

---

**A multi-agents generic model for the simulation of  
carbon resources dynamics from plot to territory  
levels  
In West-African agro-systems**

**The CatMaS model**



**Mahamadou BELEM**

**Cirad 2008 – 10 - 24**

---

# Introduction

- **Carbon resources** : condition of viability of farming system in sub-Saharan Africa. It is a:
  - **Economical good**: human consumption, wood, fodder.
  - **A means of production**: control of fertility of tropical soil, maintain animal.

**Problem**: The carbon is declining in West African savannas (Ker, 1995)

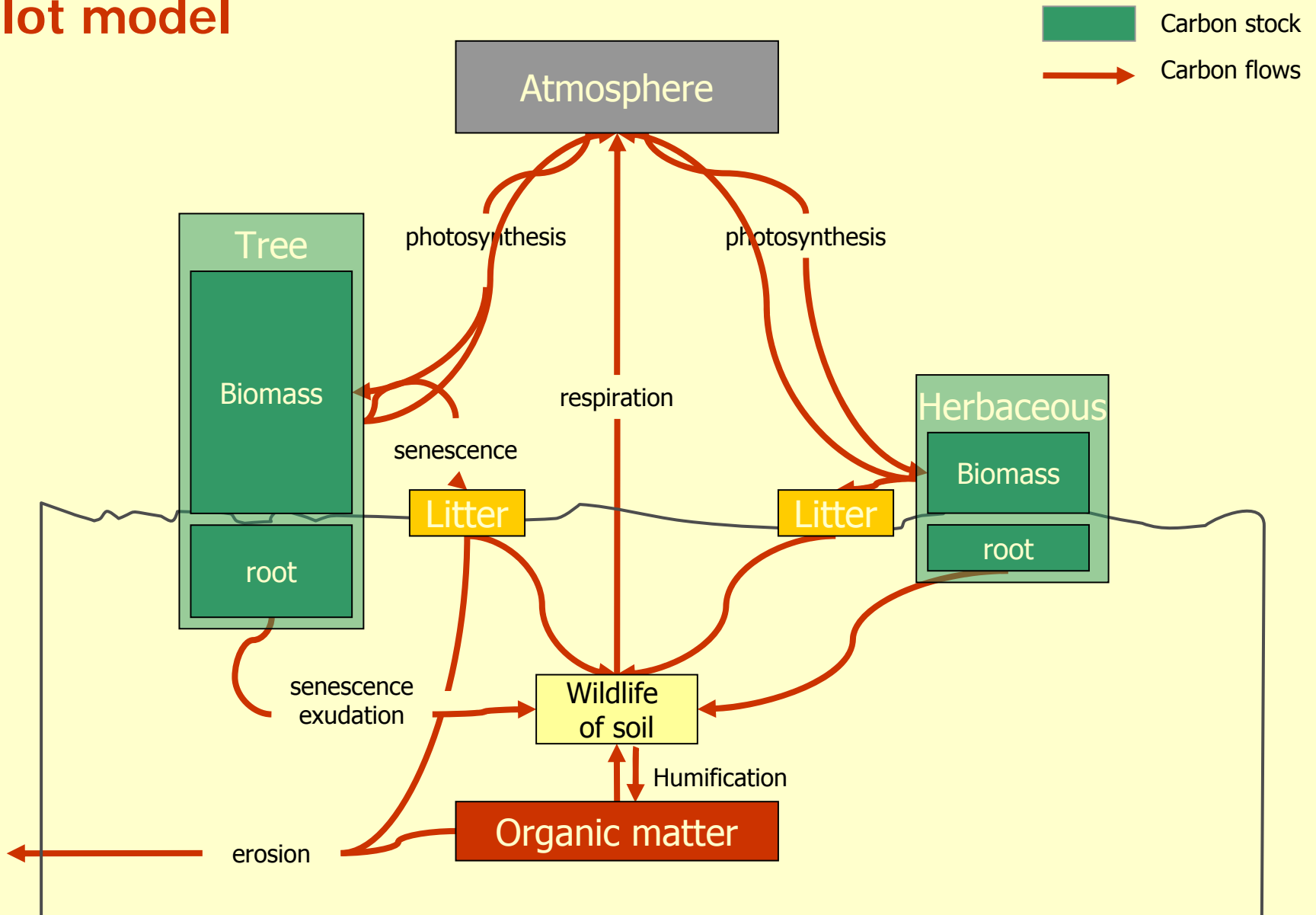
- The carbon controls the global climatic change
- **crucial to improve the carbon resource management from local agroecological and global environmental points of view**

# Carbon Dynamics, a complex system

- Carbon resources : renewable resources
- Their management involves to apprehend the interactions between biological and social dynamics
- The understanding of carbon dynamics requires considering five major factors: biological, social, physical, economical and political factors.
  - The analysis of carbon dynamics a multidisciplinary (multi viewpoints) issue
- Carbon dynamics, a multilevel system: Plot, farm and territory levels

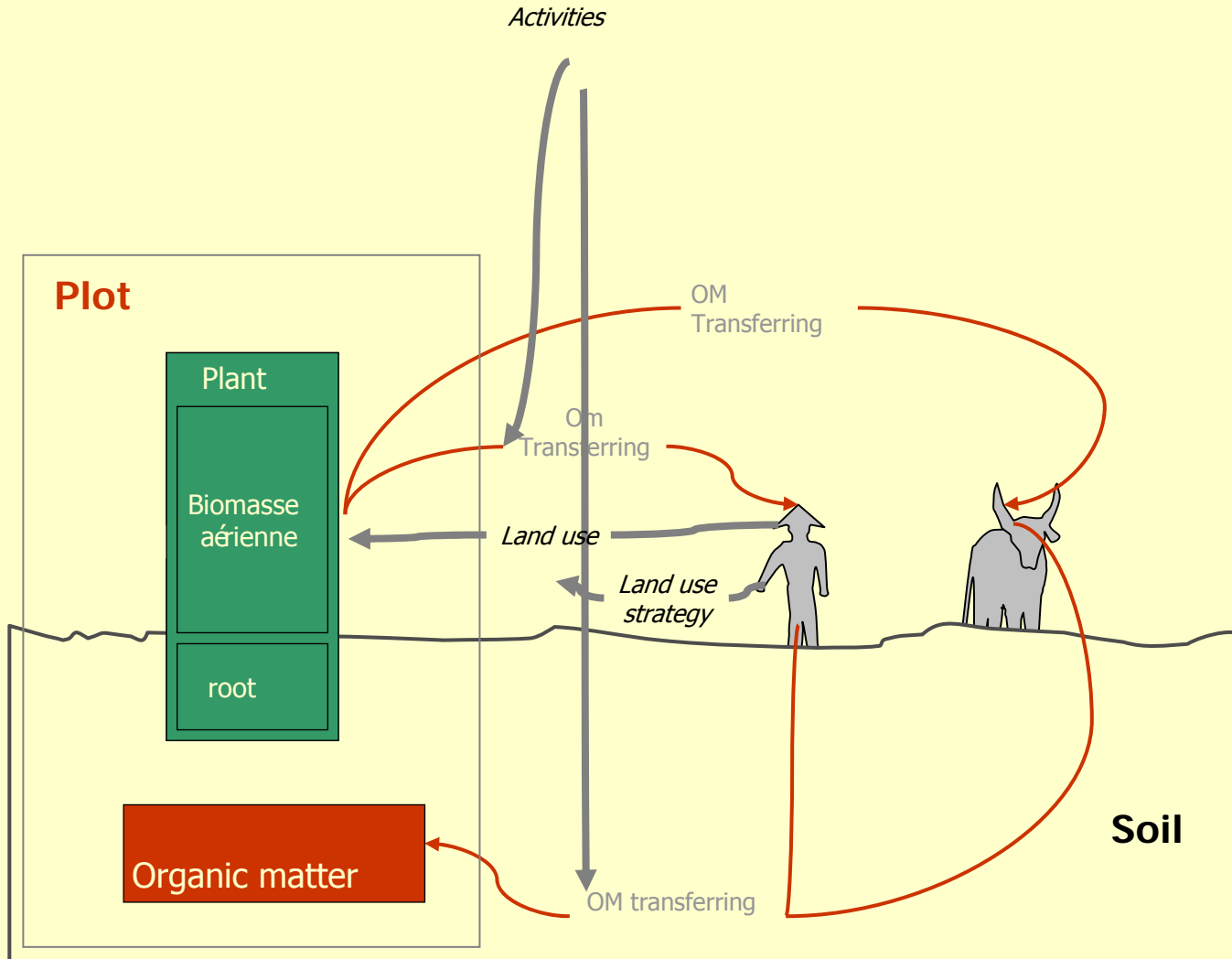
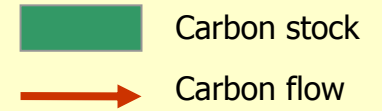
# carbon Dynamics, a complex system

