# Introduction

## Principe et définitions

Toute modélisation part d’une question de la forme :

**Quel est l’impact de X sur Y étant donné Z ?**

dans laquelle :

* X définit l’ensemble des scénarios que l’on souhaite explorer
* Y l’ensemble des indicateurs que l’on souhaite observer comme réponse aux différents scénarios
* Z le contexte de la question

### Concepts fondamentaux

* **Système** : Système structuré en entités et processus

**Types d’attributs** :

* **parametres** : dont la valeur ne varie pas au fil de la simulation
* **variables\_etat** : dont la simulation fait varier la valeur au fil du temps

**Portée des attributs** :

* globaux : partagés par tout le système (nous avons choisi de les décrire dans l’entité « système »)
* locaux : partagés par entités de même type
* individuels : spécifiques à chaque entité

### Relations questions-modèle

**Formalisation** :

X ⊆ A, Z ⊆ A, X ∩ Z = ∅, X ∪ Z = A

X est un sous-ensemble des attributs (de A)

Z est un sous-ensemble des attributs disjoint de X

X union Z = A

Y est calculé à partir des attributs

**Implication** : Un choix différent de X et Z permet de répondre à d’autres questions avec le même modèle On peut donc imaginer l’ensemble des questions auxquelles un même modèle peut répondre.

## Le modèle

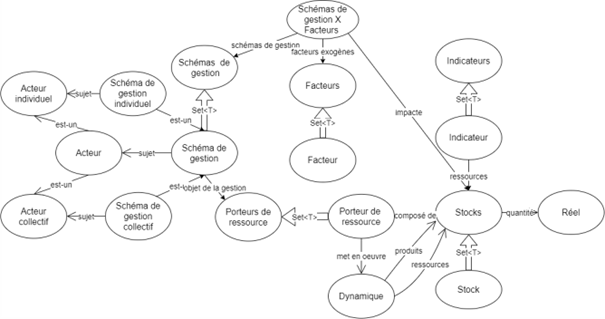
La question retenue pour le modèle est :

**Quel est l’impact des schémas de gestion et des facteurs exogènes sur la durabilité des ressources naturelles ?**

**Domaine** : socio-écosystème agricole

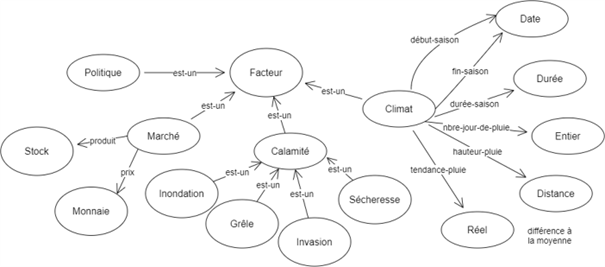
**Échelle** : territoriale

### Représentations graphiques



**Figure 1** : Question de recherche schématisée

Sur la flèche diagonale, on représente qu’une combinaison (X) de schémas de gestion et de facteurs impacte les stocks. En bas à droite, les stocks sont des quantités de ressource pour différents usages (par les humains, les animaux, les plantes et autres processus biophysiques). Au milieu en bas, un porteur de ressource est composé de divers stocks et met en œuvre une dynamique qui utilise des stocks comme ressources et produits des stocks. A gauche, les schémas de gestion sont des ensembles de schémas de gestion, mis-en-oeuvre par un acteur (sujet). On distingue les schémas de gestion individuels des schémas de gestion collectif mis-en-oeuvre par les auteurs correspondant. Dans notre cas, les acteurs individuels sont des exploitations; les acteurs collectifs sont des villages. Au milieu en haut, les facteurs exogènes sont un ensemble de facteurs, un facteur pouvant être comme suit



**Figure 2** : Facteurs exogènes

Les facteurs exogènes sont un ensemble de facteurs influençant le système sans être contrôlés par les acteurs.

### Composants principaux

#### Porteurs\_Ressources

**Description** : Composés de divers stocks et mettent en œuvre des dynamiques

**Rôle** : Utilisent des stocks comme ressources et produisent des stocks

#### Schemas\_Gestion

**Description** : Ensembles de schémas de gestion mis en œuvre par des acteurs

**Types** :

* individuels : par exploitation
* collectifs : par village

#### Stocks

**Description** : Quantités de ressources pour différents usages

**Usages** :

* humains
* animaux
* plantes
* processus biophysiques

### Acteurs du système

* **Individuels** : exploitations agricoles
* **Collectifs** : villages, coopératives

## Contextualisation

**Domaine d’application** : agroécologie, gestion des ressources naturelles

**Pertinence scientifique** : Modélisation des interactions complexes entre pratiques de gestion et dynamiques des ressources dans un contexte de changement global

**Public cible** : - décideurs politiques - chercheurs en socio-écosystèmes - acteurs territoriaux

# Structure et dynamique

## Entité : Actor

### Documentation

*Description à compléter*

### Attributs

**Attributs partagés (fixes)**

Les attributs dont la valeur est la même pour toutes les instances et fixe dans la simulation :

| **Paramètre** | **Commentaire** | **Unité** |
| --- | --- | --- |
| … | … | … |

**Variables partagées**

Les variables dont la valeur est la même pour toutes les instances et évolue au cours de la simulation :

| **Paramètre** | **Commentaire** | **Unité** |
| --- | --- | --- |
| … | … | … |

**Attributs individuels**

Les attributs dont la valeur est différente pour chaque instance et évolue au cours de la simulation :

| **Paramètre** | **Commentaire** | **Unité** |
| --- | --- | --- |
| … | … | … |

**Variables individuelles (fixes)**

Les attributs dont la valeur est différente pour chaque instance et fixe dans la simulation :

| **Paramètre** | **Commentaire** | **Unité** |
| --- | --- | --- |
| id | … | string |
| type | … | string |

### Questions ouvertes

*Liste des points à discuter.*

*Section vide : à compléter manuellement*

### Dynamiques

*Section vide : à compléter manuellement*

## Entité : IndividualActor

### Documentation

*Description à compléter*

### Attributs

**Attributs partagés (fixes)**

Les attributs dont la valeur est la même pour toutes les instances et fixe dans la simulation :

| **Paramètre** | **Commentaire** | **Unité** |
| --- | --- | --- |
| … | … | … |

**Variables partagées**

Les variables dont la valeur est la même pour toutes les instances et évolue au cours de la simulation :

| **Paramètre** | **Commentaire** | **Unité** |
| --- | --- | --- |
| … | … | … |

