A photograph of a red tractor with a white cab plowing a field. The tractor is moving from left to right, turning over dark brown soil. In the background, there is a line of trees and a field of green grass. Several white birds are scattered across the field, some on the ground and some in flight. The sky is overcast.

**Modélisation pluriannuelle des assolements dans  
une exploitation bovine laitière (ou d'élevage)  
De la parcelle à l'exploitation**

**Florence GARCIA et Philippe FAVERDIN  
UMR Production du Lait – Saint-Gilles**

Intensification des systèmes  
bovins laitiers en Bretagne

Difficulté croissante de la  
gestion des effluents d'élevage

Eco-conditionnalité  
des primes découplées

Réglementations plus  
contraignantes

Importance de l'évaluation de l'impact de exploitations d'élevage sur  
l'environnement

**Projet :**

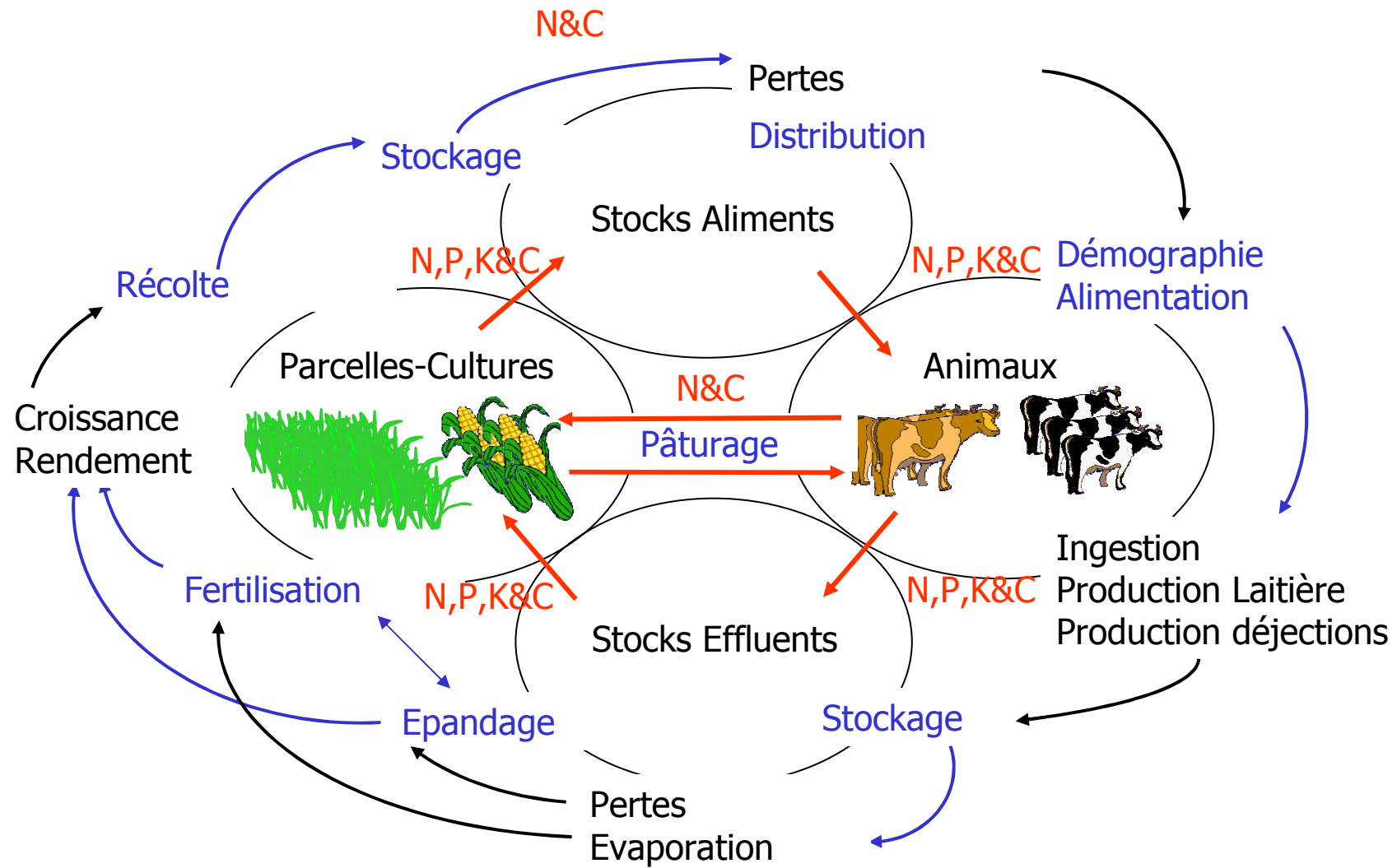
Évaluer par modélisation l'impact environnemental des exploitations laitières  
en fonction de la conduite d'élevage, des objectifs de production  
et de la structure d'exploitation

