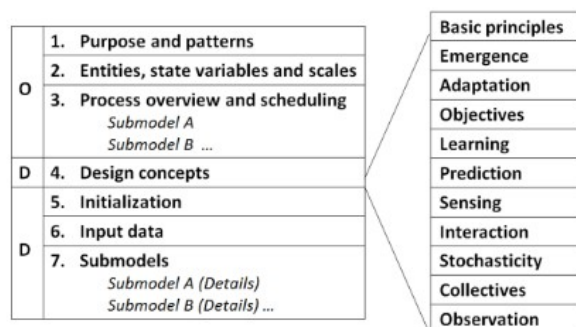


# Article Compa SMA – Modèle conceptuel

The model description follows the ODD (Overview, Design concepts, Details) protocol for describing individual- and agent-based models (Grimm et al., 2006), as updated by Grimm et al. (2020).



## Table of Contents

1 Purpose and patterns :	2
2 Entities, state variables and scales :	2
i. Spatial agents.....	2
a) Landscape and cells.....	2
b) Parcels.....	2
c) Soil nitrogen stock and soil carbon stock.....	3
ii. Household, forage heap and ORP pile.....	3
iii. Herd.....	3
a) Mobile herd.....	3
b) Animal fattening workshop.....	3
iv. Environment.....	3
v. UML class diagram.....	4
vi. Model scales.....	5
a) Spatial scale.....	5
b) Temporal scale.....	5
3 Process overview and scheduling.....	5
i. Processes.....	5
ii. Scheduling.....	8
4 Design concepts.....	8
5 Initialisation.....	8
6 Input data.....	8
7 Submodels.....	8
i. Mobile herds processes.....	9
a) Free grazing and night corralling.....	9
b) Transhumance.....	10
c) Dry season carbon footprint computation.....	10
ii. Animal fattening processes.....	10
a) Feeding.....	10
b) Renewal.....	11
iii. Animal digestion, metabolism and excretion :	11
iv. ORP dynamics.....	12
v. Cells processes.....	12

a) Nitrogen and carbon fluxes and stock variations recording.....	12
b) Vegetation growth and harvest.....	12
Mineral fertilization.....	12
Semis.....	12
Biomass production.....	13
Available nitrogen computation.....	14
Consumable biomass computation.....	14
Fresh weeds biomass.....	15
vi. Environment processes.....	15
a) Year pluviometry update.....	15
b) Vegetation C/N update.....	15
vii. Output indicators computation.....	15
8 References.....	17

## 1 Purpose and patterns :

L'objectif de recherche est d'établir les effets des pratiques d'intégration agriculture-élevage (IAE) et du niveau d'intensification de systèmes agrosylvopastoraux sahéliens (SASPS) sur leur stockage, séquestration et empreinte carbone (SSEC). Il est conçu pour simuler les cycles biochimiques (N et C) de SAPS à l'échelle territoriale et évaluer leur SSEC, leur IAE et leur intégration, sur la base de calculs d'indicateurs ad-hoc. Ces calculs sont réalisés sur les flux biochimiques entre les composants des écosystèmes et entre ceux-ci et l'extérieur. Le modèle est établi avec comme objectif de comparer différents SASPS similaires, bien que différents par leurs pratiques d'intégration et leur intensification, afin d'apporter des réponses à la question de recherche principale.

### *Quels patterns ?*

Patterns : Métriques quantitatives qu'on s'attend à reproduire pour évaluer le fait que le modèle remplit bien son rôle. (used as criteria for evaluating the model's suitability for its purpose.)

- Le profil des flux de GES, tel que mesurés par Olivier ?
- Une répartition spatiale du carbone comparable aux données d'Oscar Malou ?
- ?

## 2 Entities, state variables and scales :

### i. Spatial agents

#### a) *Landscape and cells*

Le territoire est découpé en unités spatiales ponctuelles désignées par le terme cellule. On distingue les unités paysagères de type *rangeland*, sur laquelle pousse et subsiste de la végétation spontanée, *cropland*, où sont cultivé mil et arachide et *housing*, où se mène l'activité d'embouche et où sont stockés les produits résiduels organiques (*ORP stock*). Le déplacement des troupeaux mobiles se fait dans les espaces de *rangeland* et *cropland* uniquement. Chaque cellule possède un nombre d'arbres fixateur d'azote atmosphérique (*faidherbia albida*) qui dépend de son type.

#### b) *Parcels*

L'espace de *cropland* est découpé en parcelles, de tailles variables, selon le parcellaire réel. La parcelle est l'unité de gestion de l'espace pour les foyers. Chaque parcelle est associée à un foyer et un foyer peut posséder plusieurs parcelles. Chaque parcelle peut être de type *bush field* ou *home field*. Pour chaque foyer, la parcelle située la plus proche du village est de type *home field* et sera réceptrice des dépôts de PRO du foyer. Certaines sont identifiées comme *paddocks* ; parcelles où les

animaux des troupeaux mobiles passent la nuit (mis au piquet ou contenus par des fers barbelés dans la réalité).

L'espace de *housing* est divisé en concessions, attribuées à un *household*. L'espace de *rangeland* ne correspond à aucune opération anthropique dans le modèle et n'est donc pas découpé en parcelles.

### **c) Soil nitrogen stock and soil carbon stock**

Two agents, responsible for handling soil nitrogen and carbon processes, are associated with each cell. The *Soil nitrogen stock* agent computes the vegetal biomass production each rainy season. To that end, it first computes the soil nitrogen made available by diverse sources, exportable by growing plants (submodel X). The *Soil carbon stock* agent holds the process that updates the soil organic carbon content (submodel X).

## **ii. Household, forage heap and ORP pile**

Le foyer correspond à l'unité de prise de décision pour un troupeau et un ensemble de parcelles. Chaque foyer lie un troupeau, un atelier d'embouche éventuel, une ou plusieurs parcelles cultivées, dont un *paddock* pour le troupeau, un stock de fourrage pour les animaux et un stock de PRO, épandu dans les parcelles cultivées. Les foyers produisent des déchets alimentaires et autre, incorporés au stock de PRO (submodel X). Le contenu de la pile est épandu à intervalle régulier.