## Plot model



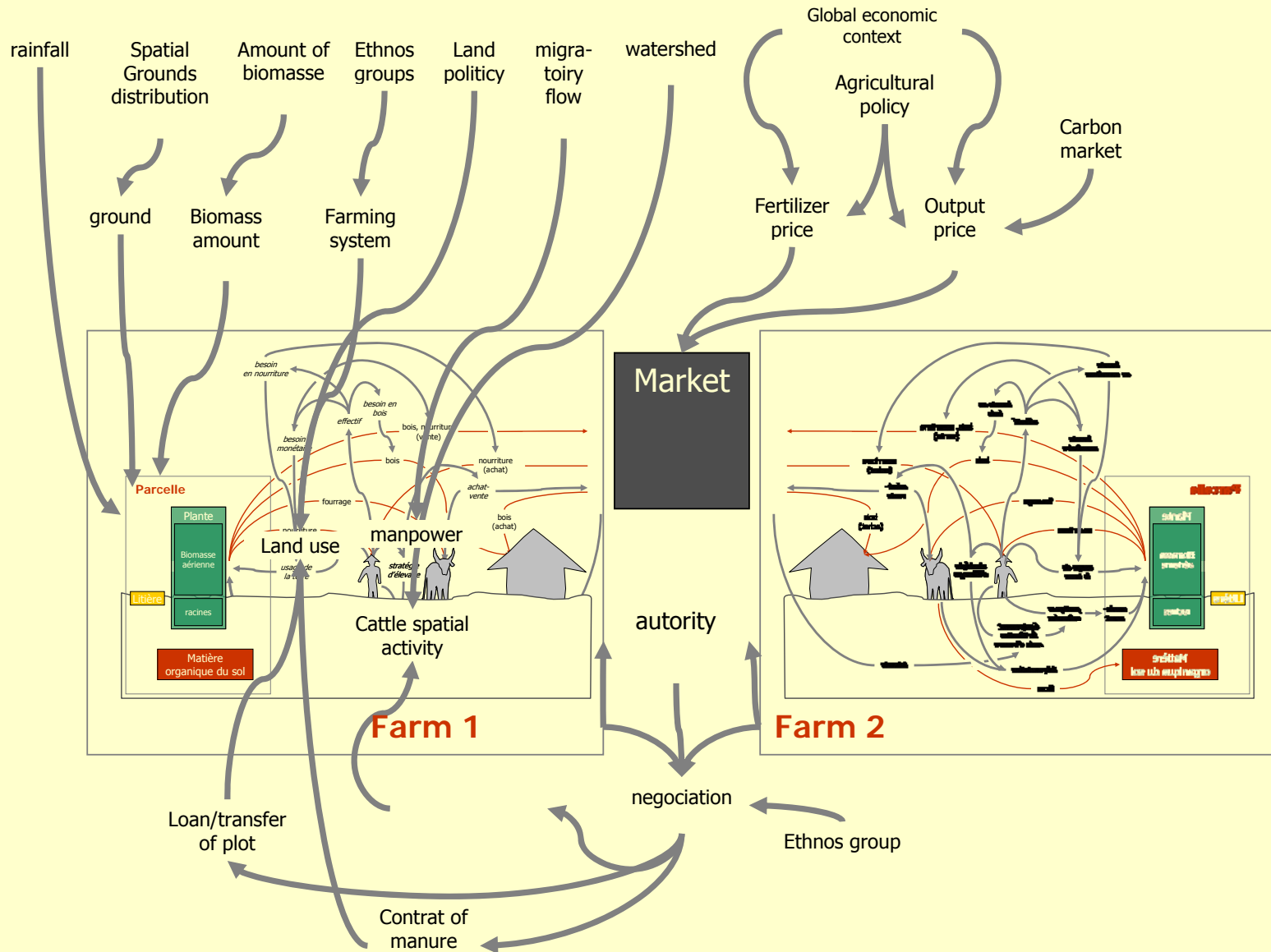
# carbon Dynamics, a complex system

## Farm model



# carbon Dynamics, a complex system

## Territory model



# Carbon Dynamics, a complex system

- Challenges of carbon dynamics analysis
  - ❖ How to represent and articulate various scales?
  - ❖ How to represent and articulate individual and collective management of carbon resources?
  - ❖ How to represent and integrate several viewpoints in a coherent whole in order to take into account the main factors?
  - ❖ At the plot level, a very long-term experience can only give a snap shot of the many long-terms processes that drive the C balance
- **Computer modelling an appropriate tool for carbon dynamics analysis**

# Carbon dynamics modelling

- **Descriptive approaches:** assessments for present and past time
- **Quantitative models:** impossible to take into account the qualitative factors such as social factors
- **Process-based models: Century, Morgan, RothC, Momos, Etc.**
  - Apprehend carbon dynamics only at plot level
  - do not include multi-scaling of the carbon resource dynamics
  - do not include social and economical dimensions
  - do not handle efficiently an ecosystem heterogeneity
  - not spatially explicit
  - ➔ **Impossible to deal efficiently with carbon dynamics complexity**

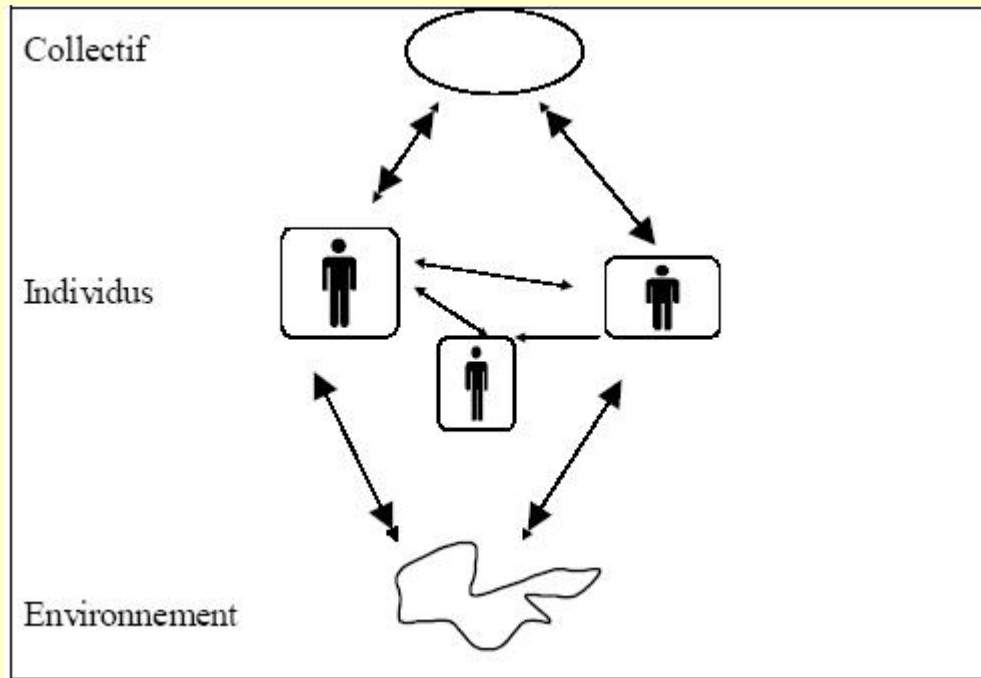
# Objective

- The purposes of the study :
- Proposing a framework for the representation and analysis of complex systems
- Applying the proposed model for carbon dynamics formalization
- Implementing a generic simulation platform for the comprehension of carbon dynamics :
  - from plot to territory village levels in West-Africa
  - and dealing efficiently with the system heterogeneity and integration of social, economical, physical and biological dimensions.

