



Modélisation de enjeux ruraux :

Approches par la Modélisation multi-agents

MIAT INRA Toulouse
01/02/2019

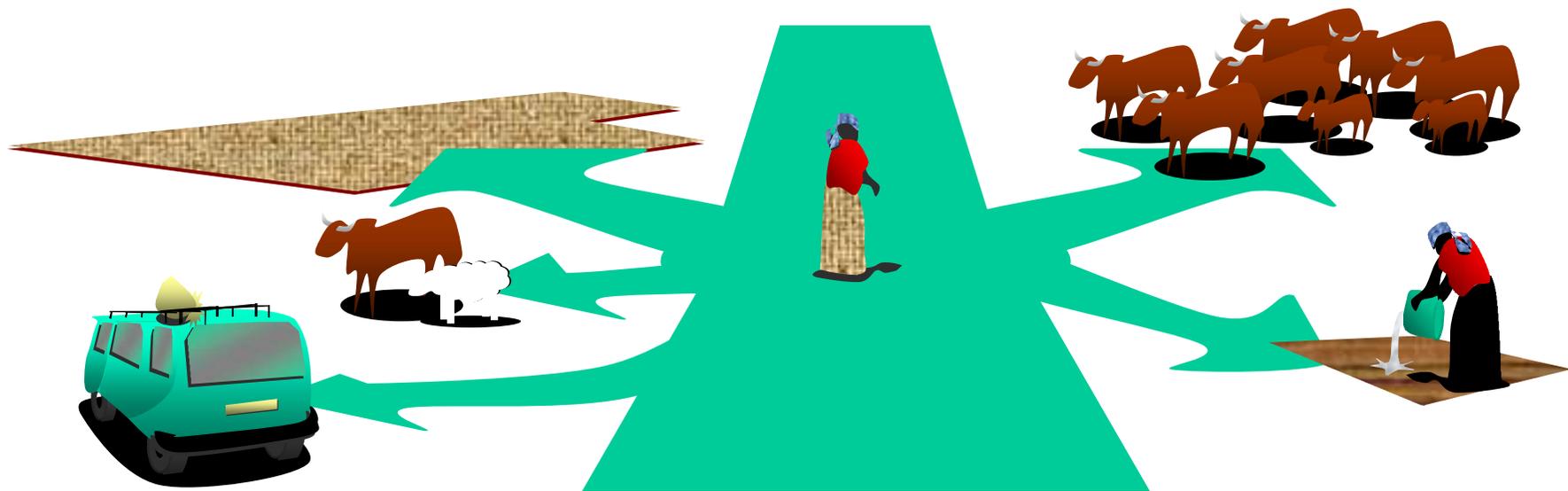
Mehdi SAQALLI CNRS Université Toulouse 2 le Mirail

UML - M. Saqalli

Un(e) paysan(ne)



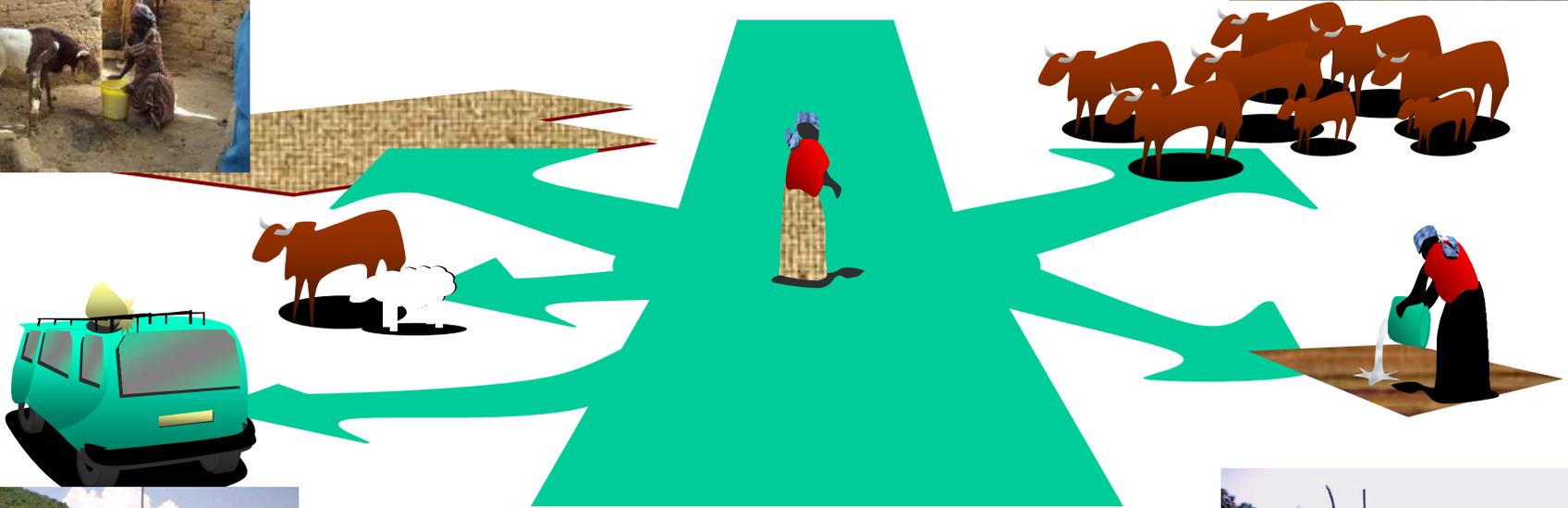
Un(e) paysan(ne)



Beaucoup d'activités



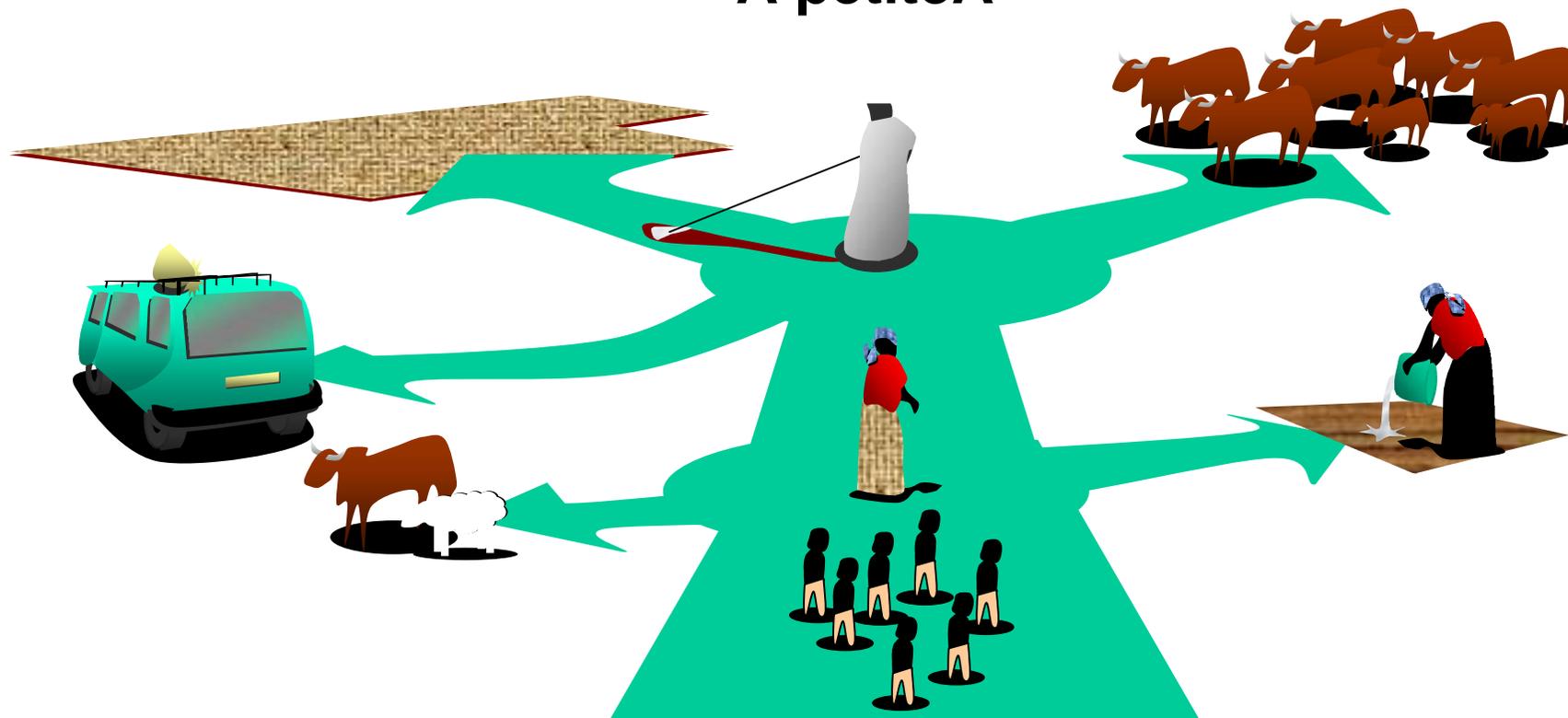
Un(e) paysan(ne)



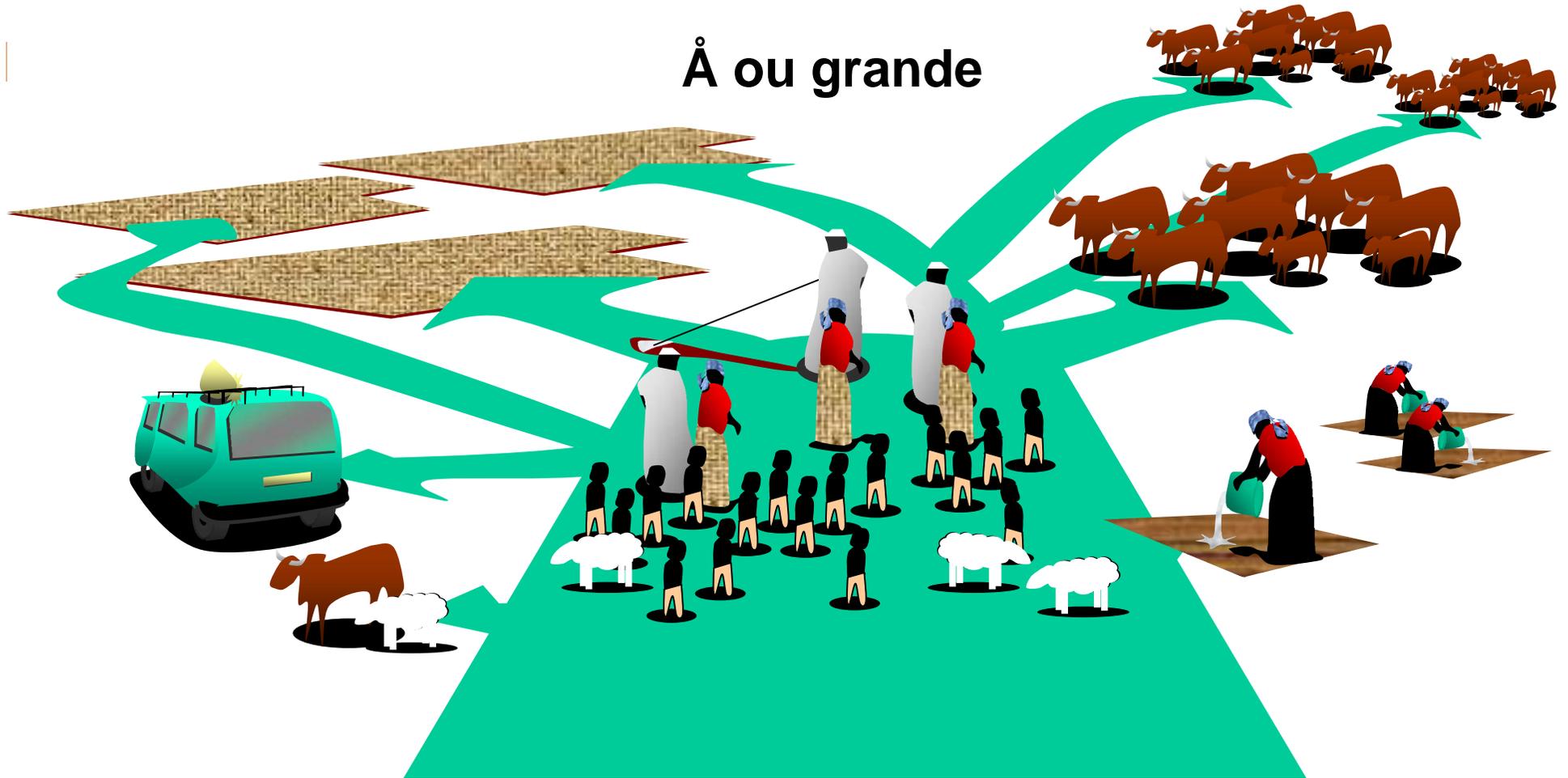
Beaucoup d'activités



Et une famille À petiteÀ



À ou grande

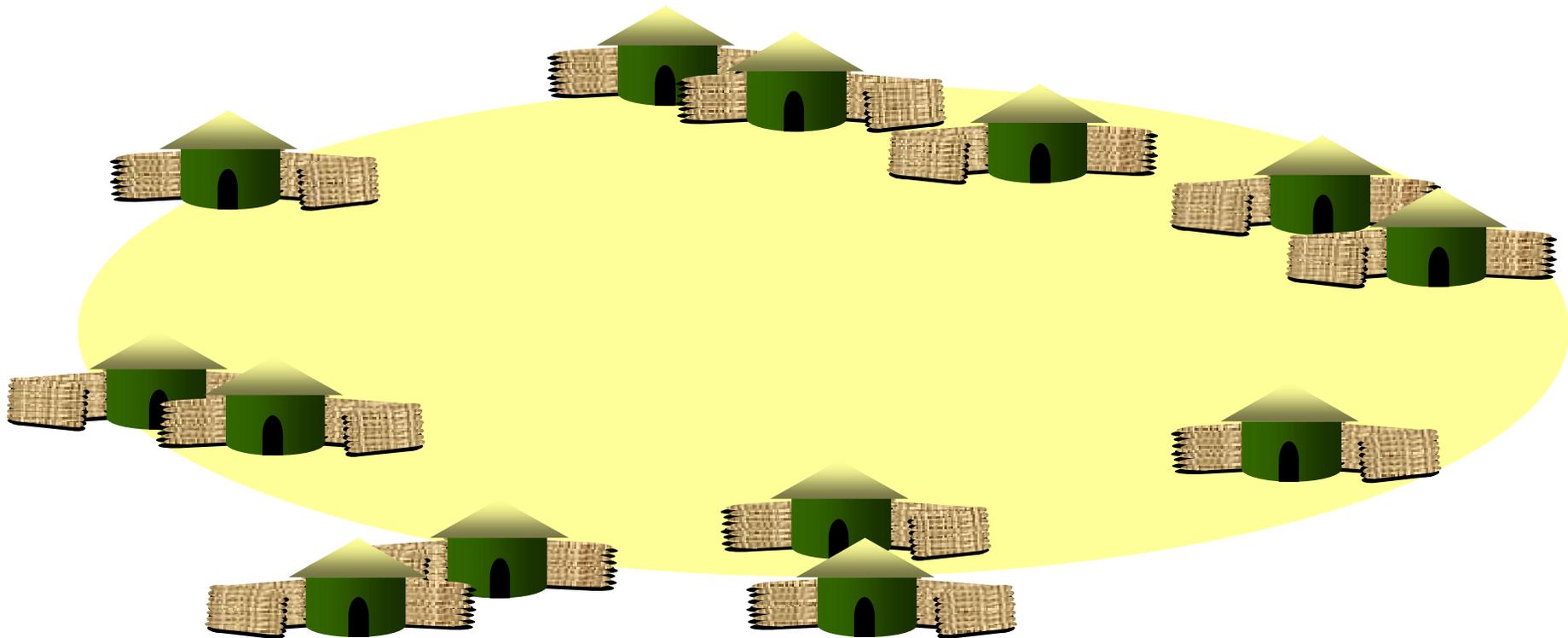




**Ca se passe comme ça dans
chacune des familles d'un village**

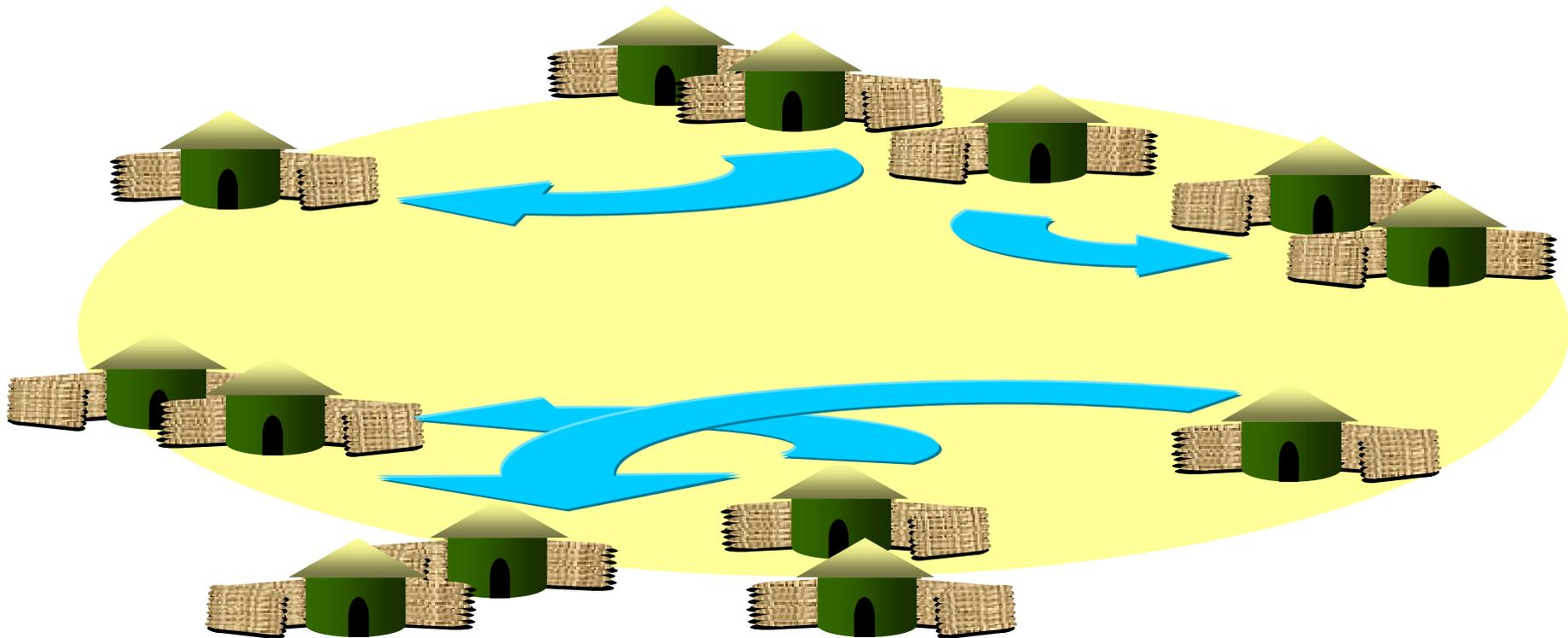
Et donc à l'échelle d'un village,
tous ces liens existent

Dans les maisons..

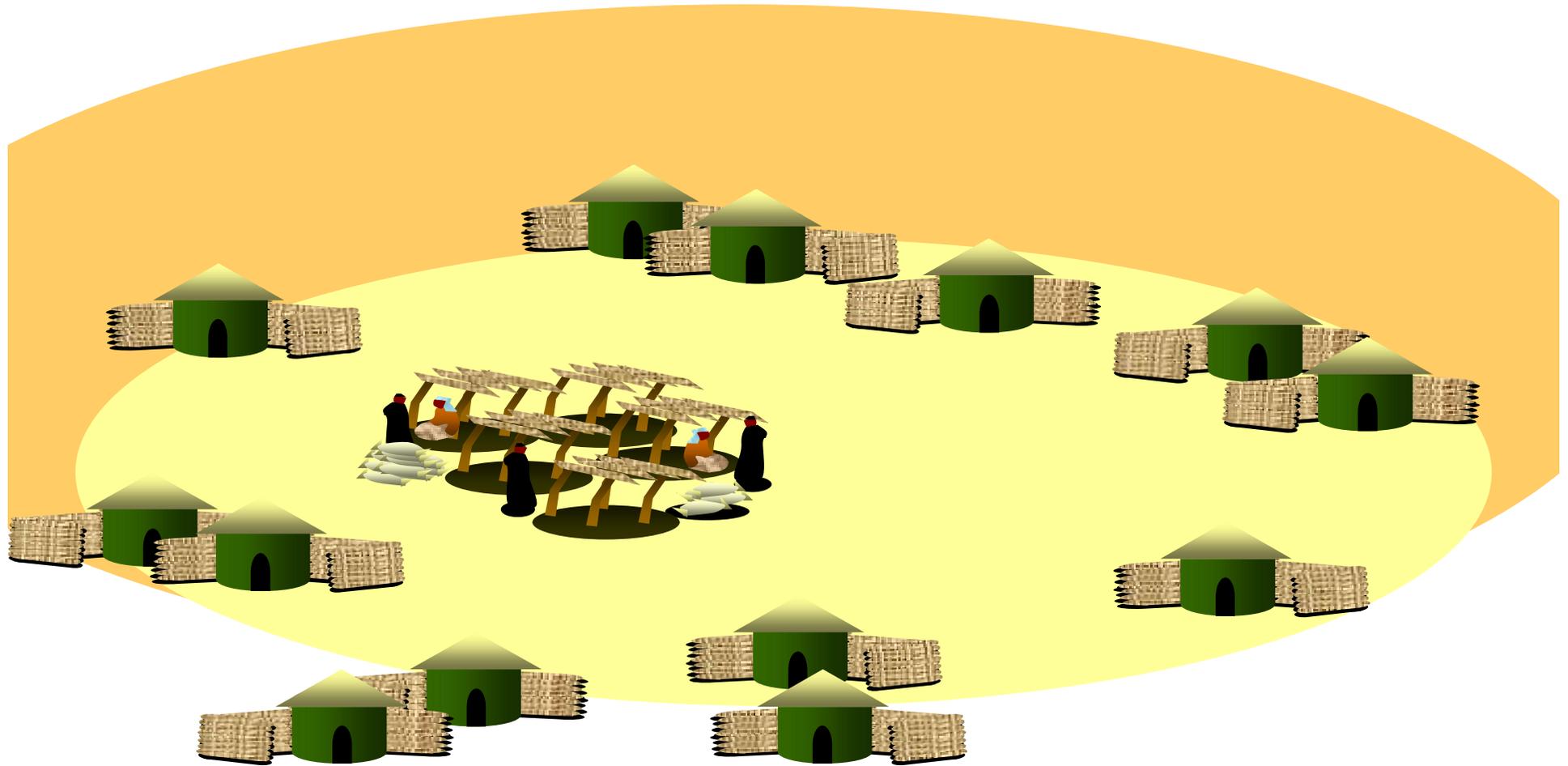


Et donc à l'échelle d'un village,
tous ces liens existent

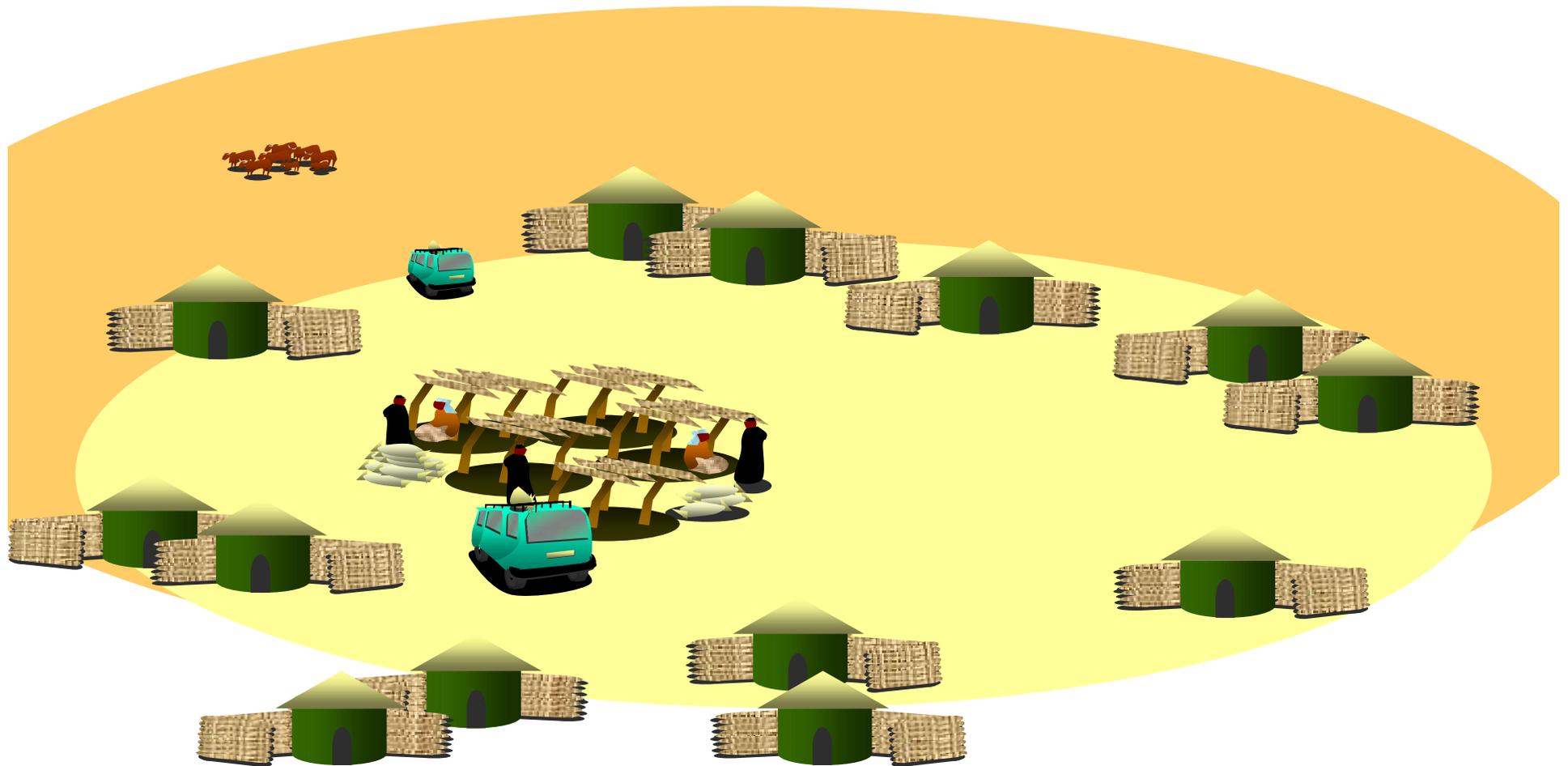
Et entre les maisons..