**Attributs individuels**

Les attributs dont la valeur est différente pour chaque instance et évolue au cours de la simulation :

| **Paramètre** | **Commentaire** | **Unité** |
| --- | --- | --- |
| … | … | … |

**Variables individuelles (fixes)**

Les attributs dont la valeur est différente pour chaque instance et fixe dans la simulation :

| **Paramètre** | **Commentaire** | **Unité** |
| --- | --- | --- |
| … | … | … |

### Questions ouvertes

*Liste des points à discuter.*

*Section vide : à compléter manuellement*

### Dynamiques

#### *Processus: manageResource*

##### Documentation :

*Description à compléter*

##### Attributs

Le processus dépend des variables suivantes :

| **Variables d’état** | **Entité** | **Définition** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| … | … | … | … |

Le processus agit sur les variables suivantes :

| **Variables d’état** | **Entité** | **Définition** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| … | … | … | … |

et dépend des paramètres suivants :

| **Paramètres** | **Entité** | **Définition** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| … | … | … | … |

##### Comportement

*Description détaillée du processus avec, éventuellement des sous-processus, des équations, des diagrammes d’état ou d’activité (UML), etc.*

###### Équation : *A compléter*

###### Diagramme : *A compléter*

##### Code

*Le code ou pseudo-code s’il existe pour ceux qui peuvent le comprendre.*

*A compléter*

## Entité : Resource

### Documentation

*Description à compléter*

### Attributs

**Attributs partagés (fixes)**

Les attributs dont la valeur est la même pour toutes les instances et fixe dans la simulation :

| **Paramètre** | **Commentaire** | **Unité** |
| --- | --- | --- |
| … | … | … |

**Variables partagées**

Les variables dont la valeur est la même pour toutes les instances et évolue au cours de la simulation :

| **Paramètre** | **Commentaire** | **Unité** |
| --- | --- | --- |
| … | … | … |

**Attributs individuels**

Les attributs dont la valeur est différente pour chaque instance et évolue au cours de la simulation :

| **Paramètre** | **Commentaire** | **Unité** |
| --- | --- | --- |
| … | … | … |

**Variables individuelles (fixes)**

Les attributs dont la valeur est différente pour chaque instance et fixe dans la simulation :

| **Paramètre** | **Commentaire** | **Unité** |
| --- | --- | --- |
| id | … | string |
| quantity | … | float |

### Questions ouvertes

*Liste des points à discuter.*

*Section vide : à compléter manuellement*

### Dynamiques

*Section vide : à compléter manuellement*

## Entité : FarmingActivity

### Documentation

*Description à compléter*

### Attributs

**Attributs partagés (fixes)**

Les attributs dont la valeur est la même pour toutes les instances et fixe dans la simulation :

| **Paramètre** | **Commentaire** | **Unité** |
| --- | --- | --- |
| … | … | … |

**Variables partagées**

Les variables dont la valeur est la même pour toutes les instances et évolue au cours de la simulation :

| **Paramètre** | **Commentaire** | **Unité** |
| --- | --- | --- |
| … | … | … |

**Attributs individuels**

Les attributs dont la valeur est différente pour chaque instance et évolue au cours de la simulation :

| **Paramètre** | **Commentaire** | **Unité** |
| --- | --- | --- |
| … | … | … |

**Variables individuelles (fixes)**

Les attributs dont la valeur est différente pour chaque instance et fixe dans la simulation :

| **Paramètre** | **Commentaire** | **Unité** |
| --- | --- | --- |
| startDate | … | date |
| endDate | … | date |

### Questions ouvertes

*Liste des points à discuter.*

*Section vide : à compléter manuellement*

### Dynamiques

*Section vide : à compléter manuellement*

## Entité : Livestock

### Documentation

*Description à compléter*

### Attributs

**Attributs partagés (fixes)**

Les attributs dont la valeur est la même pour toutes les instances et fixe dans la simulation :

| **Paramètre** | **Commentaire** | **Unité** |
| --- | --- | --- |
| … | … | … |

**Variables partagées**

Les variables dont la valeur est la même pour toutes les instances et évolue au cours de la simulation :

| **Paramètre** | **Commentaire** | **Unité** |
| --- | --- | --- |
| … | … | … |

**Attributs individuels**

Les attributs dont la valeur est différente pour chaque instance et évolue au cours de la simulation :

| **Paramètre** | **Commentaire** | **Unité** |
| --- | --- | --- |
| … | … | … |

**Variables individuelles (fixes)**

Les attributs dont la valeur est différente pour chaque instance et fixe dans la simulation :

| **Paramètre** | **Commentaire** | **Unité** |
| --- | --- | --- |
| herdSize | … | integer |

### Questions ouvertes

*Liste des points à discuter.*

*Section vide : à compléter manuellement*

### Dynamiques

#### *Processus: produceMeat*

##### Documentation :

*Description à compléter*

##### Attributs

Le processus dépend des variables suivantes :

| **Variables d’état** | **Entité** | **Définition** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| … | … | … | … |

Le processus agit sur les variables suivantes :

| **Variables d’état** | **Entité** | **Définition** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| … | … | … | … |

et dépend des paramètres suivants :

| **Paramètres** | **Entité** | **Définition** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| … | … | … | … |

##### Comportement

*Description détaillée du processus avec, éventuellement des sous-processus, des équations, des diagrammes d’état ou d’activité (UML), etc.*

###### Équation : *A compléter*

###### Diagramme : *A compléter*

##### Code

*Le code ou pseudo-code s’il existe pour ceux qui peuvent le comprendre.*

*A compléter*

#### *Processus: produceMilk*

##### Documentation :

*Description à compléter*

##### Attributs

Le processus dépend des variables suivantes :

| **Variables d’état** | **Entité** | **Définition** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| … | … | … | … |

Le processus agit sur les variables suivantes :

| **Variables d’état** | **Entité** | **Définition** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| … | … | … | … |

et dépend des paramètres suivants :

| **Paramètres** | **Entité** | **Définition** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| … | … | … | … |

##### Comportement

*Description détaillée du processus avec, éventuellement des sous-processus, des équations, des diagrammes d’état ou d’activité (UML), etc.*

###### Équation : *A compléter*

###### Diagramme : *A compléter*

##### Code

*Le code ou pseudo-code s’il existe pour ceux qui peuvent le comprendre.*

*A compléter*

## Entité : Plant

### Documentation

*Description à compléter*

### Attributs

**Attributs partagés (fixes)**

Les attributs dont la valeur est la même pour toutes les instances et fixe dans la simulation :

| **Paramètre** | **Commentaire** | **Unité** |
| --- | --- | --- |
| … | … | … |