## **iii. Herd**

L'agent troupeau désigne les groupes d'animaux dans le territoire. Il se décline sous la forme de deux *child species* : les troupeaux en mouvement dans le territoire durant la saison sèche et parti en transhumance à la saison des pluies et les ateliers d'embouche, regroupant quelques animaux par foyer (parfois aucun) et par période de trois mois pendant la saison sèche. Les animaux des deux sous-groupes peuvent être achetés ou vendus. C'est à ce niveau agrégé que sont calculés les quantités d'excréments et d'émissions de gaz à effet de serre issus de la digestion et du métabolisme.

### **a) Mobile herd**

Les troupeaux mobiles évoluent lors de la saison sèche selon le couple de pratiques free-grazing and night corraling (submodel X). Ils se déplacent et prélèvent de la biomasse végétale durant la journée, selon les règles de comportement détaillées dans la section X. Ils passent chaque nuit dans la parcelle désignée comme leur *paddock*, dans une cellule, le *sleeping spot*, variable au cours de la saison. Ces troupeaux sortent de la simulation à l'approche de la saison des pluies, du fait de l'étiage fourrager, pour partir en transhumance.

### **b) Animal fattening workshop**

Les foyers sont associés à un atelier d'embouche. Celui-ci peut être vide pour les foyers ne pratiquant pas l'embouche. Les animaux sont présents durant la saison sèche et renouvelés régulièrement, comme décrit dans le submodel X. Les animaux en embouche nécessitent des fourrages, qui peuvent être achetés ou provenir du stock du foyer, et produisent des émissions.

## **iv. Environment**

The Environment agent holds several global variables, accessible to the relevant agents of the model :

- Each year's pluviometry, for yield computation ;
- Mean and standard deviation of the grazable biomass content of each cell, needed in the behavioural submodel ;
- Global carbon to nitrogen ratio of vegetation and forages (*A confirmer*).

Carbon and nitrogen fluxes and SOC content variations during the simulation are used to compute integration, IAE and SSEC indicators. Ad hoc matrixes store the aggregated values (section X).

## v. UML class diagram

The model structure and relationships between agents can be visualised figure X.

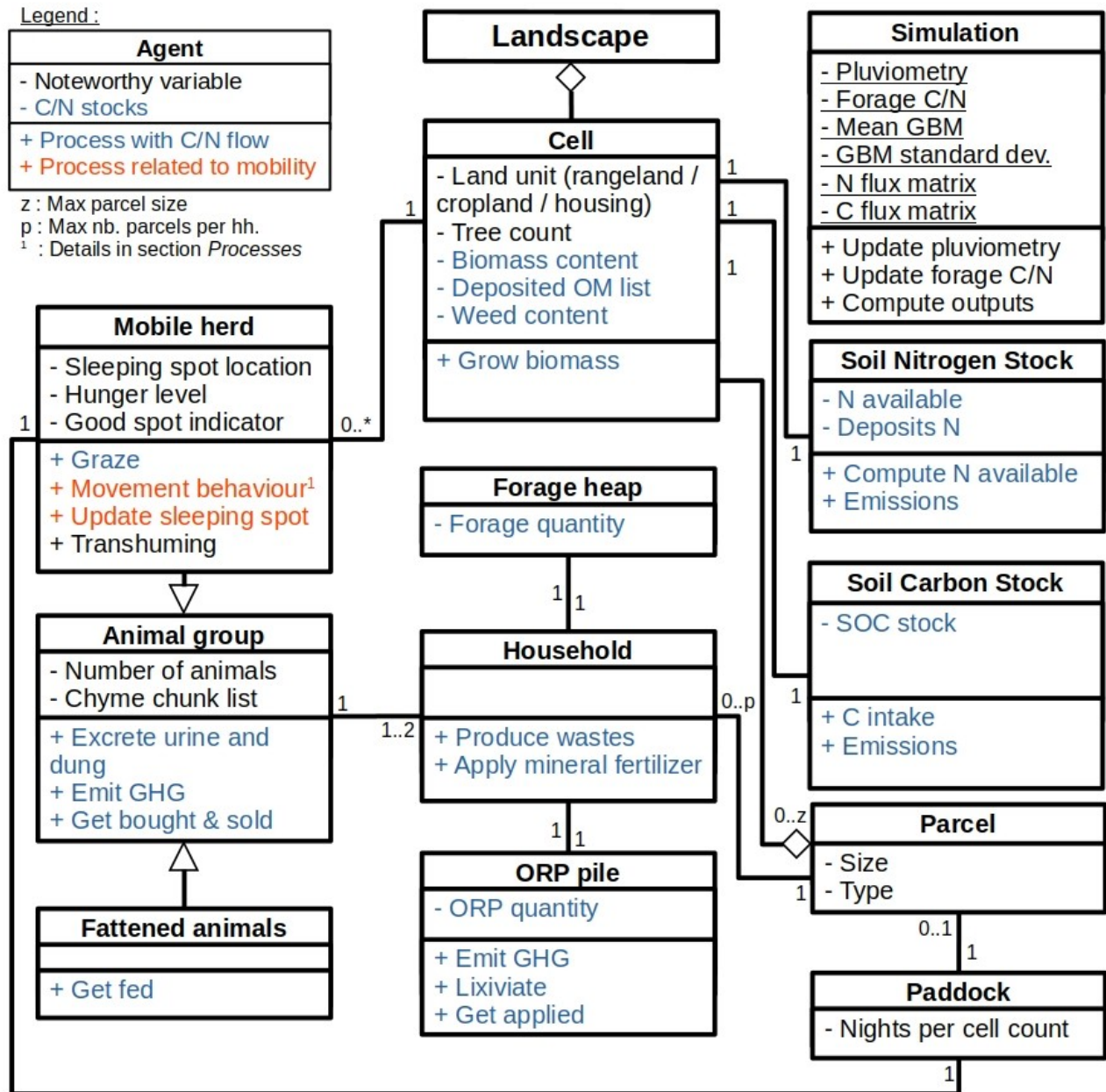


Figure X : Global class diagram of the model. GBM : grazable biomass content ; C : carbon ; N : nitrogen ; OM : organic matter ; SOC : soil organic carbon ; GHG : greenhouse gas

## vi. Model scales

### a) **Spatial scale**

Le paysage parcouru par les troupeaux mobiles est un espace continu ; un troupeau peut se trouver dans n'importe quelle position dans une cellule. Les dimensions des cellules sont de (*préciser pour harmoniser pour les trois terroirs*), ce qui permet de représenter les dépôts de matière organique par les animaux durant leurs déplacements journaliers. Les limites du paysage simulé correspondent aux limites administratives du finage villageois. Le modèle est spatialement explicite et la répartition des cellules correspond ainsi à l'occupation du territoire réelle.