**What modelling framework for  
the analysis of carbon  
dynamics?**

# Material and method

## ■ Multi-agents System

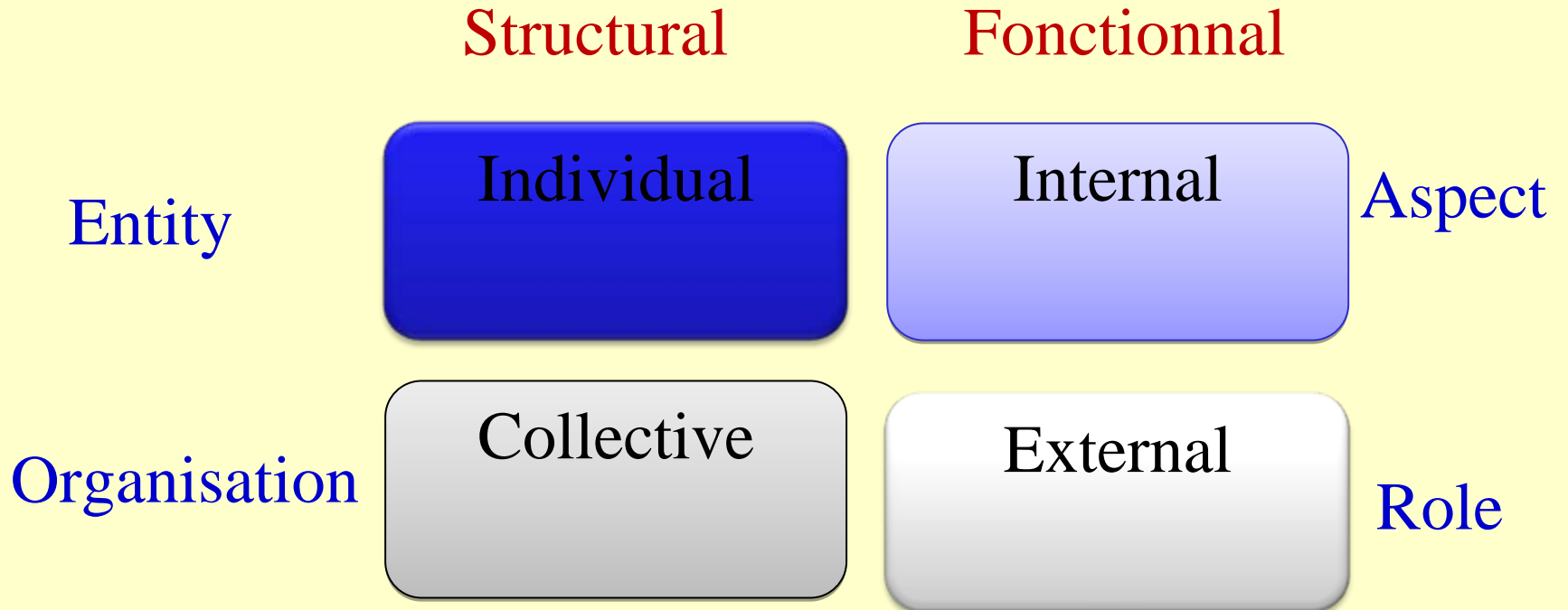


A SMA model organization (Bousquet, 2001 )

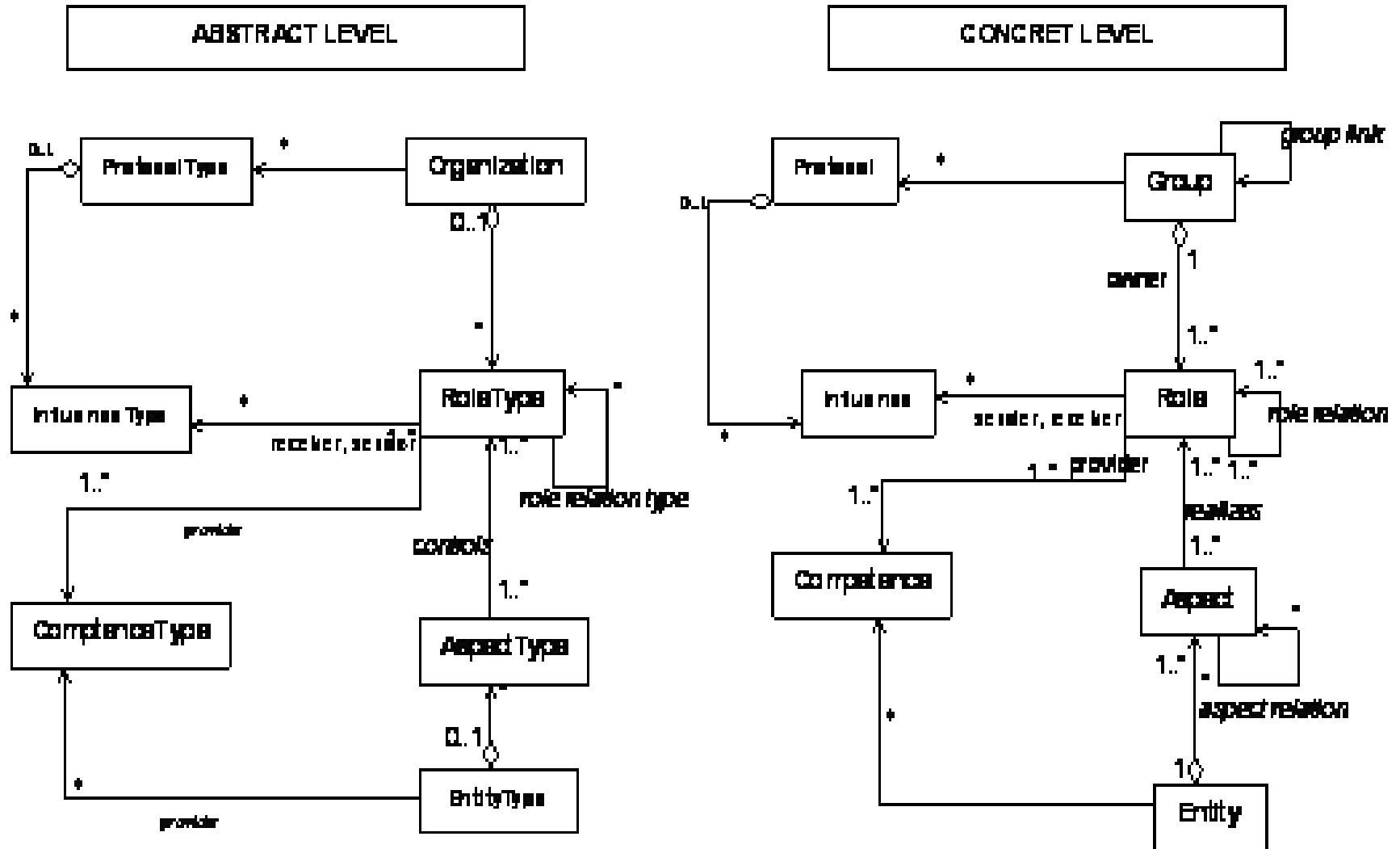
# Material and method: OREA model

- A framework for complex system modelling based on
  - knowledge representation
  - Organizational modelling approach
  - multi-point of view analysis
  - Extension of AGR including the [Aspect](#) notion