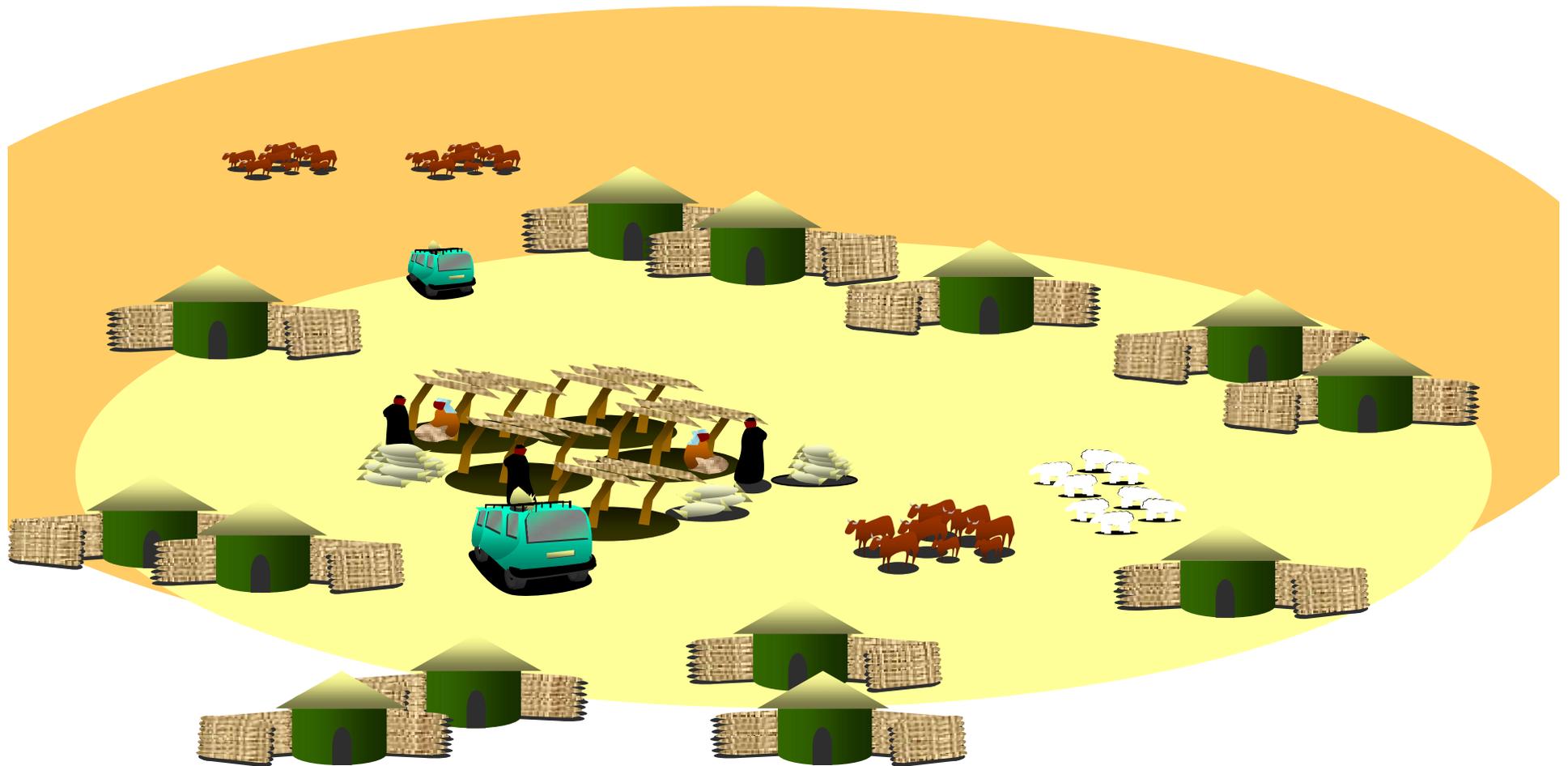
Avec l'extérieur, le marché



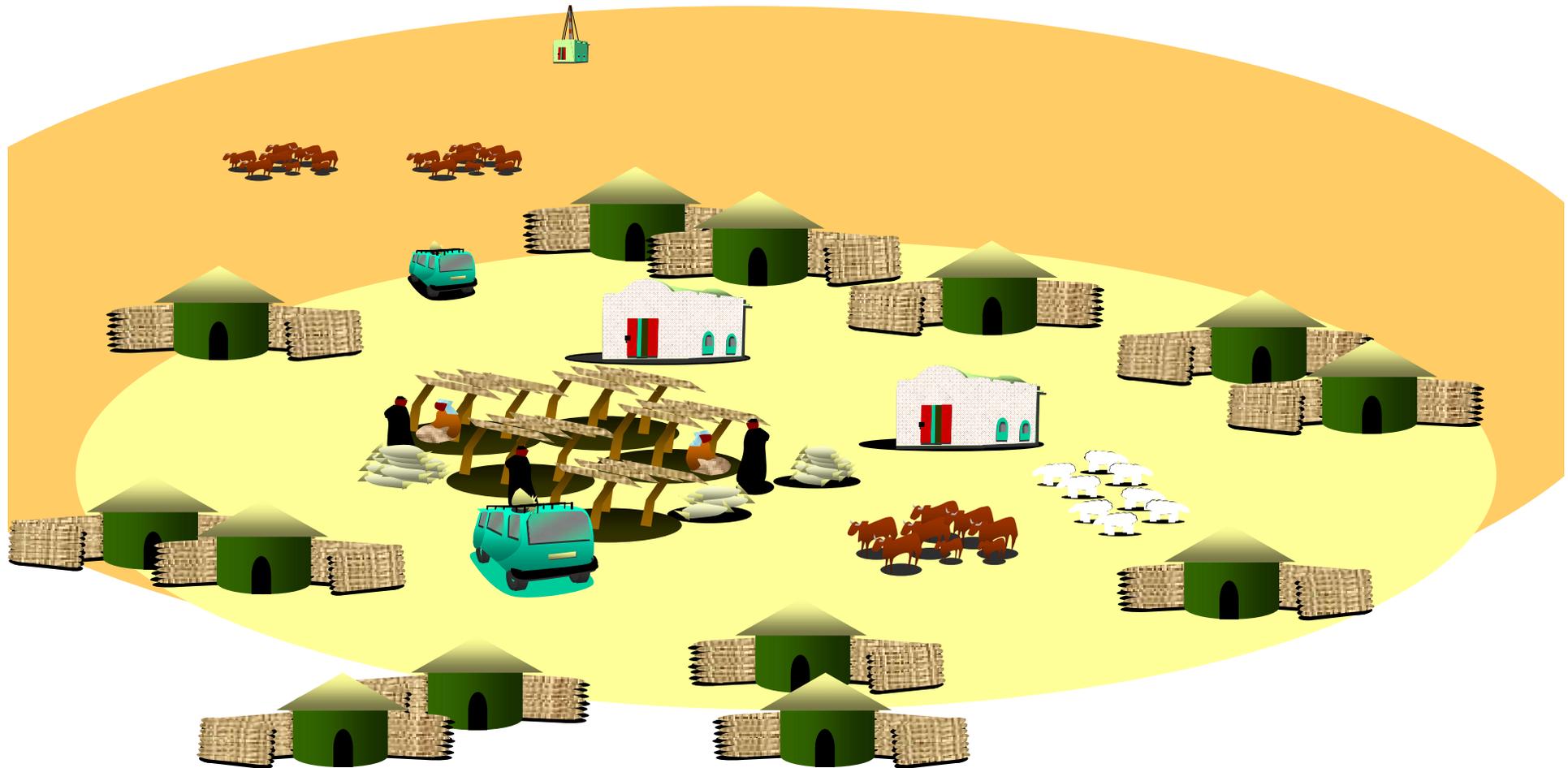
Les flux de gens, de troupeaux



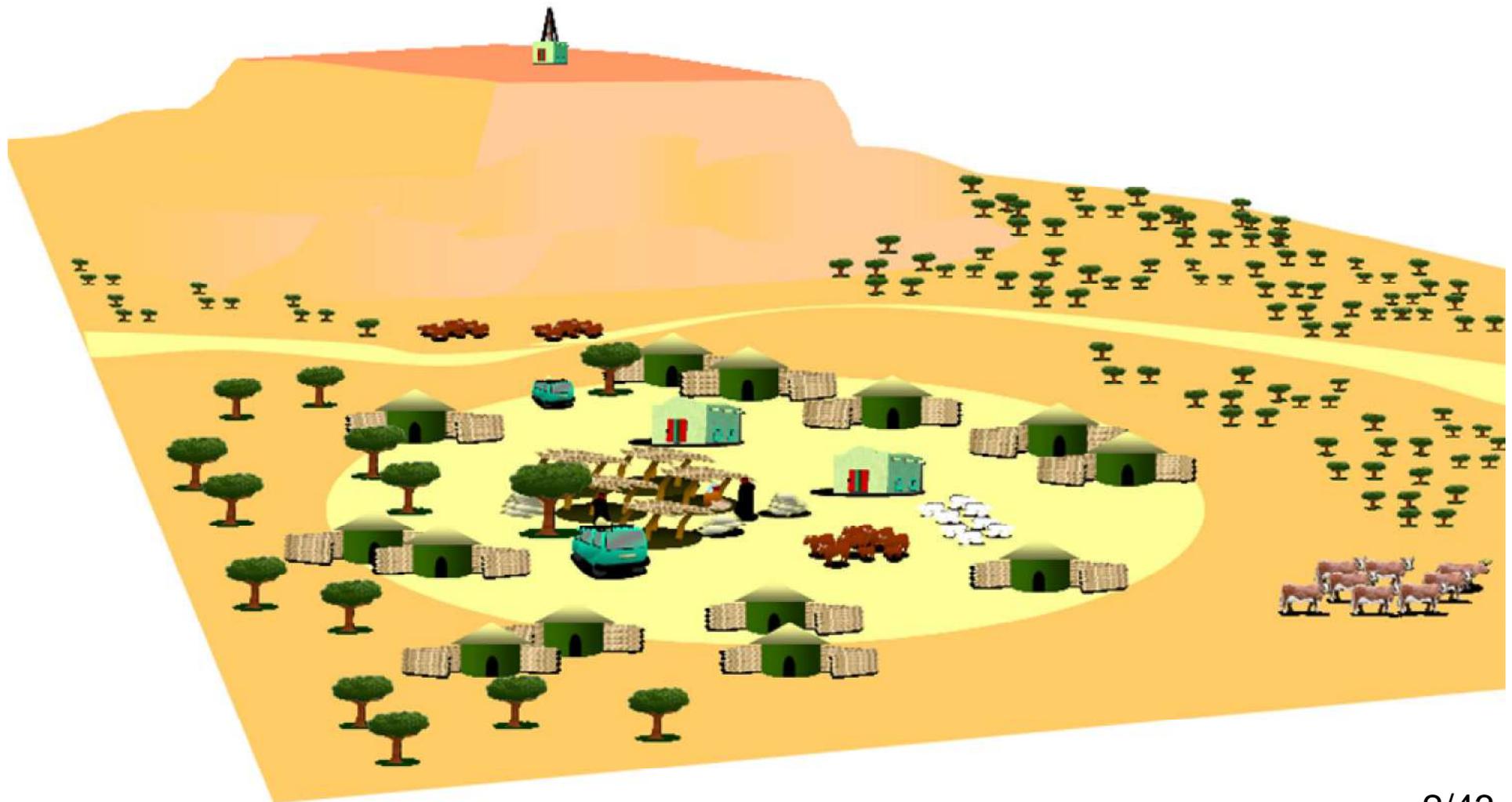
Les troupeaux sur place



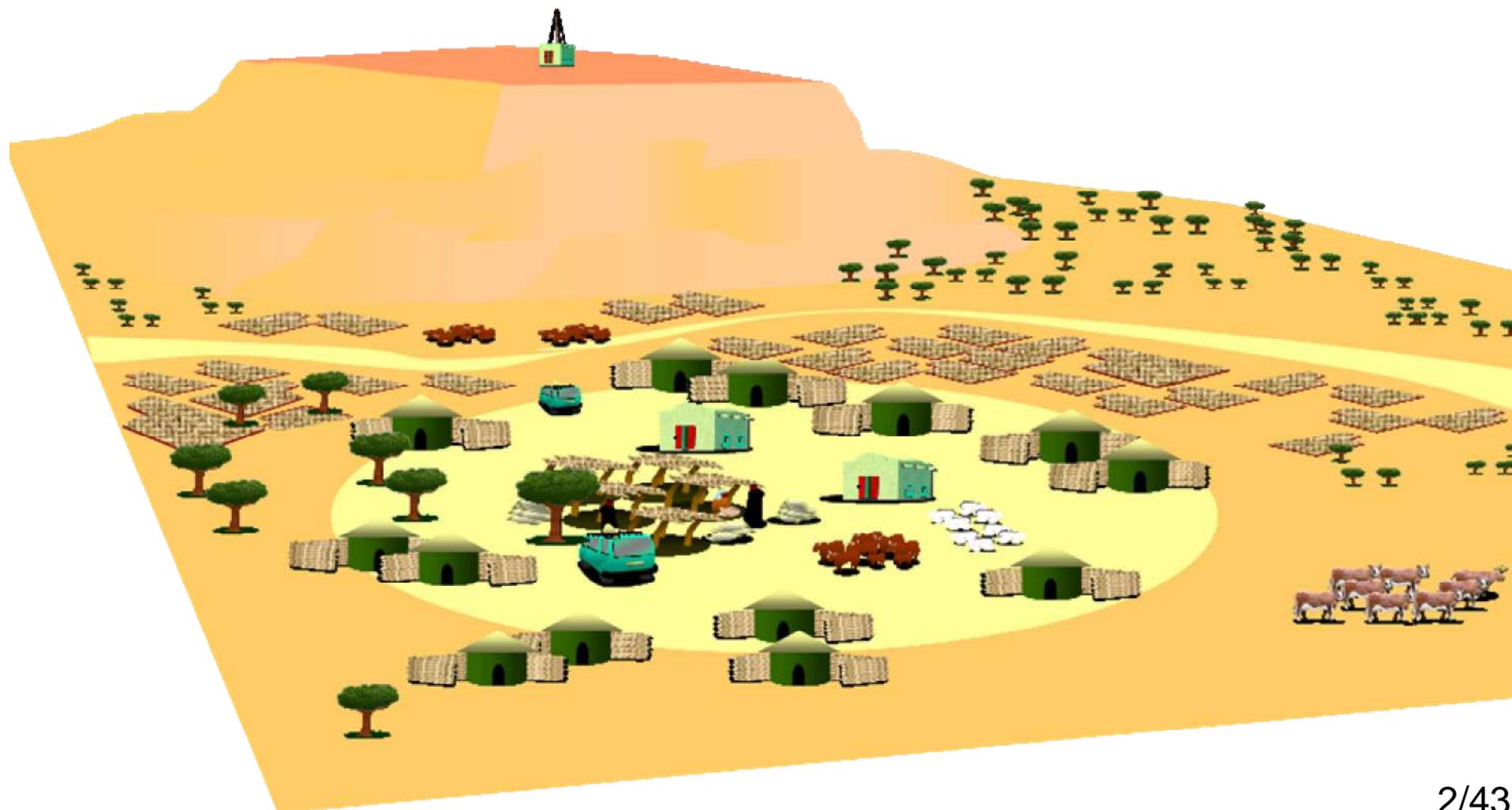
Les projets de développement, le politique

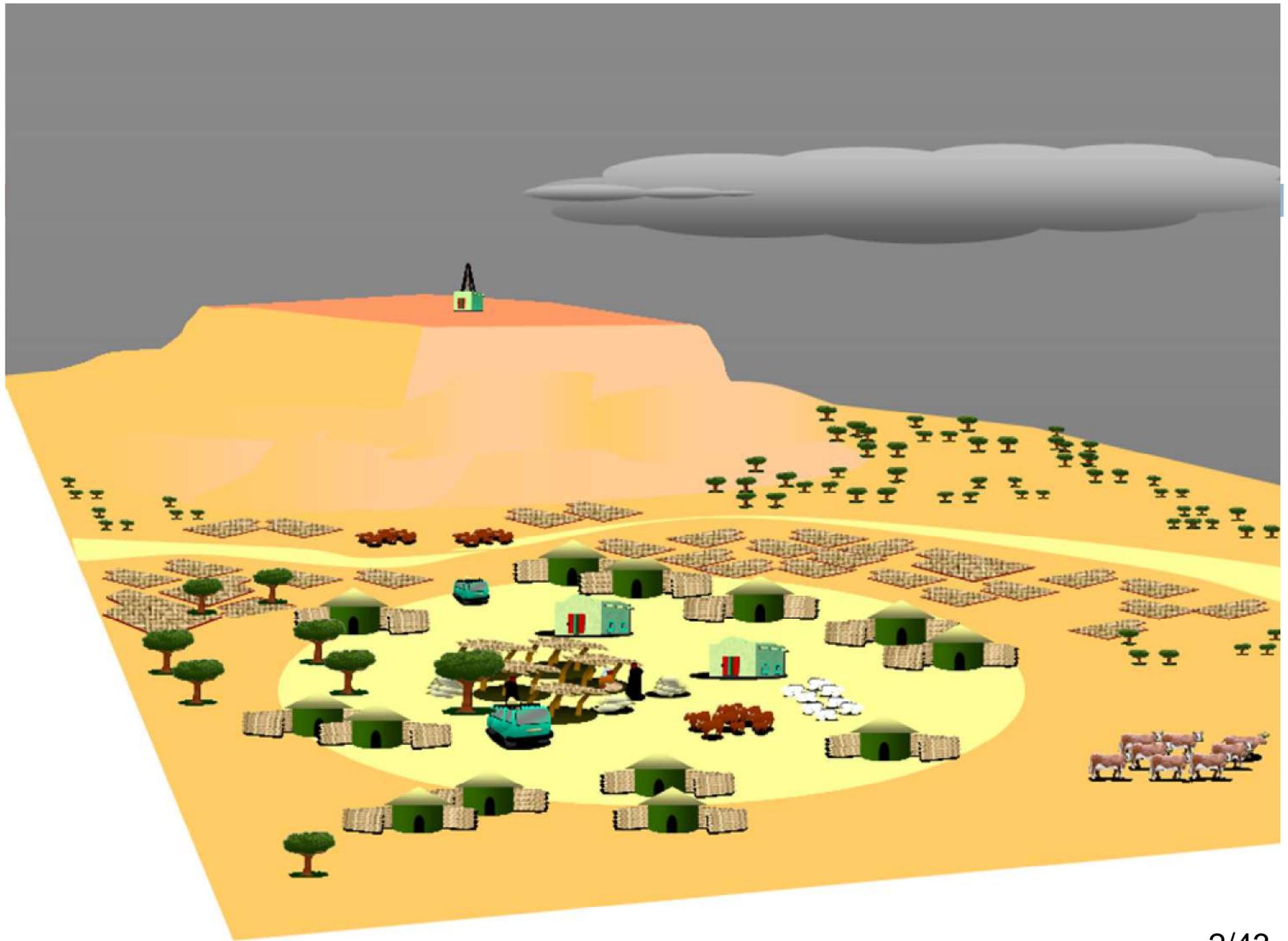


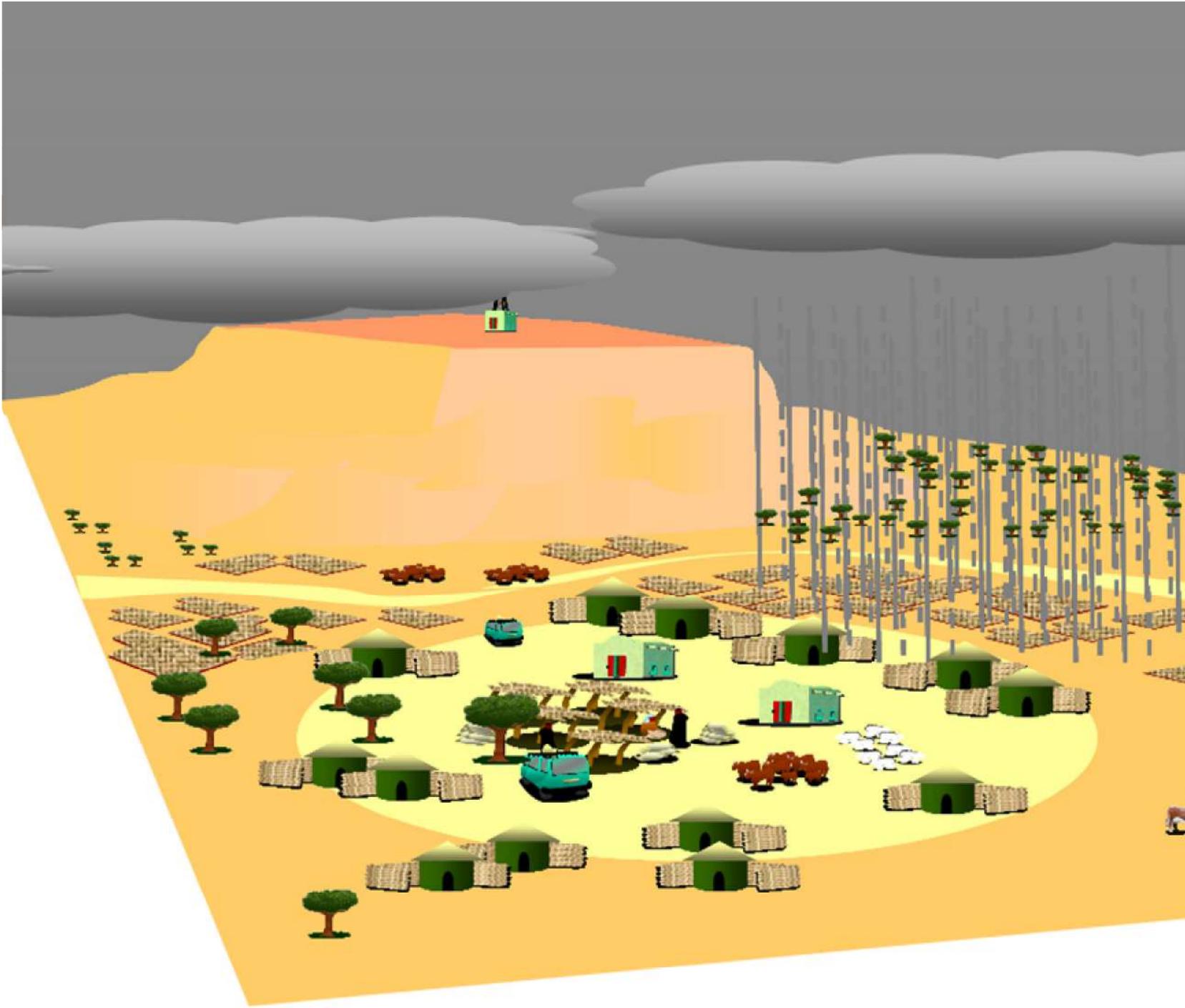
Replacez ça dans son territoire, ses sols, ses ressources...



La manière de l'utiliser







Le climat et sa variabilité, dans le temps et sur le ter



Le climat et sa variabilité, dans le temps et sur le ter

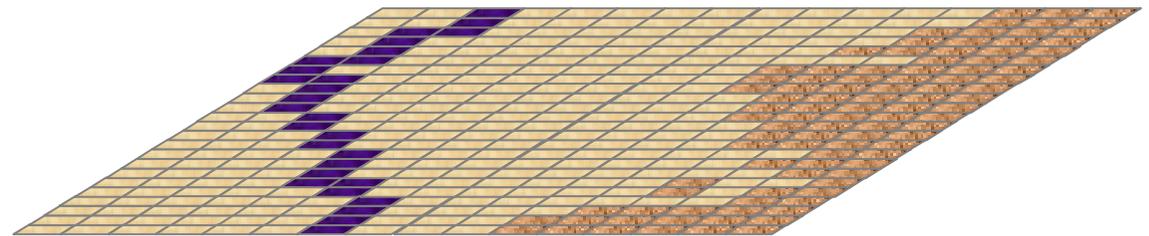
Trop compliqué?



Modéliser une société rurale: approche multi-agents

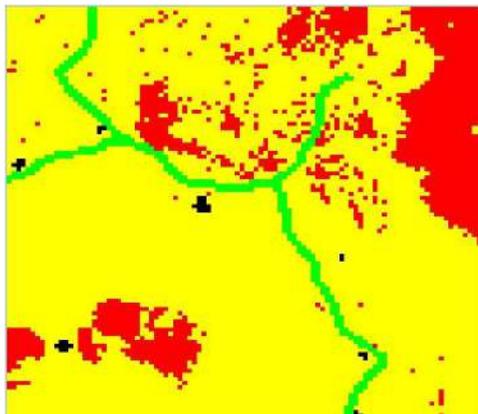
Automate cellulaire

É Attributs du paysage



1 pixel = 1 parcelle du terroir local
Vallée Plaine Plateaux, collines

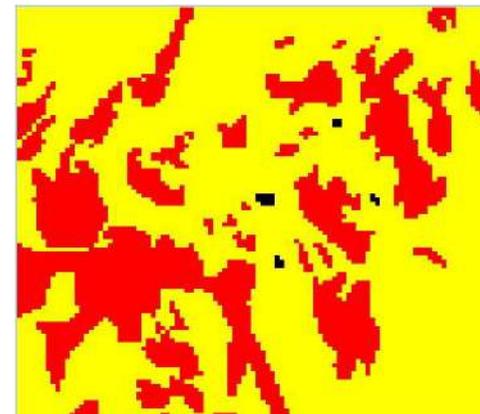
Fakara site



Gabi site



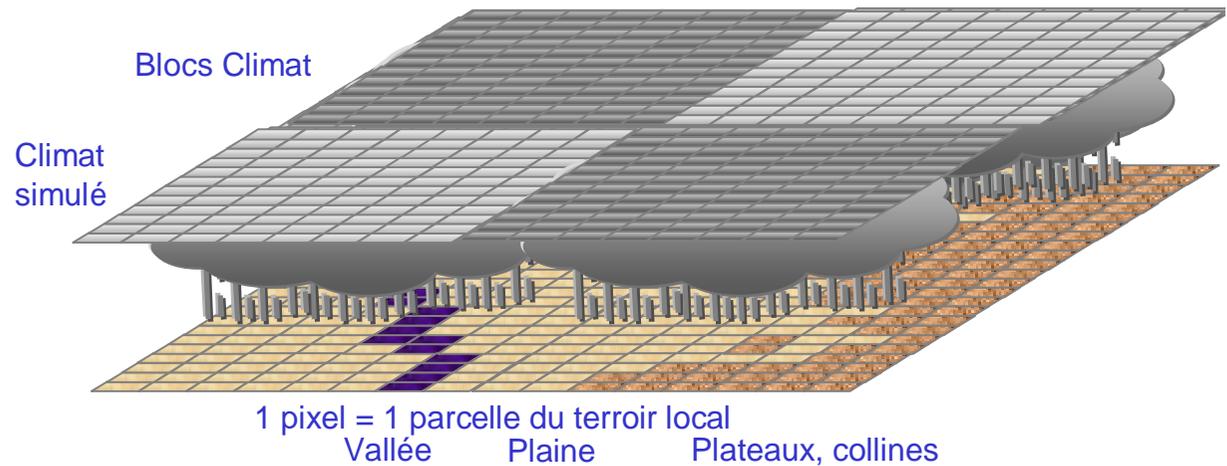
Zermou site



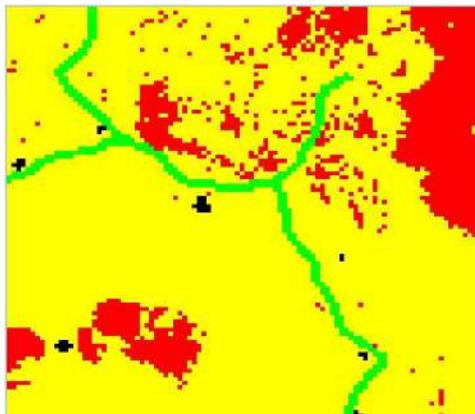
1 pixel = 1/4 ha

Modéliser une société rurale: approche multi-agents

Automate cellulaire
É Attributs du paysage



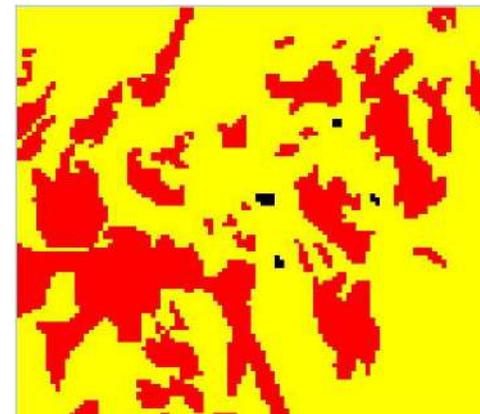
Fakara site



Gabi site



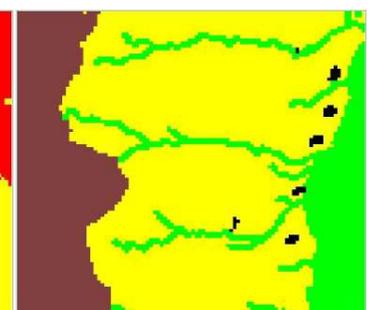
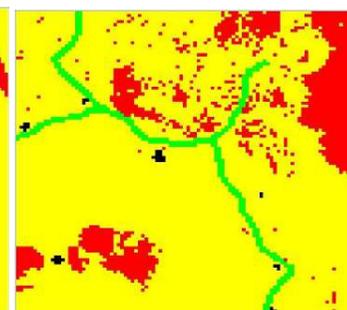
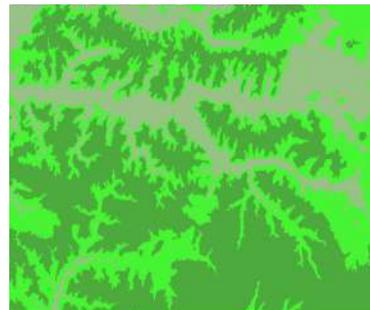
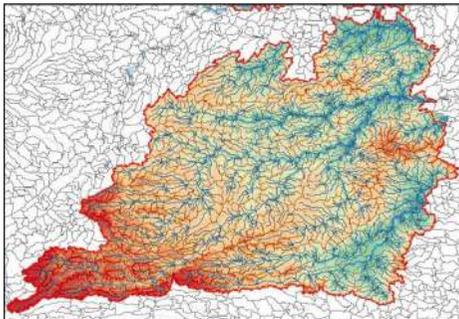
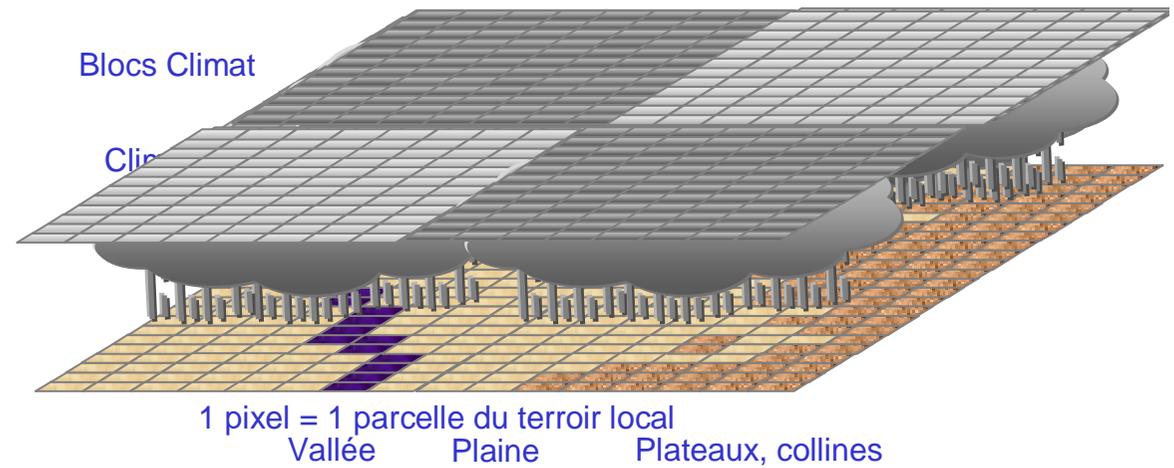
Zermou site



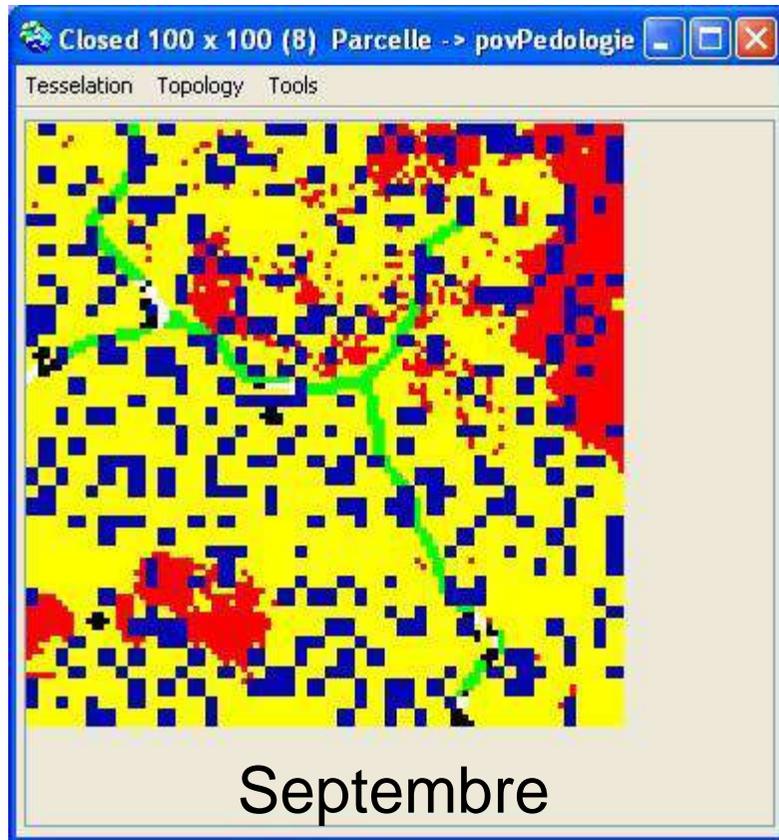
1 pixel = 1/4 ha

Modéliser une société rurale: approche multi-agents

Automate cellulaire
É Attributs du paysage



Modéliser une société rurale: approche multi-agents



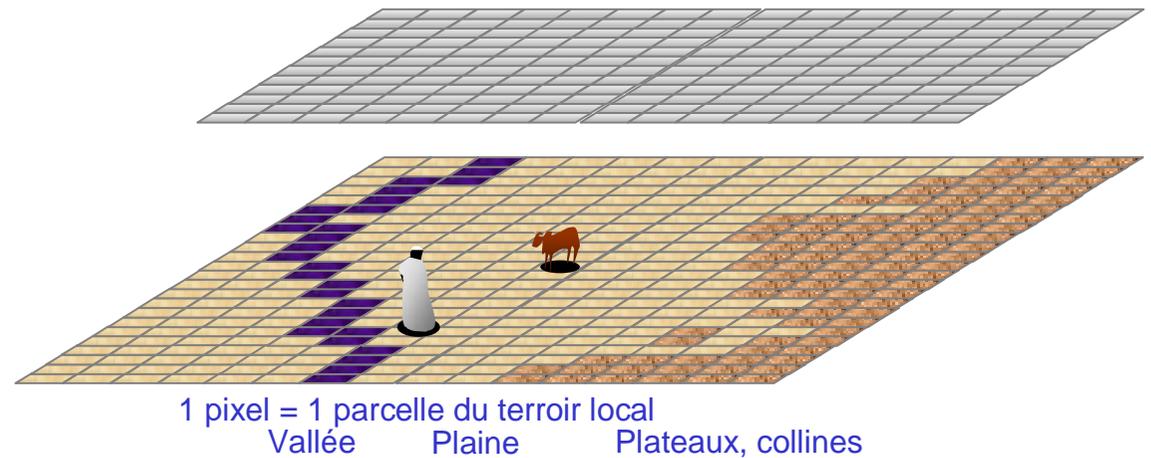
Modéliser une société rurale: approche multi-agents