**Variables partagées**

Les variables dont la valeur est la même pour toutes les instances et évolue au cours de la simulation :

| **Paramètre** | **Commentaire** | **Unité** |
| --- | --- | --- |
| … | … | … |

**Attributs individuels**

Les attributs dont la valeur est différente pour chaque instance et évolue au cours de la simulation :

| **Paramètre** | **Commentaire** | **Unité** |
| --- | --- | --- |
| … | … | … |

**Variables individuelles (fixes)**

Les attributs dont la valeur est différente pour chaque instance et fixe dans la simulation :

| **Paramètre** | **Commentaire** | **Unité** |
| --- | --- | --- |
| species | … | string |
| biomass | … | float |

### Questions ouvertes

*Liste des points à discuter.*

*Section vide : à compléter manuellement*

### Dynamiques

#### *Processus: absorbNutrients*

##### Documentation :

*Description à compléter*

##### Attributs

Le processus dépend des variables suivantes :

| **Variables d’état** | **Entité** | **Définition** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| … | … | … | … |

Le processus agit sur les variables suivantes :

| **Variables d’état** | **Entité** | **Définition** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| … | … | … | … |

et dépend des paramètres suivants :

| **Paramètres** | **Entité** | **Définition** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| … | … | … | … |

##### Comportement

*Description détaillée du processus avec, éventuellement des sous-processus, des équations, des diagrammes d’état ou d’activité (UML), etc.*

###### Équation : *A compléter*

###### Diagramme : *A compléter*

##### Code

*Le code ou pseudo-code s’il existe pour ceux qui peuvent le comprendre.*

*A compléter*

## Entité : Product

### Documentation

*Description à compléter*

### Attributs

**Attributs partagés (fixes)**

Les attributs dont la valeur est la même pour toutes les instances et fixe dans la simulation :

| **Paramètre** | **Commentaire** | **Unité** |
| --- | --- | --- |
| … | … | … |

**Variables partagées**

Les variables dont la valeur est la même pour toutes les instances et évolue au cours de la simulation :

| **Paramètre** | **Commentaire** | **Unité** |
| --- | --- | --- |
| … | … | … |

**Attributs individuels**

Les attributs dont la valeur est différente pour chaque instance et évolue au cours de la simulation :

| **Paramètre** | **Commentaire** | **Unité** |
| --- | --- | --- |
| … | … | … |

**Variables individuelles (fixes)**

Les attributs dont la valeur est différente pour chaque instance et fixe dans la simulation :

| **Paramètre** | **Commentaire** | **Unité** |
| --- | --- | --- |
| quality | … | float |

### Questions ouvertes

*Liste des points à discuter.*

*Section vide : à compléter manuellement*

### Dynamiques

*Section vide : à compléter manuellement*

## Entité : Meat

### Documentation

*Description à compléter*

### Attributs

**Attributs partagés (fixes)**

Les attributs dont la valeur est la même pour toutes les instances et fixe dans la simulation :

| **Paramètre** | **Commentaire** | **Unité** |
| --- | --- | --- |
| … | … | … |

**Variables partagées**

Les variables dont la valeur est la même pour toutes les instances et évolue au cours de la simulation :

| **Paramètre** | **Commentaire** | **Unité** |
| --- | --- | --- |
| … | … | … |

**Attributs individuels**

Les attributs dont la valeur est différente pour chaque instance et évolue au cours de la simulation :

| **Paramètre** | **Commentaire** | **Unité** |
| --- | --- | --- |
| … | … | … |

**Variables individuelles (fixes)**

Les attributs dont la valeur est différente pour chaque instance et fixe dans la simulation :

| **Paramètre** | **Commentaire** | **Unité** |
| --- | --- | --- |
| cutType | … | string |

### Questions ouvertes

*Liste des points à discuter.*

*Section vide : à compléter manuellement*

### Dynamiques

*Section vide : à compléter manuellement*

## Entité : Milk

### Documentation

*Description à compléter*

### Attributs

**Attributs partagés (fixes)**

Les attributs dont la valeur est la même pour toutes les instances et fixe dans la simulation :

| **Paramètre** | **Commentaire** | **Unité** |
| --- | --- | --- |
| … | … | … |

**Variables partagées**

Les variables dont la valeur est la même pour toutes les instances et évolue au cours de la simulation :

| **Paramètre** | **Commentaire** | **Unité** |
| --- | --- | --- |
| … | … | … |

**Attributs individuels**

Les attributs dont la valeur est différente pour chaque instance et évolue au cours de la simulation :

| **Paramètre** | **Commentaire** | **Unité** |
| --- | --- | --- |
| … | … | … |

**Variables individuelles (fixes)**

Les attributs dont la valeur est différente pour chaque instance et fixe dans la simulation :

| **Paramètre** | **Commentaire** | **Unité** |
| --- | --- | --- |
| fatContent | … | float |

### Questions ouvertes

*Liste des points à discuter.*

*Section vide : à compléter manuellement*

### Dynamiques

*Section vide : à compléter manuellement*

## Entité : WaterSource

### Documentation

*Description à compléter*

### Attributs

**Attributs partagés (fixes)**

Les attributs dont la valeur est la même pour toutes les instances et fixe dans la simulation :

| **Paramètre** | **Commentaire** | **Unité** |
| --- | --- | --- |
| … | … | … |

**Variables partagées**

Les variables dont la valeur est la même pour toutes les instances et évolue au cours de la simulation :

| **Paramètre** | **Commentaire** | **Unité** |
| --- | --- | --- |
| … | … | … |

**Attributs individuels**

Les attributs dont la valeur est différente pour chaque instance et évolue au cours de la simulation :

| **Paramètre** | **Commentaire** | **Unité** |
| --- | --- | --- |
| … | … | … |

**Variables individuelles (fixes)**

Les attributs dont la valeur est différente pour chaque instance et fixe dans la simulation :

| **Paramètre** | **Commentaire** | **Unité** |
| --- | --- | --- |
| capacity | … | float |

### Questions ouvertes

*Liste des points à discuter.*

*Section vide : à compléter manuellement*

### Dynamiques

*Section vide : à compléter manuellement*

## Entité : SurfaceWater

### Documentation

*Description à compléter*

### Attributs

**Attributs partagés (fixes)**

Les attributs dont la valeur est la même pour toutes les instances et fixe dans la simulation :

| **Paramètre** | **Commentaire** | **Unité** |
| --- | --- | --- |
| … | … | … |