### b) **Temporal scale**

Le modèle représente le fonctionnement de l'agroécosystème sur plusieurs années (*date de fin de simulation à définir selon le temps de calcul, l'occurrence d'équilibres ou d'autres critères ?*). On distingue deux périodes. La saison sèche (DS), d'une durée de huit mois (correspondant à la période de novembre à juin dans la réalité), est celle où les animaux sont présents dans le territoire. La saison des pluies (RS – juillet à octobre), est celle où se fait la croissance de la végétation, jusqu'à la récolte (qui a lieu, dans la réalité, durant le début de la saison sèche). La période de présence des troupeaux s'étend de leur retour de transhumance, au premier jour de la saison sèche, au départ du dernier de ceux-ci durant la saison sèche (fig. ).

Seule la saison sèche est explicitement simulée, avec un pas de temps de 30 minutes (tab. X). Cela permet de simuler les déplacements des animaux de cellule à cellule avec leur activité de *grazing* et d'obtenir une répartition spatiale des dépôts de matière organique avec les déplacements des animaux. Les processus biophysiques sont calculés à la semaine pour limiter le temps de calcul et l'occupation de mémoire.

L'activité d'embouche est menée durant toute la saison sèche, sur trois périodes distinctes, correspondant au renouvellement des groupes d'animaux.

La saison des pluies, en l'absence de troupeau, n'est pas simulée de manière dynamique et des calculs linéaires (section x) permettent d'établir l'état de la végétation et des stocks, ainsi que les bilans de flux au démarrage de la saison sèche suivante.

Le calcul des indicateurs de sortie se fait chaque année et en fin de simulation, mais la fréquence peut en être modulée selon les besoins.

Table x : Temporal scales of the main processes groups of the model

Processes group	Resolution	Extent
Herds daily mouvements	30 minutes	Dry season (8 months)
Biochemical cycles computation	1 week	1 year
Fattening periods	80 days	Dry season (8 months)
Output indicators computation	1 year	Simulation length (X years)

## 3 Process overview and scheduling

### i. Processes

The model is meant to cover the biochemical cycles of nitrogen and carbon in SASPS over several years, as well as to represent accurately animal mobility and its effect on the cycles. It is structured in X processes, described in detail in section X :

- Mobile herds :
  - Free-grazing (section X) ;
  - Transhumance departures (section X) ;

- Rainy season carbon footprint computation (section X) ;
- Fattened animals :
  - Feeding (section X) ;
  - Stock renewal (section X) ;
- Animals digestion, metabolism and excretion (section X) ;
- ORP production, storage losses computation and application (section X) ;
- Cells :
  - Soil nitrogen and carbon stock and fluxes computation and recording (section X) ;
  - Vegetation growth and harvest (section X) ;
  - Cells rainy season C and N balance computation (section X) ;
- Environment :
  - Update pluviometry (section X) ;
  - Update vegetation C/N (section X) ;
- Output indicators computing (section X).