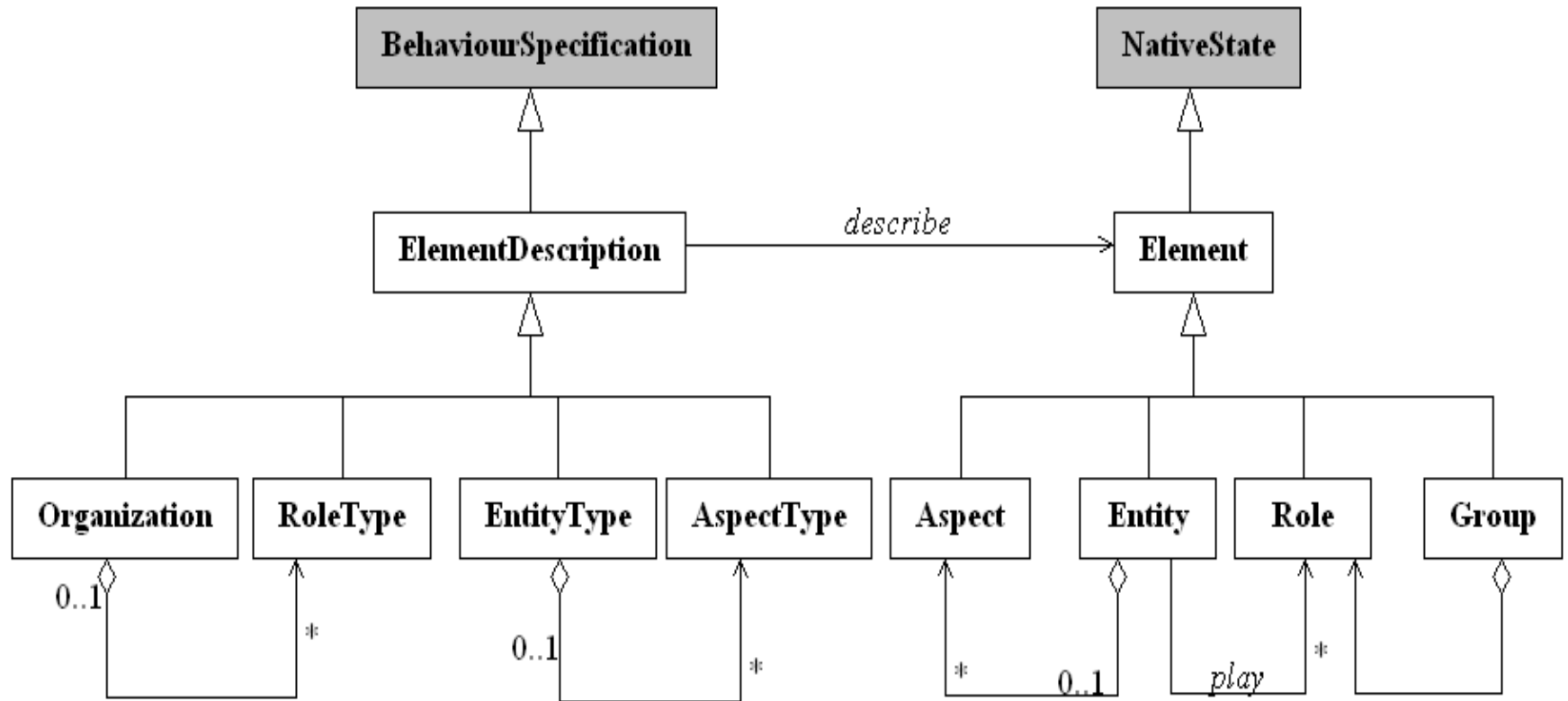
# OREA overview



# Meta-Model of OREA

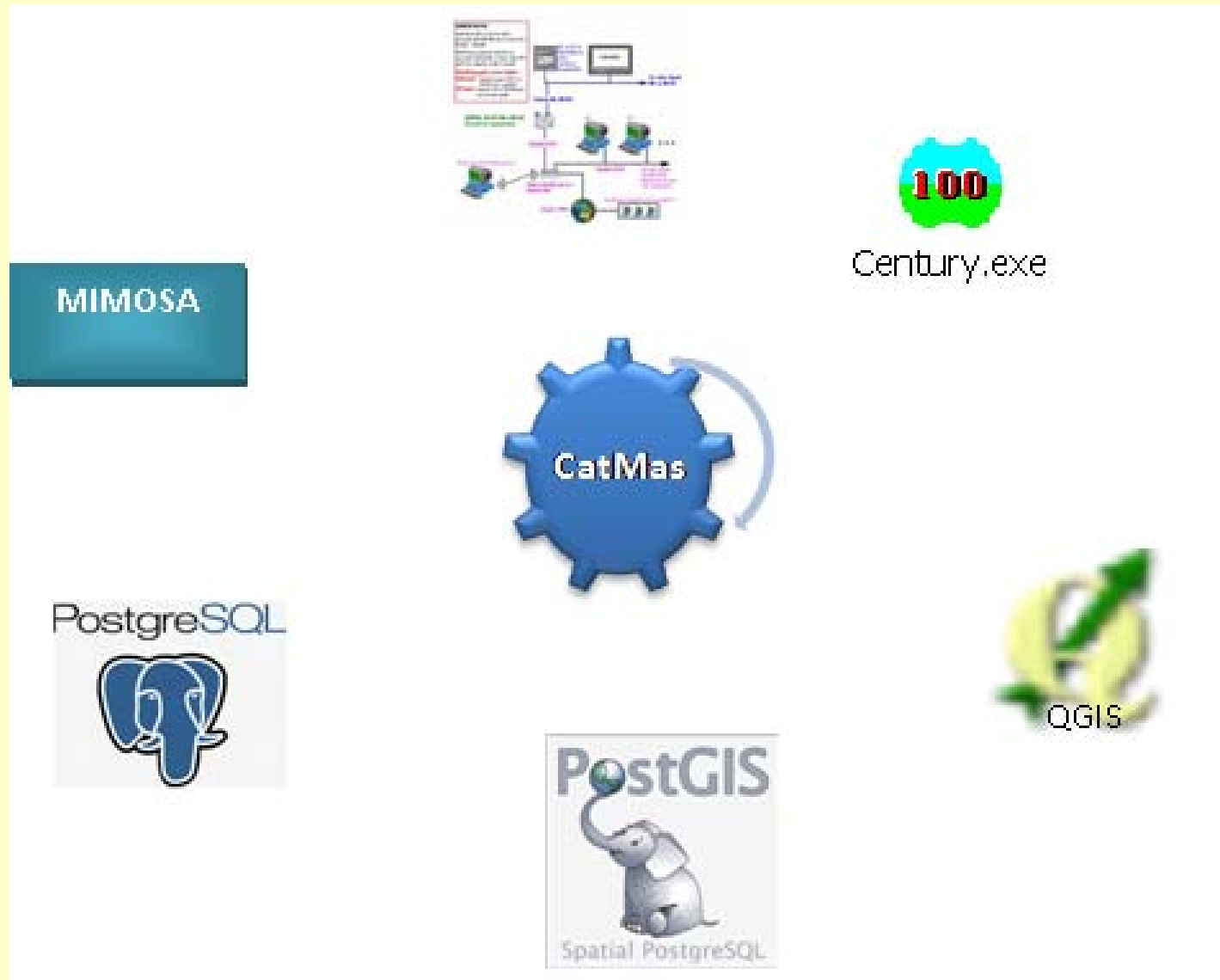


# Meta-Model of OREA



# Material and method

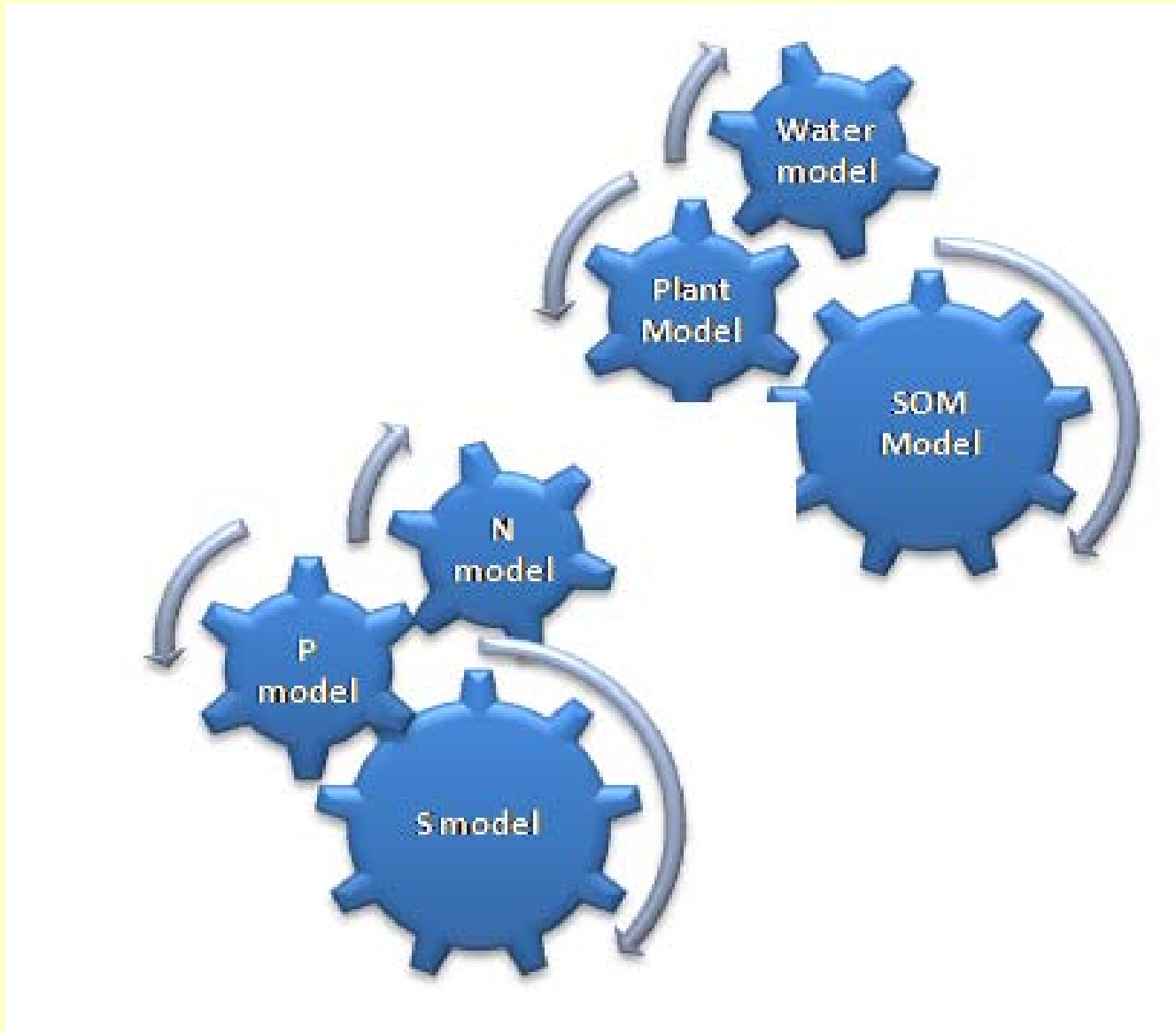
## CatMAS application mapping



# Century model

- A process based model
- Simulation of ecosystem by taking into account :
  - Biological, physical and chemical factors
  - Crop management , grazing and climate effect on SOC