**Variables partagées**

Les variables dont la valeur est la même pour toutes les instances et évolue au cours de la simulation :

| **Paramètre** | **Commentaire** | **Unité** |
| --- | --- | --- |
| … | … | … |

**Attributs individuels**

Les attributs dont la valeur est différente pour chaque instance et évolue au cours de la simulation :

| **Paramètre** | **Commentaire** | **Unité** |
| --- | --- | --- |
| … | … | … |

**Variables individuelles (fixes)**

Les attributs dont la valeur est différente pour chaque instance et fixe dans la simulation :

| **Paramètre** | **Commentaire** | **Unité** |
| --- | --- | --- |
| … | … | … |

### Questions ouvertes

*Liste des points à discuter.*

*Section vide : à compléter manuellement*

### Dynamiques

*Section vide : à compléter manuellement*

## Entité : Soil

### Documentation

*Description à compléter*

### Attributs

**Attributs partagés (fixes)**

Les attributs dont la valeur est la même pour toutes les instances et fixe dans la simulation :

| **Paramètre** | **Commentaire** | **Unité** |
| --- | --- | --- |
| … | … | … |

**Variables partagées**

Les variables dont la valeur est la même pour toutes les instances et évolue au cours de la simulation :

| **Paramètre** | **Commentaire** | **Unité** |
| --- | --- | --- |
| … | … | … |

**Attributs individuels**

Les attributs dont la valeur est différente pour chaque instance et évolue au cours de la simulation :

| **Paramètre** | **Commentaire** | **Unité** |
| --- | --- | --- |
| … | … | … |

**Variables individuelles (fixes)**

Les attributs dont la valeur est différente pour chaque instance et fixe dans la simulation :

| **Paramètre** | **Commentaire** | **Unité** |
| --- | --- | --- |
| fertility | … | float |
| compaction | … | float |

### Questions ouvertes

*Liste des points à discuter.*

*Section vide : à compléter manuellement*

### Dynamiques

*Section vide : à compléter manuellement*

## Entité : Consumption

### Documentation

*Description à compléter*

### Attributs

**Attributs partagés (fixes)**

Les attributs dont la valeur est la même pour toutes les instances et fixe dans la simulation :

| **Paramètre** | **Commentaire** | **Unité** |
| --- | --- | --- |
| … | … | … |

**Variables partagées**

Les variables dont la valeur est la même pour toutes les instances et évolue au cours de la simulation :

| **Paramètre** | **Commentaire** | **Unité** |
| --- | --- | --- |
| … | … | … |

**Attributs individuels**

Les attributs dont la valeur est différente pour chaque instance et évolue au cours de la simulation :

| **Paramètre** | **Commentaire** | **Unité** |
| --- | --- | --- |
| … | … | … |

**Variables individuelles (fixes)**

Les attributs dont la valeur est différente pour chaque instance et fixe dans la simulation :

| **Paramètre** | **Commentaire** | **Unité** |
| --- | --- | --- |
| date | … | date |
| quantity | … | float |

### Questions ouvertes

*Liste des points à discuter.*

*Section vide : à compléter manuellement*

### Dynamiques

*Section vide : à compléter manuellement*

## Entité : Growth

### Documentation

*Description à compléter*

### Attributs

**Attributs partagés (fixes)**

Les attributs dont la valeur est la même pour toutes les instances et fixe dans la simulation :

| **Paramètre** | **Commentaire** | **Unité** |
| --- | --- | --- |
| … | … | … |

**Variables partagées**

Les variables dont la valeur est la même pour toutes les instances et évolue au cours de la simulation :

| **Paramètre** | **Commentaire** | **Unité** |
| --- | --- | --- |
| … | … | … |

**Attributs individuels**

Les attributs dont la valeur est différente pour chaque instance et évolue au cours de la simulation :

| **Paramètre** | **Commentaire** | **Unité** |
| --- | --- | --- |
| … | … | … |

**Variables individuelles (fixes)**

Les attributs dont la valeur est différente pour chaque instance et fixe dans la simulation :

| **Paramètre** | **Commentaire** | **Unité** |
| --- | --- | --- |
| rate | … | float |

### Questions ouvertes

*Liste des points à discuter.*

*Section vide : à compléter manuellement*

### Dynamiques

*Section vide : à compléter manuellement*

# Indicateurs

## Pastoralisme

### Indicateur PA.01.01 : Charge animale instantanée (UBT/ha)

#### Description

Nombre d’unités de bétail (UBT) par hectare de pâturage disponible. Indicateur clé de pression sur les ressources fourragères.

#### Calcul

CA = (Nombre UBT) / (Surface pâturable)

#### Attributs

L’indicateur dépend des variables suivantes :

| **variables** | **Entité** | **Description** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| nombre\_ubt | Troupeau | Effectif converti en unité de bétail tropical | UBT |
| surface\_paturage | Espace | Surface accessible au pâturage | ha |

Et dépend des paramètres suivants

| **Paramètres** | **Entité** | **Description** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| facteur\_saison | Système | Coefficient saisonnier d’ajustement | coefficient |

### Indicateur PA.02.01 : Taux de rotation des pâturages (rotations/an)

#### Description

Fréquence de rotation des troupeaux entre parcelles. Critique pour la durabilité des parcours.

#### Calcul

TR = (Nombre rotations) / (Période analysée)

#### Attributs

L’indicateur dépend des variables suivantes :

| **variables** | **Entité** | **Description** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| nombre\_rotations | Troupeau | Nombre de déplacements entre parcelles | n |
| periode\_analyse | Système | Période d’observation | jours |

Et dépend des paramètres suivants

| **Paramètres** | **Entité** | **Description** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| duree\_min\_sejour | Parcelle | Durée minimale entre deux rotations | jours |

### Indicateur PA.03.01 : Taux de charge soutenable (UBT/ha/an)

#### Description

Capacité de charge maximale sans dégradation à long terme. Basé sur la productivité fourragère.

#### Calcul

TCS = (Production fourragère annuelle) / (Consommation UBT)

#### Attributs

L’indicateur dépend des variables suivantes :

| **variables** | **Entité** | **Description** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| production\_fourrage | Parcelle | Biomasse fourragère produite annuellement | kg MS/ha |
| consommation\_ubt | Troupeau | Besoin annuel moyen par UBT | kg MS/UBT |

Et dépend des paramètres suivants

| **Paramètres** | **Entité** | **Description** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| facteur\_resilience | Ecosystème | Coefficient de résilience des parcours | coefficient |

### Indicateur PA.04.01 : Dépendance aux aliments externes (%)

#### Description

Proportion des besoins alimentaires du bétail couverte par des achats externes. Indicateur de vulnérabilité économique.

