajoutés à ce stock.

Le stock au tick $t + 1$ vaut le stock au tick t auquel on ajoute la variation au tick t .

Bois

Le bois est produit par l'écosystème (P_B) qui détient également le stock (S_B). Il est retiré de l'écosystème ($-C_B$) et est consommé par les logements ($+C_B$) pour leur construction.

Eau

L'écosystème détient le stock d'eau (S_E) et en produit (P_E)². Cette eau est consommée par les logements pour la construction et l'usage quotidien (C_{EL}), par les producteurs d'énergie pour le refroidissement des centrales (C_{EE}), et par l'agriculture pour irriguer les champs (C_{EA}).

Énergie

L'énergie est consommée par les logements pour la construction et l'usage quotidien (C_{EnL}), par les transports (C_{EnT}) et par l'agriculture (C_{EnA}). L'énergie est produite par les fournisseurs d'électricité pour répondre à la demande (P_{En}). Il n'y a pas de stock, l'électricité est produite en continu et est perdue si elle n'est pas consommée, de même on ne peut pas consommer plus d'électricité que ce qui est produit.

Viande

La viande est produite par l'agriculture (P_V) grâce à l'élevage. Le bétail constitue le stock (S_V). Les habitants des logements consomment la viande (C_{VL}) qui est alors retirée du système agricole ($-C_{VL}$).

Légumes

Les légumes sont produits par l'agriculture (P_L), qui maintient un stock (S_L). Les habitants des logements consomment des légumes (C_{LL}) qui sont alors retirés du stock ($-C_{LL}$).

Coton

Le coton est produit par l'agriculture (P_C), qui maintient un stock (S_C). Les logements (maisons en plastique) et les habitants (textiles) en consomment (C_{CL}), ce coton est alors retiré du stock ($-C_{CL}$).

Autre

Les autres ressources³ sont consommées par les ménages (C_{Au}) et sont produites par l'écosystème (P_{Au}). On considère qu'il n'y a pas de stock : les habitants ramassent ce dont ils ont besoin, le reste est décomposé.

GES

Des GES sont émis par les logements (E_{GL}), les transports (E_{GT}), l'agriculture (E_{GA}) et les fournisseurs d'énergie (E_{GEN}). Ces GES sont ajoutés au stock de l'écosystème (S_G). Une partie des GES sont absorbés (A_{GES}) par l'écosystème : végétation, forêts, eaux et sols. On a ainsi une variation $E_{GL} + E_{GEN} + E_{GT} + E_{GA} - A_{GES}$ sur le stock de GES de l'écosystème.

2. Pour simplifier : pluies

3. Ex : feuillages, branchages, pierres, baies, fourrures issues de la chasse ...