*Paulo : pas encore mis à jour les figures*

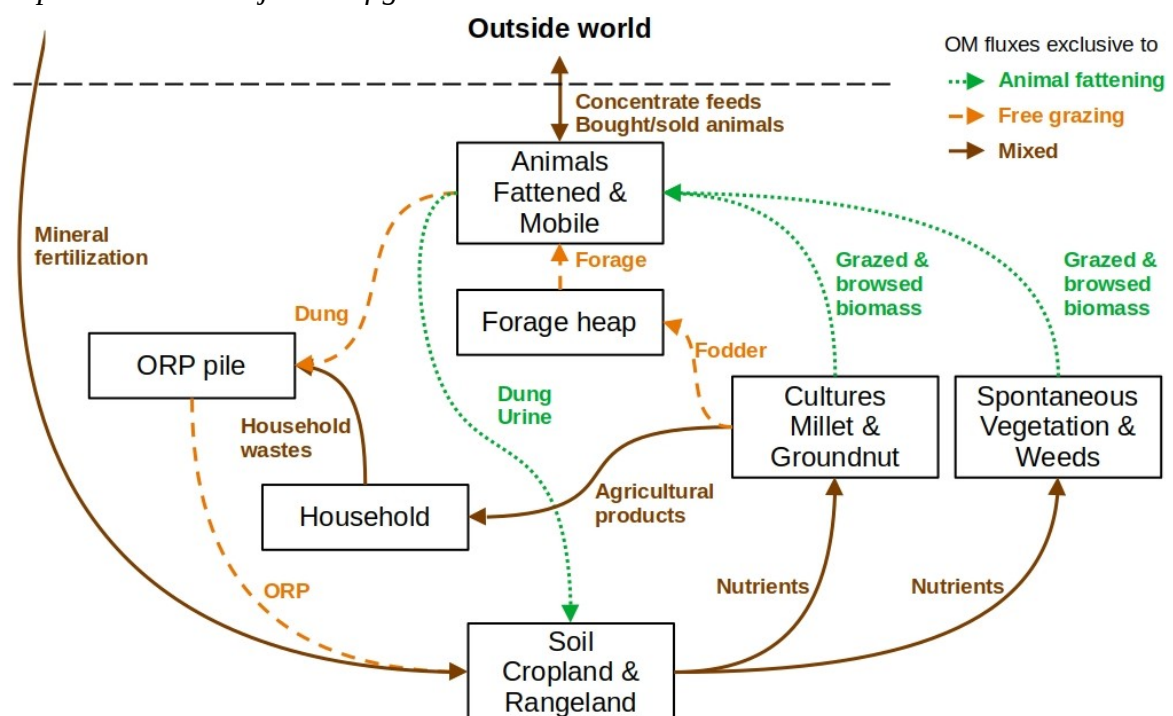


Figure X : Organic matter cycle in the model

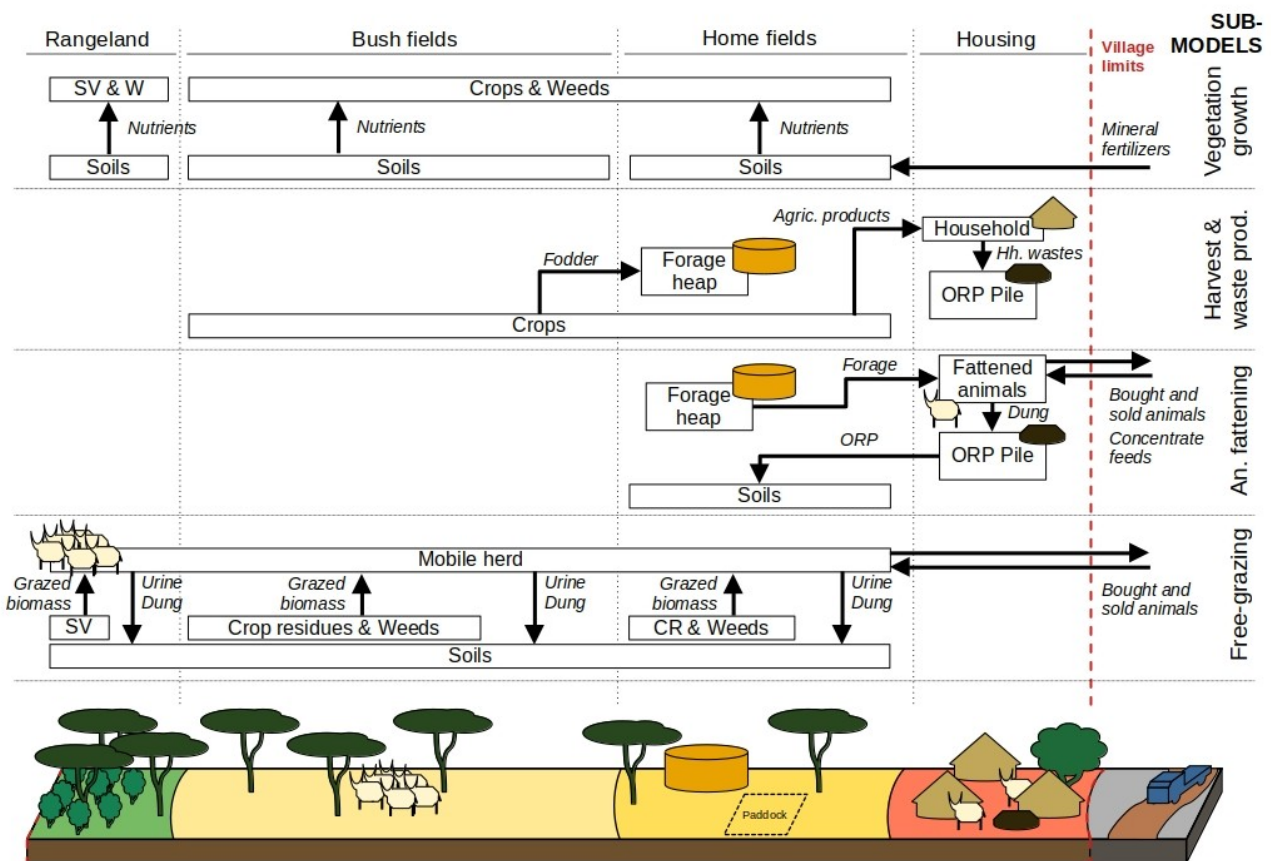


Figure X : OM fluxes and stocks in the different submodels

*Est-ce qu'un paragraphe pour amener ces figures et la logique stock-flux aurait du sens ici ? Si oui, quel discours ?*

*Ici, description générale de chaque process et la justification de pourquoi on a choisi de les représenter ou d'en omettre.*

Les fonctionnements des systèmes de culture, d'élevage et l'organisation du paysage à l'échelle du finage villageois sont représentés. Les déplacements de troupeaux sont simulés de manière explicite, car on émet l'hypothèse qu'ils sont déterminants pour la réorganisation spatiale de la matière organique dans de tels paysages hétérogènes. On suppose donc qu'ils pourraient avoir un impact notable sur leur SSEC, en plus de présenter des leviers d'action sur les pratiques permettant une amélioration du bilan.

Un point sur les choix : pratiques d'intégration sont les leviers. Du coup complexification là où ça a du sens pour cette fin. Justifie embouche et déplacements chiadés.



## ii. Scheduling

	Dry season 30 min temporal resolution	Rain season <i>punctual</i>
M. herds	<div>Transh. departures</div> <div>Free grazing</div>	<ul style="list-style-type: none"> <li>RS footprint</li> </ul>
M. Fatten.	<div> <ul style="list-style-type: none"> <li>1<sup>st</sup> renewal</li> <li>2<sup>nd</sup> renewal</li> </ul> </div> <div>Feeding</div> <div>Feeding</div> <div>Feeding</div>	
All an.	Digestion, metabolism and excretions	
Hh.	OPR production, storage and application	
Cells	N and C flows and stocks updating	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vegetation growth and harvest</li> <li>C &amp; N balance computation</li> </ul>
Env.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vegetation C/N update</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Output indicators computing</li> <li>Next year pluviometry update</li> </ul>

Figure X : Processes scheduling in the model

*Partie à rédiger : quelle succession des process durant la simulation (une fois l'implémentation faite)*

## 4 Design concepts

*A rédiger une fois le modèle monté*

## 5 Initialisation

arbres grillot

Cell type	Number of trees
Rangeland	15
Cropland (bush field)	10
Cropland (home field)	6
Housing	5

## 6 Input data

TLU = 250kg

La pluviométrie annuelle  $p$  est fixée, dans le modèle de base, à la pluviométrie de la zone simulée :  $590 \pm 170$  mm/an (Grillot et al., 2018b).