Automate cellulaire

É Attributs du paysage

Modèle Objet

- “ Hétérogénéité
- “ Connexions entre attributs & comportement
- “ Relations entre pixels, objets & agents
- “ Mobilité



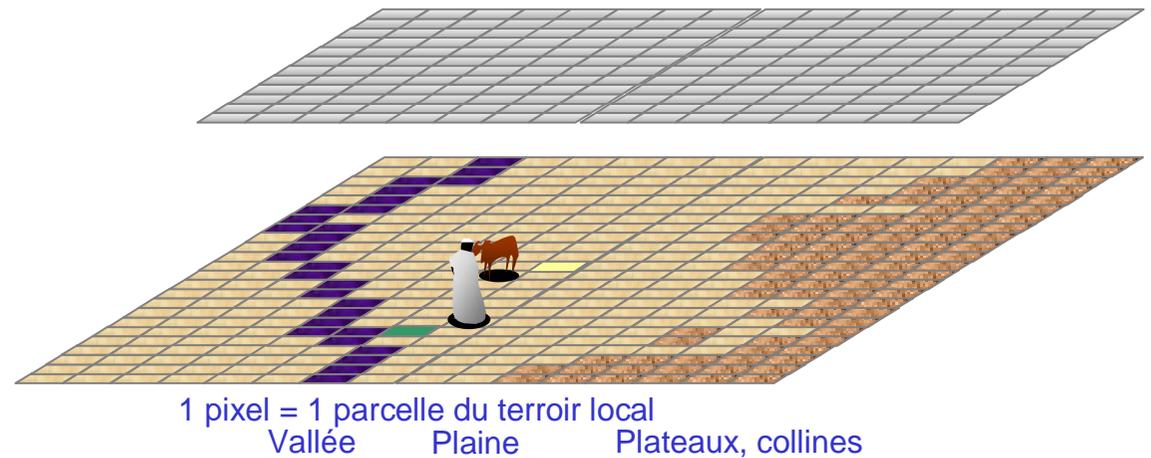
Modéliser une société rurale: approche multi-agents

Automate cellulaire

É Attributs du paysage

Modèle Objet

- “ Hétérogénéité
- “ Connexions entre attributs & comportement
- “ Relations entre pixels, objets & agents
- “ Mobilité



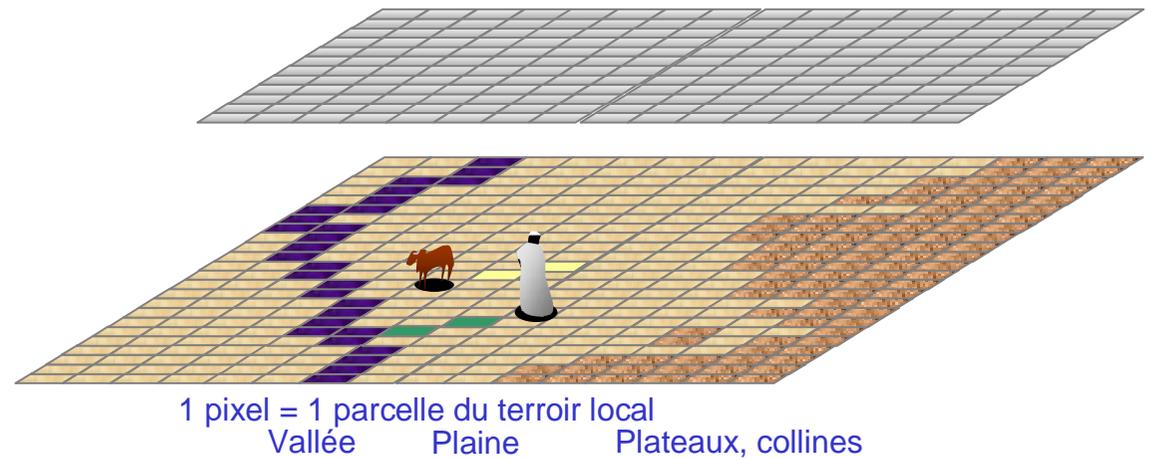
Modéliser une société rurale: approche multi-agents

Automate cellulaire

É Attributs du paysage

Modèle Objet

- “ Hétérogénéité
- “ Connexions entre attributs & comportement
- “ Relations entre pixels, objets & agents
- “ Mobilité



Modéliser une société rurale: approche multi-agents

Automate cellulaire

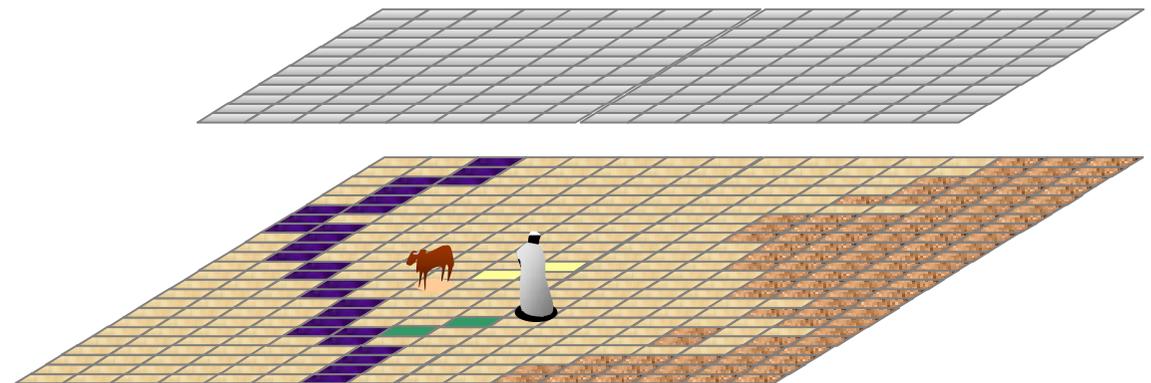
É Attributs du paysage

Modèle Objet

- “ Hétérogénéité
- “ Connexions entre attributs & comportement
- “ Relations entre pixels, objets & agents
- “ Mobilité

Agents

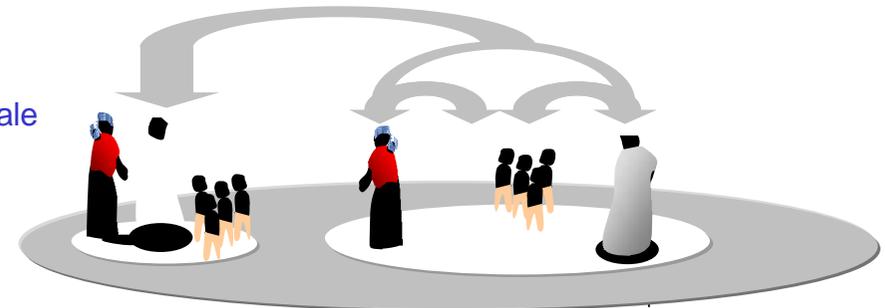
- “ Adaptabilité
- “ Cognition



1 pixel = 1 parcelle du terroir local
Vallée Plaine Plateaux, collines

Messages

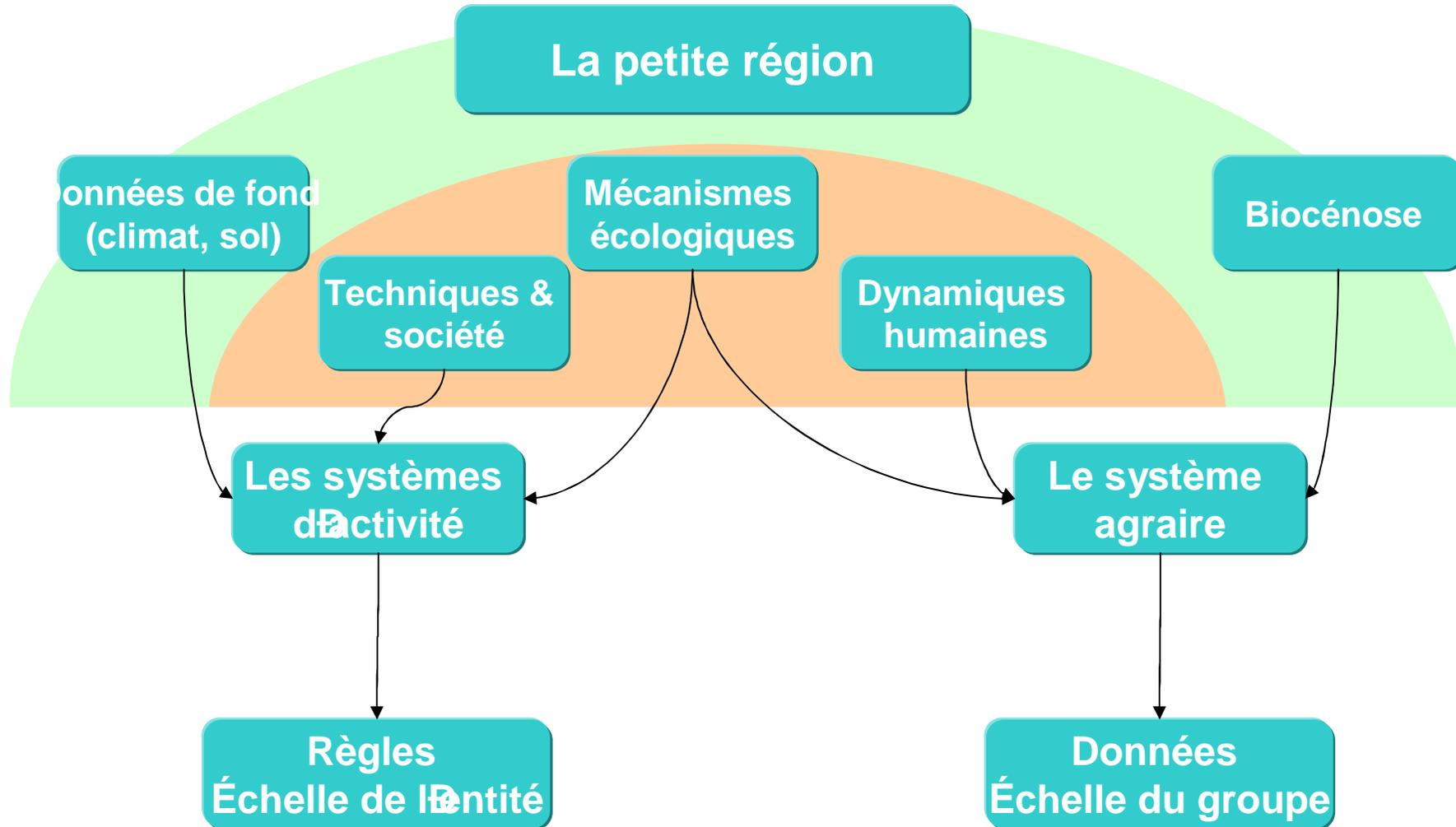
Sphère sociale
familiale



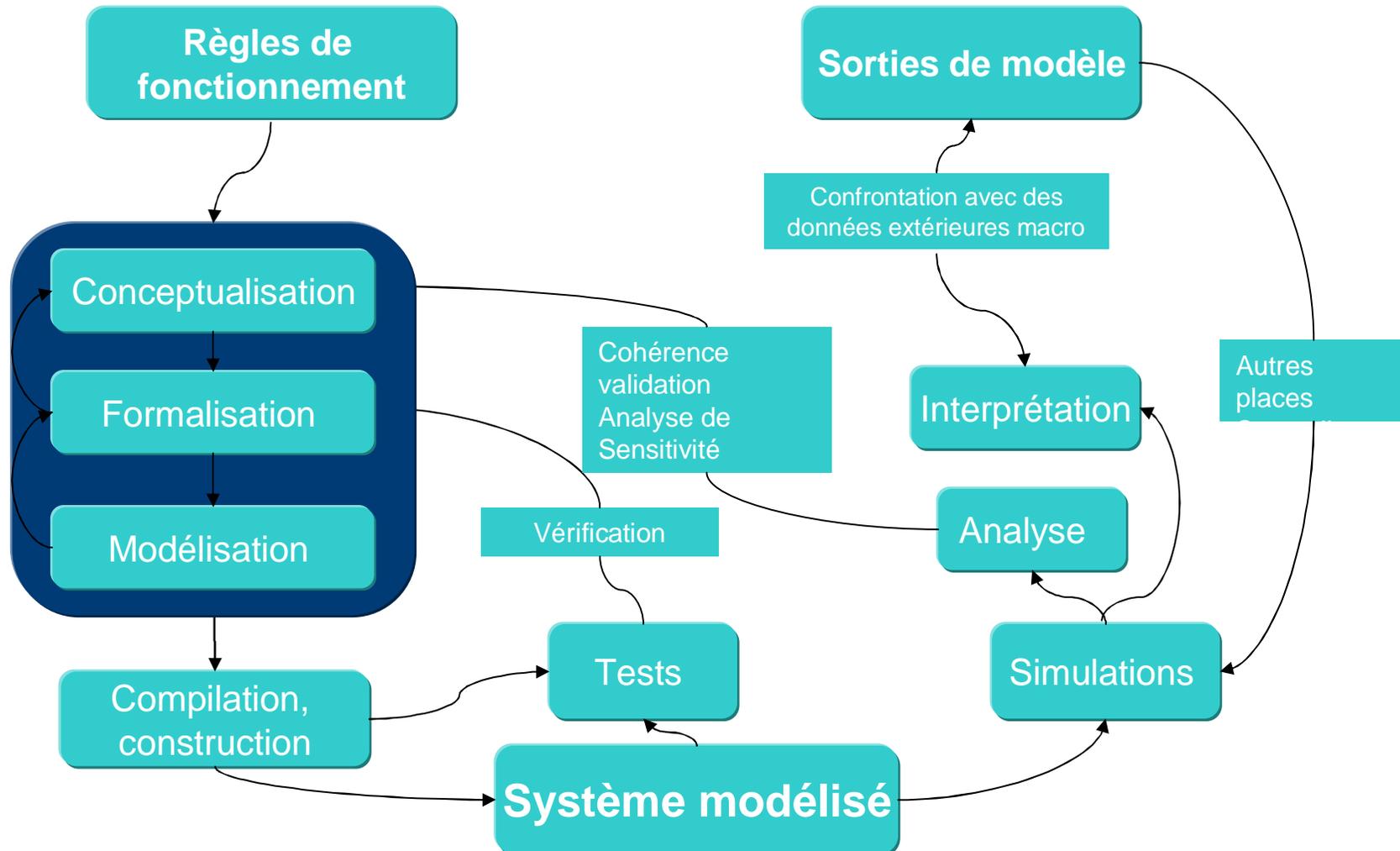
Sphère
économique & de
production



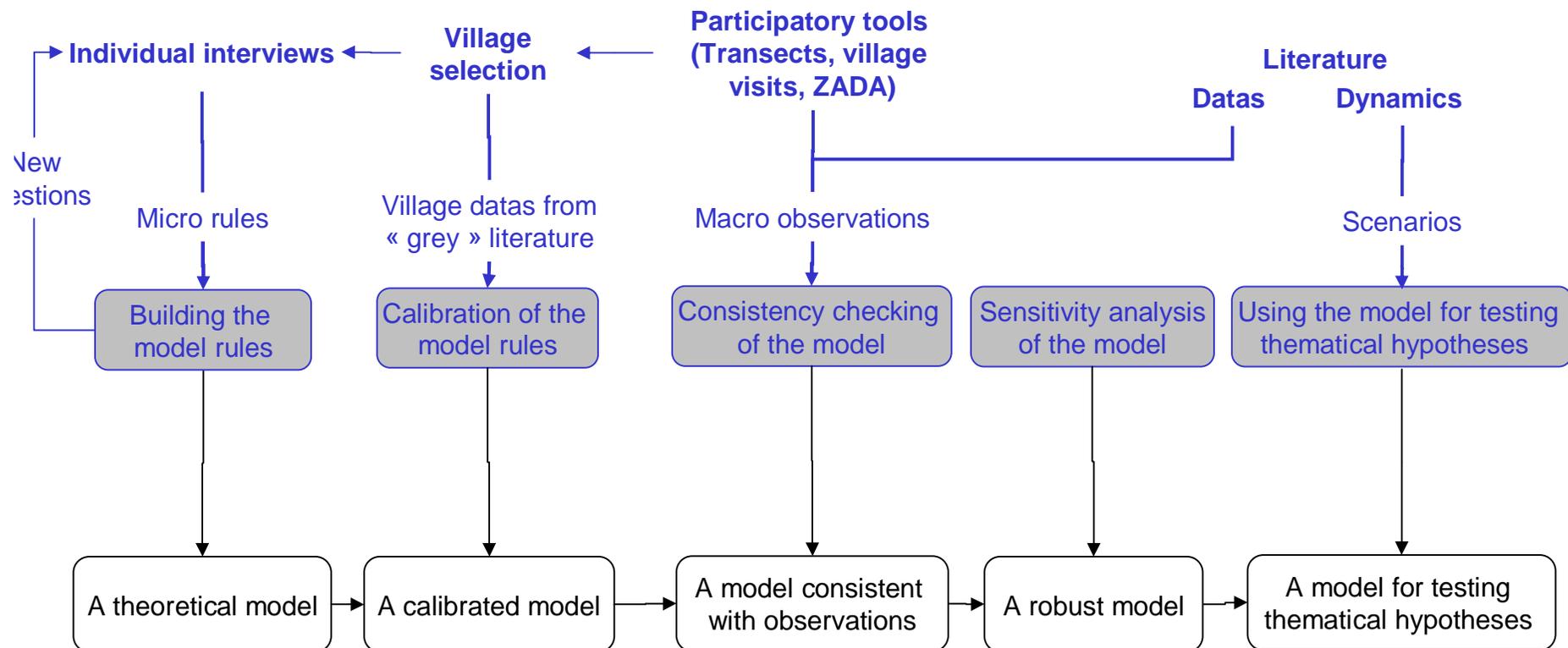
Modéliser une société rurale: approche multi-agents



Modéliser une société rurale: approche multi-agents



Méthodologie de modélisation



Sociétés rurales



- 3 cas d'étude

- Sociogéographie: Sahel nigérien

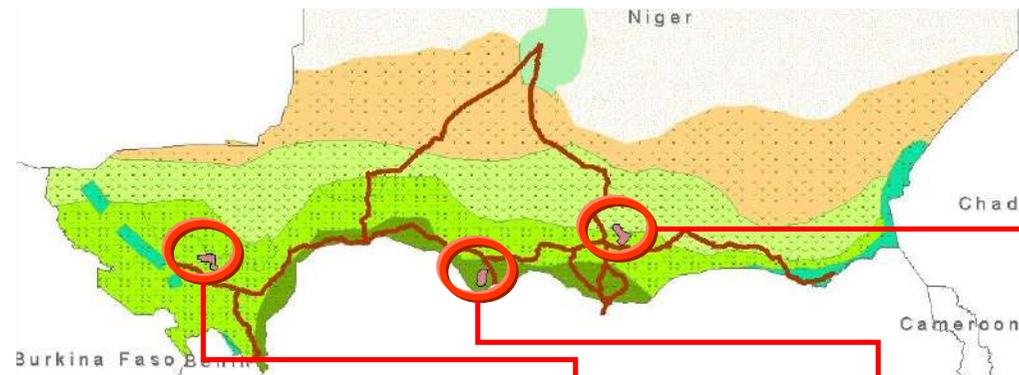
- Archéologie: Europe néolithique

- Environnement: L'Amazonie équatorienne et la contamination pétrolière

Comprendre et appuyer: Le sahel Nigérien



Le sahel Nigérien



Enquêtes	Fakara	Gabi	Zermou
Villages inventoriés	14	8	6
MARPs	0	5	6
ZADAs	Toute la région	La zone	Toute la région
Villages enquêtés	4	4	3
Interviews	126	26	23

Principales activités



Principales activités



Intensité des pluies



Culture du mil

Mil à cycle court (Haïnikiré)

Mil à cycle long (Somno)



Élevage

Bovins

Caprins

Ovins



Migration saisonnière

Hommes ss responsabilités

Hommes resp. partielles

Hommes responsabilités



Maraîchage

Jardins maraîchers



Cérémonies

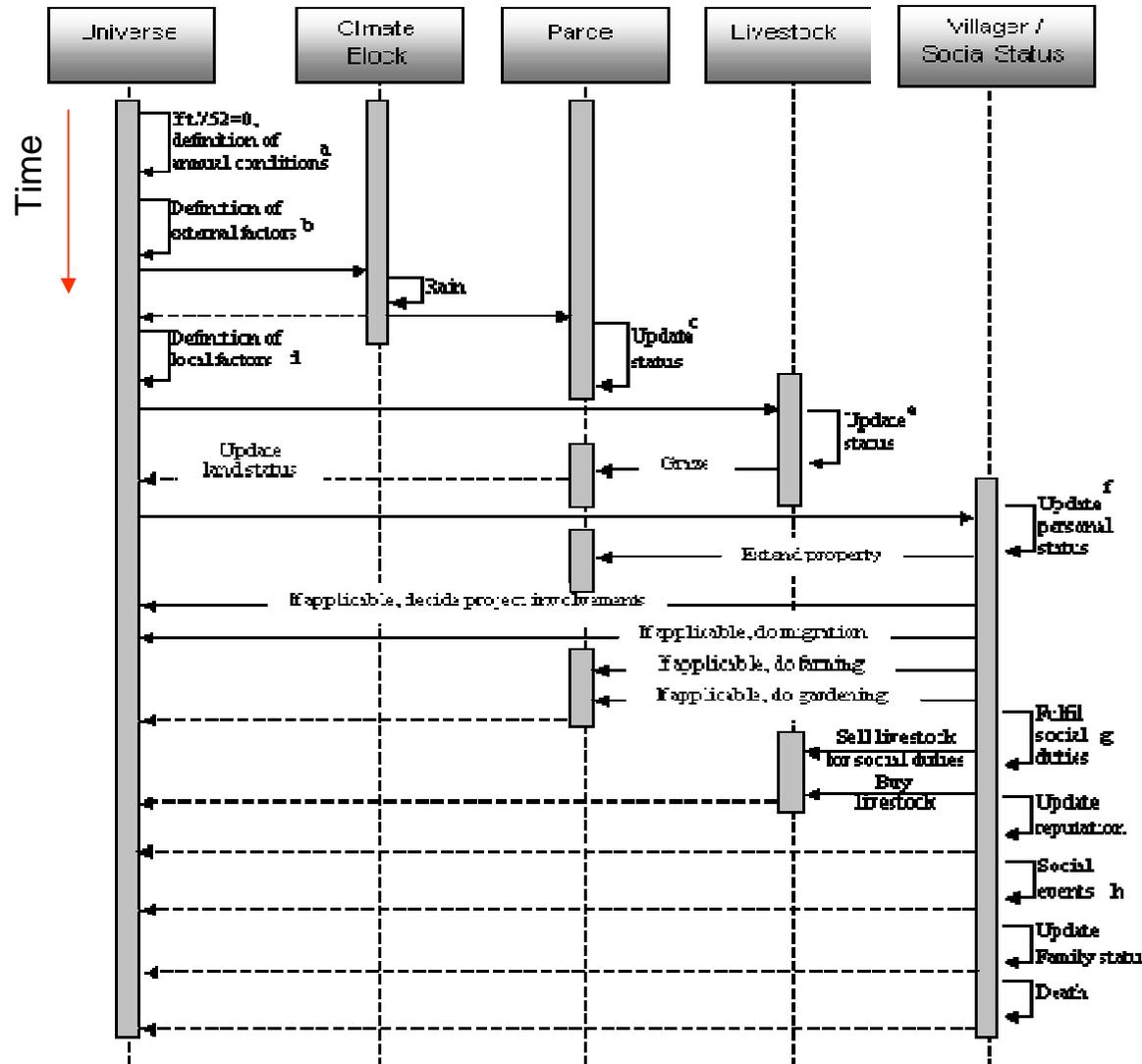
Mariages

Tabaski



Mais tout villageois ne peut pratiquer et bénéficier de chacune de ces activités économiques

SimSahel: La séquence des actions dans un pas de temps d'une semaine



Facteurs externes
Impact des pluies

Evolution des parcelles

Evolution du bétail

Expansion des champs

Implications dans des projets

Activités économiques
& de production

Activités sociales

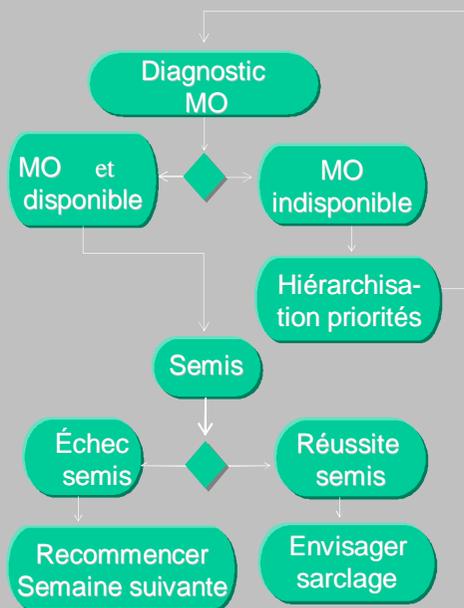
Naissances & décès

Une règle de production: l'agriculture du mil



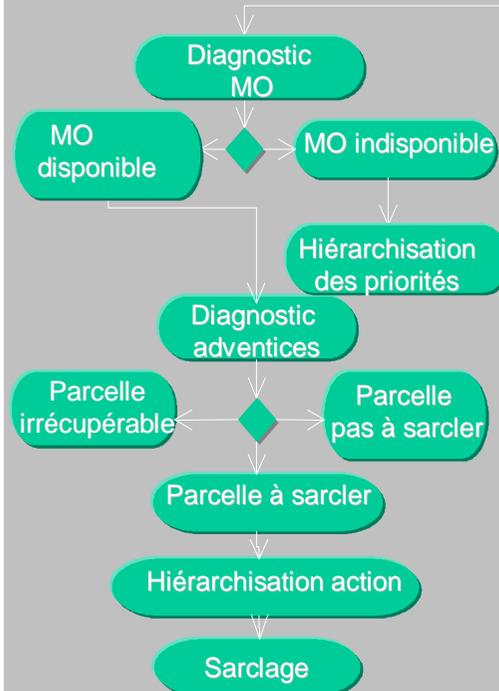
Premières pluies ⇒ début du cycle
⇒ Période de semis

À chaque semaine,



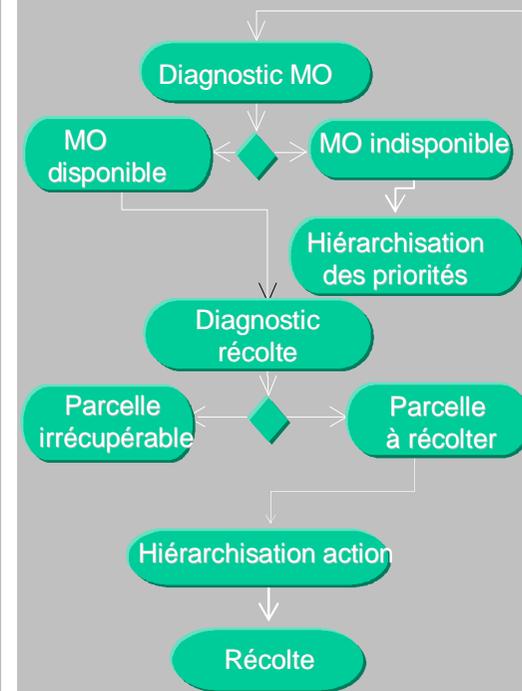
Cycle de 8 semaines à 12 semaines
⇒ Période de sarclage

À chaque semaine,

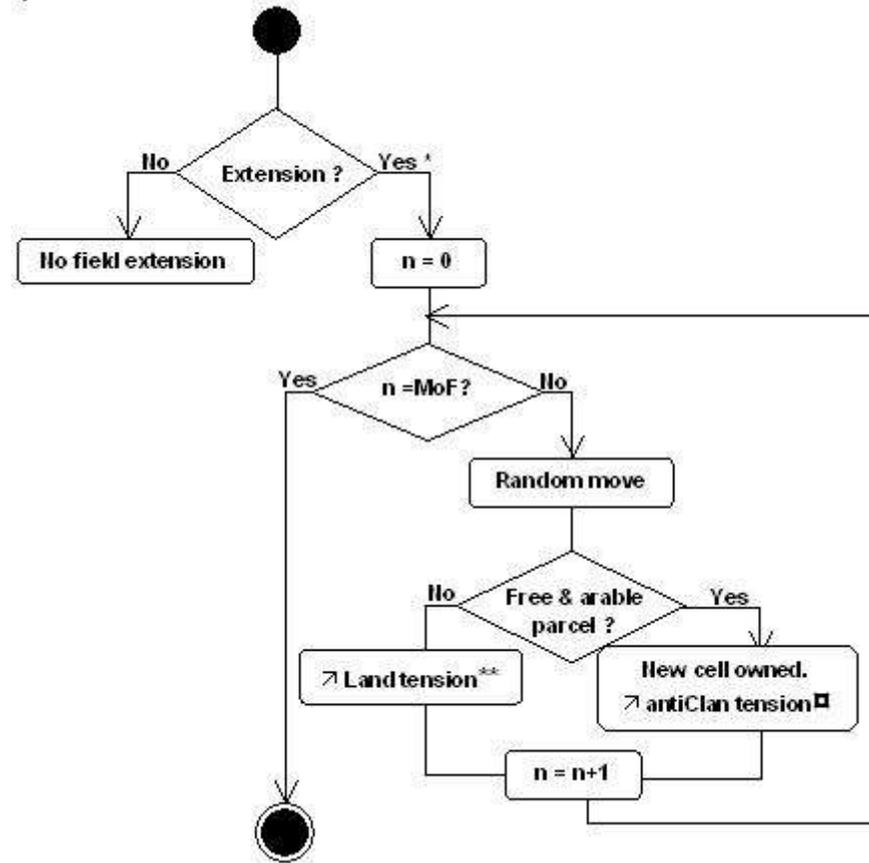
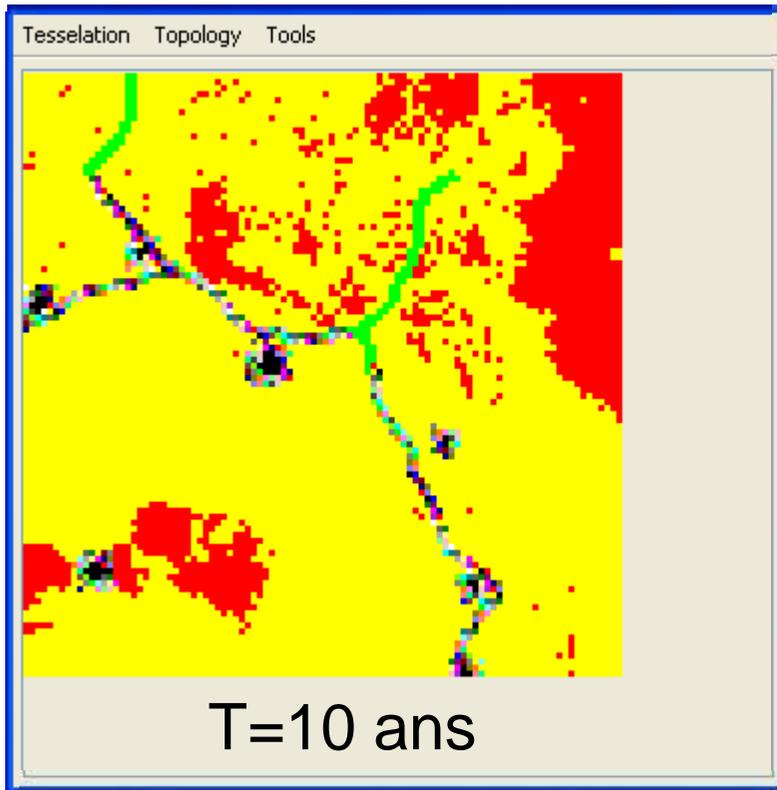