Problématique à l'échelle de l'exploitation d'élevage

Inadéquation des échelles de  
recherche et des échelles des  
décisions techniques

Données issues d'enquêtes ou de  
réseaux d'élevage

# Démarche de modélisation à l'échelle de l'exploitation (1)





# Démarche de modélisation à l'échelle de l'exploitation (2)

## Systeme de pilotage : planification

### Systeme de culture :

Cultures envisagées  
ITK  
Règles de rotation  
Fertilisation

### Strategie d'élevage :

Objectifs de production  
Conduite alimentaire  
Conduite pâturage  
Autonomie alimentaire  
Type de litière, d'effluents

**Conception assolement**

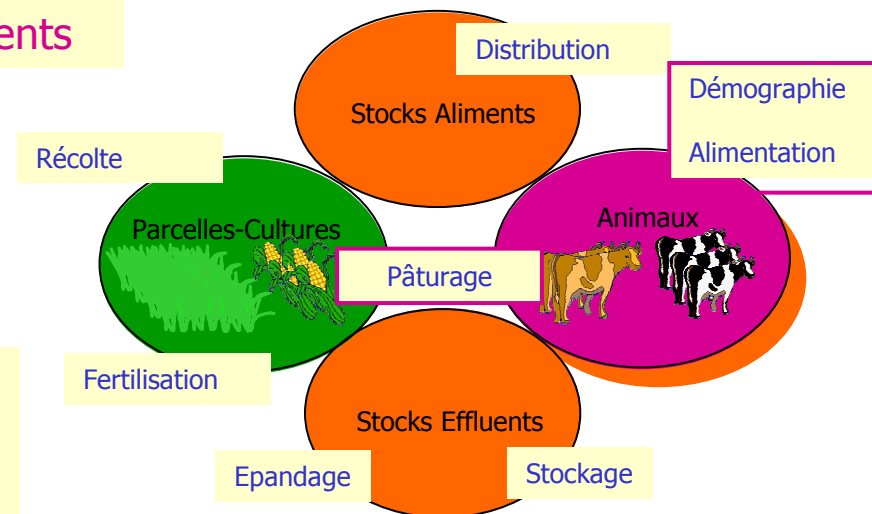
### Parcelle :

Accessibilité / animaux  
Potentialités agronomiques  
Taille, nombre de parcelles