## 7 Submodels



## i. Mobile herds processes

### a) Free grazing and night corraling

Les troupeaux mobiles se déplacent durant la saison sèche sur les espaces de *cropland* et *rangeland* du territoire afin de prélever la biomasse végétale (résidus de la culture du mil et végétation spontanée). Le comportement simulé correspond aux déplacements avec guidage humain effectifs dans la réalité. Il est modélisé par une machine à état fini, inspiré en partie des travaux de Gersie (2020) : chaque agent troupeau est dans un et un seul état à la fois et transitionne vers le suivant dans certaines conditions (fig. X). Certains processus, comme le fait de brouter, n'ont lieu que dans certains états. D'autres se produisent en continu (produire du CO<sub>2</sub> par respiration, par exemple).

Figure 3 : États possibles des troupeaux durant la divagation et conditions de changement d'état.

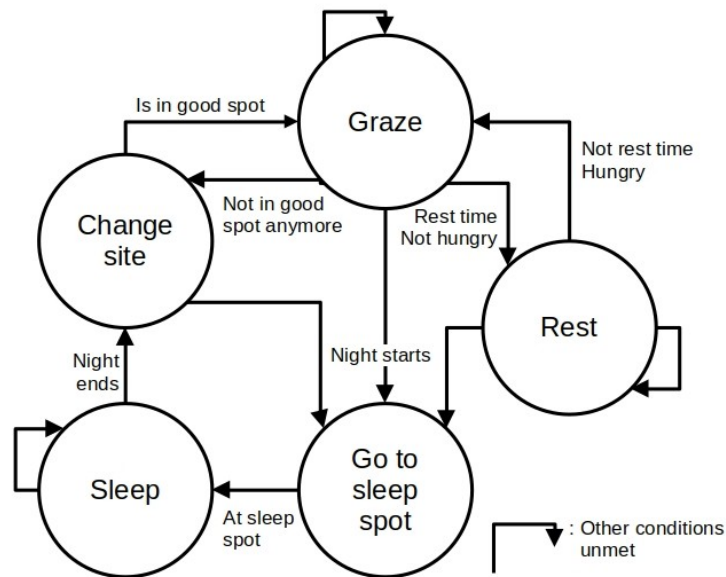


Tableau X : Règles régissant le fonctionnement de la machine à états finis du comportement de déplacement des troupeaux

Processus	Règles de transition	Processus spécifiques
<b>Go to sleep spot</b>	<i>Night starts</i> a lieu tous les jours à 19h. Transition vers <i>Sleep</i> lorsque le <i>sleep spot</i> est atteint. Celui-ci correspond à une cellule du <i>paddock</i> du troupeau. Chaque matin (transition de <i>Sleep</i> à <i>Go to sleep spot</i> ), une nouvelle cellule est choisie si le nombre de nuits passées sur le <i>sleep spot</i> actuel dépasse le seuil de 4 nuits.	Déplacement vers le <i>sleep spot</i> , avec une vitesse de 3 km/h (own field data).
<b>Sleep</b>	<i>Night ends</i> a lieu à 7h.	
<b>Change site</b>	<i>Is in good spot</i> a lieu lorsque la quantité de biomasse à distance visible (20 m (Gersie, 2020)) excède la moyenne de biomasse dans le territoire moins son écart-type.	Une cellule de type <i>rangeland</i> aléatoire est sélectionnée comme cible de déplacement. Déplacement vers la cellule-cible à une vitesse de 3 km/h.
<b>Rest</b>	<i>Hungry</i> devient faux lorsque la satiété journalière est atteinte. <i>Rest time</i> se vérifie chaque jour entre	

	12h et 15h, si 70 % de la satiété quotidienne a été atteinte le jour précédent.	
<b>Graze</b>	<i>Is not in good spot</i> si <i>Is in good spot</i> est faux (cf au dessus). Dans cet état, un déplacement a lieu vers la cellule adjacente si son contenu en biomasse dépasse la moyenne de celles de toutes les cellules adjacentes (y compris celle où est stationné le troupeau).	Prélèvement de biomasse selon l'intake-rate correspondant à la biomasse de la cellule.

L'état *sleep* représente le sommeil dans le *sleep spot*, mais aussi le fait de déplacer le troupeau au point d'eau quotidiennement (non simulé).

Dans l'état *grazing*, la biomasse est prélevée de la cellule occupée selon les taux suivants, tant que la satiété quotidienne n'est pas atteinte.

Table X : Factors affecting the grazing intake

Parameter	Value	Source
Maximum amount of biomass consumed daily	6,25 kgDM/TLU/day	Assouma et al., 2018
Instantaneous intake rate in rangeland	14,2 gDM/TLU/min	Chirat et al., 2014
Instantaneous intake rate in grassland	10,9 gDM/TLU/min	Chirat et al., 2014

### **b) Transhumance**

Le retour des troupeaux a lieu au premier jour de la saison sèche. Le départ d'un troupeau se fait sur la base de la ressource fourragère disponible pour le foyer correspondant : biomasse végétale disponible sur pieds dans le territoire et stock de fourrage du foyer (*règle à préciser*). Résidus. Reformuler pour ce qui est lié au foyer

Parti en transhumance, le troupeau quitte l'espace simulé. Les émissions et le stockage du carbone hors-site sont calculés sur cette base pour l'évaluation de l'empreinte carbone. Durant la période de saison sèche, il est considéré que son alimentation couvre la capacité maximale d'ingestion, avec un rapport C/N correspondant à la végétation spontanée de la période. Durant la saison des pluies, la totalité des besoins sont considérés comme couverts, avec un rapport C/N de végétation fraîche.