Cycle à 17 sem.
⇒ récolte

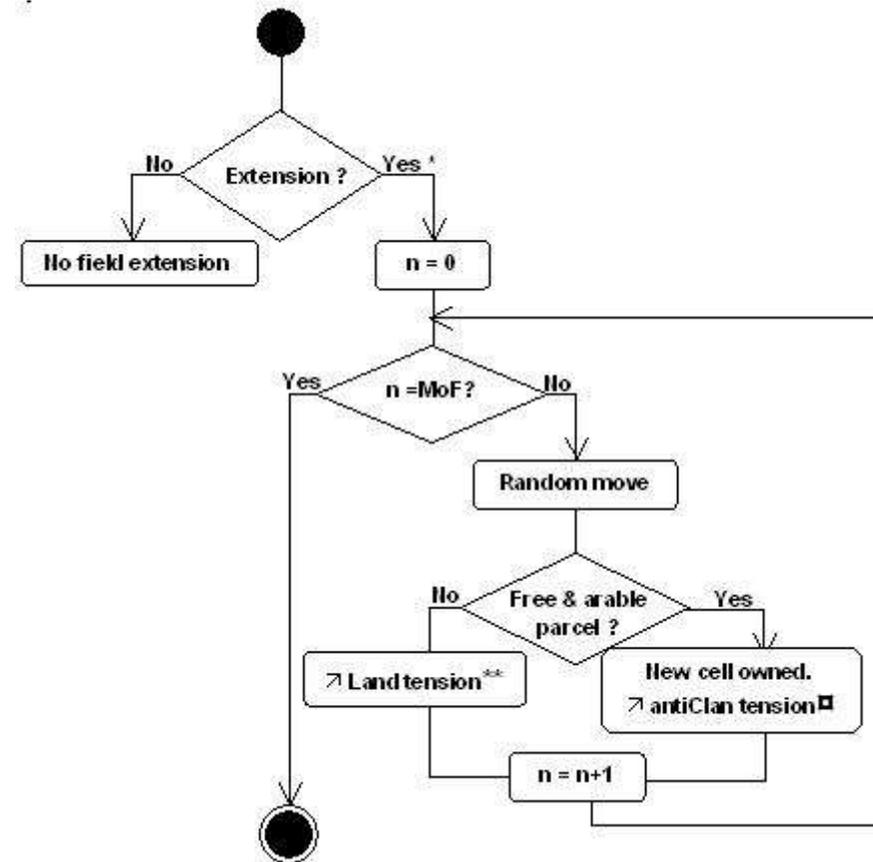
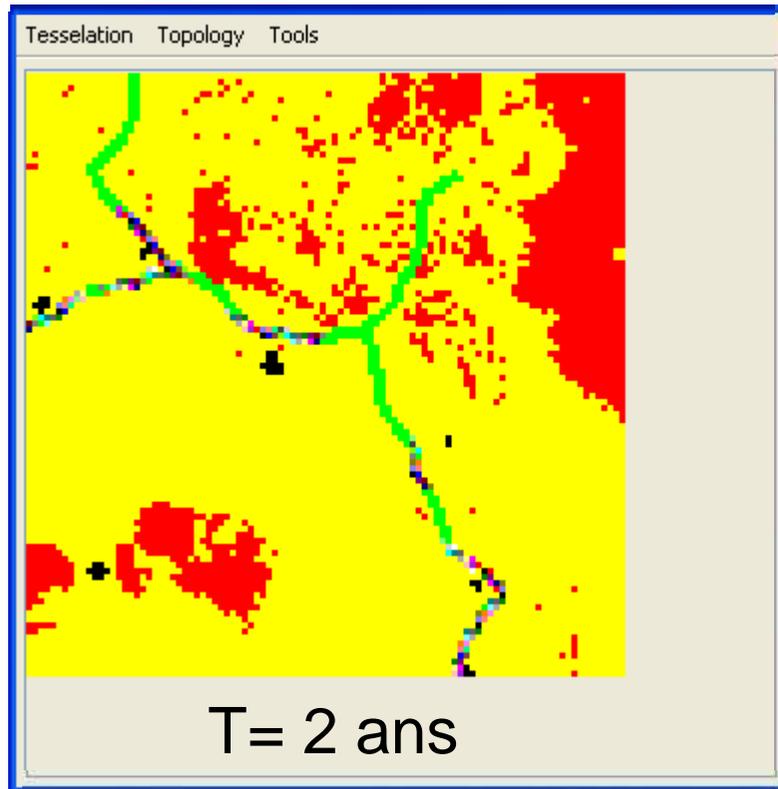
À chaque semaine,



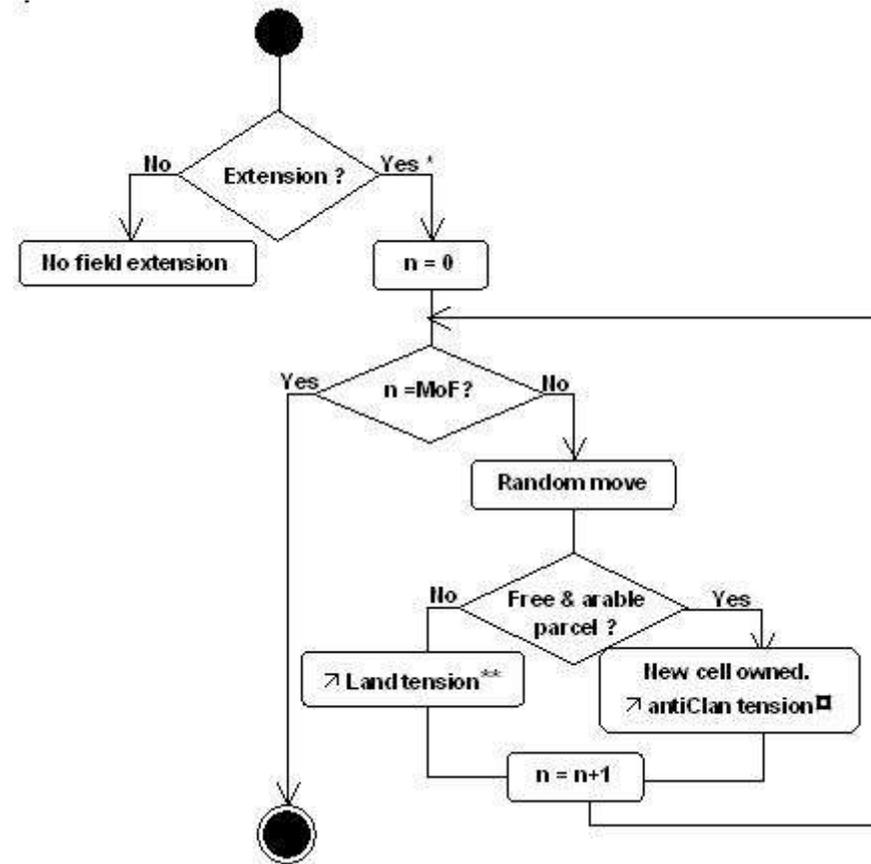
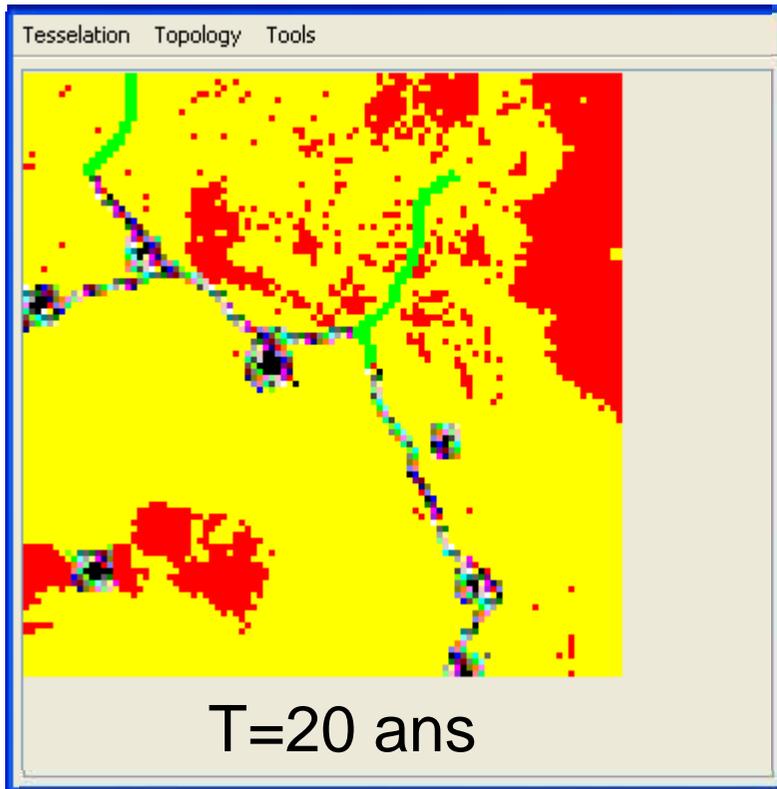
L'expansion des champs



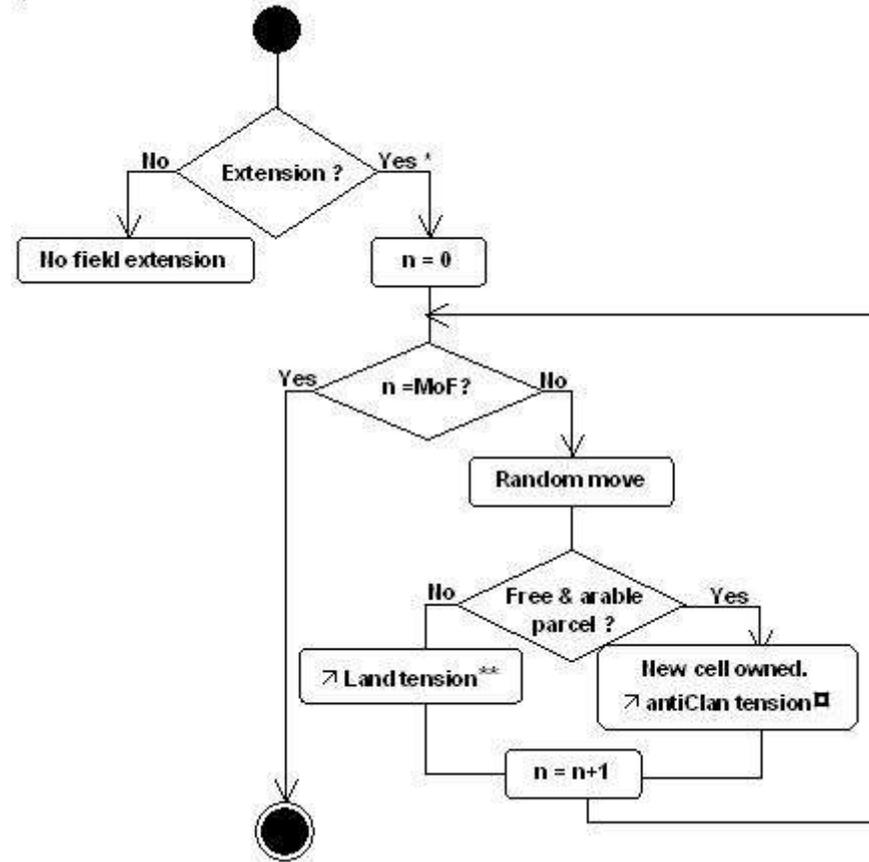
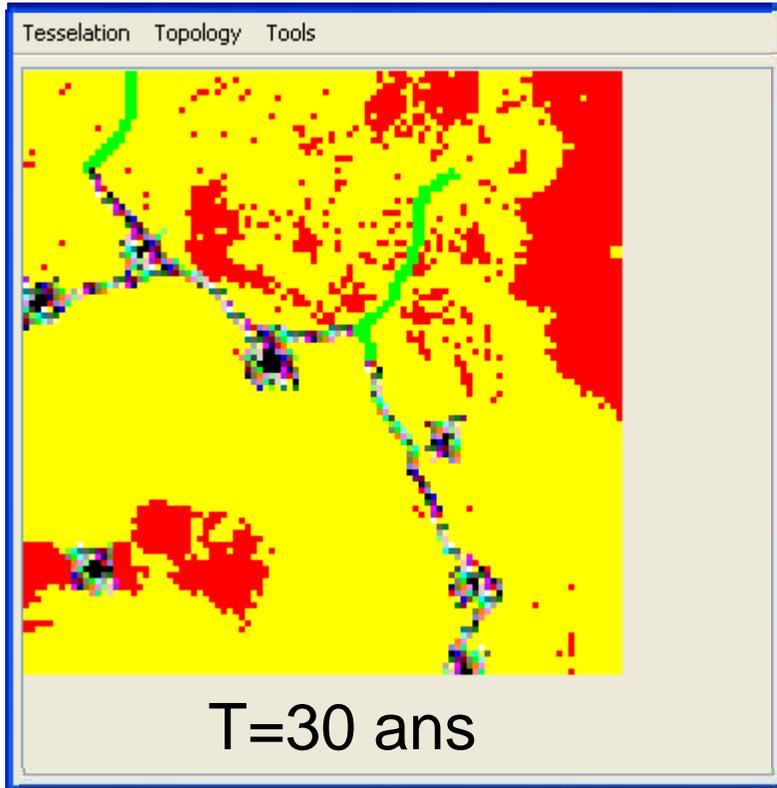
L'expansion des champs



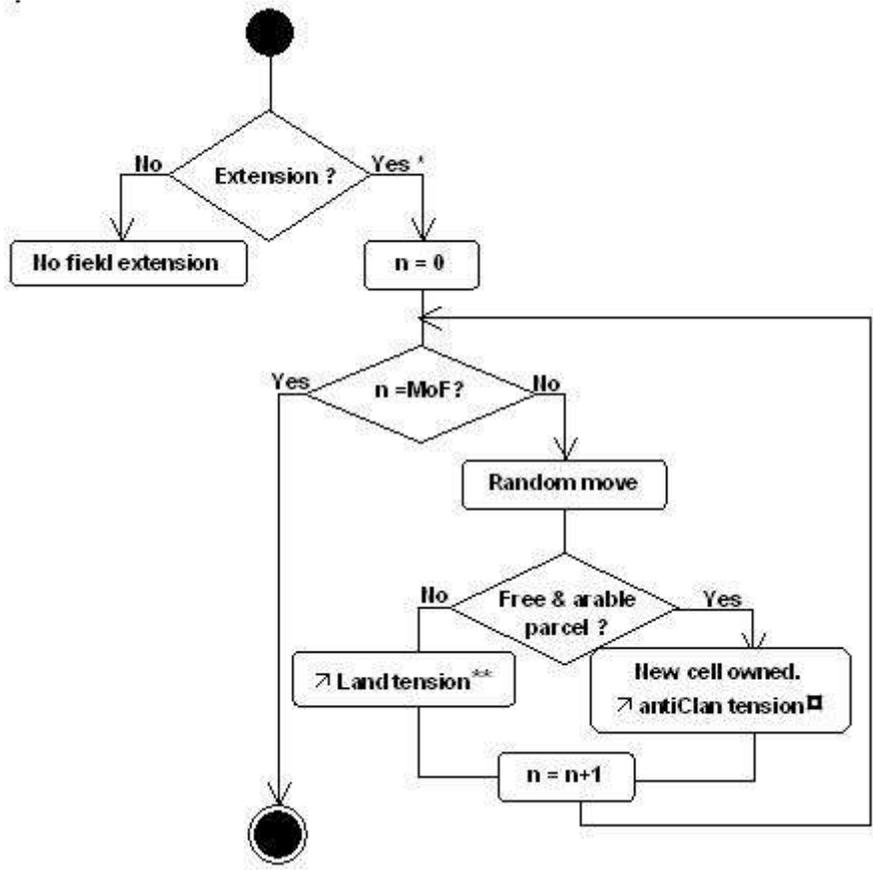
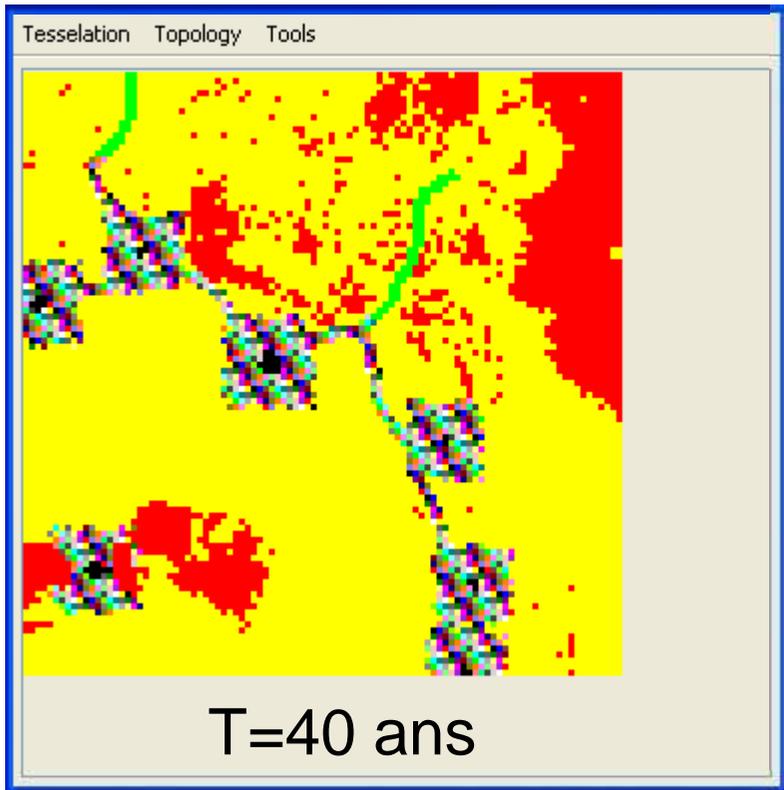
L'expansion des champs



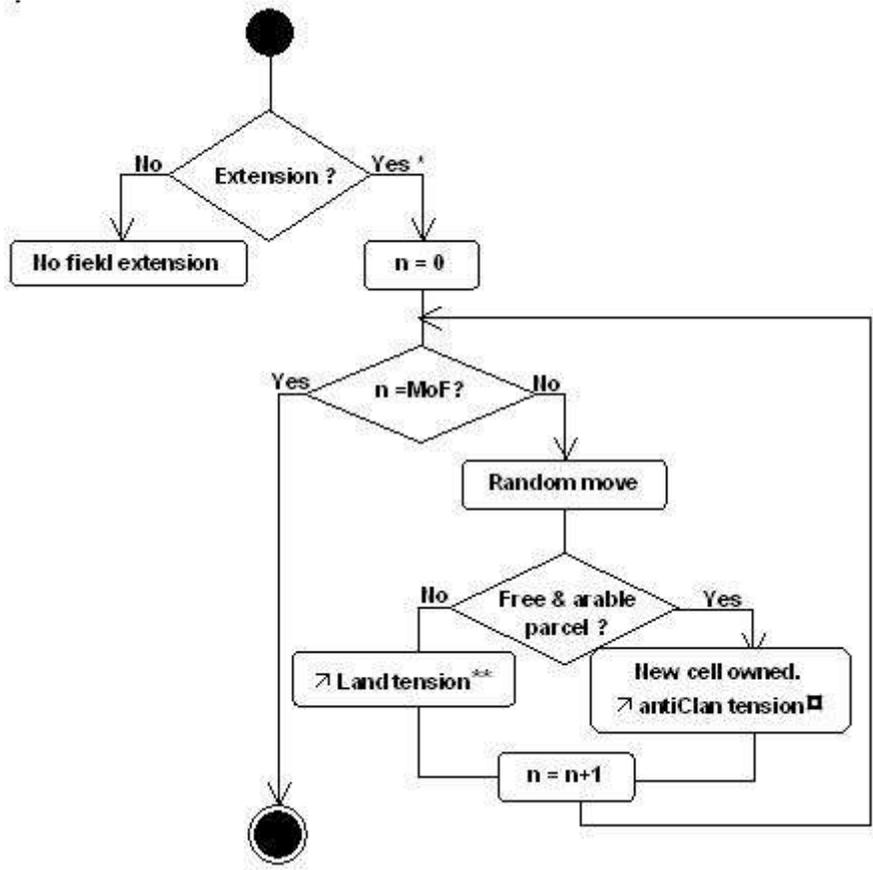
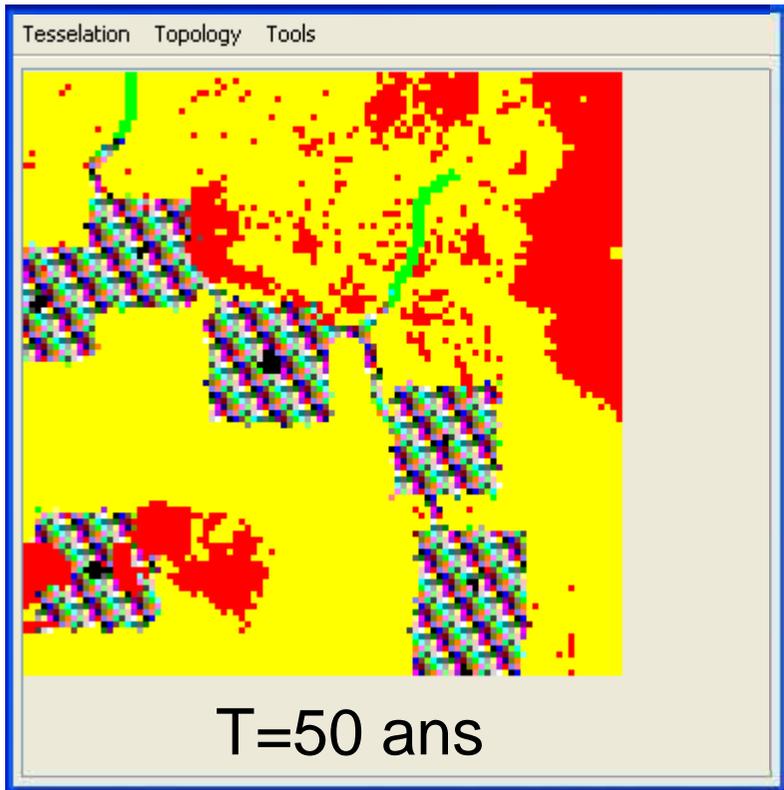
L'expansion des champs



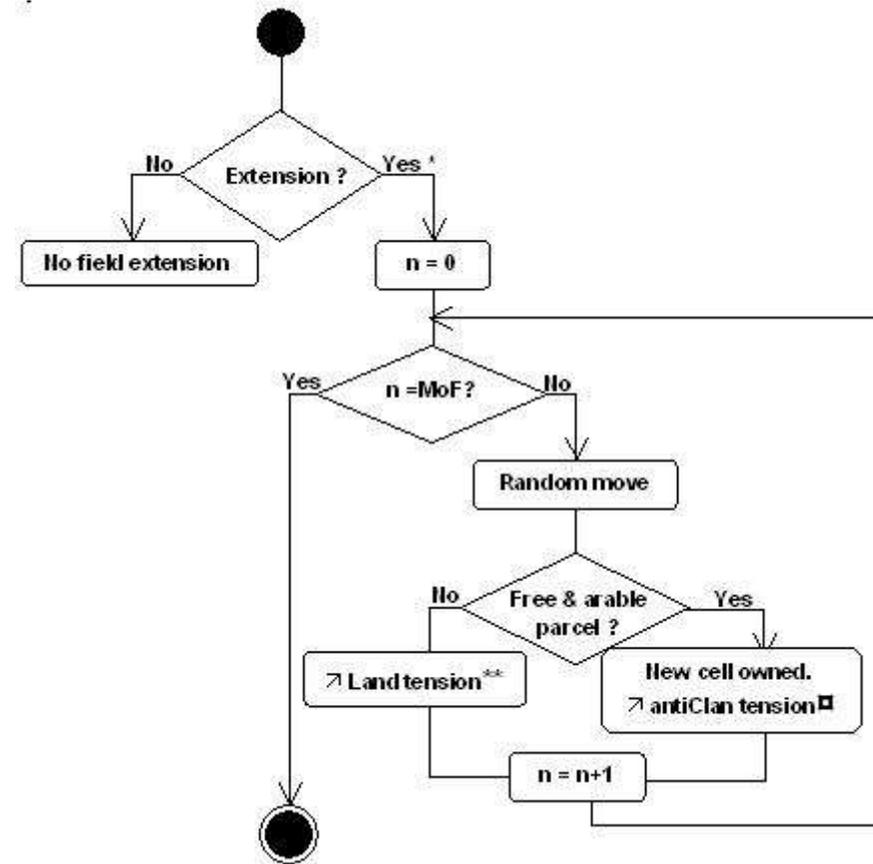
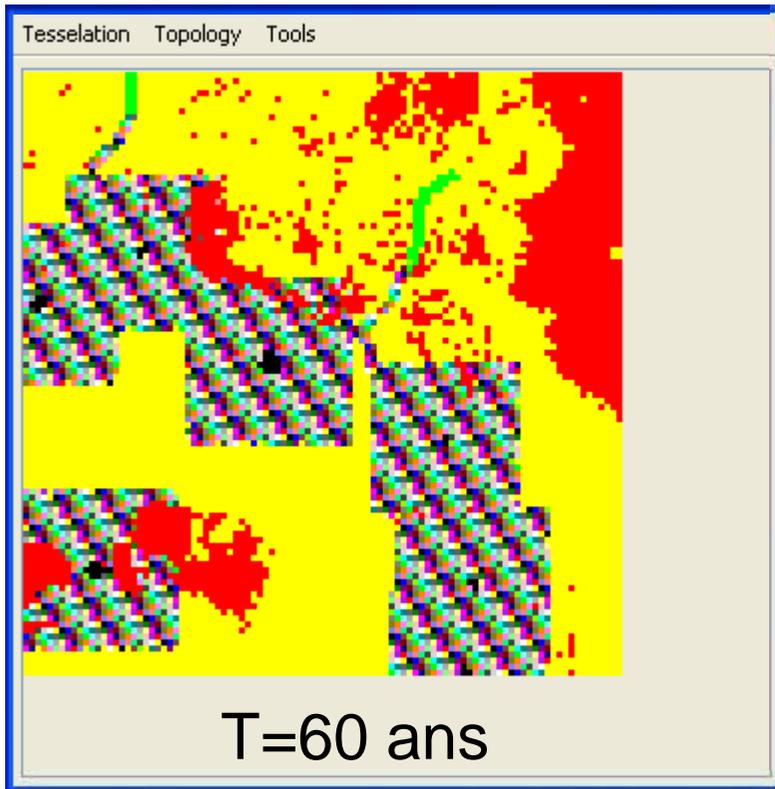
L'expansion des champs



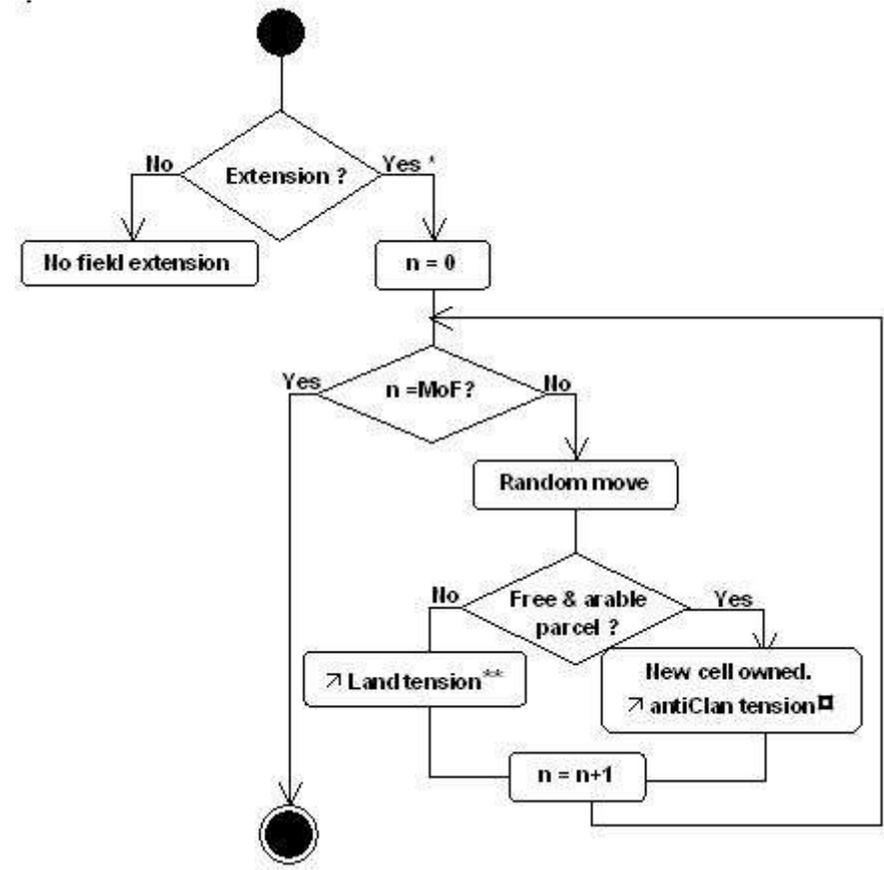
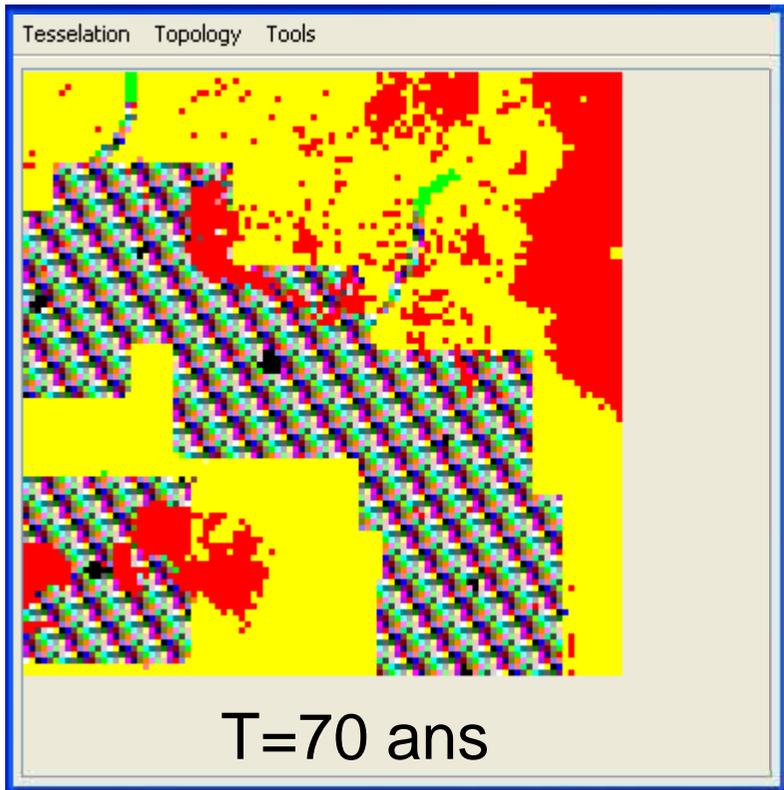
L'expansion des champs