- Simulate carbon dynamics at soil level (1 m<sup>2</sup>) through six sub models

# Century model



# Century

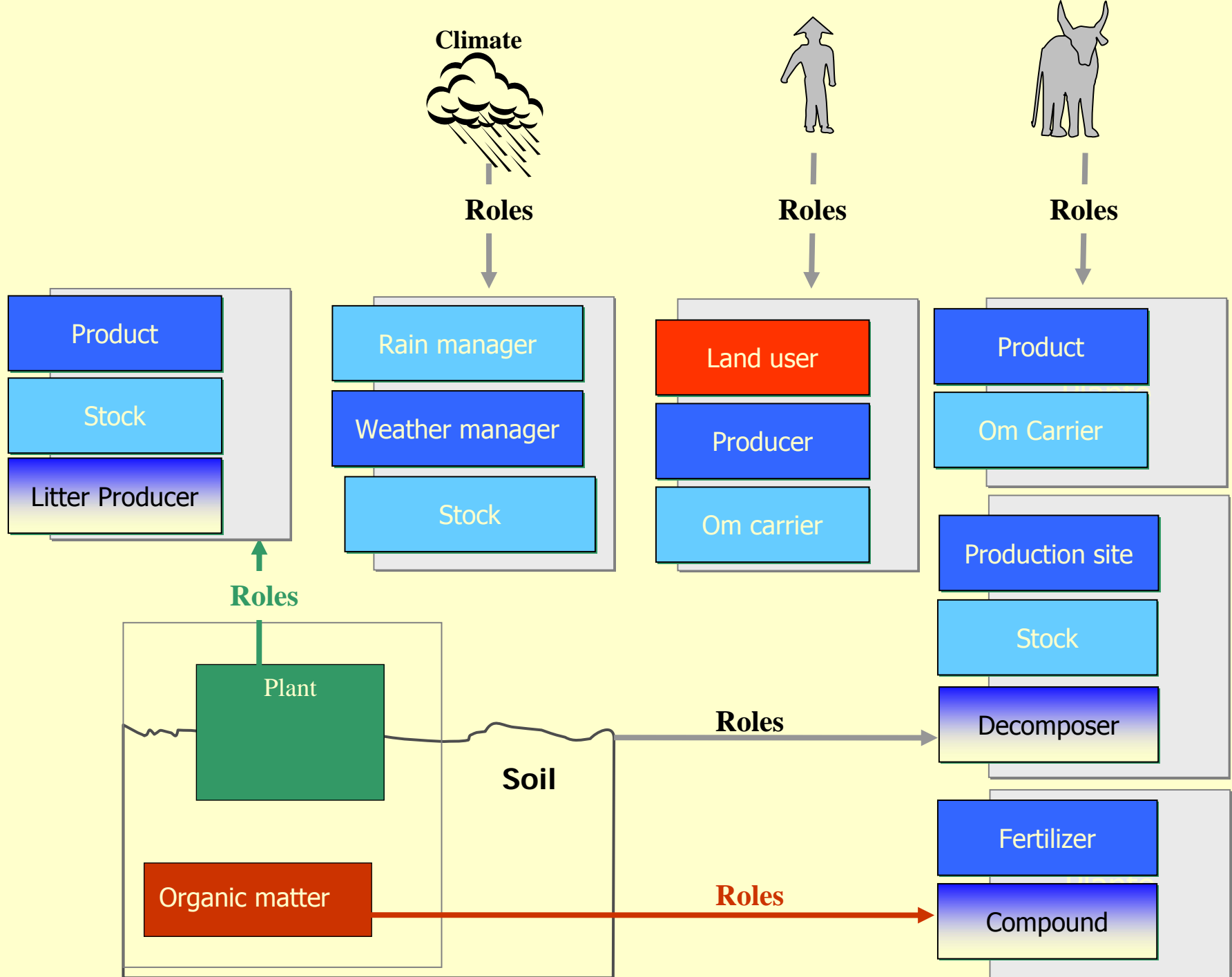
## ■ SMA

- Social and economic dynamics
- Land use change
- Climate
- Spatialisation of carbon dynamics

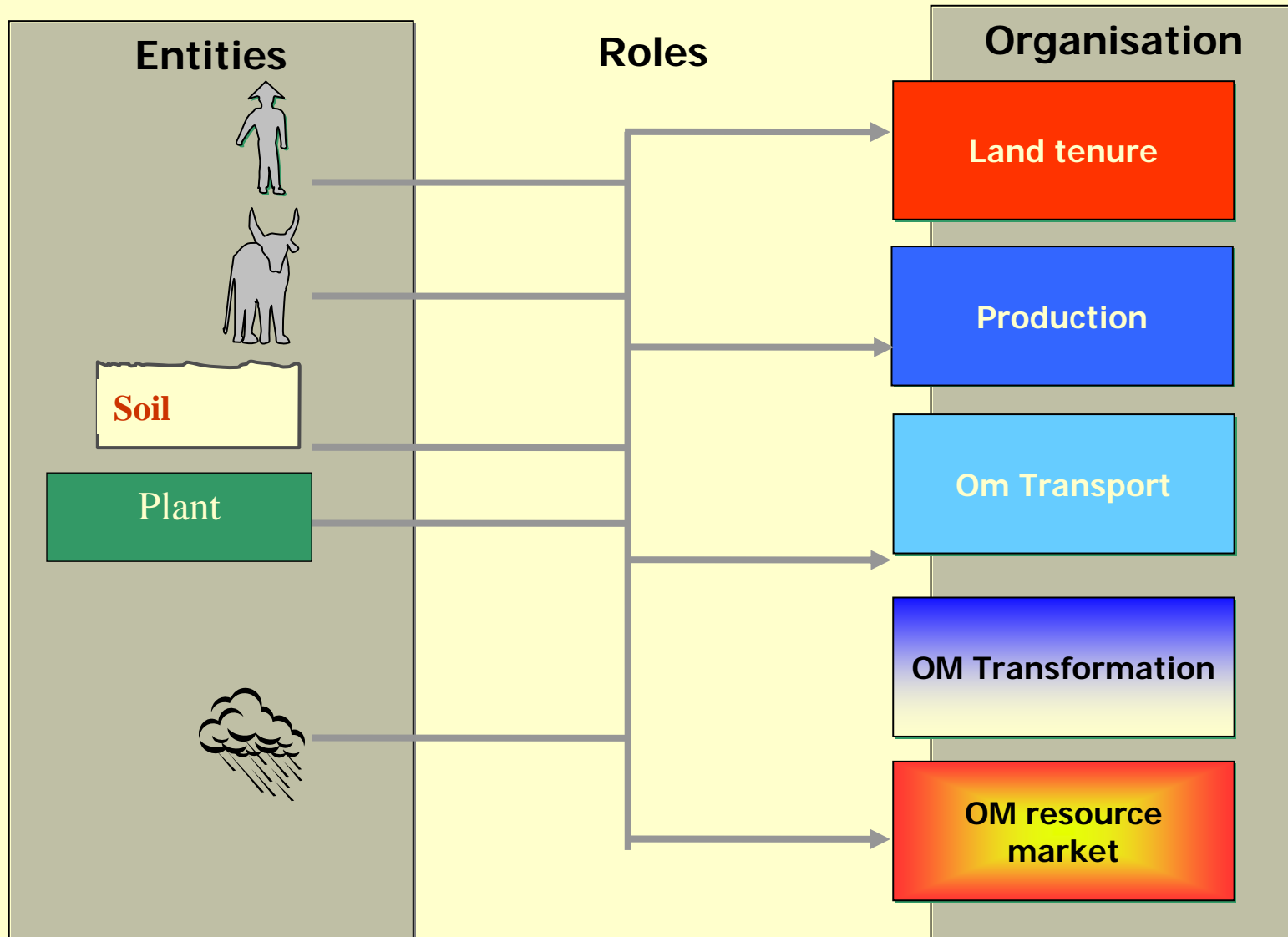
## ● Century

- SOM model
- plant model
- water and temperature model
- N model
- P model
- S model