[Réorganiser]

### **c) Dry season carbon footprint computation**

## **ii. Animal fattening processes**

### **a) Feeding**

Pour les foyers la pratiquant, l'embouche bovine a lieu durant l'ensemble de la saison sèche, du fait de la disponibilité en force de travail, sur trois périodes d'une longueur de 80 jours (environ 2,7 mois). L'alimentation des animaux comprend du fourrage, à raison de 2,35 kgMS/UBT/j, issus soit du stock du foyer, soit d'achats faits aux foyers dont les stocks dépassent les besoins, ainsi que des compléments alimentaires, achetés sur le marché. *Nature et quantité des compléments ? Wade pas informatif, Grillot ne donne pas.* Les excréments produites par les animaux en embouche rejoignent le stock de PRO du foyer.

## b) *Renewal*

À chaque fin de période, les animaux embouchés sont systématiquement vendus. Le nombre d'animaux renouvelés en début de période (possiblement nul) est déterminé selon :

- Un nombre moyen dépendant du type du foyer ;
- La disponibilité en fourrage dans le stock du foyer ;
- Le nombre d'animaux vendus à la saison précédente, afin de refléter une disponibilité de trésorerie ;
- Un facteur aléatoire, représentant l'aléa économique.

## iii. *Animal digestion, metabolism and excretion :*

*Préciser quantité et qualité, car si satiété tout le temps, émissions différentes. Scinder des saisons de pourcentage de cellulose pendant la SS. Demander à Adama. + C/N ?*

Les troupeaux excrètent le résultat de leur digestion et de leur métabolisme, fèces et urine, après une durée de 20h. Noter que le temps de transit dépend de la quantité ingérée. *Vérifier la valeur dans le bouquin INRAe*

L'excrétion a lieu peu importe l'état du troupeau. Le troupeau garde en mémoire chaque « chyme » : quantité et nature de biomasse ingérée – résidus de mil, végétation herbacée ou spontanée des espaces de *rangeland*. À la fin de la période de digestion, la restitution a lieu et est enregistrée par la cellule où se trouve le troupeau, selon les modalités suivantes :

$$(X) \quad D_{dung} = \frac{r_{N_{dung}/N_{ingested}} \cdot (\sum_i IQ_i \cdot NC_i)}{NC_{dung}}$$

$$(X) \quad N_{urine} = r_{N_{urine}/N_{dung}} \cdot (D_{dung} \cdot NC_{dung})$$

Avec

$D_{dung}$ , la quantité de fèces excrétée par le troupeau (kgMS/UBT) ;

$r_{Ndung/Ningested}$ , le ratio d'azote dans les fèces sur la quantité d'azote ingérée (kgN/kgN) = 1 - digestibilité ;

$i$ , les aliments ingérés par les animaux du troupeau ;

$IQ_i$ , la quantité d'aliment  $i$  ingéré (kgMS) ;

$NC_j$ , la teneur en azote de la matière organique (aliment ou fèces)  $j$  (kgN/kgMS) ;

$N_{urine}$ , la quantité d'urine excrétée par le troupeau (kgN/UBT) ;

$r_{Nurine/Ndung}$ , le ratio d'azote excrété sur la quantité d'azote des fèces (kgN/kgN).

Table X : Parameters related to dung and urine excretion

Parameter	Value	Source
Duration of the digestion of biomass in the animals	20 h	Expert knowledge
Dung excreted over ingested biomass	0,55 kgDM/kgDM	Wade, 2016
$NC_{dung}$	Content of N per kg of feces	0,0238 kgN/kgDM INRA, 2018
$r_{Nurine/Ndung}$	Ratio of urine N content in relation to feces N content	0,25 Wade, 2016

*A faire : Complexifier pour que la quantité d'urine reflète la teneur en azote de la ration ?*

*A faire : rajouter l'input de concentrés importés (?)*

Rajouter les émissions CH<sub>4</sub>

#### iv. ORP dynamics

Le stock de produits résiduels organiques (PRO) augmente quotidiennement à partir des sources décrites dans le tableau X, correspondant à un nombre moyen de consommateur d'environ 13 par foyer (Grillot *et al.*, 2018).

Table X : Organic residual products sources and increase quantities

ORP source	Rate	Source
Kitchen waste	0,33 kgDM/day/hh	Grillot et al., 2018a
Other organic waste	3,3 kgDM/day/hh	Grillot et al., 2018a
Fattened animal dung	Depends on number of animals present at the time and ingested biomass	

La quantité à chaque épandage est limitée par la contenance d'une charrette, fixée à X (Grillot et al., 2018a). In cases where the ORP pile holds less than a cart capacity, its full content is being spread.

Durant la saison sèche, l'épandage du stock du foyer a lieu sur une cellule de la parcelle de type *home field* différant chaque semaine.

*Demander Jonathan le pourquoi du 10 fois plus et ce que c'est.*

*Expliciter l'épandage en chaque cellule et le passage de l'une à l'autre.*

#### v. Cells processes

##### a) Nitrogen and carbon fluxes and stock variations recording

Matrice récupère les dépôts des troupeaux dans la semaine. Ajoute l'épandage d'ORP si existant. Transforme tout en flux N entrants et calcule les émissions.

##### b) Vegetation growth and harvest

#### Mineral fertilization

La limite d'accès aux engrais minéraux implique que chaque parcelle n'en reçoit que tous les trois ans (Grillot et al., 2018a). Une quantité fixe est épandue à cette fréquence, fraction de la quantité cible pour la culture considérée, fixée par Grillot et al. (2018a).

mil/ arachides

Calculer la quantité exportée par les cultures

=> rapporter 100 % de l'export ?

Vérifier cohérence application article ODD

Ensuite, indicateur d'usage d'inputs sur organique/minéral/mixte.

#### Semis

Chaque parcelle, dans le *cropland*, est semée de mil ou d'arachide au début de la saison des pluies. Une parcelle de *home field* accueille systématiquement du mil. Les parcelles de *bush field* reçoivent alternativement du mil et de l'arachide. Les quantités de semences appliquées dans chaque cellule sont de 4,6 kgMS/ha pour le mil et 47,3 kgMS/ha pour les arachides (Grillot et al., 2018a).

Les cellules de *rangeland* et de *fallow* se couvrent de végétation spontanée, non semée.