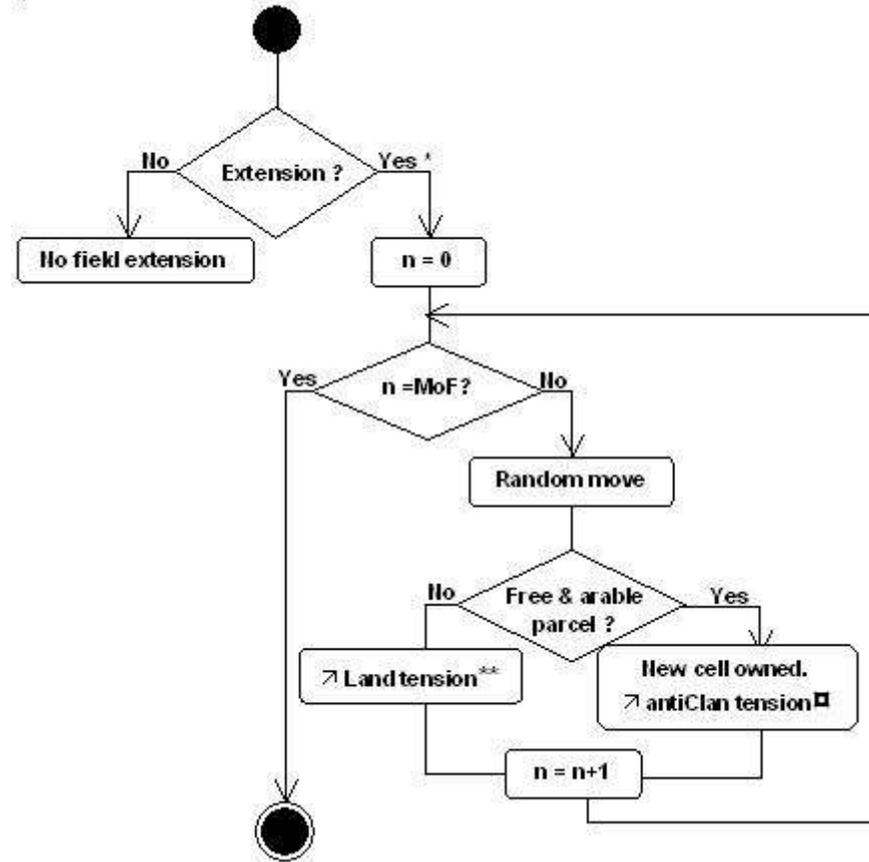
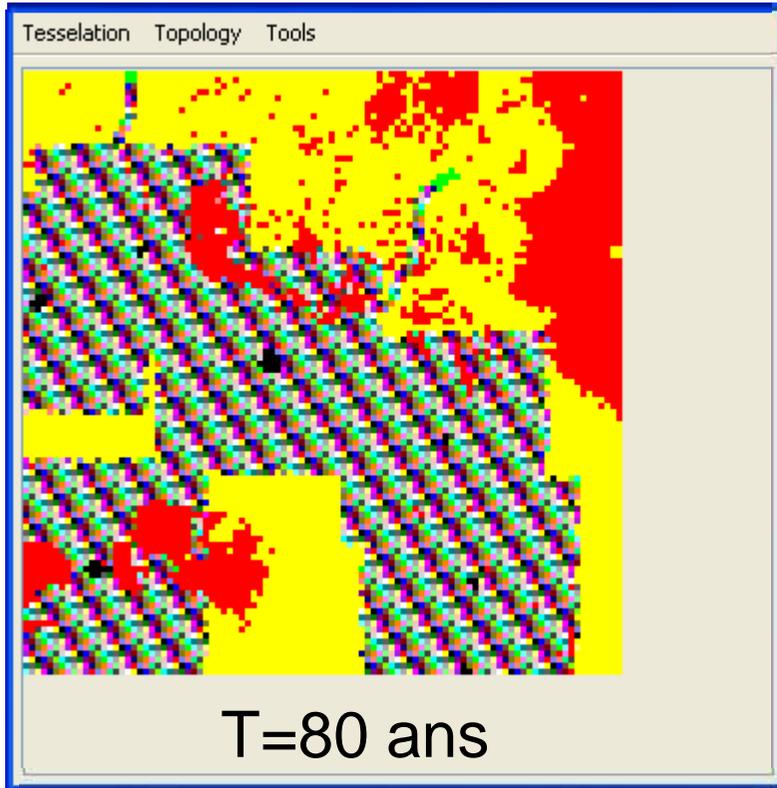
L'expansion des champs



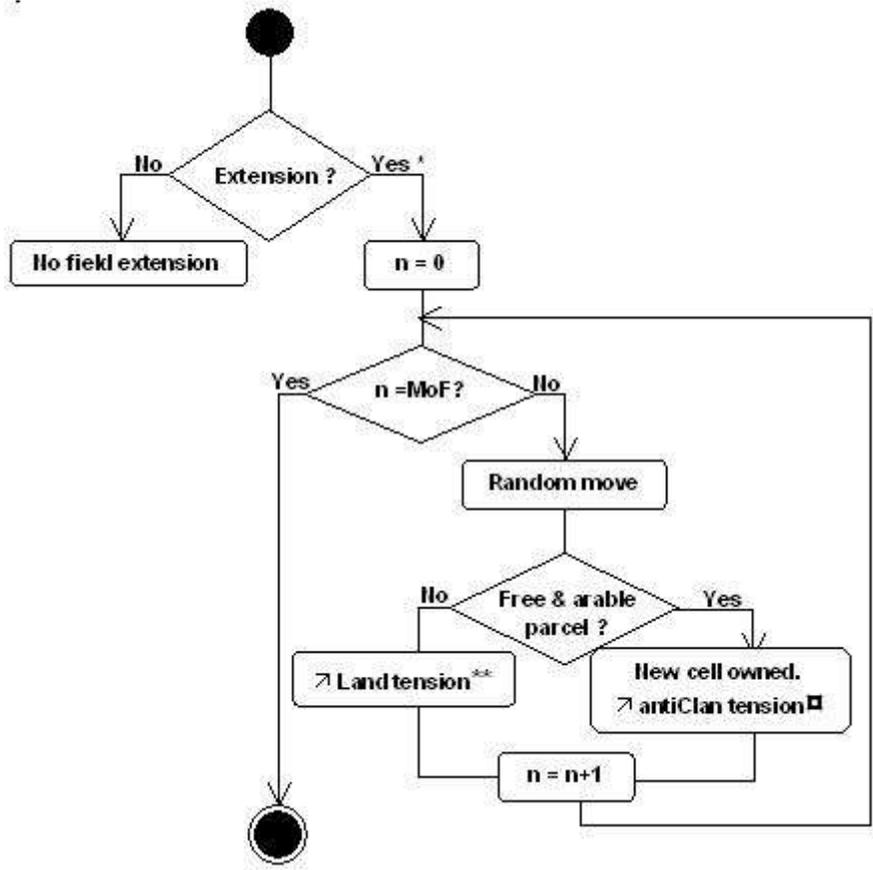
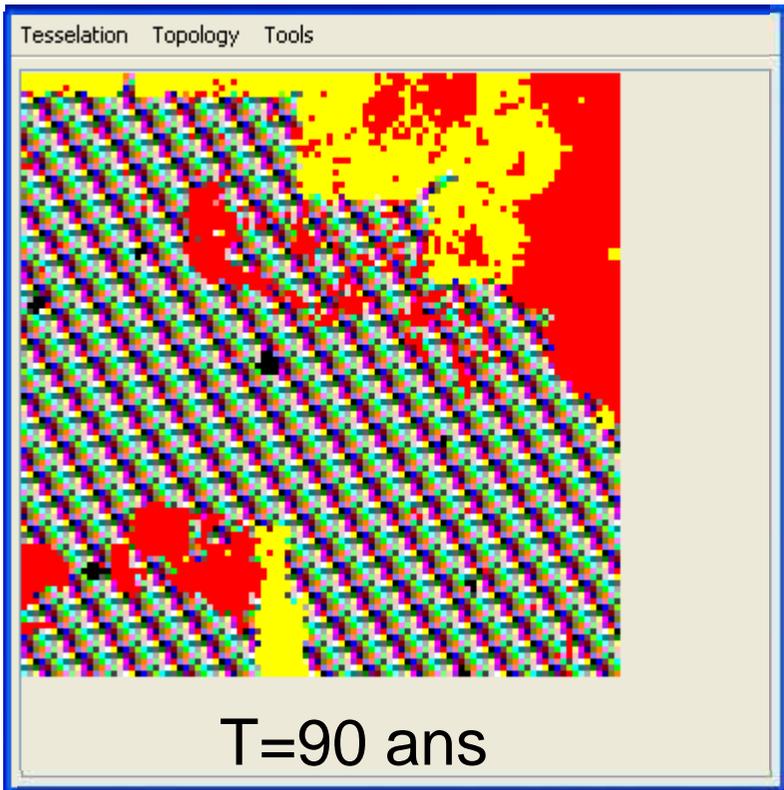
L'expansion des champs



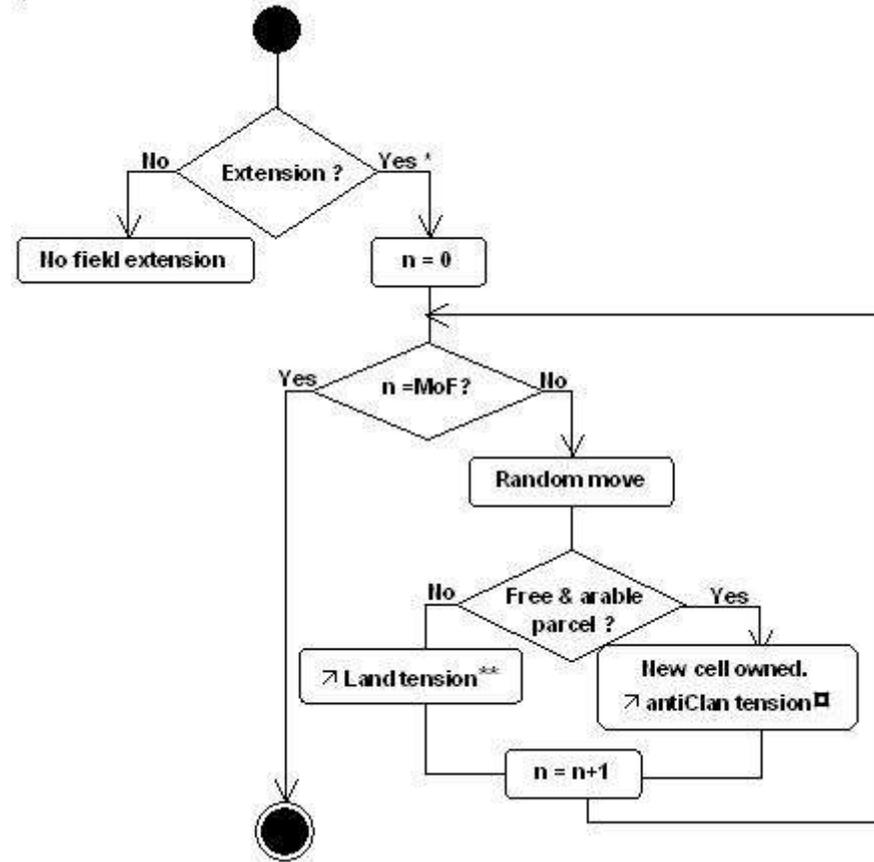
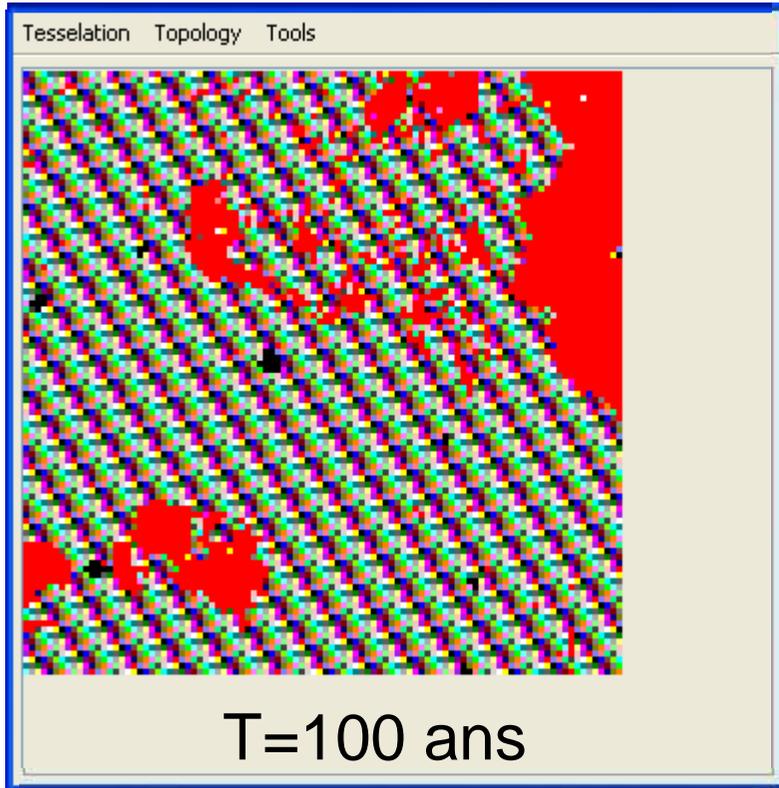
L'expansion des champs



L'expansion des champs



L'expansion des champs

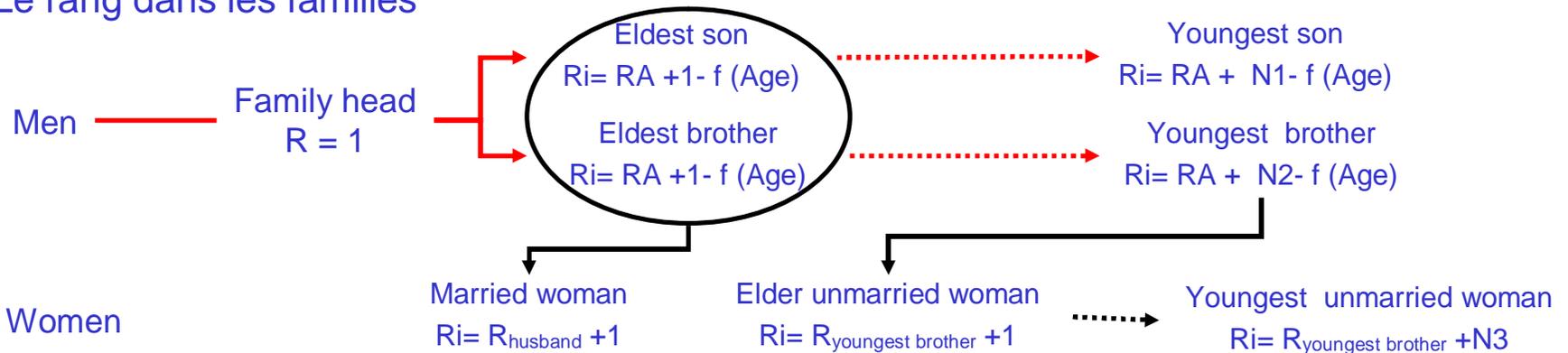


Trois règles de la société



Les hiérarchies sociales

É Le rang dans les familles



É Mariages: les hiérarchies

A Reputation function that classifies candidates

$$R_i^t = S_i^t + Em_i^t + D_i^t + Dp_i^t$$

Social status: livestock, age, children, wives, lineage

Economic wealth: millet, cash

Capacity to fulfill social duties

Implication in development projects

É Mariages: les douaires

$$D = \frac{P * 2 * (\text{lineage values} / \text{population size})}{(\text{groom lineage} * \text{bride lineage})}$$

With: P: the price of two average oxen, i.e. 160 kFCFA (293”).

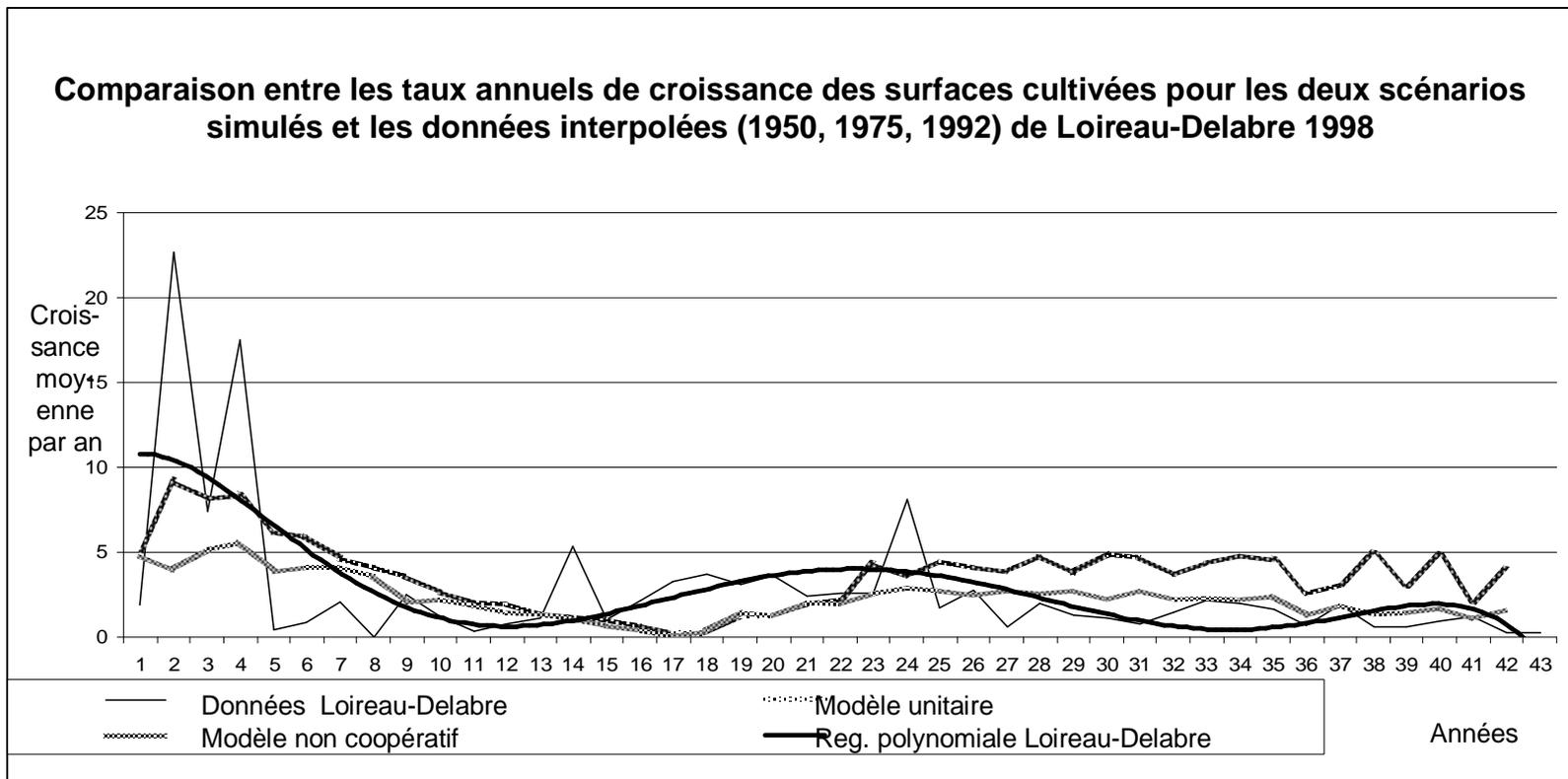
Une hypothèse sur l'impact d'une différenciation des organisations familiales



Règles familiales de comportement :

	Modèle unitaire	Modèle non coopératif
Redistribution de nourriture	Revenus au chef de famille qui les redistribue	Revenus individualisés. Une part au « grenier familial »
Disponibilité pour le travail	Le chef de famille peut seul donner son autorisation à un « jeune » pour un départ précoce en exode	Le « jeune » se donne le droit de partir en exode pendant le cycle agricole dès lors qu'il y a un aîné de plus haut rang
Extension des familles et des champs	Les familles se maintiennent Les champs s'étendent selon les besoins familiaux	Elles se délitent si mariage Ils s'étendent selon les besoins et la création de nouvelles familles
Condition de mariage	Le douaire est payé par le chef de famille, en général le père	Le douaire est payé par le jeune homme seul

Une hypothèse sur l'impact d'une différenciation des organisations familiales

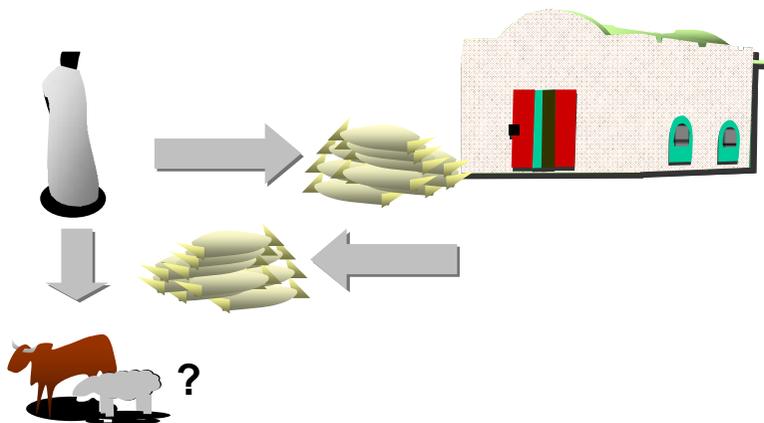


Croissance annuelle des surfaces cultivées	Données Loireau-Delabre	Scénario non-coopératif	Scénario unitaire
Toute la période	2,22% par an	2,32% par an	3,68 % par an
1950-1972	3,91% par an	2,45 % par an	3,35 % par an
1973-1993	1,65% par an	2,18% par an	4,03 % par an

Actions de développement



É Warrantage: un crédit indexé sur la récolte

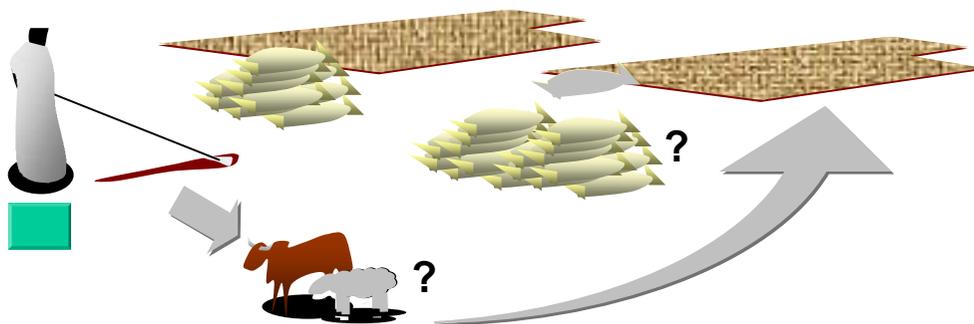


Si assez pour soi et ses dépendants:

$$W_i^{t-1} > NW_i^{t-1} ?$$

Balance entre années Avec warrantage
Sans

É Engrais inorganique à prix modéré



Si assez pour soi et ses dépendants:

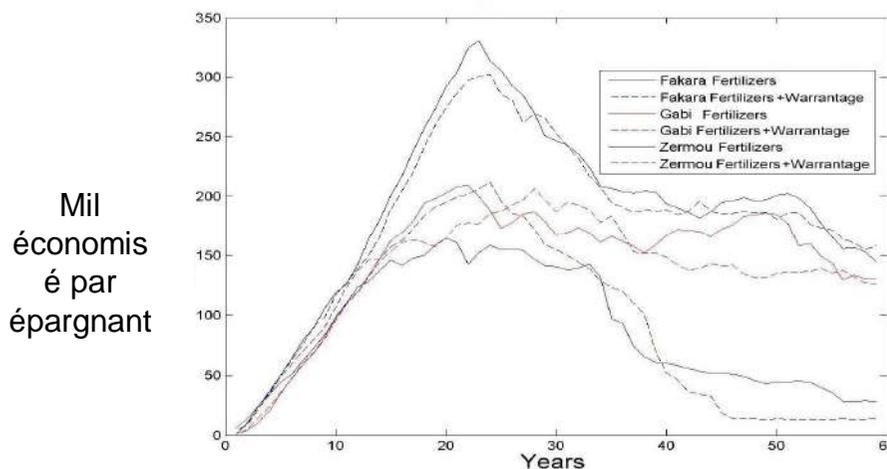
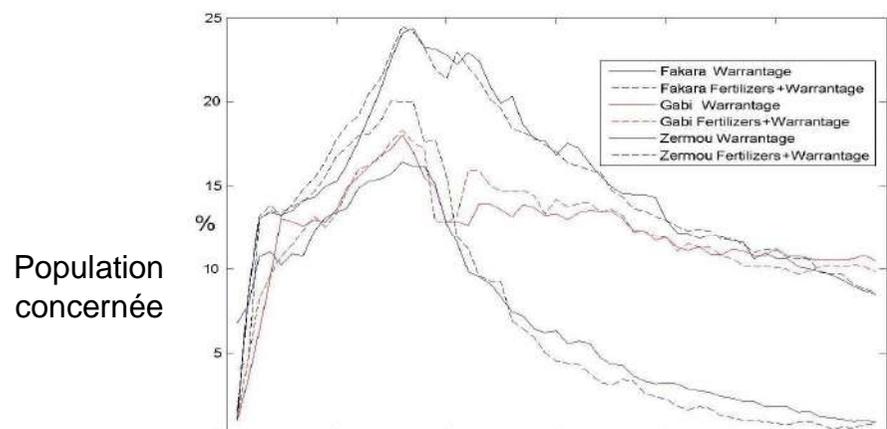
$$F_i^{t-1} > NF_i^{t-1} ?$$

Balance entre années Avec Engrais
Sans

Actions de développement



É Warrantage: un crédit indexé sur la récolte



MAXIMUM 10 à 25% des familles

Í les familles riches et élargies

- “ Un plus haut lignage (3.2 vs. 2.8)
- “ Un chef de famille plus âgé (48 ans vs. 43)
- “ De grandes familles en croissance
- “ Plus de main d'œuvre, plus de terres

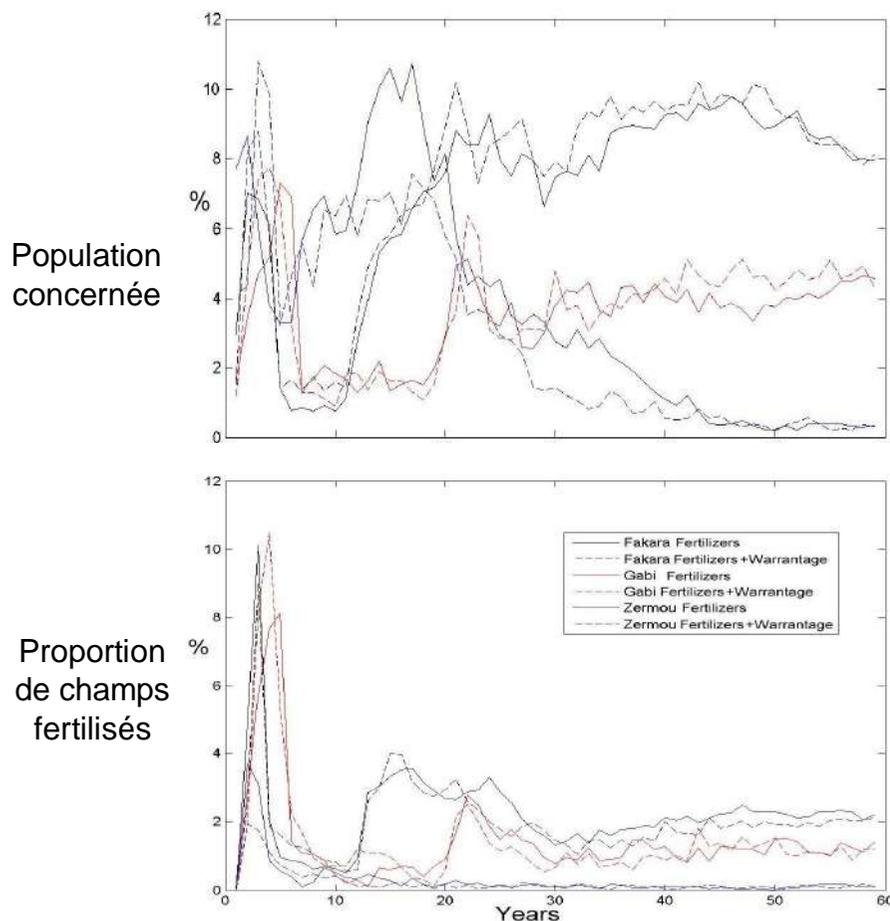
Seules les familles avec une capacité d'épargne se impliquent.

Warrantage = un produit d'épargne alternative au bétail ?

Actions de développement



É Engrais inorganique à prix modéré



MAXIMUM 8 to 10%

2 types de familles en transition:

“les petites familles jeunes en croissance+”

“les familles élargies et anciennes se réduisant+”

Seules les familles avec :

“ Une contrainte en main d'œuvre”

“ Un minimum de capacité

d'épargne

se impliquent.