#### Calcul

DAE = (Quantité aliments achetés) / (Besoins totaux) \* 100

#### Attributs

L’indicateur dépend des variables suivantes :

| **variables** | **Entité** | **Description** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| aliments\_achetes | Troupeau | Quantité d’aliments complémentaires acquis | kg MS |
| besoins\_totaux | Troupeau | Requête alimentaire annuelle du troupeau | kg MS |

Et dépend des paramètres suivants

| **Paramètres** | **Entité** | **Description** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| prix\_moyen\_aliment | Marché | Coût moyen des aliments achetés | €/kg MS |

### Indicateur PA.05.01 : Productivité laitière spécifique (L/femelle/an)

#### Description

Production laitière rapportée au nombre de femelles en lactation. Indicateur clé de performance zootechnique.

#### Calcul

PLS = (Production laitière annuelle) / (Nombre femelles)

#### Attributs

L’indicateur dépend des variables suivantes :

| **variables** | **Entité** | **Description** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| production\_laitiere | Troupeau | Volume total de lait produit sur l’année | L |
| nombre\_femelles | Troupeau | Effectif moyen des femelles en lactation | têtes |

Et dépend des paramètres suivants

| **Paramètres** | **Entité** | **Description** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| duree\_lactation | Troupeau | Période standard de lactation | jours |

### Indicateur PA.06.01 : Indice de mobilité pastorale (km/jour)

#### Description

Distance annuelle moyenne parcourue par le troupeau. Clé pour l’accès aux ressources.

#### Calcul

IMP = (Distance totale) / (Nombre jours)

#### Attributs

L’indicateur dépend des variables suivantes :

| **variables** | **Entité** | **Description** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| distance\_parcourue | Troupeau | Distance totale annuelle de transhumance | km |
| jours\_paturage | Troupeau | Nombre de jours de pâturage effectifs | jours |

Et dépend des paramètres suivants

| **Paramètres** | **Entité** | **Description** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| facteur\_saison | Climat | Coefficient d’ajustement saisonnier | sans dimension |

### Indicateur PA.07.01 : Taux de renouvellement du troupeau (%/an)

#### Description

Proportion d’animaux remplacés annuellement. Indicateur de gestion démographique.

#### Calcul

TRT = (Nombre sorties) / (Effectif moyen) \* 100

#### Attributs

L’indicateur dépend des variables suivantes :

| **variables** | **Entité** | **Description** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| nombre\_sorties | Troupeau | Animaux vendus ou décédés | têtes |
| effectif\_moyen | Troupeau | Effectif moyen annuel du troupeau | têtes |

Et dépend des paramètres suivants

| **Paramètres** | **Entité** | **Description** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| taux\_optimal | Troupeau | Valeur cible pour une gestion durable | % |

### Indicateur PA.08.01 : Pression pastorale équivalente (UBT/ha/indice)

#### Description

Charge animale ajustée par la productivité des parcours. Permet des comparaisons intersites.

#### Calcul

PPE = (UBT) / (Indice productivité)

#### Attributs

L’indicateur dépend des variables suivantes :

| **variables** | **Entité** | **Description** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| unite\_betail\_total | Troupeau | Nombre d’unités de bétail tropical | UBT |
| indice\_productivite | Parcours | Productivité fourragère du parcours | kg MS/ha |

Et dépend des paramètres suivants

| **Paramètres** | **Entité** | **Description** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| capacite\_charge | Parcours | Charge animale soutenable à long terme | UBT/ha |

## Agroécologie

### Indicateur AE.01.01 : Indice de diversité culturale (n.d.)

#### Description

Mesure la diversité des cultures selon l’indice de Shannon. Corrélé à la résilience du système.

#### Calcul

IDC = -Σ(p\_i \* ln(p\_i))

#### Attributs

L’indicateur dépend des variables suivantes :

| **variables** | **Entité** | **Description** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| p\_i | Parcelle | Proportion de la culture i dans la rotation | [0-1] |

Et dépend des paramètres suivants

| **Paramètres** | **Entité** | **Description** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| seuil\_diversite | Système | Valeur cible pour une diversité optimale | indice |

### Indicateur AE.02.01 : Taux de couverture végétale (%)

#### Description

Pourcentage de sol couvert par la végétation vivante ou morte. Réduit l’érosion et améliore l’infiltration.

#### Calcul

TCV = (Surface couverte) / (Surface totale) \* 100

#### Attributs

L’indicateur dépend des variables suivantes :

| **variables** | **Entité** | **Description** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| surface\_couverte | Parcelle | Surface sous couvert végétal | ha |
| surface\_totale | Parcelle | Surface totale de l’unité d’observation | ha |

Et dépend des paramètres suivants

| **Paramètres** | **Entité** | **Description** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| seuil\_optimal | Système | Couverture végétale cible | % |

### Indicateur AE.03.01 : Indice de connectivité biologique (ha.pts)

#### Description

Mesure la connectivité des habitats naturels dans la matrice agricole. Essentiel pour la biodiversité fonctionnelle.

#### Calcul

ICB = Σ(Superficie corridor\_i \* Pondération\_i)

#### Attributs

L’indicateur dépend des variables suivantes :

| **variables** | **Entité** | **Description** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| superficie\_corridor | Paysage | Superficie du corridor écologique | ha |
| ponderation\_ecologique | Paysage | Valeur de connectivité spécifique à l’habitat | points |

Et dépend des paramètres suivants

| **Paramètres** | **Entité** | **Description** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| seuil\_connectivite | Paysage | Seuil minimum pour une connectivité fonctionnelle | sans dimension |

### Indicateur AE.04.01 : Taux de matière organique du sol (%)

#### Description

Concentration en matière organique dans les 20 premiers cm de sol. Proxy de la santé des sols.

#### Calcul

MOS = (Poids MO) / (Poids sol sec) \* 100

#### Attributs

L’indicateur dépend des variables suivantes :

| **variables** | **Entité** | **Description** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| poids\_matiere\_organique | Sol | Poids sec de la matière organique | g |
| poids\_sol\_sec | Sol | Poids total du sol séché à l’étuve | g |

Et dépend des paramètres suivants

| **Paramètres** | **Entité** | **Description** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| profondeur\_prelevement | Sol | Profondeur standard d’échantillonnage | cm |

### Indicateur AE.05.01 : Efficience d’utilisation de l’eau (kg/m³)

#### Description

Biomasse produite par unité d’eau consommée. Critique en zones arides.