## Biomass production

Le rendement de l'arachide ne dépendant pas linéairement de la pluviométrie et de la quantité en azote du sol, la production de biomasse dans les parcelles d'arachide est considérée comme constante, fixée à 450 kgMS/ha (Grillot et al., 2018a). [préciser : Jonathan]

La quantité de biomasse de mil et de végétation spontanée produite dépend de la quantité d'azote rendue disponible dans le sol durant la saison des pluies (voir section X) et de la pluviométrie, selon l'équation (X).

$$(X) \quad BiomassProduction = Y_w(p) \cdot NRF(N_{available})$$

Avec

*BiomassProduction*, la production de biomasse de la saison des pluies en kgMS/ha ;

$Y_w$ , le rendement eau-limitant, en kgMS/ha, (tab. X) ;

$p$ , la pluviométrie annuelle, en mm/ha ;

*NRF*, le nitrogen reduction factor, sans dimension, (tab. X) ;

$N_{available}$ , la quantité d'azote disponible, en kgN/ha, déterminée selon les processus décrit section X.

Le rendement eau-limitant ( $Y_w$ ) est calculé sur le *modèle du modèle* empirique CELSIUS (Ricome et al., 2017), avec les paramètres établis par Grillot et al. (2018a) (tab. X).

Table X : Water limited yield calculation according to vegetation type and pluviometry

Biomass type	$Y_w$ (kgDM/ha) for diverse values of $p$ (mm)
Millet	<ul style="list-style-type: none"> <li>0 for <math>p &lt; 317</math></li> <li><math>950(1,8608 \cdot \ln(p) - 8,6756)</math> for <math>p \in [317 : 805]</math></li> <li>3775 for <math>p &gt; 805</math></li> </ul>
Groundnut	450
Rangeland / fallow	<ul style="list-style-type: none"> <li>0 for <math>p &lt; 317</math></li> <li><math>1000(0,4322 \ln(p) - 1,195)</math> for <math>p \in [317 : 805]</math></li> <li>1498 for <math>p &gt; 805</math></li> </ul>

Le coefficient NRF dépend de l'azote disponible dans le sol au moment de la croissance de la végétation. Il est calculé de la façon décrite dans le tableau X (d'après Grillot et al., 2018a).

Préciser si CELCIUS ? Demander à Myriam

Table X : NRF value calculation according to vegetation type and available soil nitrogen

Biomass type	NRF (dimensionless)
Millet	<ul style="list-style-type: none"> <li>0,25 for <math>N_{available} &lt; 18</math></li> <li><math>0,501 \cdot \ln(N_{available}) - 1,2179</math> for <math>N_{available} \in [18 : 83]</math></li> <li>1 for <math>N_{available} &gt; 83</math></li> </ul>
Groundnut	1
Rangeland / fallow	<ul style="list-style-type: none"> <li>0,25 for <math>N_{available} &lt; 10</math></li> <li><math>0,501 \ln(N_{available}) - 1,2179</math> for <math>N_{available} \in [10 : 50]</math></li> <li>1 for <math>N_{available} &gt; 50</math></li> </ul>

## Available nitrogen computation

La minéralisation de la matière organique du sol est considérée comme ayant lieu durant l'année entière (Grillot et al., 2018a). ???

La quantité d'azote du sol rendue disponible pour la croissance de la biomasse (section X) est considérée comme provenant de l'azote minéral du sol, de la fixation atmosphérique et de la minéralisation des dépôts de matière organique. « partie minérale de la MO déposée »

$$(X) \quad N_{available} = N_{fromSoil} + N_{fromAtmo} + N_{fromDeposits}$$

Avec

$N_{available}$ , l'azote disponible (kgN/ha) ;

$N_{fromSoil}$ , l'azote minéralisé à partir de l'azote organique du sol (kgN/ha) ;

$N_{fromAtmo}$ , l'azote fixé de l'atmosphère (kgN/ha) ;

$N_{fromDeposits}$ , l'azote minéralisé à partir de la matière organique déposée (kgN/ha) .

Ajouter  $N_{from\ mineral\ input}$

L'azote issu de la minéralisation du stock d'azote organique du sol ( $N_{fromSoil}$ ) est fixé à 27,5 kgN/ha par an pour les parcelles de *home fields*, fréquemment fertilisées, et 12 kgN/ha par an pour les *bush fields* (Grillot et al., 2018a). Donner une justification de pas de stock variable sur le long terme

L'azote capté de l'atmosphère regroupe celui fixé par les micro-organismes du sol (7,5 kgN/ha par an dans toutes les cellules) et celui fixé par les bactéries rhizobium associées aux plants d'arachides et aux arbres légumineuses présents dans les parcelles (*faidherbia albida*). Il est considéré que 20 kgN/ha sont laissés au champ, dans les racines, l'année suivant un précédent arachide. Chaque arbre capte et restitue au sol 4 kgN par an. grillot

Les excréments des troupeaux mobiles (section X) là où ils sont passés et les dépôts de PRO (section X) dans les *home parcels* durant la saison sèche subissent une minéralisation, générant de l'azote disponible pour la croissance de la végétation. Celle-ci est plus ou moins lente selon leur nature (et les conditions pédoclimatiques, non simulée). Pour simplifier, celle-ci est considérée comme décroissant d'année en année de la manière décrite dans le tableau X.

Scinder entre arrière effet et minéral de l'année. Ajouter un Ndepo arrière-effet de l'azote arrière-effet nm, aftereffect n, posteffect n, carry-over effect n. cf l'article de Myriam

Table X : Dynamic of N availability after the year of deposit according to organic matter type (kg of available nitrogen per kgN of deposited matter) (Grillot et al., 2018a)

OM type	Y1	Y2	Y3
Dung	0,6	0,4	0
Urine	1	0	0
PRO	0,4	0,3	0,3

## Consumable biomass computation

La biomasse produite est en partie exportée par le foyer (produits agricoles) et en partie laissée à la consommation des animaux divagants. Dans les espaces de *rangeland* et de *fallow*, aucune récolte n'a lieu et la totalité de la biomasse est disponible à la consommation. Les fanes d'arachide étant récoltées pour l'alimentation des équidés, les cellules concernées ne conservent pas de résidus laissés au champ. Pour le mil, 30 % de la biomasse est considérée comme du produit (grain) exporté. Des 70 % de biomasse restants, soit la paille, 62 %, les résidus est laissé au champ pâturé

par les anx (d'après Grillot et al., 2018a). Les 38 % restants reste constitue la réserve, *forage heap*, du foyer associé à la parcelle pour la saison sèche à venir.