Warrantage = income saving tool

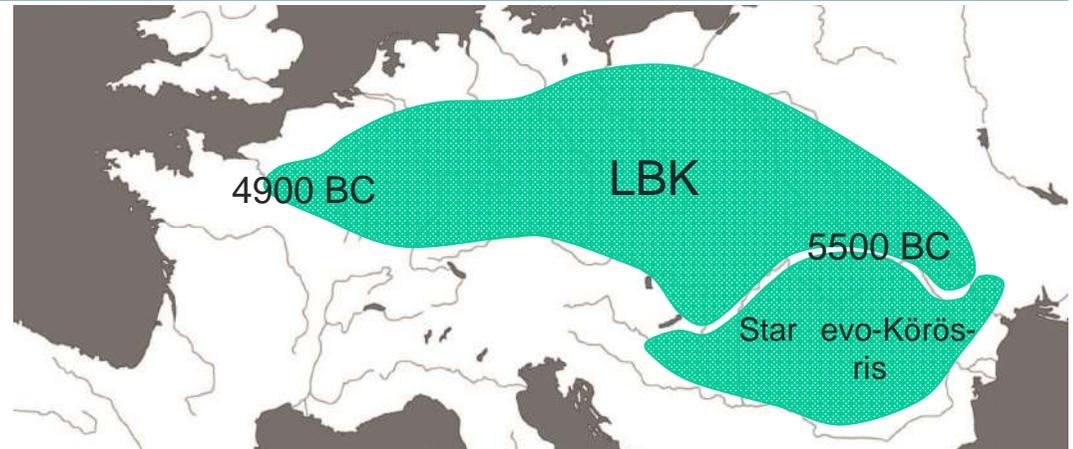
Une alternative au manque de

main d'œuvre et au bétail ?

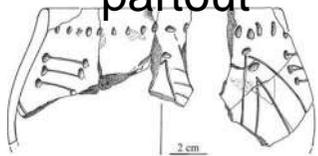
Reconstituer: l'expansion des premiers agriculteurs européens



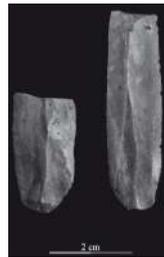
La culture rubanée: -5700 à -4900 av. JC



- Les mêmes maisons, les mêmes objets retrouvés partout



Bosquet *et al.* 2008



Cuiry-lès-Chaudardes(ASAVA)

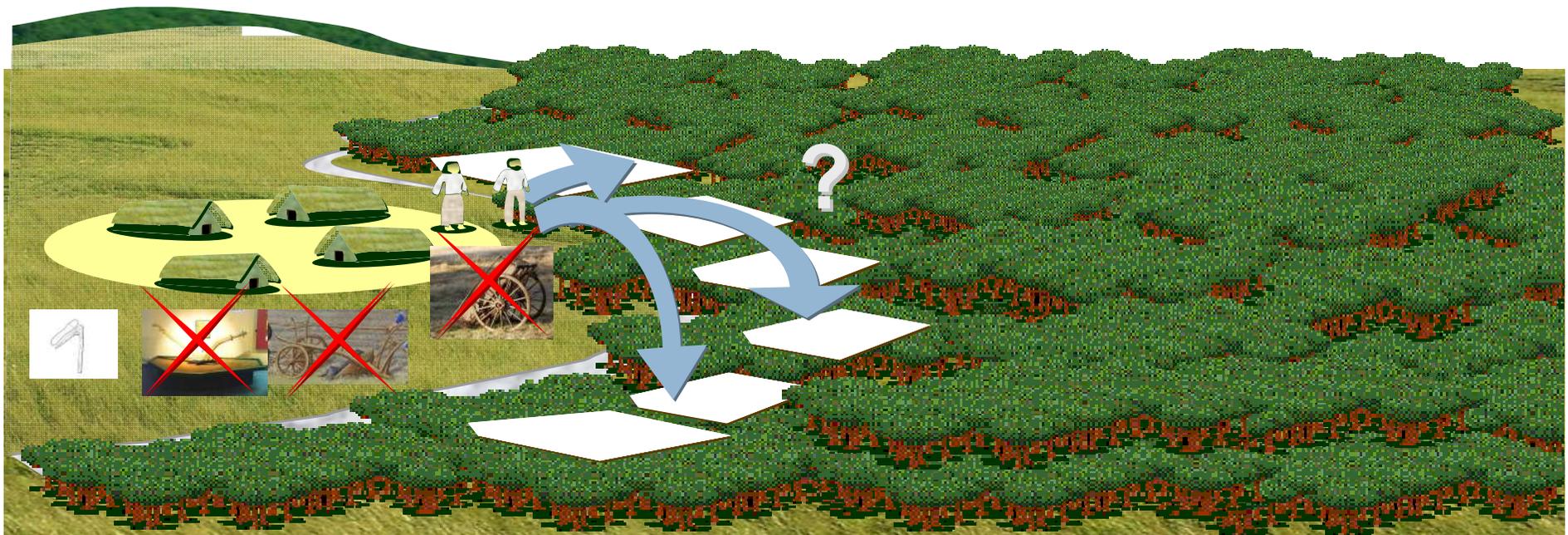
- Les mêmes animaux élevés, les mêmes plantes cultivées de la même



Les contraintes de leur système agricole



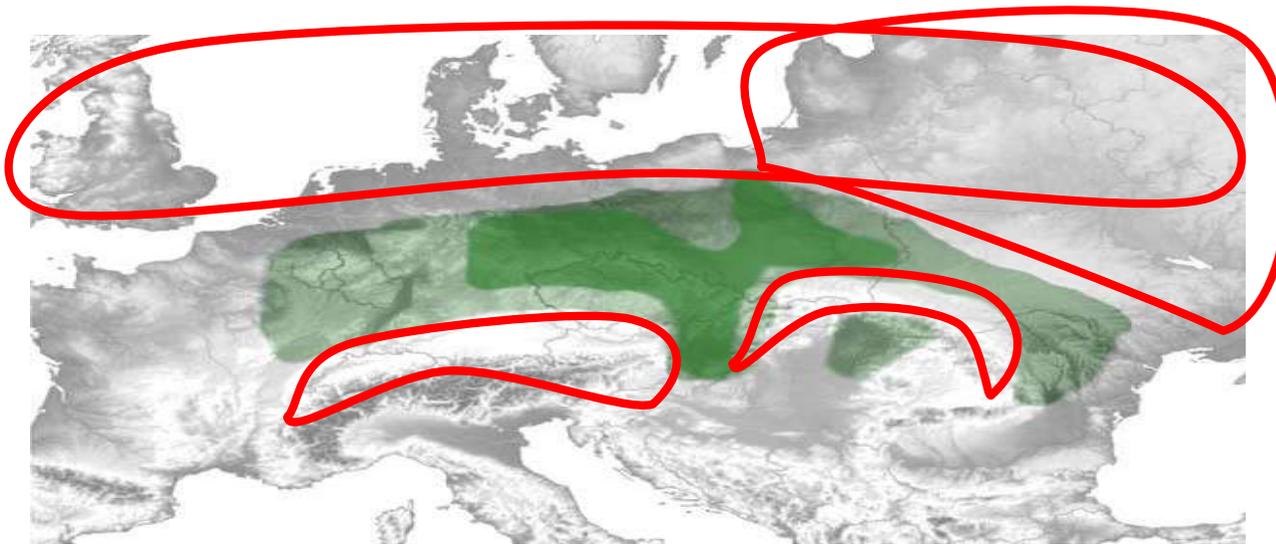
- Capital: pas de trace de bœuf, de charrue ou de charrette
- Terre: très grande disponibilité
- fertilité des sols: très important
- Main d'œuvre: très important



Les contraintes de leur système agraire

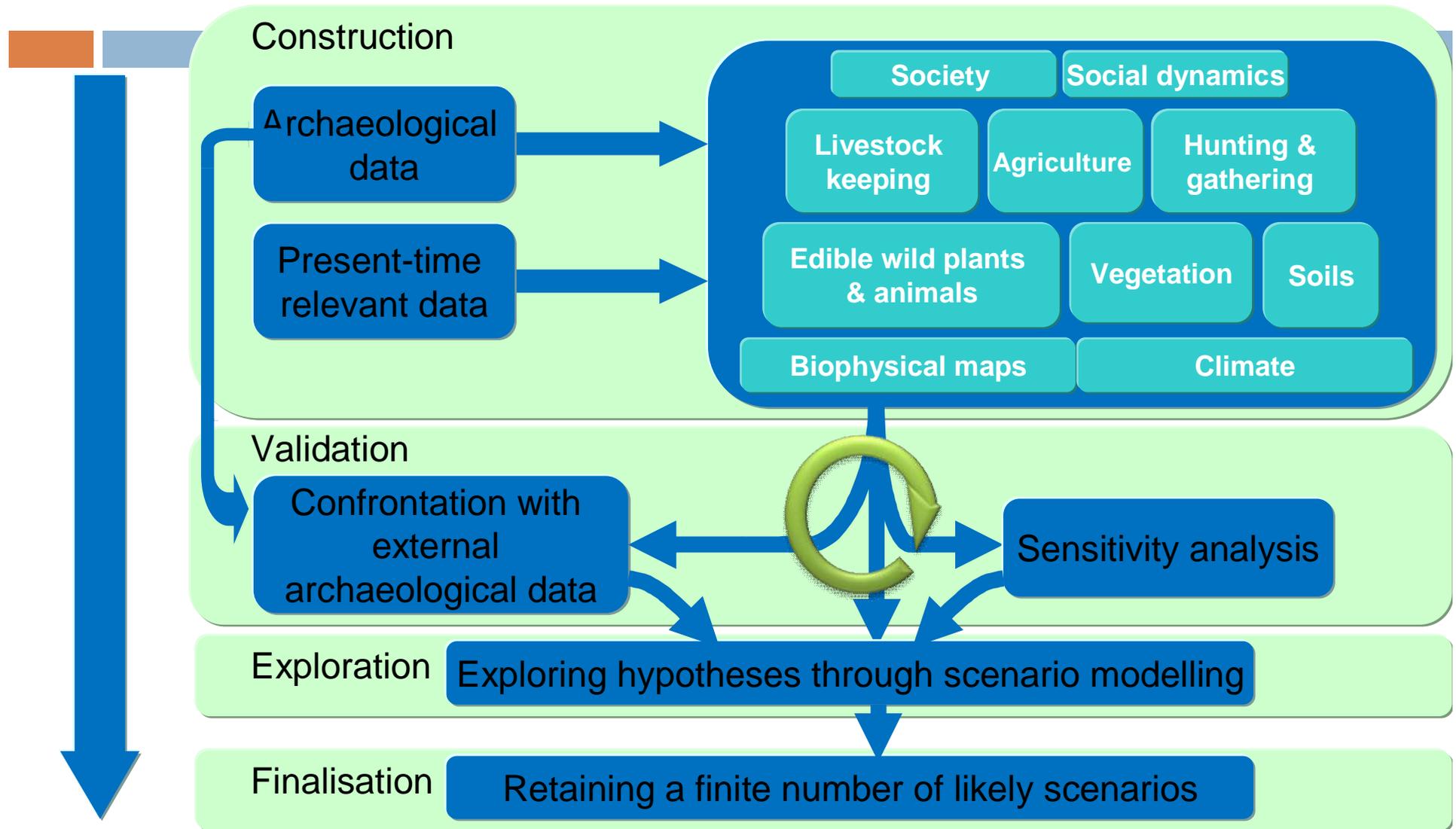


- Capital: pas de trace de bœuf, de charrue ou de charrette
- Terre: très grande disponibilité
- fertilité des sols: très important
- Main d'œuvre: très important

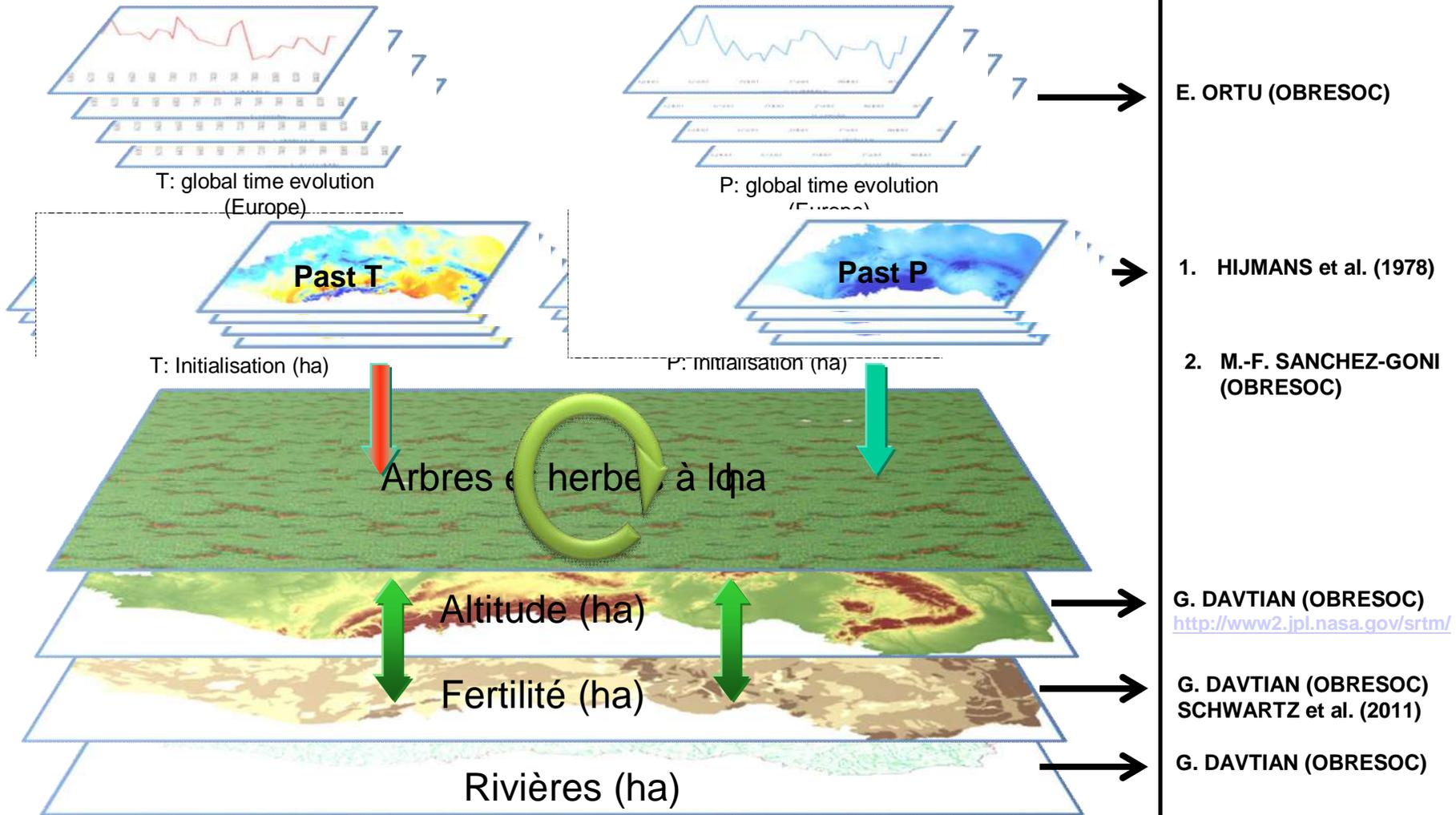


- un système agraire limité en latitude, longitude, altitude

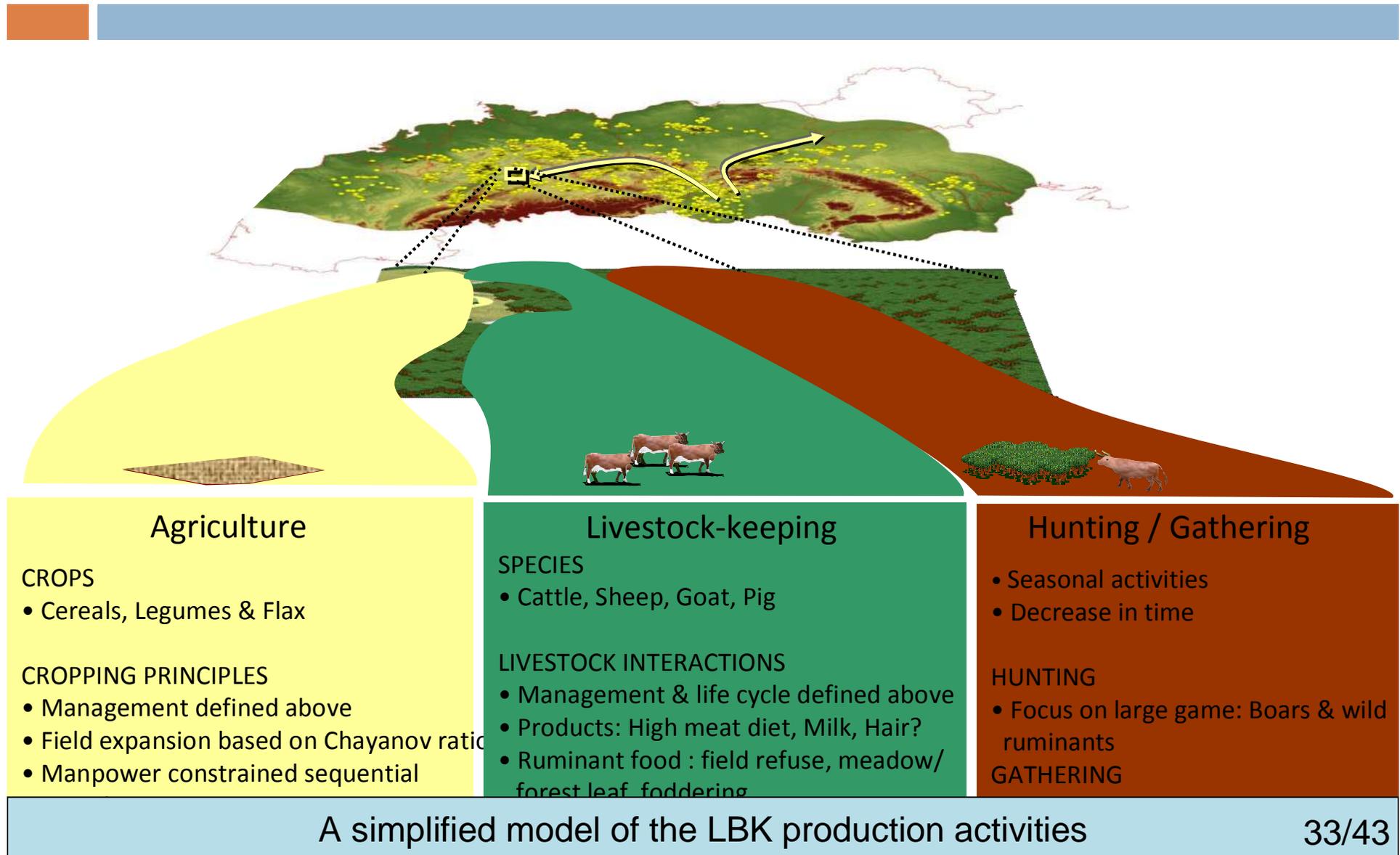
A modelling methodology : a step by step “brick after brick” building



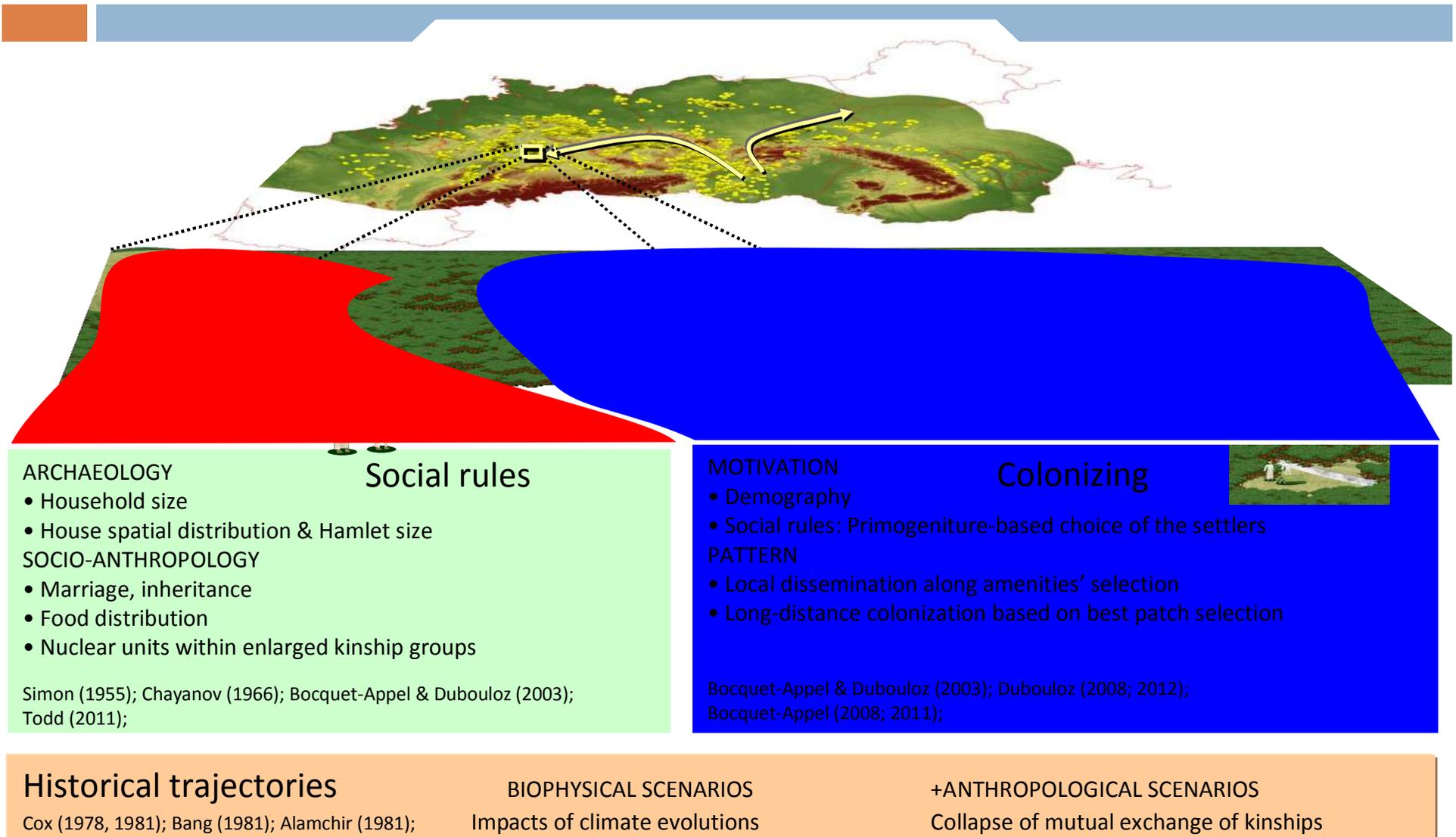
Reconstituer leur territoire



Building the farming system: Archaeological-inference with extensive present-time farming systems



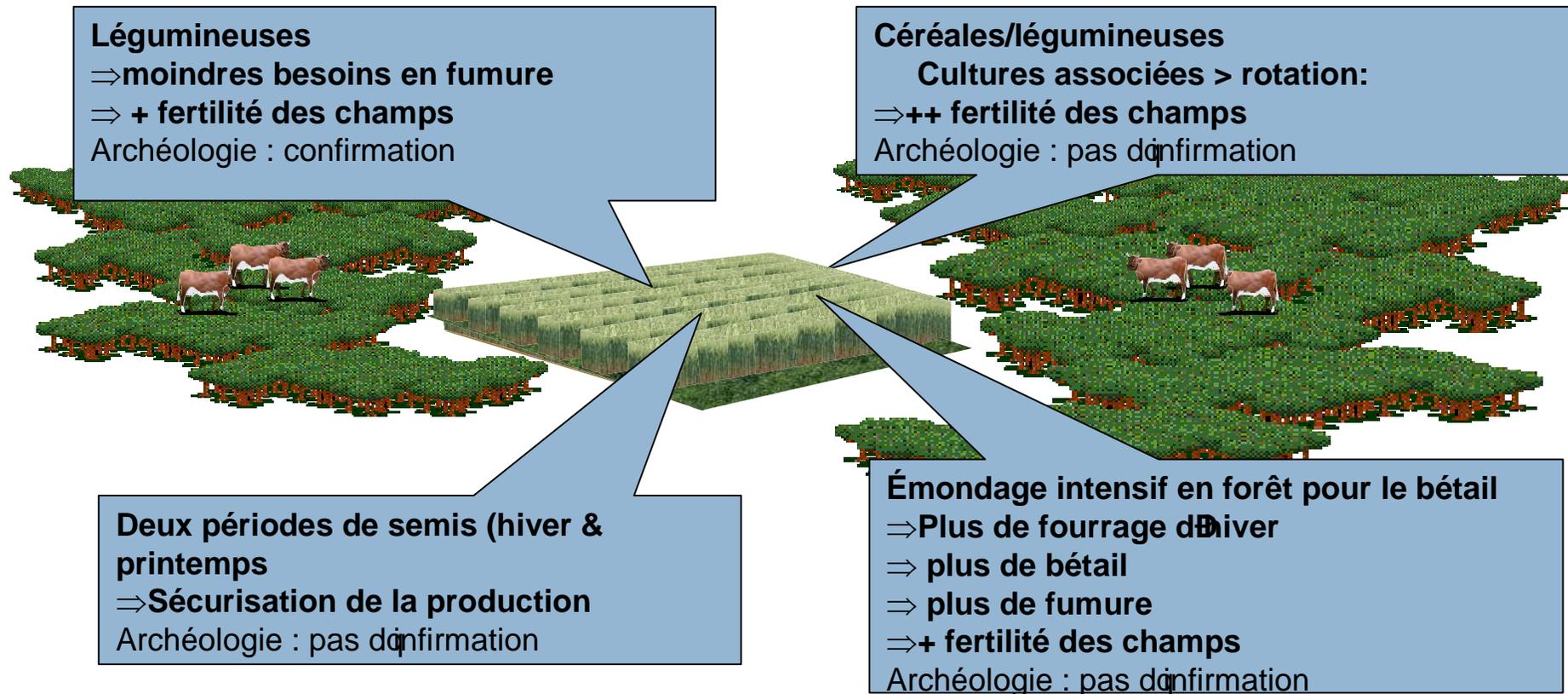
Building the social system: Ethno archaeological-inference



Formuler des propositions de durabilité de leur système agraire

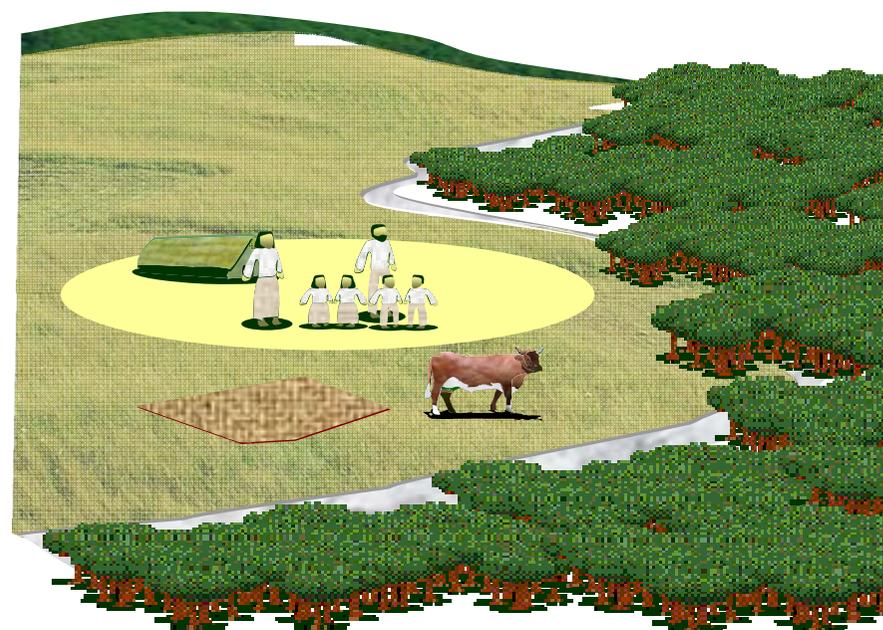


=> Quatre hypothèses agronomiques apportant plus de **fertilité** et de **sécurité** à ces champs permanents



Model village achievements: 3. Family dynamics

- É Archaeo. Households & demography (Coudart, 1998; Dubouloz, 2008; others..)
- É Patrilocality (Bentley, 2007; Haak *et al.* 2008; Bickle *et al.* 2011) but bilinearity as nil hypothesis (Todd, 2011)
=> even inheritance, field dispersions
- É Chayanov ratio C/P => splitting families (Hammel, 2005; Bocquet-Appel, forthcoming) => ultimogeniture
- É %Random+demography + non-cooperative families: families alternatively enlarged ↔ nuclear



- É Commensality
=> differential food shortages



- Colonisation depuis 1970 de la région amazonienne de l' Equateur « Oriente » soutenue par l'exploitation pétrolière

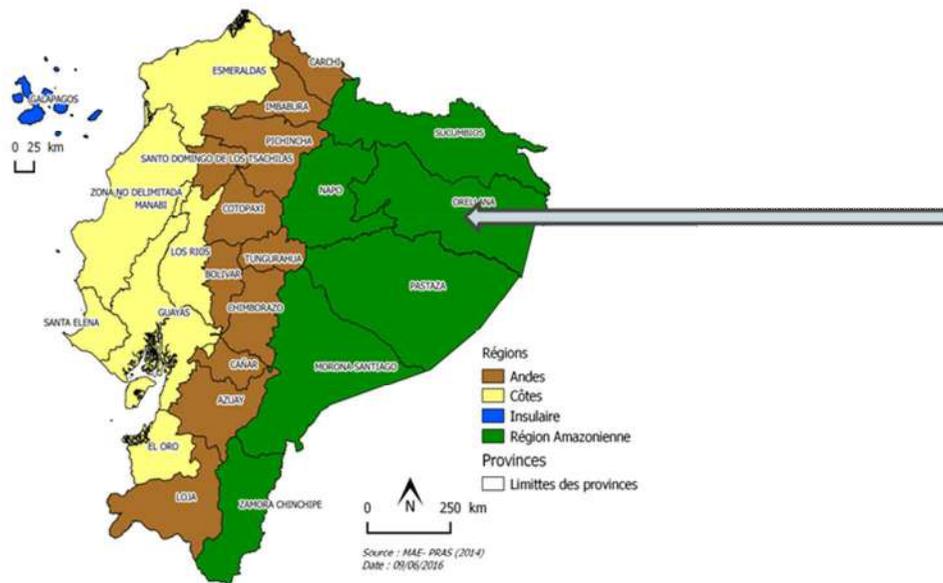
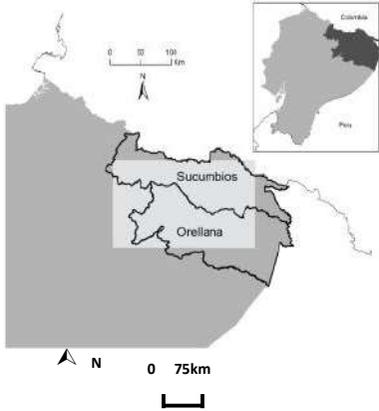