#### Calcul

WUE = (Production biomasse) / (ETR)

#### Attributs

L’indicateur dépend des variables suivantes :

| **variables** | **Entité** | **Description** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| production\_biomasse | Culture | Biomasse aérienne sèche produite | kg/ha |
| evapotranspiration | Climat | Evapotranspiration réelle de la culture | mm |

Et dépend des paramètres suivants

| **Paramètres** | **Entité** | **Description** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| coefficient\_culture | Culture | Coefficient spécifique à l’espèce cultivée | sans dimension |

### Indicateur AE.06.01 : Indice d’autonomie en intrants (%)

#### Description

Part des intrants produits sur l’exploitation. Mesure la circularité du système.

#### Calcul

IAI = (Intrants internes) / (Intrants totaux) \* 100

#### Attributs

L’indicateur dépend des variables suivantes :

| **variables** | **Entité** | **Description** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| intrants\_internes | Système | Intrants produits sur l’exploitation | kg |
| intrants\_totaux | Système | Consommation totale d’intrants | kg |

Et dépend des paramètres suivants

| **Paramètres** | **Entité** | **Description** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| seuil\_autonomie | Système | Niveau minimal pour une exploitation durable | % |

### Indicateur AE.07.01 : Indice de spécialisation parcellaire (fonctions/parcelle)

#### Description

Nombre moyen de fonctions par parcelle (production, biodiversité…). Inverse de la spécialisation.

#### Calcul

ISP = Σ(Fonctions\_i) / (Nombre parcelles)

#### Attributs

L’indicateur dépend des variables suivantes :

| **variables** | **Entité** | **Description** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| nombre\_fonctions | Parcelle | Fonctions identifiées par parcelle | nombre |
| nombre\_parcelles | Système | Parcelles totales dans l’exploitation | nombre |

Et dépend des paramètres suivants

| **Paramètres** | **Entité** | **Description** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| poids\_fonction | Système | Coefficient d’importance relative des fonctions | sans dimension |

### Indicateur AE.07.02 : Diversité culturale (espèces/parcelle)

#### Description

Nombre moyen d’espèces cultivées par parcelle

#### Calcul

Σ(espèces\_i) / (surface\_observée)

#### Attributs

L’indicateur dépend des variables suivantes :

| **variables** | **Entité** | **Description** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| especes\_cultivees | Parcelle | Nombre d’espèces distinctes cultivées | nombre |

Et dépend des paramètres suivants

| **Paramètres** | **Entité** | **Description** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| surface\_observée | Espace | Surface échantillonnée | ha |

### Indicateur AE.07.03 : Diversité culturale (espèces/parcelle)

#### Description

Nombre moyen d’espèces cultivées par parcelle

#### Calcul

Σ(espèces\_i) / (nombre\_parcelles)

#### Attributs

L’indicateur dépend des variables suivantes :

| **variables** | **Entité** | **Description** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| especes\_cultivees | Parcelle | Nombre d’espèces identifiées | nombre |

Et dépend des paramètres suivants

| **Paramètres** | **Entité** | **Description** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| poids\_espece | Système | Coefficient de valeur écologique | sans dimension |

## Environnemental

### Indicateur CA.01.01 : Tendance d’évolution de la pluviométrie (% de variation annuelle)

#### Description

Analyse l’évolution de la pluviométrie dans le territoire. Indicateur de caractérisation de la vulnérabilité climatique. Valeurs négatives = baisse, positives = hausse.

#### Calcul

CA.01.01 = a \* CA.01.01 + (pluviométrie - pluviométrie-1)

#### Attributs

L’indicateur dépend des variables suivantes :

| **variables** | **Entité** | **Description** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| pluviométrie | Climat | La quantité de pluie annuelle cette année | mm/an |
| pluviométrie-1 | Climat | La quantité de pluie annuelle l’année précédente (n-1) | mm/an |

Et dépend des paramètres suivants

| **Paramètres** | **Entité** | **Description** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| a | Climat | Facteur d’amortissement du passé | sans |

## Démographique

### Indicateur CA.02.01 : Taux de croissance annuelle de la population (%)

#### Description

Croissance démographique dans les terroirs sur 30 ans. Indicateur de pression anthropique (2,6% aux derniers calculs).

#### Calcul

Donnée directe (pas de calcul)

#### Attributs

L’indicateur dépend des variables suivantes :

| **variables** | **Entité** | **Description** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| … | … | … | … |

Et dépend des paramètres suivants

| **Paramètres** | **Entité** | **Description** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| taux-croissance | ActeurIndividuel | Taux de croissance démographique du foyer | % |

## Économique

### Indicateur EC.01.01 : Rentabilité moyenne des exploitations (€/ha/an)

#### Description

Marge brute moyenne par hectare cultivé

#### Calcul

(revenu\_total - couts\_production) / surface\_totale

#### Attributs

L’indicateur dépend des variables suivantes :

| **variables** | **Entité** | **Description** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| revenu\_total | Exploitation | Chiffre d’affaires annuel | €/an |
| couts\_production | Exploitation | Coûts opérationnels annuels | €/an |

Et dépend des paramètres suivants

| **Paramètres** | **Entité** | **Description** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| surface\_totale | Espace | Surface cultivée totale | ha |

## Social

### Indicateur SO.01.01 : Taux d’emploi local (%)

#### Description

Part de la main d’œuvre issue du territoire

#### Calcul

emplois\_locaux / emplois\_totaux \* 100

#### Attributs

L’indicateur dépend des variables suivantes :

| **variables** | **Entité** | **Description** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| emplois\_locaux | ActeurIndividuel | Nombre de travailleurs résidant dans le territoire | personnes |
| emplois\_totaux | ActeurIndividuel | Nombre total de travailleurs | personnes |

Et dépend des paramètres suivants

| **Paramètres** | **Entité** | **Description** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| … | … | … | … |

## Climat

### Indicateur CL.03.01 : Bilan carbone (tCO2eq/ha/an)

#### Description

Émissions nettes de GES par hectare

#### Calcul

(émissions - séquestration) / surface

#### Attributs

L’indicateur dépend des variables suivantes :

| **variables** | **Entité** | **Description** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| émissions | Exploitation | Émissions totales de GES | tCO2eq/an |
| séquestration | Sol | Carbone séquestré dans les sols | tCO2eq/an |