# Conceptual Model



# Territory model: Global view



# Dynamics

# Modélisation de la dynamique pastorale

- Facteurs à prendre à compte:
  - Facteurs économiques :
    - Point de vue du producteur et de l'économiste
    - Concernent principalement le troupeau
  - Facteurs biologiques:
    - point de vue du thématicien
    - Considèrent la production aussi bien au niveau individuel qu'au niveau d'une population animale (troupeau).
- Deux niveau interdépendants : Individuel et niveau collectif (troupeau)

# Dynamique pastorale

- Deux dynamiques
  - La production des troupeaux
    - Naissance
    - Puberté
    - Maturité
    - Vente
    - Croissance (gain et perte de poids)
  - Ingestion et excrétion par les troupeaux

# Dynamique pastorale: La Production

- Dépend du poids des animaux, taux de natalité et de mortalité qui varient en fonction de l'âge.
- Structuration des troupeaux :
  - la différenciation en un nombre de classes d'âge (pas de prise en compte de la répartition sexuelle)
  - Poids
  - Taux de mortalité
  - Taux de natalité
  - Taux de vente
  - Besoin énergétique
- Possibilité de prise en compte du cycle complet de la production des animaux (naissance, puberté, maturité, vente).

# Dynamique pastorale: La Production

- La productivité des animaux
  - Deux facteurs sont pris en compte:
    - La disponibilité en fourrage
    - La quantité d'animaux présents sur le terroir
  - La capacité de charge
    - $CC = \text{Production de la biomasse} / \text{besoin du cheptel}$
  - Le taux de croissance
    - $K = \text{cheptel} / CC$ .  $k$  tend 1 si cheptel tend vers CC
    - $\text{tauxCroiss} = \text{tauxCroiss} (1-k)$

# Dynamique pastorale: La production

- Croissance des animaux
  - Suit une courbe de forme sigmoïde dans les conditions normales. Le poids de l'animal croît continuellement jusqu'à atteindre le max à l'âge de la puberté et décroît vers zéro lorsque le poids adulte est atteint.
  - Dépend du besoin énergétique de l'animal, de la quantité et de la qualité énergétique du fourrage ingéré .
  - il y a croissance si l'ingestion est supérieure au besoin, sinon l'animal perd du poids.

# Dynamique pastorale: La croissance

- Deux modèles pour modéliser la croissance des animaux
- **Modèle de gain de poids** (H. Breman & N. de Ridder)

- $$\dot{WG} = \frac{((MDing - MDneed) \times WMetabolic \times digestibility \times DMEnergy)}{(AnimalEnContent \times 1000)}$$

- ingestion de matière sèche digestible en g/kg<sup>0,75</sup> par jour ;
- besoins d'entretien en matière sèche digestible,
- poids métabolique PV<sup>0,75</sup> en kg<sup>0,75</sup> ;
- contenu énergétique de la matière sèche digestible,
- utilisation de l'énergie digestible pour conversion en énergie corporelle, soit 0,5 ;
- contenu énergétique de 1 kg de poids, soit 18,1 MJ.

# Dynamique pastorale: La croissance

- **Modèle de perte de poids** (H. Breman & N. de Ridder)
- Utilisation de l'énergie corporelle pour le maintien du poids. Ce facteur est de l'ordre de 0.84

- $$PP = \frac{(MDNeed - MDing) \times WMetabolic \times Digestibility \times DMenergy}{0.84 \times AnimalEnergyContent \times 1000}$$

# Dynamique pastorale:

- Ingestion
- Le parcours des animaux est fonction de la qualité pastorale des pâturages
- Utilisation de la valeur pastorale pour évaluer la qualité du parcours

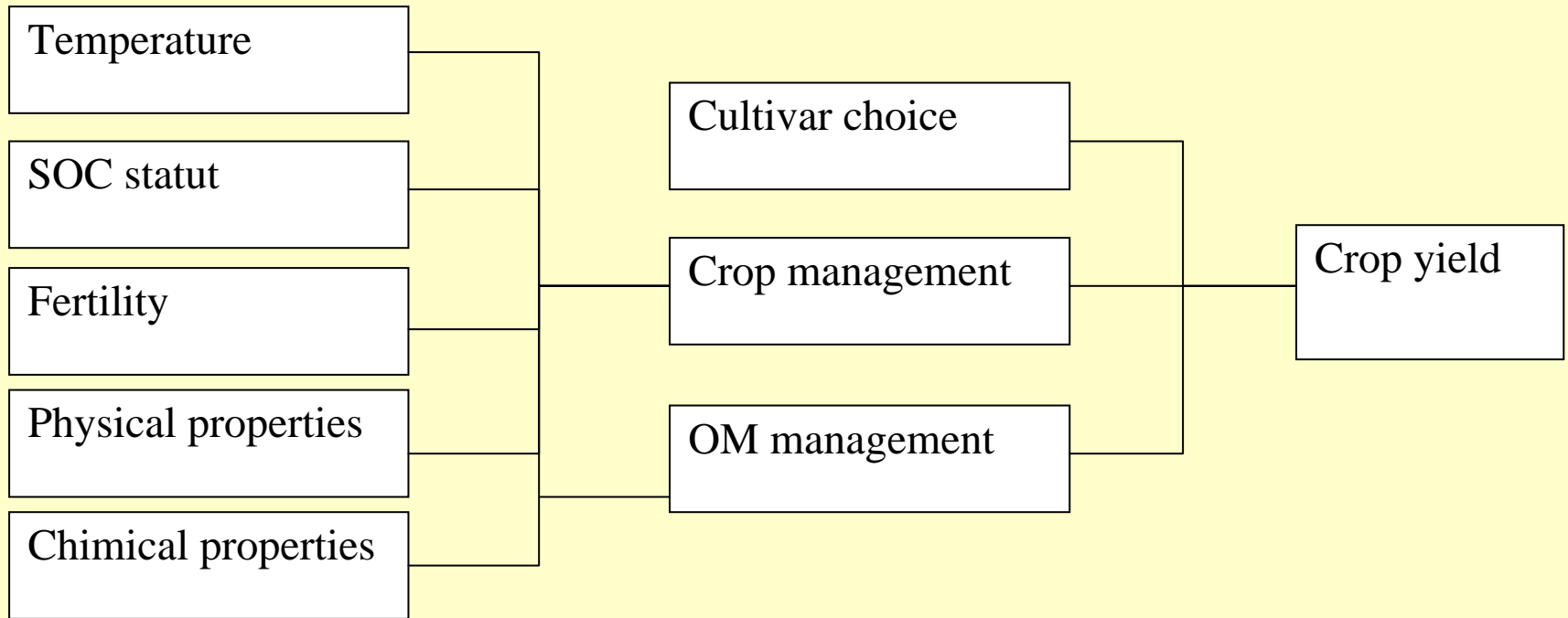
Indice de qualité = (biom. vivante + biom. morte) \* valeur énergétique

# Modélisation de la production agricole

- Deux points de vue
  - Point de vue agronomique
    - Rendement des cultures
    - Gestion des cultures
    - Gestion de la matière organique
    - Effet des facteurs biotiques et abiotiques
  - Point de vue socio-économique
    - Démographie
    - Règles d'usage des terres
    - Règles d'investissement
    - Règles de consommation
    - Etc.