Figure 1: Carte de l'équateur avec le découpage en régions

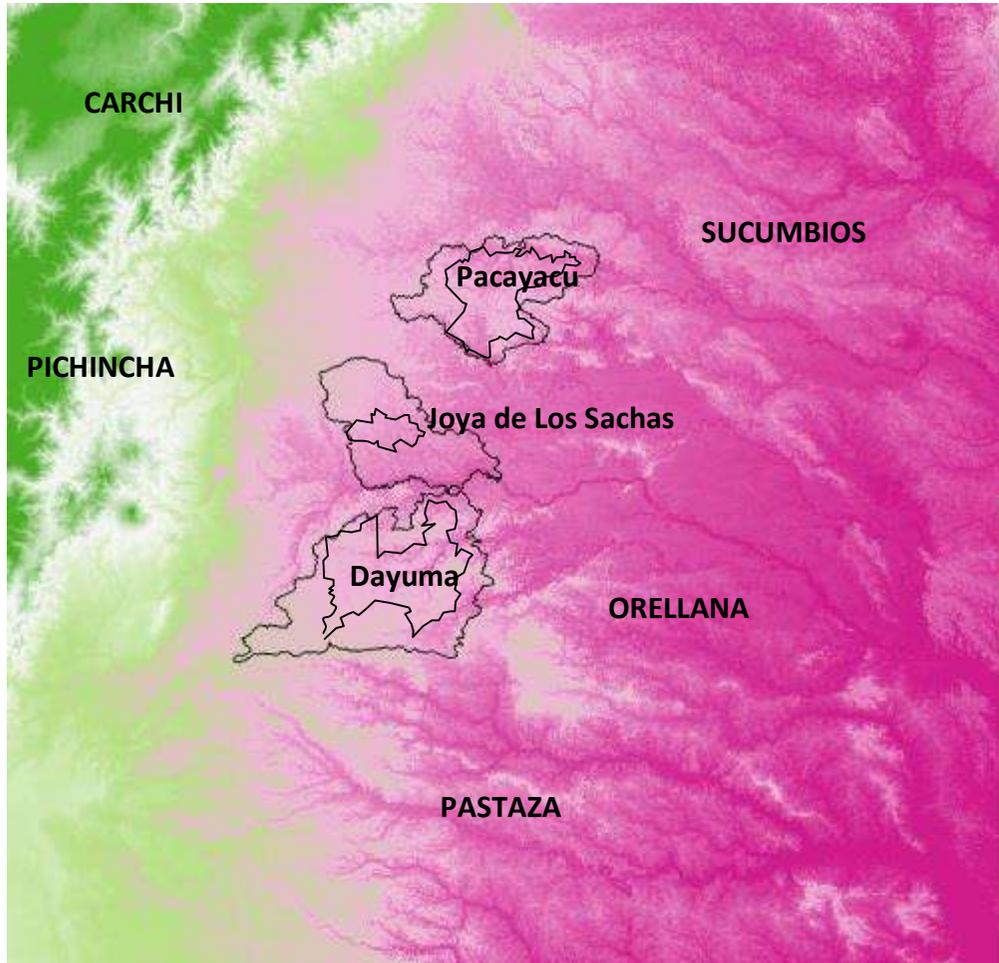


Figure 2: Illustration exploitation pétrolière
source : <http://www.monoil.ird.fr/photos>



Elevation

-  Higher than 2600 m
-  From 800m to 2600m
-  From 400 to 800 m
-  From 280m to 400m
-  From 180 to 280 m
-  Less than 180m
-  Parish borders
-  Water catchment





- Sous-modèle environnemental
 - Le relief (MNT + données pédologiques)

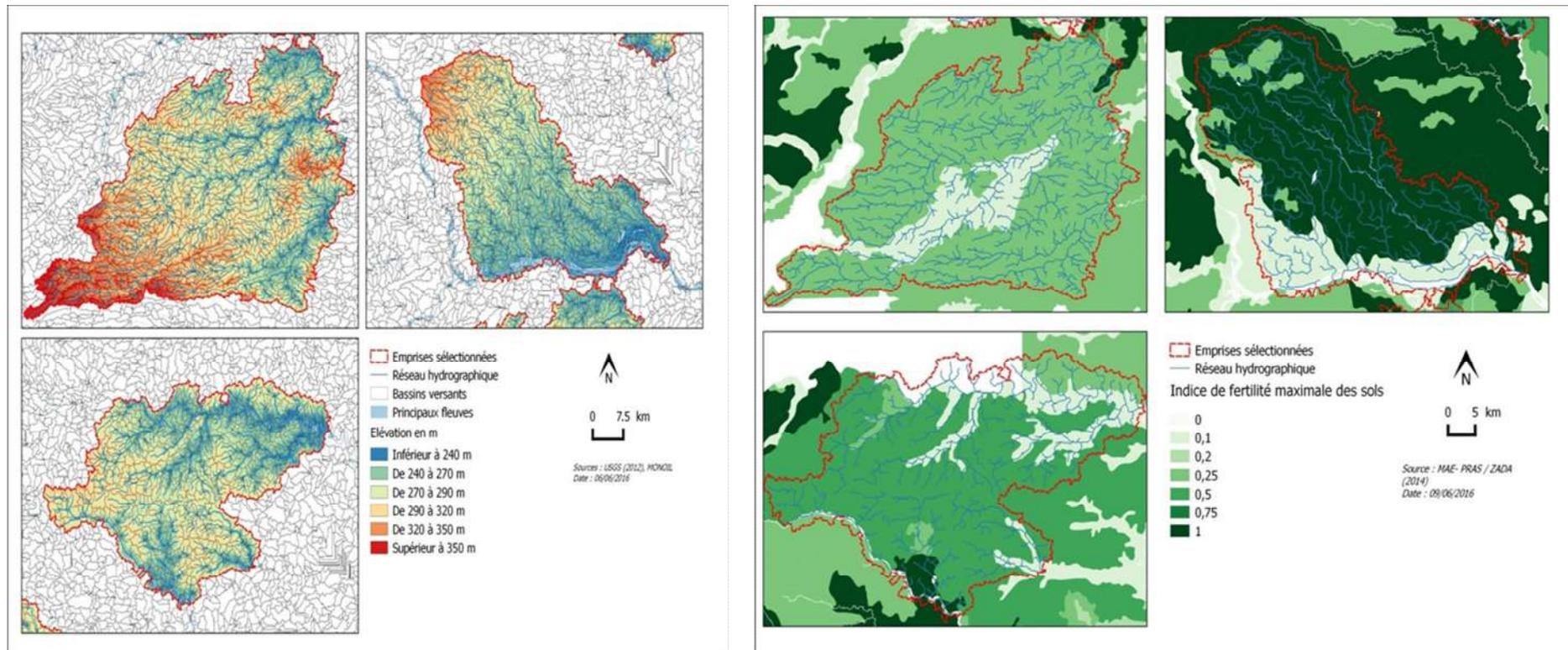


Figure 10 : Indices de fertilité maximale des sols



- Sous-modèle environnemental
 - La pluie + les bassins versants + réseau hydrographique



Figure 11 : Illustration d'un bassin versant
(source : <http://obvfleuvestjean.com/quest-ce-quun-bassin-versant/>)

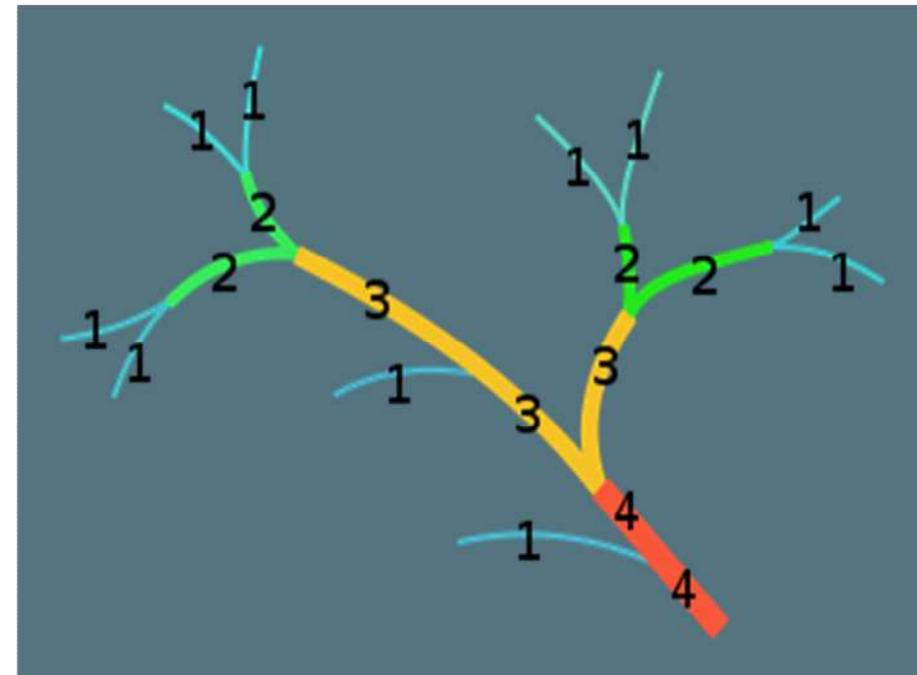


Figure 12 : Illustration l'ordre de Strahler dans un réseau hydrographique
(source: https://en.wikipedia.org/wiki/Strahler_number)



- Sous-modèle environnemental
 - La forêt (Densité + variation de la biomasse + chablis)



Figure 13 : Illustration d'une forêt
(source : <http://www.monoil.ird.fr/photos/>)



- Sous-modèle environnemental
 - La pollution (ponctuelle + souterraine + aérienne)

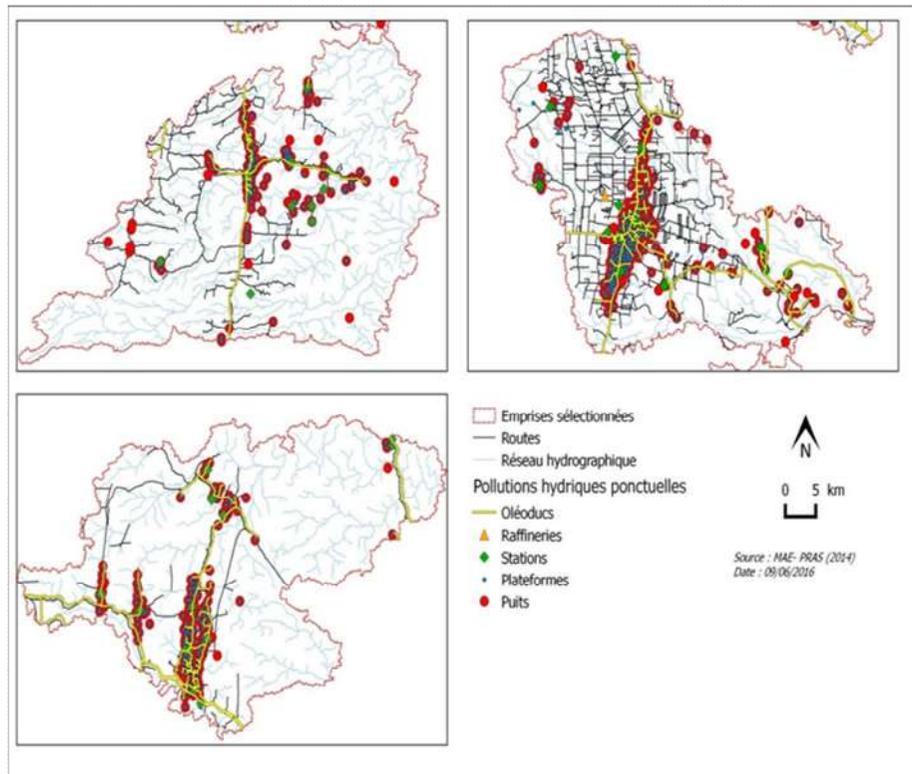
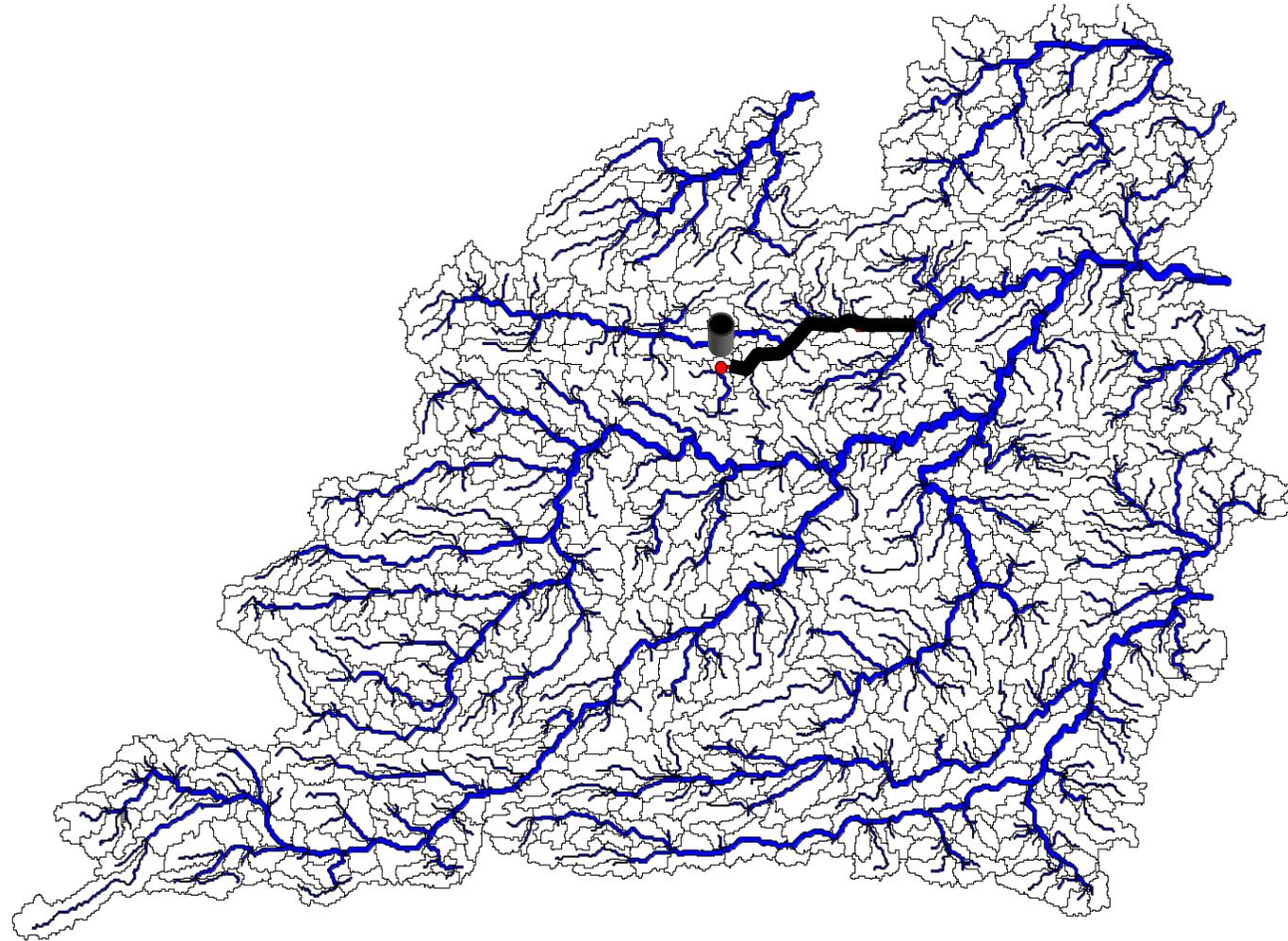


Figure 14 : Cartes des contaminations hydriques ponctuelles (derrames)



Figure 15 : Illustration de la pollution (source : <http://www.monoil.ird.fr/photos/>)





- Sous-modèle socio-économique
 - Ménages (chef+ revenus + force de travail + Membres+ héritage+ mariage + parcelle + production + voisinage)



Figure 18 : Illustration des types de ménages habitant les zones d'étude
(source : <http://www.monoil.ird.fr/photos/>)



- Sous-modèle socio-économique
 - Routes (Etats + emplacement + vitesse maximale)

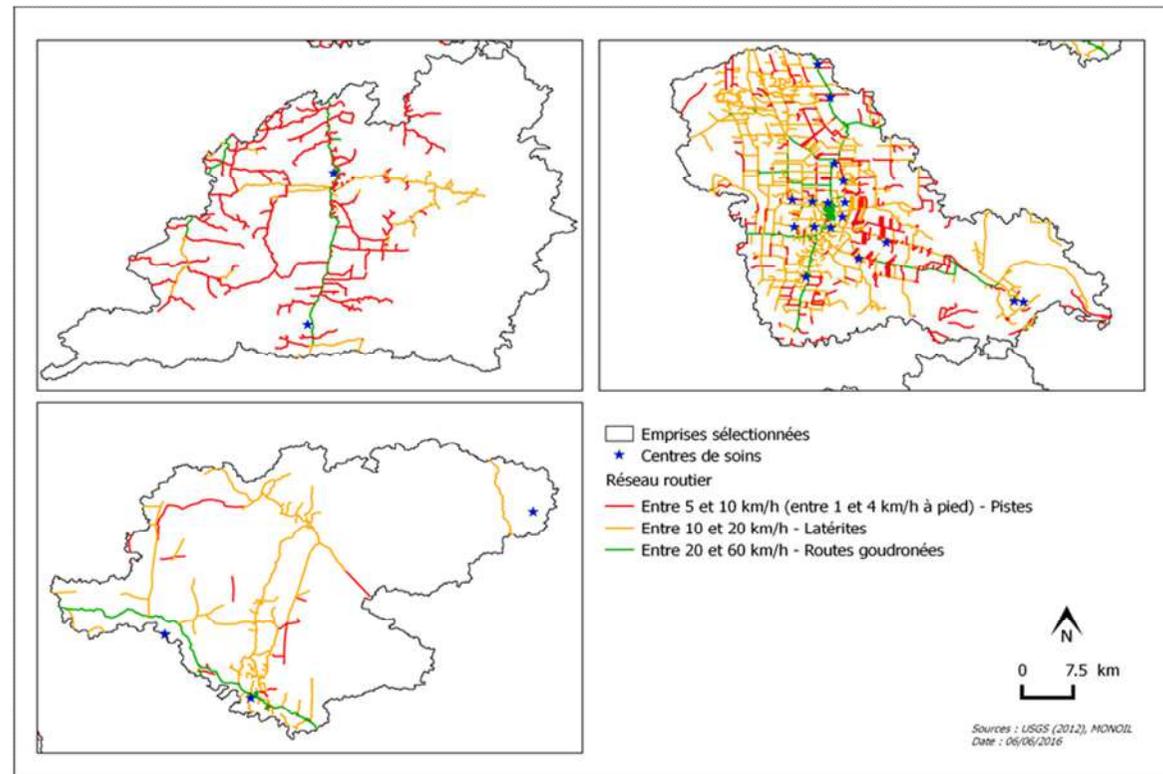
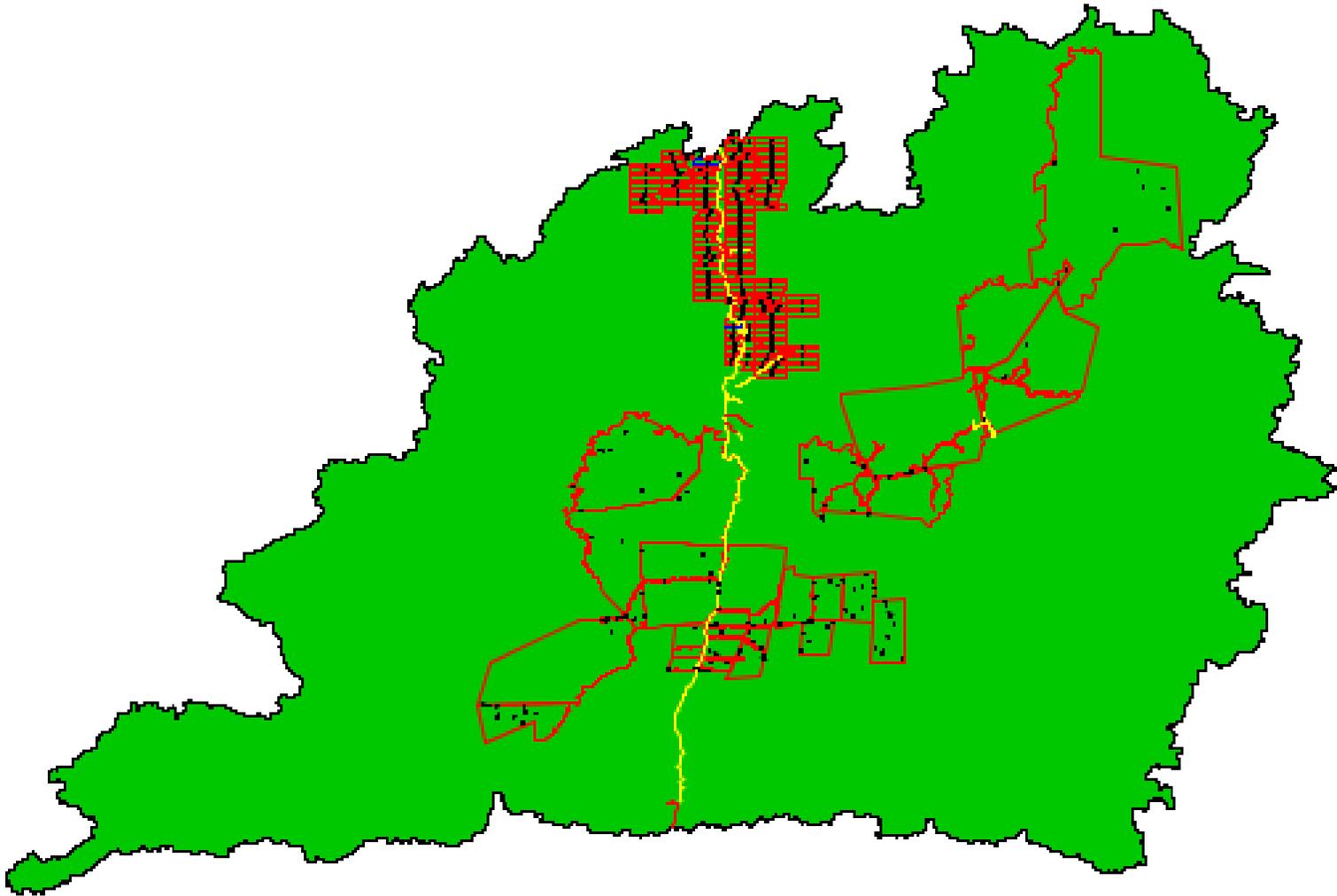
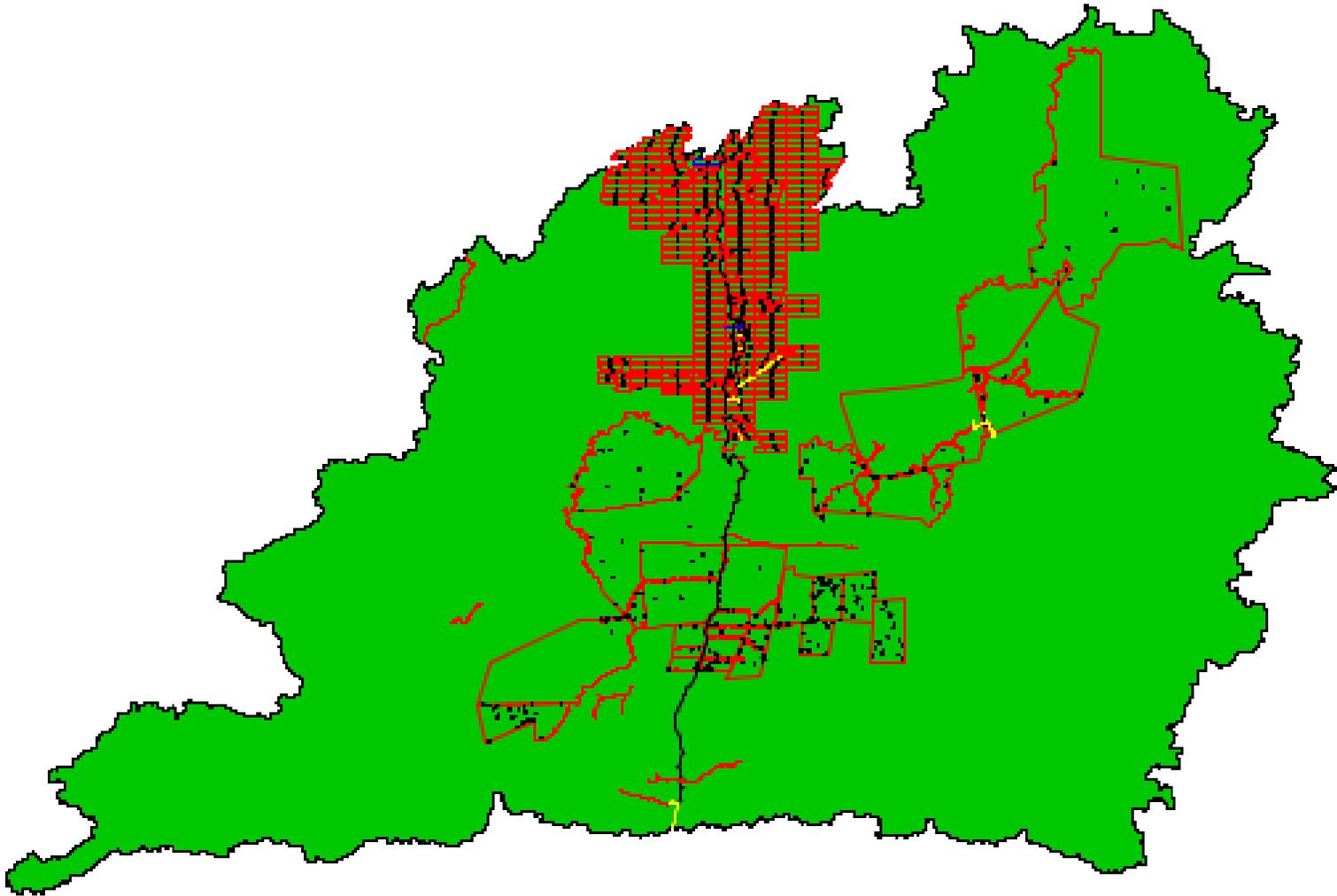
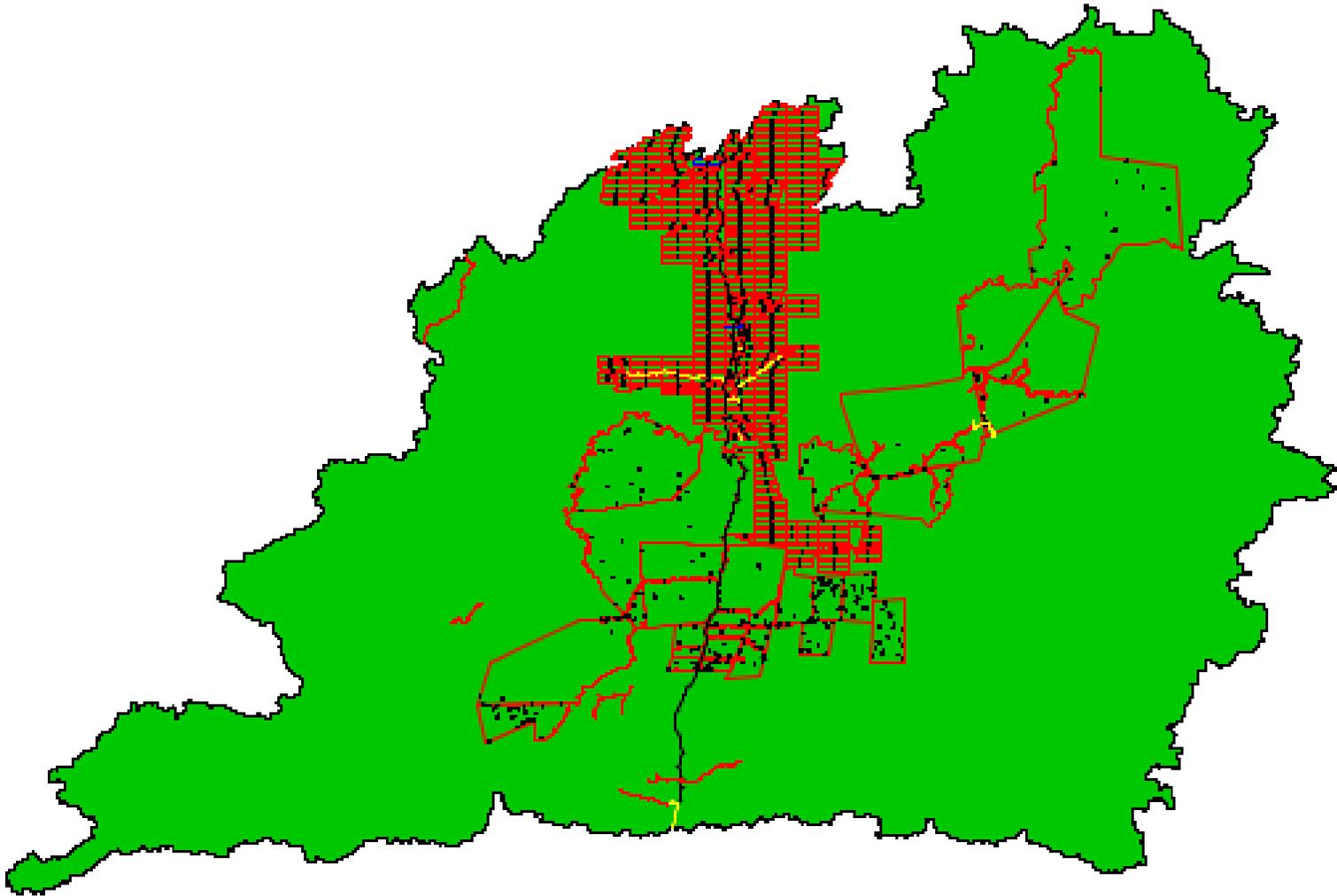
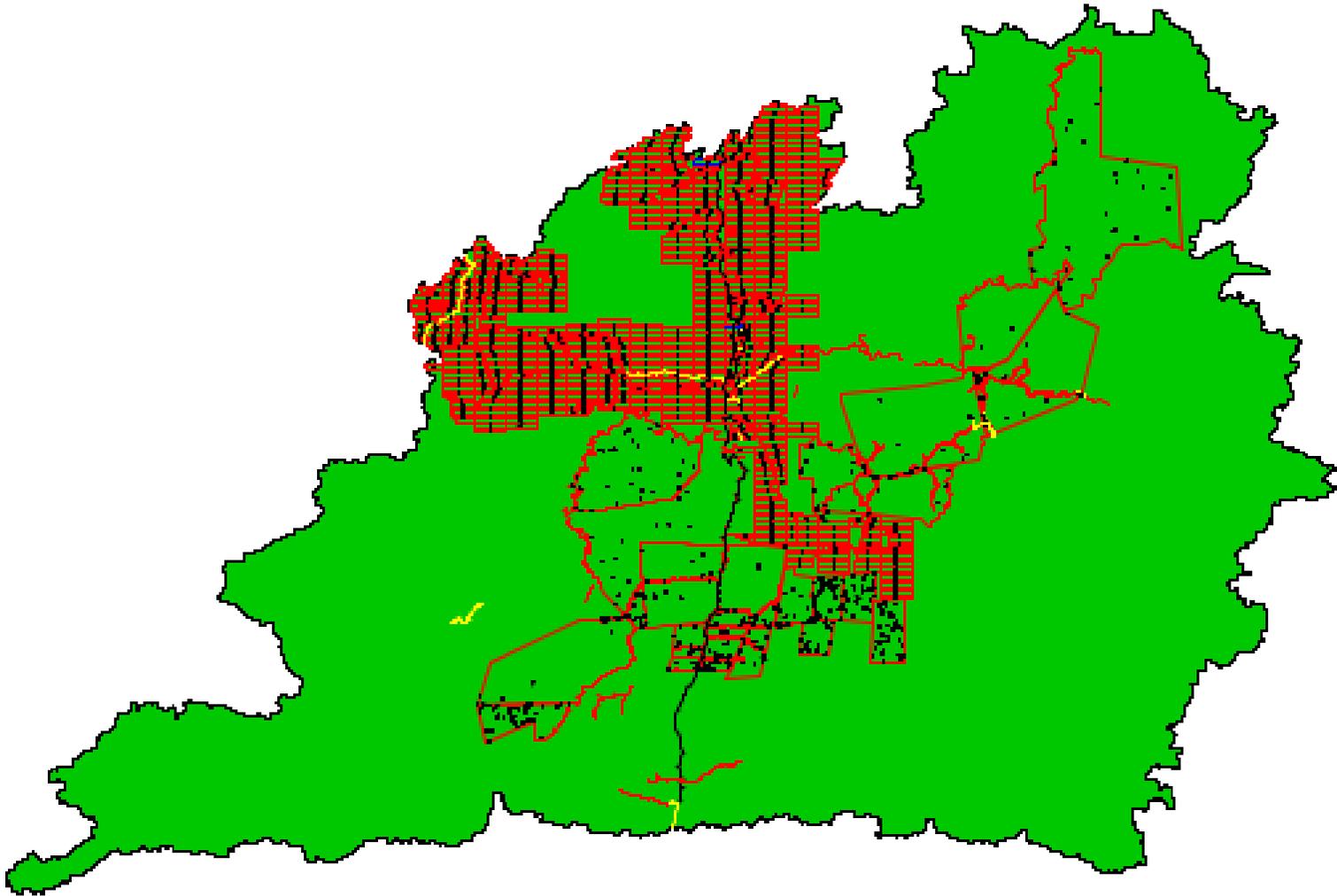