Et dépend des paramètres suivants

| **Paramètres** | **Entité** | **Description** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| surface | Espace | Surface agricole utile | ha |

### Indicateur CL.03.02 : Indice de résilience climatique (%)

#### Description

Capacité à maintenir la production sous stress climatique

#### Calcul

(production\_reelle / production\_potentielle) \* 100

#### Attributs

L’indicateur dépend des variables suivantes :

| **variables** | **Entité** | **Description** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| production\_reelle | Exploitation | Production effective en année stressante | t/ha |
| production\_potentielle | Exploitation | Production théorique optimale | t/ha |

Et dépend des paramètres suivants

| **Paramètres** | **Entité** | **Description** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| … | … | … | … |

## Biodiversité

### Indicateur BD.04.01 : Indice de biodiversité fonctionnelle (points)

#### Description

Abondance relative d’espèces indicatrices

#### Calcul

Σ(abondance\_espèce\_i \* poids\_écologique\_i)

#### Attributs

L’indicateur dépend des variables suivantes :

| **variables** | **Entité** | **Description** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| abondance\_especes | Écosystème | Nombre d’individus par espèce | individus/ha |

Et dépend des paramètres suivants

| **Paramètres** | **Entité** | **Description** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| poids\_ecologique | Système | Valeur écologique de l’espèce | coefficient |

### Indicateur BD.04.02 : Indice de biodiversité (espèces/ha)

#### Description

Richesse spécifique normalisée

#### Calcul

nombre\_espèces / surface\_reference

#### Attributs

L’indicateur dépend des variables suivantes :

| **variables** | **Entité** | **Description** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| nombre\_espèces | Espace | Espèces identifiées | nombre |

Et dépend des paramètres suivants

| **Paramètres** | **Entité** | **Description** | **Unité** |
| --- | --- | --- | --- |
| surface\_reference | Système | Surface de référence | ha |

# Initialisation

## Initialisation

### Portée Temporelle

*Configuration temporelle à compléter.*

### Configuration Spatiale

*Configuration spatiale à compléter.*

## Données d’Entrée

### Documentation

Description des différentes sources de données utilisées pour l’initialisation du modèle.

Cette section recense l’ensemble des données d’entrée nécessaires au fonctionnement du modèle, incluant les données spatiales, tabulaires et autres sources de données.

### Données Spatiales

| **Type** | **Format** | **Chemin** | **Description** | **Résolution** | **Qualité** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| raster | GeoTIFF | data/land\_use.tif | CORINE Land Cover 2020 | 100m | low |
| vector | GeoJSON | data/parcels.geojson | Agricultural parcel boundaries | None | high |

### Données Tabulaires

| **Type** | **Format** | **Chemin** | **Description** | **Taille** | **Taux Réponse** | **Validation** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| csv | csv | data/household\_survey.csv | Socio-economic survey 2020 | 1500 | 78%% | cross\_validation |

## Entités

### Documentation

Description des entités, agents et objets du modèle.

Cette section spécifie comment chaque entité est initialisée et quelles données sont utilisées pour leur création.

### Liste des Entités

| **Nom** | **Type** | **Effectif** | **Méthode d’Initialisation** |
| --- | --- | --- | --- |
| **HouseholdAgent** | agent | 1500 | data\_driven |
| **ParcelEntity** | environment | N/A | gis\_import |

### Détails par Entité

#### Entité : HouseholdAgent

**Type** : agent

**Effectif** : 1500

**Méthode d’initialisation** : data\_driven

**Source de données** : data/household\_survey.csv

**Stratégie d’échantillonnage** : stratified\_random

**Variables de stratification** : income\_class, location

#### Entité : ParcelEntity

**Type** : environment

**Méthode d’initialisation** : gis\_import

**Source de données** : data/parcels.geojson

**Mapping d’attributs :** - size\_ha ← area (conversion: square\_meters\_to\_hectares)

## Paramètres

### Documentation

Cette section présente l’ensemble des paramètres du modèle, divisés en deux catégories :

* **Paramètres fixes (Z)** : Valeurs constantes pour toutes les simulations
* **Paramètres variables (X)** : Valeurs à explorer dans les scénarios

### Paramètres Fixes (Z)

Paramètres dont la valeur est constante pour toutes les simulations :

| **Paramètre** | **Entité** | **Définition** | **Unité** | **Valeur** | **Incertitude** | **Sensibilité** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| discount\_rate | HouseholdAgent | Temporal discount rate for decision-making | dimensionless | **0.03** | Dist: normal, σ: 0.005 | high |
| soil\_mineralization\_rate | ParcelEntity | Rate of organic matter mineralization | kgN/kgOM/day | **0.15** | Non quantifié | None |

### Paramètres Variables (X)

Paramètres à explorer dans les scénarios :

| **Paramètre** | **Entité** | **Définition** | **Unité** | **Valeurs** | **Impact** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| climate\_change\_scenario | Global | IPCC climate scenarios | … | **RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5** | high |
| policy\_intervention | Global | Policy intervention scenarios | … | **baseline, subsidy, tax, regulation** | None |

## Variables d’État Initiales

### Documentation

Les variables d’état représentent l’état initial du système au début de la simulation.

**Variables fixes** : Valeurs initiales constantes pour toutes les simulations  
**Variables variables** : Plages de valeurs à explorer dans les scénarios

### Variables d’État Fixes

Valeurs initiales constantes pour toutes les simulations :

| **Variable** | **Entité** | **Valeur** | **Unité** | **Distribution** | **Paramètres** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| initial\_wealth | HouseholdAgent | **50000** | EUR | lognormal | mean=10.82, sigma=0.8 |

### Variables d’État Variables

Plages de valeurs initiales à explorer dans les scénarios :

| **Variable** | **Entité** | **Valeurs** | **Unité** | **Distribution** | **Probabilités** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| land\_use\_type | ParcelEntity | forest, agriculture, …, wetland | … | categorical | 0.30, 0.40, …, 0.10 |

## Scénarios

### Documentation

Description des scénarios que l’on veut explorer avec justifications et références éventuelles.

Un scénario est défini par l’attribution de valeurs à un sous-ensemble X des paramètres et variables énumérées dans la section Initialisation.