### **Fresh weeds biomass**

Dans toutes les cellules, s'ajoute à la quantité de biomasse consommable celle de la végétation herbacée spontanée d'espèces annuelles, à hauteur de 100 kgMS/ha dans les *cropland* et 475 kgMS/ha dans les *rangeland* (d'après Grillot et al., 2018a). + *expliquer justifier la diff avec la veg spontanée (pas herbacée)*

## **vi. Environment processes**

### **a) Year pluviometry update**

### **b) Vegetation C/N update**

voir p. 632 du memento

The C/N ratio of edible vegetal bioass in the model decreases with time, to account for (*Quel effet?*). Its progression is detailed in table X.

Fibres faibles en début de vie, puis lignification, donc ratio augmente. Paille sèche => plus d'activité microbienne; C/N constant car C et N constants.

Pendant SS, quantité biomasse diminue, car prélèvements.

En début SS (1,5/2 mois selon Paulo), quantité N importante, car plantes vivantes. Ensuite, C/N plus élevé.

Table X : C/N ratio evolution with time in forages in the model

Forage type	Period 1 ?	Period 2 ?	Period 3 ?	Period 4 ?
Spontaneous Vegetation				
Weeds				
Millet residues				
Millet straw				

[*Courbe d'Adama à récupérer.*]

Mettre un mail à Paulo : besoins de quelles données, pour quoi?

## **vii. Output indicators computation**

Agrégation des données de chaque entité (cellule, troupeau, etc) à la fin de chaque mois dans une matrice dédiée (libération de mémoire). Calcul des indicateurs déclenché en fin de simulation et chaque année.

### **- stockage carbone**

Variation de stock sur la période.

### **- Séquestration**



Variation de stock – émissions des entités, converties en équivalent carbone.

**- Empreinte**

Séquestration + bilan des intrants et des troupeaux durant la transhumance.

Intrants = animaux embouche, fourrage importés et engrais.

**- Indicateurs sur les flux d'azote**

- Intensification

Outputs/inputs

- Crop-livestock integration

Internal circulation rate = Total internal throughflows / Total system throughflows

$ICR = TT / TST$

$TT = \text{landscape N uptake} + \text{landscape N intake}$

$TST = TT + \text{N fixation} + \text{stocks variations if negative (cells, herds)}$

## 8 References

- Assouma, M.H., Lecomte, P., Hiernaux, P., Ickowicz, A., Corniaux, C., Decruyenaere, V., Diarra, A.R., Vayssières, J., 2018. How to better account for livestock diversity and fodder seasonality in assessing the fodder intake of livestock grazing semi-arid sub-Saharan Africa rangelands. *Livest. Sci.* 216, 16–23.
- Chirat, G., Groot, J.C.J., Messad, S., Bocquier, F., Ickowicz, A., 2014. Instantaneous intake rate of free-grazing cattle as affected by herbage characteristics in heterogeneous tropical agro-pastoral landscapes. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 157, 48–60. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2014.06.003>
- Gersie, S., 2020. Predicting Cattle Grazing Distributions: An Agent-Based Modeling Approach (MSc Thesis). Colorado State University.
- Grillot, M., Guerrin, F., Gaudou, B., Masse, D., Vayssières, J., 2018a. Multi-level analysis of nutrient cycling within agro-sylvo-pastoral landscapes in West Africa using an agent-based model. *Environ. Model. Softw.* 107, 267–280. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.05.003>
- Grillot, M., Vayssières, J., Guerrin, F., Lecomte, P., 2018b. Modélisation conceptuelle de la gestion adaptative de la biomasse face à l'aléa climatique en systèmes agro-sylvopastoraux. *Cah. Agric.* 27, 55004. <https://doi.org/10.1051/cagri/2018034>
- Grimm, V., Berger, U., Bastiansen, F., Eliassen, S., Ginot, V., Giske, J., Goss-Custard, J., Grand, T., Heinz, S.K., Huse, G., Huth, A., Jepsen, J.U., Jørgensen, C., Mooij, W.M., Müller, B., Pe'er, G., Piou, C., Railsback, S.F., Robbins, A.M., Robbins, M.M., Rossmanith, E., Rüger, N., Strand, E., Souissi, S., Stillman, R.A., Vabø, R., Visser, U., DeAngelis, D.L., 2006. A standard protocol for describing individual-based and agent-based models. *Ecol. Model.* 198, 115–126. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.04.023>
- Grimm, V., Railsback, S.F., Vincenot, C.E., Berger, U., Gallagher, C., DeAngelis, D.L., Edmonds, B., Ge, J., Giske, J., Groeneveld, J., Johnston, A.S.A., Milles, A., Nabe-Nielsen, J., Polhill, J.G., Radchuk, V., Rohwäder, M.-S., Stillman, R.A., Thiele, J.C., Ayllón, D., 2020. The ODD Protocol for Describing Agent-Based and Other Simulation Models: A Second Update to Improve Clarity, Replication, and Structural Realism. *J. Artif. Soc. Soc. Simul.* 23, 7. <https://doi.org/10.18564/jasss.4259>
- INRA, 2018. L'alimentation des ruminants.
- Ricome, A., Affholder, F., Gérard, F., Muller, B., Poeydebat, C., Quirion, P., Sall, M., 2017. Are subsidies to weather-index insurance the best use of public funds? A bio-economic farm model applied to the Senegalese groundnut basin. *Agric. Syst.* 156, 149–176.
- Wade, C., 2016. Analyse des flux d'azote en milieu paysan : Cas des systèmes agropastoraux du bassin arachidier du Sénégal (Ingénieur agronome - Master 2). Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture de Thies, Thies, Sénégal.