# Modélisation de la production agricole

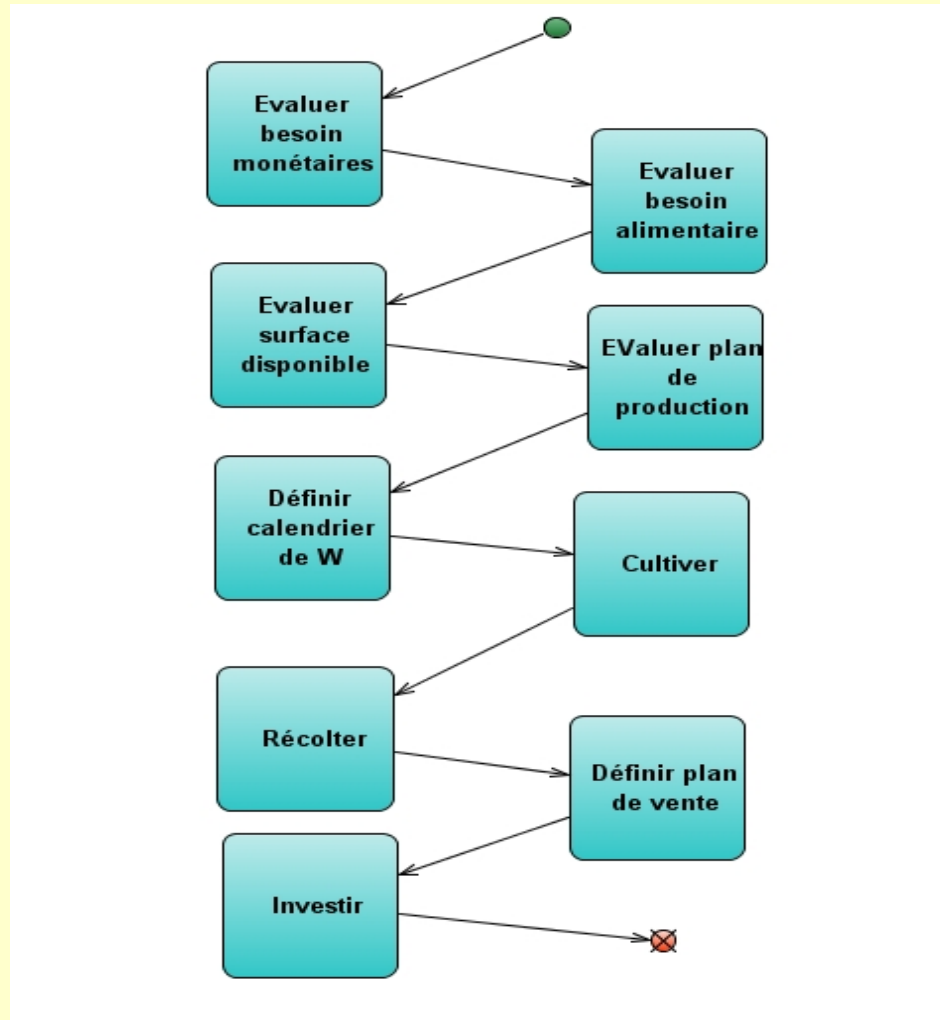
Point de vue agronomique



# Modélisation de la production agricole

- Point de vue socio-économique
  - Démographie
  - Règles d'usage des terres
  - Règles d'investissement
  - Règles de consommation
  - Etc.

# Processus de décision



# Processus de décision

## Objectifs

- Satisfaction des besoins énergétiques
- Satisfaction des besoins monétaires

## Ressources

- Système de culture
- Part de chaque culture dans la consommation
- Part de chaque culture dans la vente
- Force de travail disponible
- Fertilisants (minéraux et organiques) disponibles
- Cash disponible
- Rendements moyens des cultures

## Plan de production

- Quantité à produire pour chaque culture
- Surface à exploiter
- Force de travail
- quantité de fertilisants (minéraux et organiques)
- Production estimée

## Plan de stockage

- Plan de stockage
- Plan de vente
- Plan d'investissement

# Processus de décision

- Le choix des parcelles de culture
  - Est fonction de la fertilité requise par les cultures
  - Et de la fertilité des parcelles
  - La fertilité des parcelles étant dynamique, nous utilisons l'indice de production pour évaluer la fertilité des parcelles

# Processus de décision

- Index de production (Pierce et al., 1983).
- 
- Index de production permet d'évaluer la productivité d'une parcelle en fonction de ses propriétés physico-chimiques qui évoluent en fonction de son usage et des influences externes (climats, érosion, etc.).

$PI = (A_i \times B_i \times C_i \times D_i \times E_i \times WF_i)$  where:

$A_i$  = sufficiency of AWC of soil layer  $i$

$B_i$  = sufficiency of aeration in soil layer  $i$

$C_i$  = sufficiency of bulk density of soil layer  $i$

$D_i$  = sufficiency of soil pH of soil layer  $i$

$E_i$  = sufficiency of electrical conductivity of soil layer  $i$

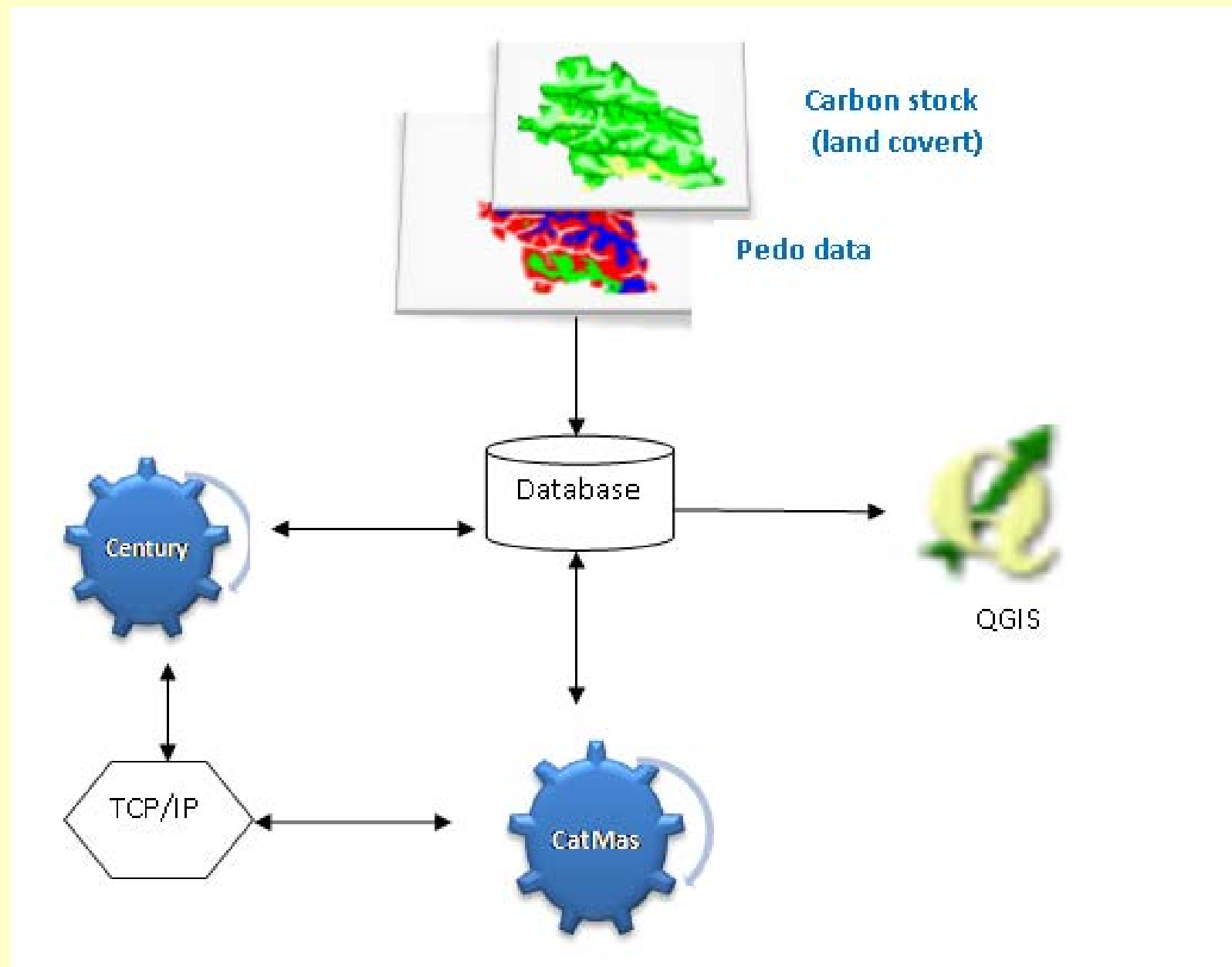
$WF_i$  = Weighing factor of soil layer  $i$

# Migration

- L'immigration :
  - Un taux d'immigration par type de concession
  - Continue dans le temps
  - Dépend de la capacité de production du terroir:
  - L'immigration s'arrête lorsque les besoins individuels se sont plus satisfaits c'est-à-dire lorsque chaque individu n'arrive pas à produire ce qu'il consomme (nourriture et argent) (Barbier)
  -