### Détails par Scénario

#### Scénario : sustainability\_transition

**Description** : Pathway towards sustainable agroecology

**Base** : IPCC RCP2.6 + EU Green Deal

**Statut de validation** : plausible

**Paramètres :** - climate\_change\_scenario = RCP2.6 - policy\_intervention = regulation

**Variables d’état initiales :** - initial\_investment = 20000

#### Scénario : business\_as\_usual

**Description** : Current trends continuation

**Base** : None

**Statut de validation** : calibrated

**Paramètres :** - climate\_change\_scenario = RCP4.5 - policy\_intervention = baseline

**Variables d’état initiales :** - initial\_investment = 10000

## Règles d’Initialisation

### Documentation

Description des règles et méthodes utilisées pour initialiser les entités du modèle.

Les règles d’initialisation définissent comment les valeurs initiales sont attribuées aux différentes entités et variables du modèle, incluant les distributions statistiques, les méthodes de calcul et les hypothèses sous-jacentes.

### Liste des Règles d’Initialisation

| **Entité** | **Règle** | **Implémentation** | **Hypothèses** |
| --- | --- | --- | --- |
| **HouseholdAgent** | wealth ~ lognormal(10.82, 0.8) | numpy.random.lognormal(10.82, 0.8, n\_agents) | Wealth distribution follows national statistics |
| **ParcelEntity** | land\_use = categorical([0.3, 0.4, 0.2, 0.1]) | random.choice(['forest', 'agriculture', 'urban', 'wetland'], p=[0.3, 0.4, 0.2, 0.1]) | None |

### Détails par Règle

#### Règle 1 : HouseholdAgent

**Règle mathématique** :

wealth ~ lognormal(10.82, 0.8)

**Implémentation code** :

numpy.random.lognormal(10.82, 0.8, n\_agents)

**Hypothèses et justifications** : Wealth distribution follows national statistics

#### Règle 2 : ParcelEntity

**Règle mathématique** :

land\_use = categorical([0.3, 0.4, 0.2, 0.1])

**Implémentation code** :

random.choice(['forest', 'agriculture', 'urban', 'wetland'], p=[0.3, 0.4, 0.2, 0.1])

**Hypothèses** : *Aucune hypothèse spécifiée*

# Mode d’emploi

## Lancement de la simulation

### Configuration requise

|  |  |
| --- | --- |
| **Système d’exploitation** | Windows 10/11, Linux Ubuntu 20.04+, macOS 12+ |
| **Mémoire RAM** | 16GB recommandés (8GB minimum) |
| **Espace disque** | 2GB libre (données spatiales incluses) |
| **Dépendances** | GAMA Platform 1.9.1+, Java 17+, GDAL 3.4+ (pour données géospatiales), Python 3.10+ (pour analyse post-simulation) |

### Fichiers nécessaires

| **Fichier** | **Description** | **Format** | **Exemple** |
| --- | --- | --- | --- |
| main\_model.gaml | Modèle principal GAMA contenant les espèces et expériences | GAML | models/pastoral\_abm/main\_model.gaml |
| config\_parameters.xml | Fichier de paramétrage de la simulation | XML | N/A |
| land\_cover.tiff | Carte d’occupation du sol (classification FAO LCCS) | GeoTIFF | N/A |
| herd\_data.csv | Données initiales des troupeaux par ménage | CSV UTF-8 | N/A |

### Procédure de lancement

**Étape 1** : Lancement en mode headless (sans interface)

gama-headless.exe main\_model.gaml config\_parameters.xml

**Options disponibles** : - –experiment main\_experiment : exécute l’expérience principale - –output results/ : spécifie le dossier de sortie - –params param1=value1 param2=value2 : paramètres en ligne de commande

**Étape 2** : Lancement avec interface graphique GAMA

gama.exe main\_model.gaml

**Prérequis** : Environnement graphique disponible

**Étape 3** : Lancement batch de multiples scénarios

python run\_batch.py --scenarios all --replicates 10

**Prérequis** : Script Python d’orchestration installé

## Les entrées

### Interface utilisateur

|  |  |
| --- | --- |
| **Type** | GAMA Modeling Environment |
| **URL** | https://gama-platform.org |
| **Fonctionnalités** | Exploration visuelle des scénarios climatiques (X), Modification interactive des paramètres (Z) : taux de reproduction, règles de mobilité, Visualisation temps réel de la dynamique pastorale, Inspection des agents (troupeaux, ménages, ressources) |

### Fichiers d’entrée

| **Type** | **Description** | **Format** | **Détails** |
| --- | --- | --- | --- |
| parametres\_globaux | Paramètres globaux du modèle socio-écologique | XML | Champs obligatoires: simulation\_duration: 3650 (10 ans), time\_step: 1 (jour), climate\_scenario: RCP4.5 |
| donnees\_spatiales | *Information à compléter* | GeoTIFF/Shapefile | Système: WGS84/UTM |
| donnees\_socio\_economiques | Données des ménages et troupeaux | CSV/JSON | Aucun |
| donnees\_climatiques | Données climatiques historiques et projections | NetCDF | Aucun |

## Les sorties

### Visualisation

| **Type** | **Description** | **Format** | **Outils** |
| --- | --- | --- | --- |
| cartes\_dynamiques | Cartographie dynamique de la mobilité pastorale et état des ressources | HTML interactif | GAMA GIS + Leaflet.js |
| courbes\_evolution | Graphiques temporels des indicateurs clés | SVG/PDF interactif | GAMA Charts + Plotly |
| reseaux\_sociaux | Visualisation des réseaux d’entraide et partage de ressources | GEXF/JSON | Gephy/Cytoscape |

### Fichiers de sortie

| **Type** | **Description** | **Format** | **Contenu** |
| --- | --- | --- | --- |
| resultats\_bruts | Données brutes pour analyse statistique | CSV | Colonnes: step: Pas de temps, household\_id: Identifiant ménage, location\_x, location\_y: Coordonnées UTM, livestock\_count: Effectif bétail (TLU), income: Revenu journalier, biomass\_available: Biomasse disponible locale |
| metrics\_agregees | Indicateurs agrégés par scénario | JSON | Données structurées |
| rapport\_synthese | Rapport automatique avec graphiques et analyses | PDF/HTML | Sections: résumé\_exécutif, performance\_écologique, résilience\_sociale, recommandations\_gestions |

### Post-traitement

**Outils recommandés** : - R Studio (analyse statistique) - Jupyter Notebook (analyse exploratoire) - QGIS (analyse spatiale) - Gephi (analyse de réseaux)

**Scripts d’exemple** : scripts/analysis/