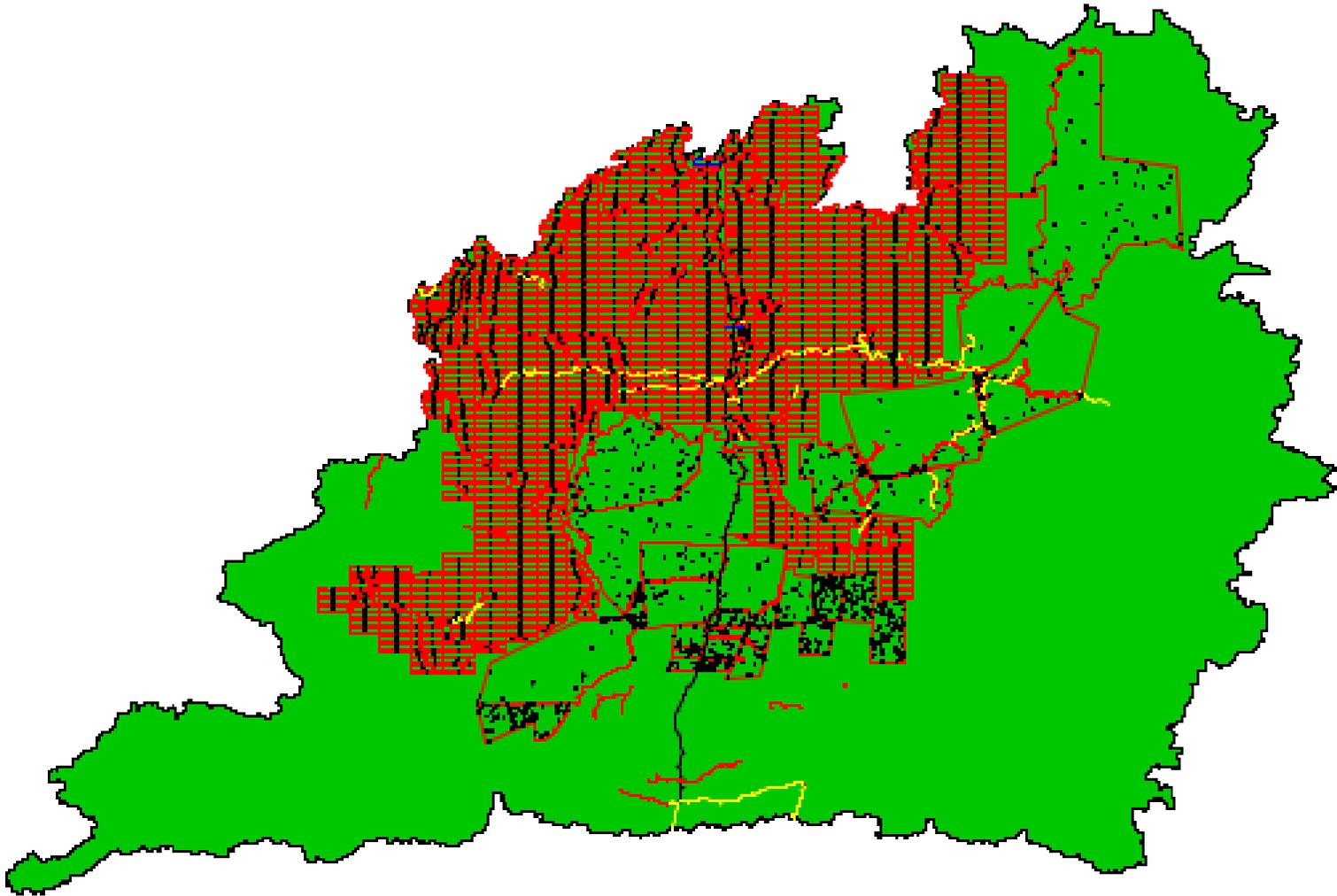
Figure 20 : Carte indiquant l'emplacement et l'état des routes dans les trois zones d'étude

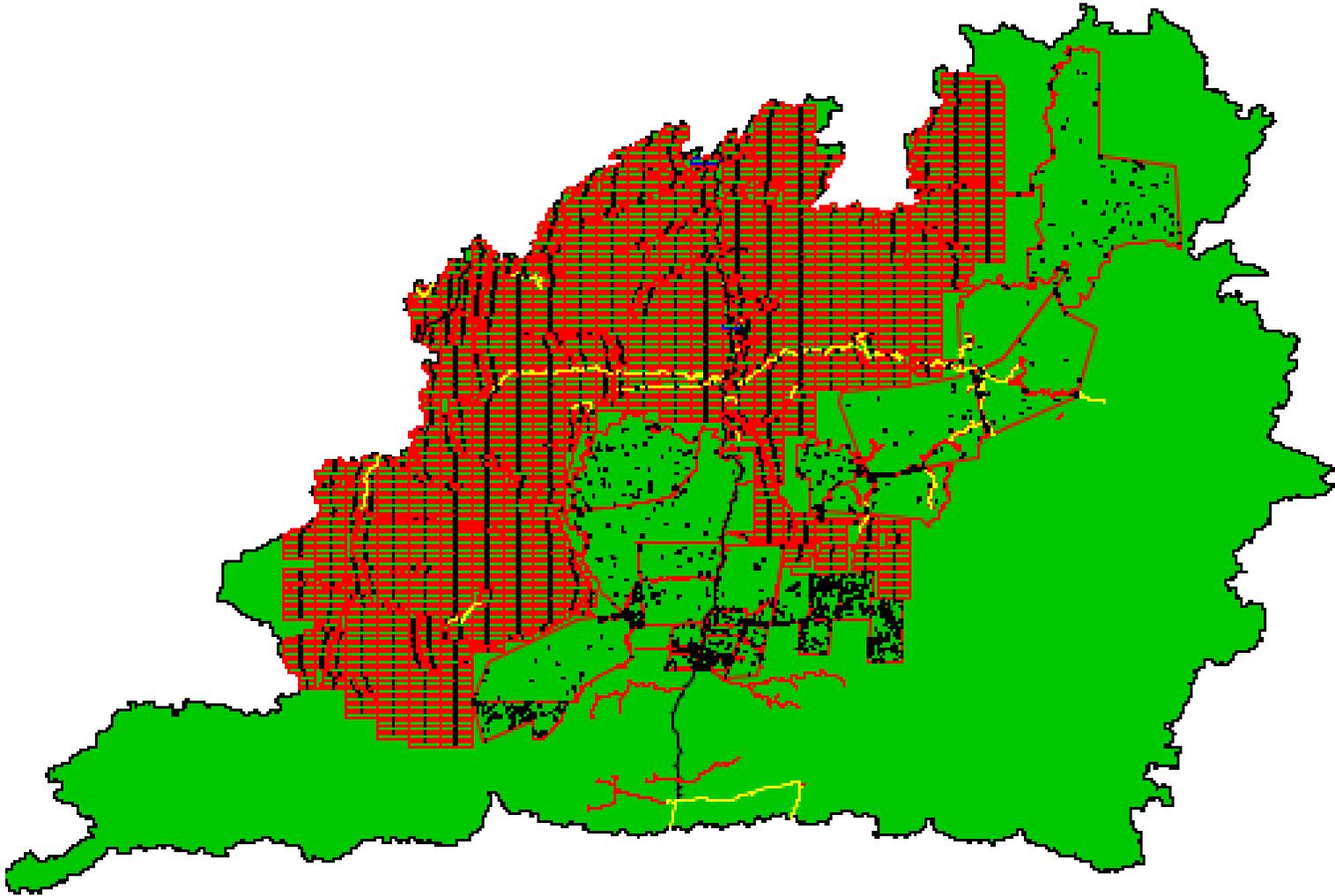


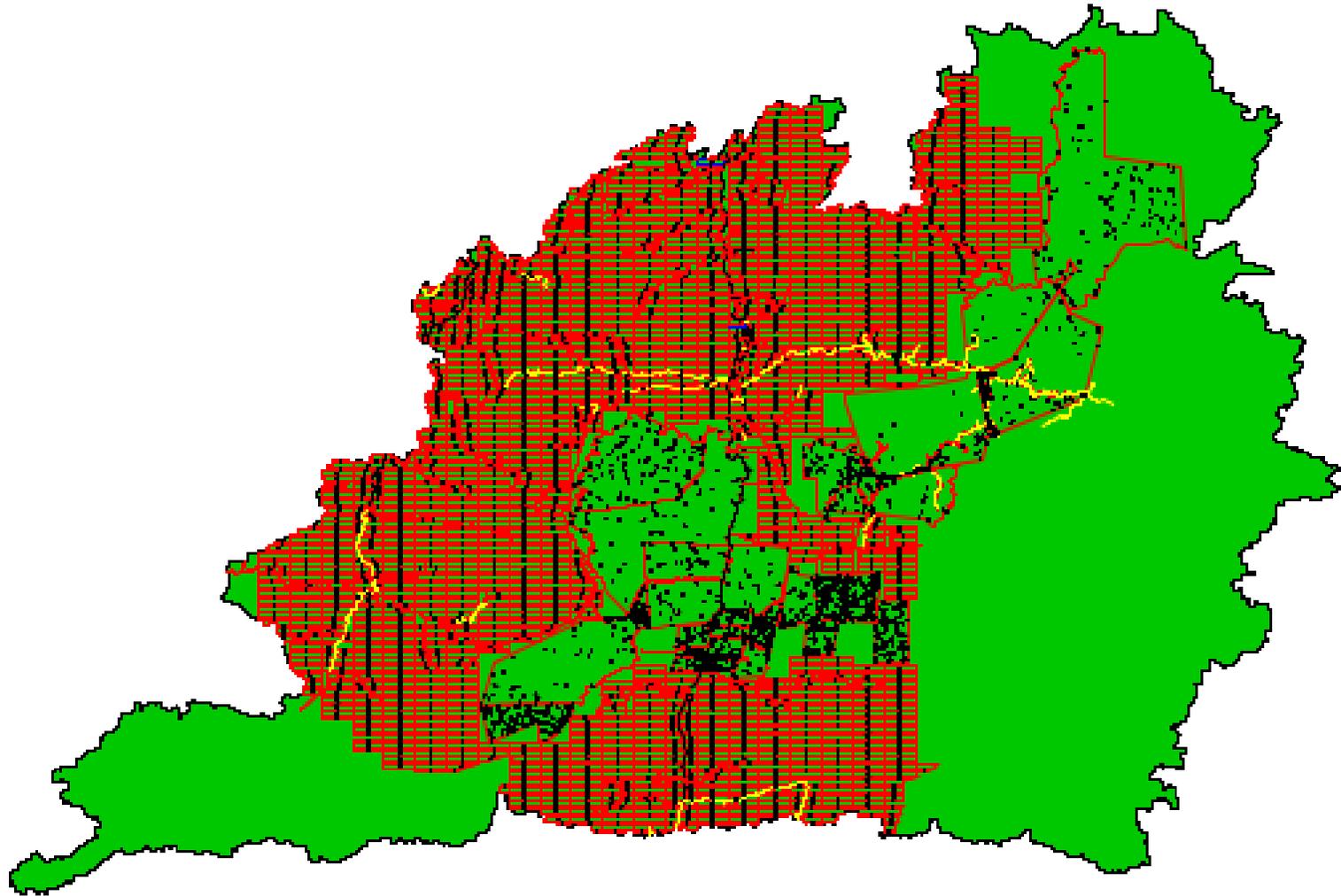


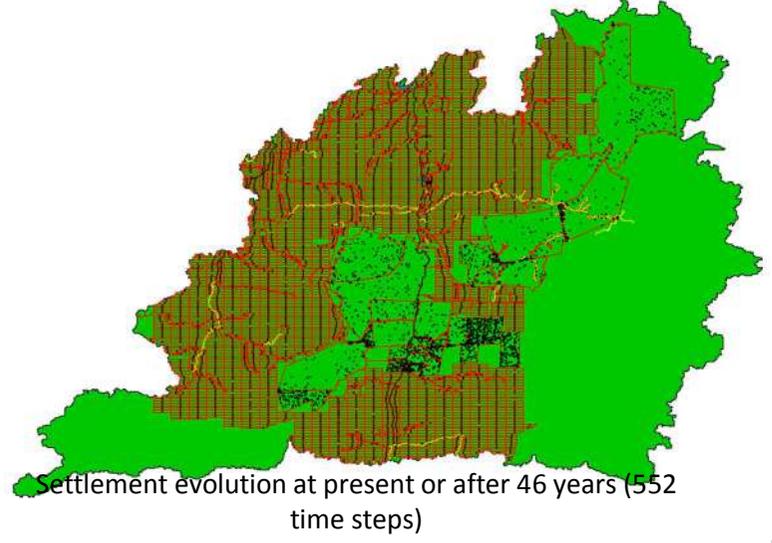
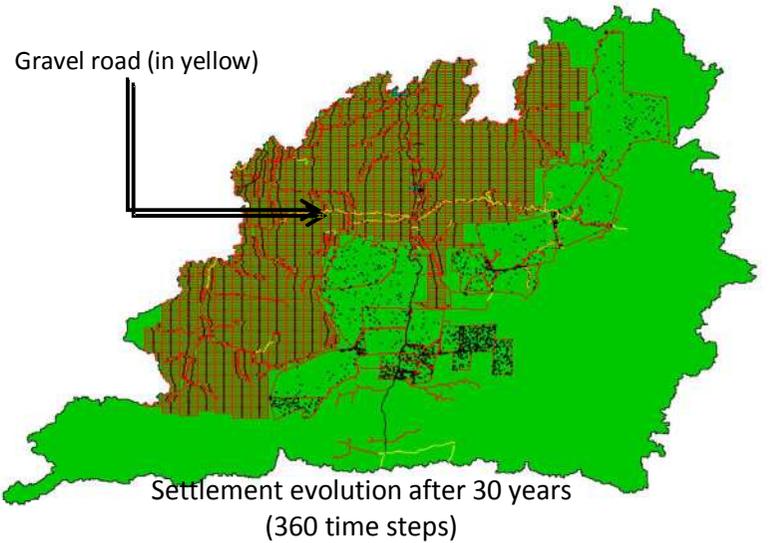
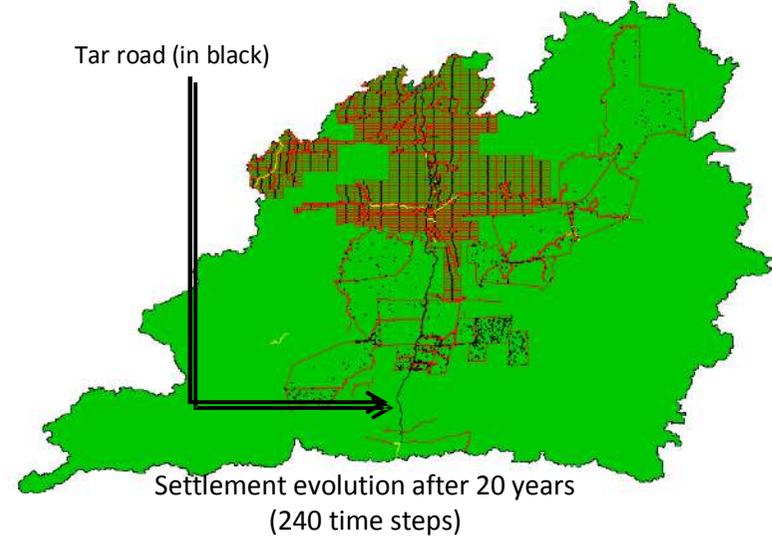
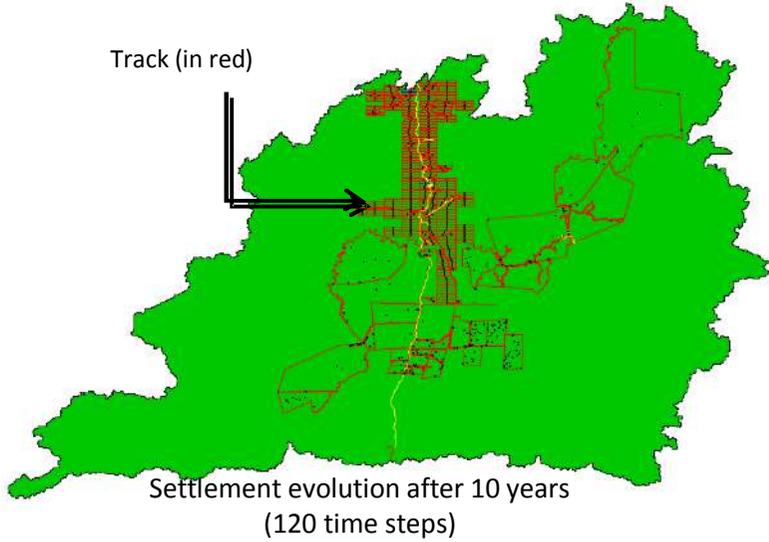






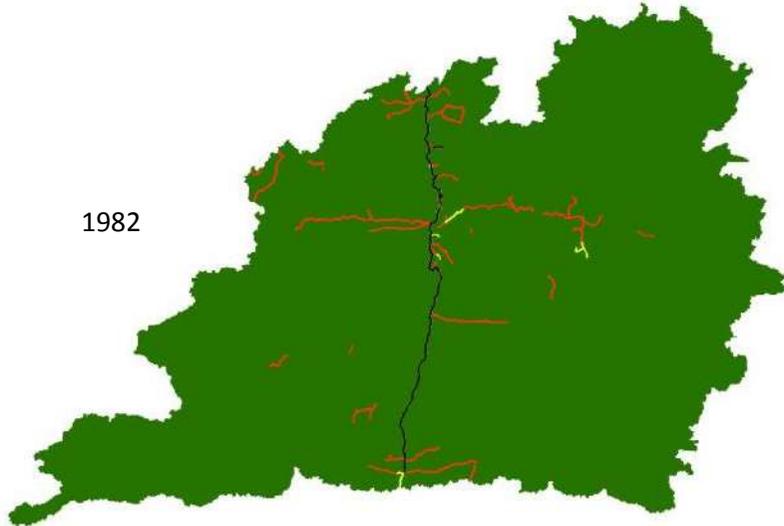




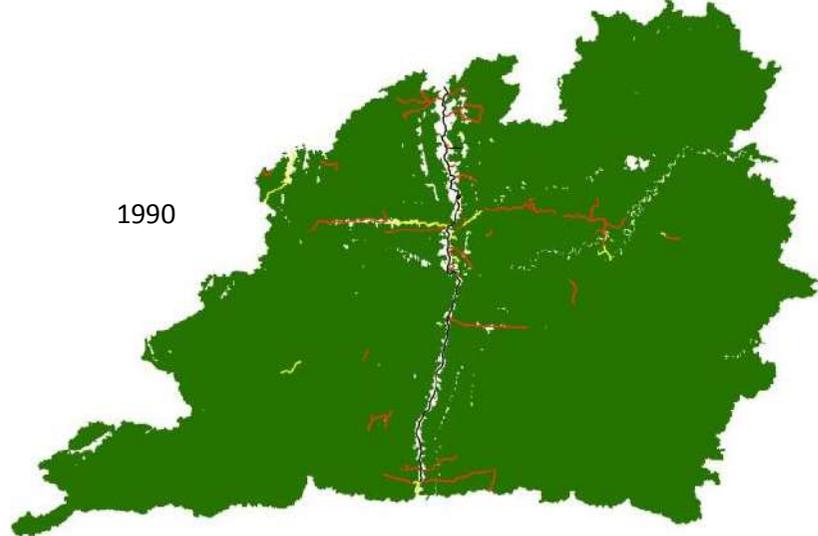




1982

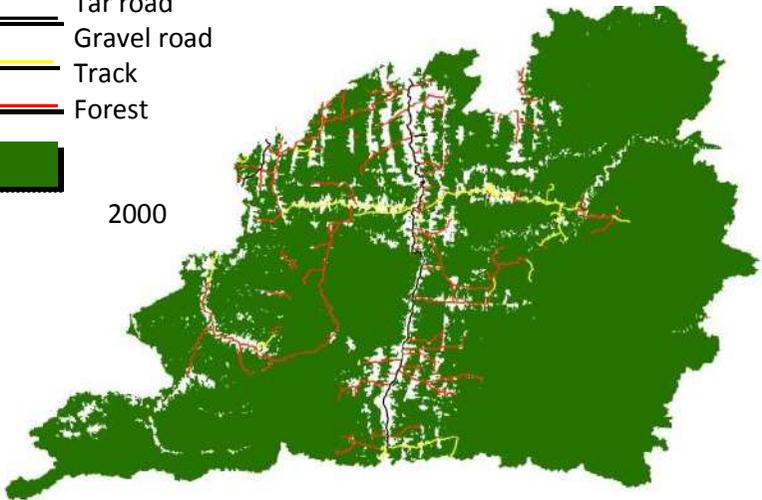


1990



- Tar road
- Gravel road
- Track
- Forest

2000



2014



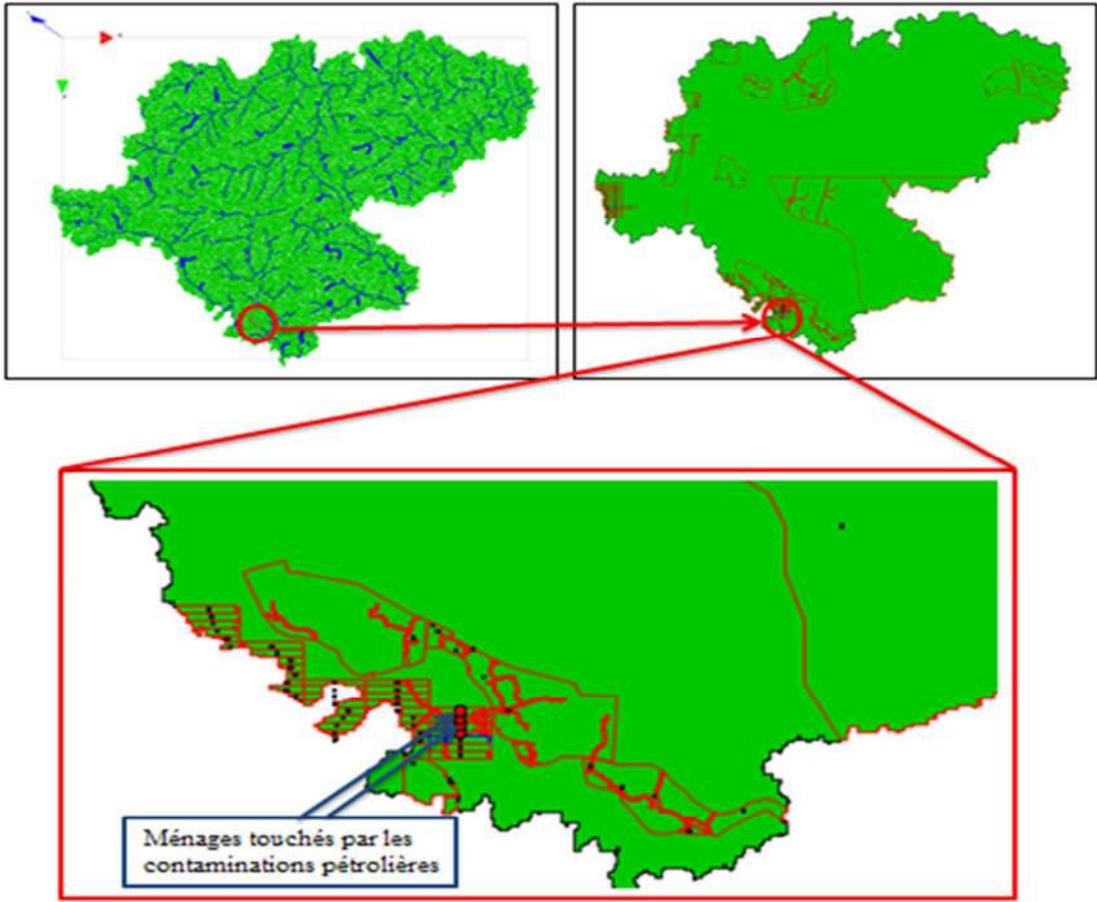


Figure 28: Illustration de la contamination des populations dans le modèle intégré (zone de Pacayacu)



- Sous-modèle socio-économique
 - Parcelles (surface + type + état)



: Illustration d'une parcelle
[p://www.monoil.ird.fr/phot](http://www.monoil.ird.fr/phot)



Paramètres/Activités	Cultures vivrières			
	Plantain	Maraichage	Manioc/Maïs	Petit élevage
coût mensuel MO homme/mois/ha nécessaire	9Hj/ha/mois	12,6Hj/ha/mois	6,4 Hj/ha/mois	4,9Hj/ha/mois
coût installation MO	7,2 Hj/ha	3,6 Hj/ha	5 Hj/ha	3,6 Hj/ha
coût installation \$	(MDispo/MOnécessaire)*311\$	(MDispo/MOnécessaire)*19\$	(MDispo/MOnécessaire)*311\$	200\$+(MDispo/MOnécessaire)*83\$
charge transport \$	0	0	0	0
effet fertilité f(t) sur CA(t) CA(f(t);t)=	CA(t)*[f(t)-fmin]] ET cf. commentaire	CA(t)*[f(t)-fmin]] ET cf. commentaire	CA(t)*[f(t)-fmin]] ET cf. commentaire	CA(t)
effet culture sur fertilité f(t)	f(t)=f(t-1)-0,1	f(t)=f(t-1)-0,01	f(t)=f(t-1)-0,1	f(t)=f(t-1)+0,05
temps entrée en production	3 mois	3 mois	6 à 12 mois	3 à 6 mois
fréquence remise en cause production	3 mois	3 mois	6 mois	3 mois
cout mensuel \$(/ha ?)	%CA 1%	%CA 5%	%CA 5%	%CA 15,3%
surface minimum (café: 1 pixel, petit élevage:0)	1	1	1	0
surface maximum (banane/Maïs: 1 pixel)	2	1	4	1
fertilité minimale pour l'activité	0,3	0,5	0,5	0
inondabilité min pour l'activité	0,2	0,4	0,2	0,6
production maximale/ha/mois	random entre 450/12 et 900/12	random entre 1500/12 et 2500/12	random entre 450/12 et 1800/12	random entre 250/12 et 2210/12
prix/kg	3	0,25	0,266666667	2
PB max en \$/ha/mois	entre 112,5 et 225	entre 31 et 52	entre 10 et 40	entre 42 et 368
CA mensuel/homme/mois(/ha ?) max				
bénéfice/homme/mois				



Paramètres/Activités	Cultures de rente			Salariat
	Café	Cacao	Elevage bovin	
coût mensuel MO homme/mois/ha nécessaire	3,1Hj/ha/mois	3,0Hj/ha/mois	20,5Hj/ha/mois	0Hj/ha/mois
coût installation MO	21,5 Hj/ha	32,5 Hj/ha	22,5 Hj/ha	0 Hj/ha
coût installation \$	(MDispo/MOnécessaire)*311\$	(MDispo/MOnécessaire)*311\$	(MDispo/MOnécessaire)*595\$	0
charge transport \$	f(plot)	f(plot)	f(plot)	f(plot)
effet fertilité f(t) sur CA(t) CA(f(t);t)=	CA(t)*[f(t)-fmin]] ET cf. commentaire	CA(t)*[f(t)-fmin]] ET cf. commentaire	CA(t)*[f(t)-fmin]] ET cf. commentaire	0
effet culture sur fertilité f(t)	f(t)=f(t-1)-0,1 si (*), f(t)=f(t-1)-0,25 sinon	f(t)=f(t-1)-0,1 si (*), f(t)=f(t-1)-0,25 sinon	f(t)=f(t-1)-0,1 si (*), f(t)=f(t-1)-0,2 sinon	0
temps entrée en production	2 à 3 ans	2 à 3 ans	2 à 3 ans	0
fréquence remise en cause production	12 mois	12 mois	12 mois	3mois ET commentaire
cout mensuel \$(/ha ?)	%CA 1,4%	%CA 6,8%	%CA 17,4%	f(plot)
surface minimum (café: 1 pixel, petit élevage:0)	1	1	1	0
surface maximum (banane/Maïs: 1 pixel)	10	10	100	0
fertilité minimale pour l'activité	0,5	0,5	0,3	0
inondabilité min pour l'activité	0,2	0,2	0,6	0
production maximale/ha/mois	random entre 5100/12 et 3000/12	random entre 1100/12 et 900/12	random entre 1240/12 et 1010/12	random entre 300 et 400
prix/kg	0,2333333333	1,666666667	3	1
PB max en \$/ha/mois	entre 58 et 99	entre 125 et 152	entre 252 et 310	entre 300 et 400
CA mensuel/homme/mois(/ha ?) max				
bénéfice/homme/mois				

Merci de votre attention