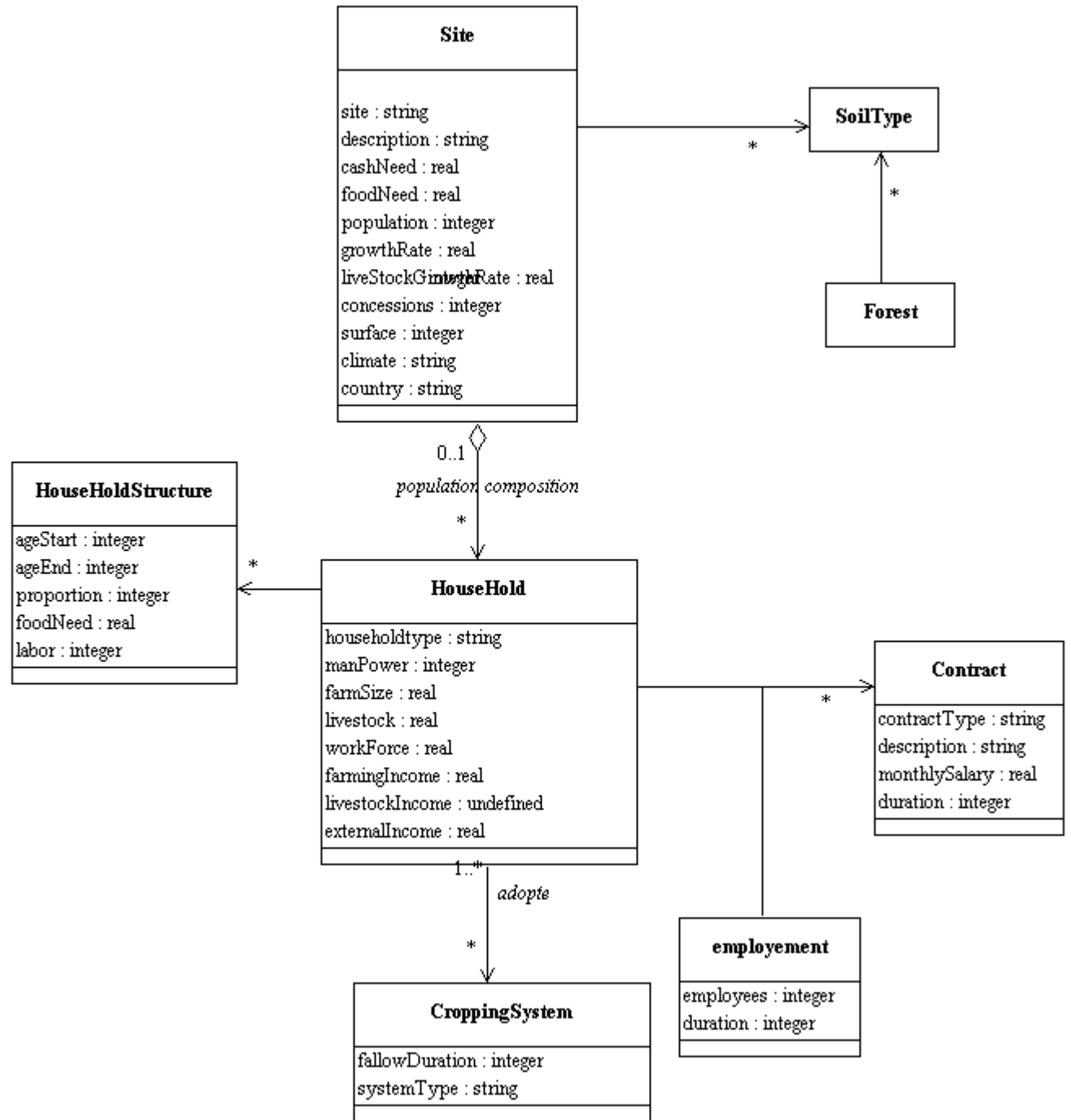
# The Simulator

# CatMAs

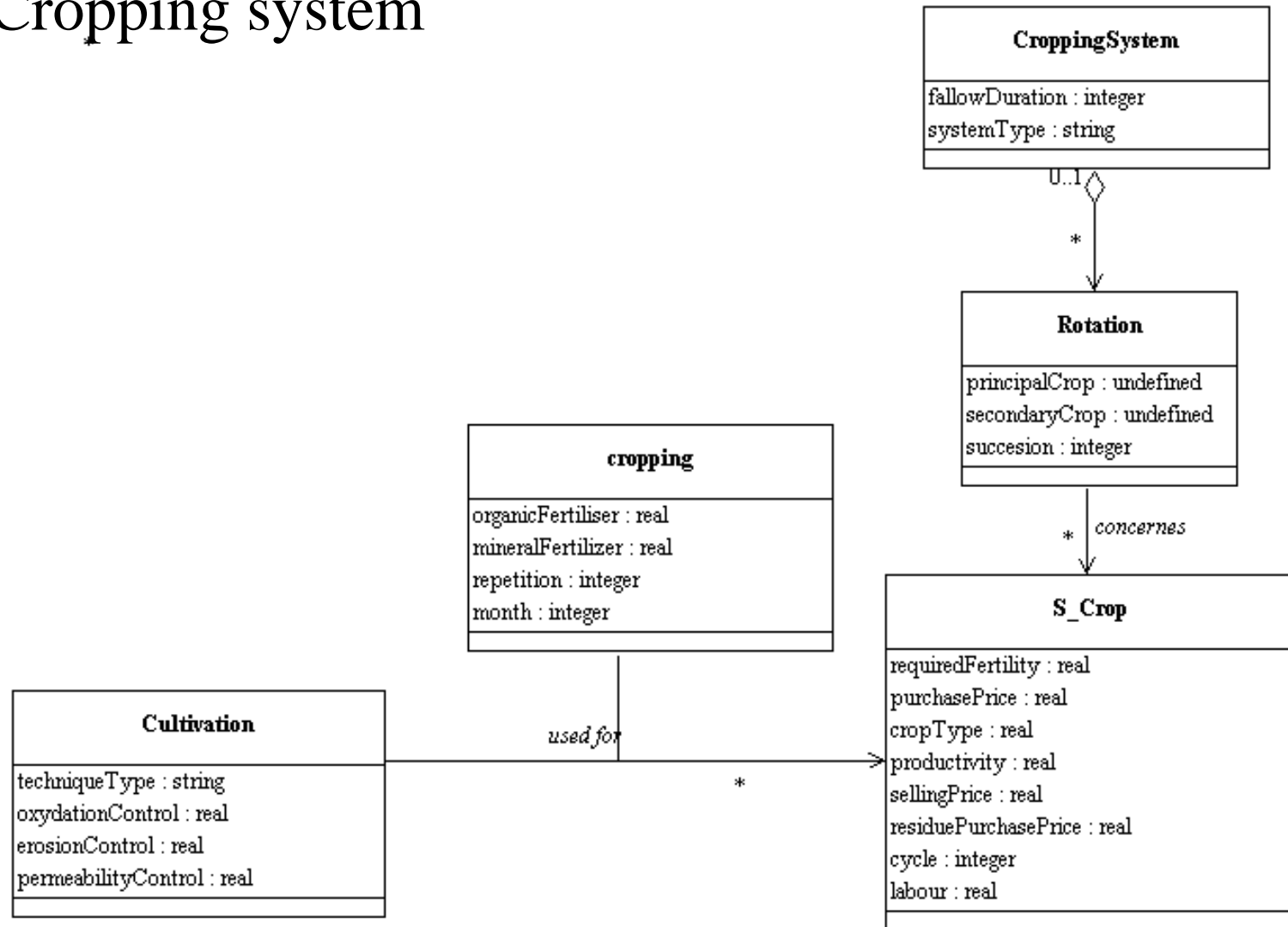


# CatMAS

## Household typology



## Cropping system



# Simulation

A suivre ...

# Conclusion and future works

## ■ Carbon model :

- Three main elements of carbon dynamics are represented: **biomass productivity, storage and soil organic matter content**
- Carbon cycle between **Soil-Plant-Atmosphere** clearly specified
- Provide framework to analyse climatic change effect on carbon dynamics and village sustainability
- Provide framework to represent carbon dynamics at any scales of representation

## ■ Future works

- Application of the model for Touroukoro carbon resources simulation
- Application of the model at large scale (Region, Country)