### Equipement :

Logement animaux  
Bâtiments Stockage

**Structure d'exploitation**



# Comment formaliser le processus de construction d'un assolement ?

## Corps de règles

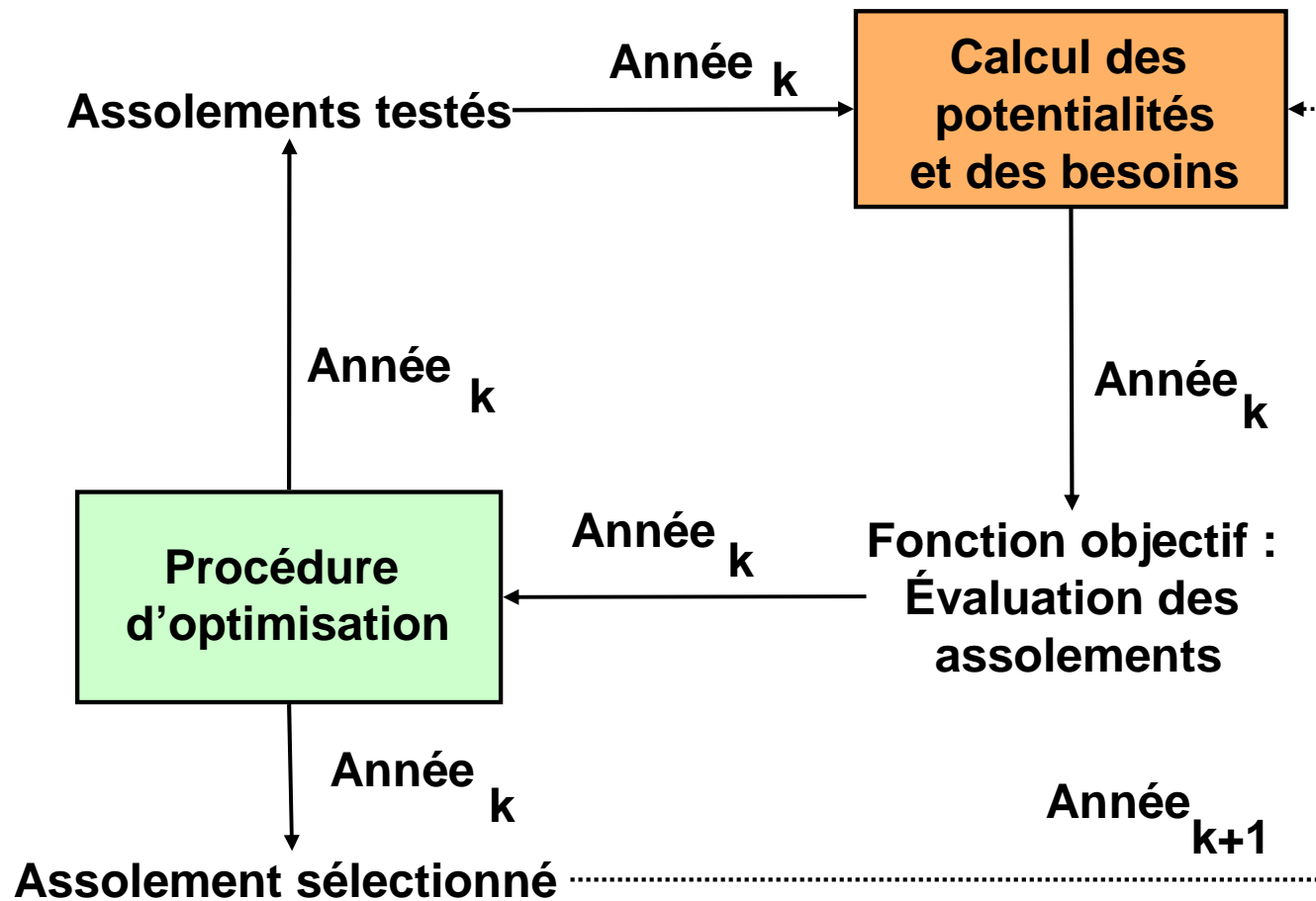
- **Définies**
  - a priori, à partir de l'expertise ou du conseil
  - a posteriori, à partir d'observations de successions culturales sur un territoire
- Plus facile pour définir des rotations au sein d'une parcelle ou d'un îlot
- Formalisme proche de l'expertise, mais complexe
- Difficile de prendre en compte les pondérations d'un ensemble de contraintes
- Difficile de prévoir toutes les règles permettant d'aboutir à une solution

## Optimisation multicritère

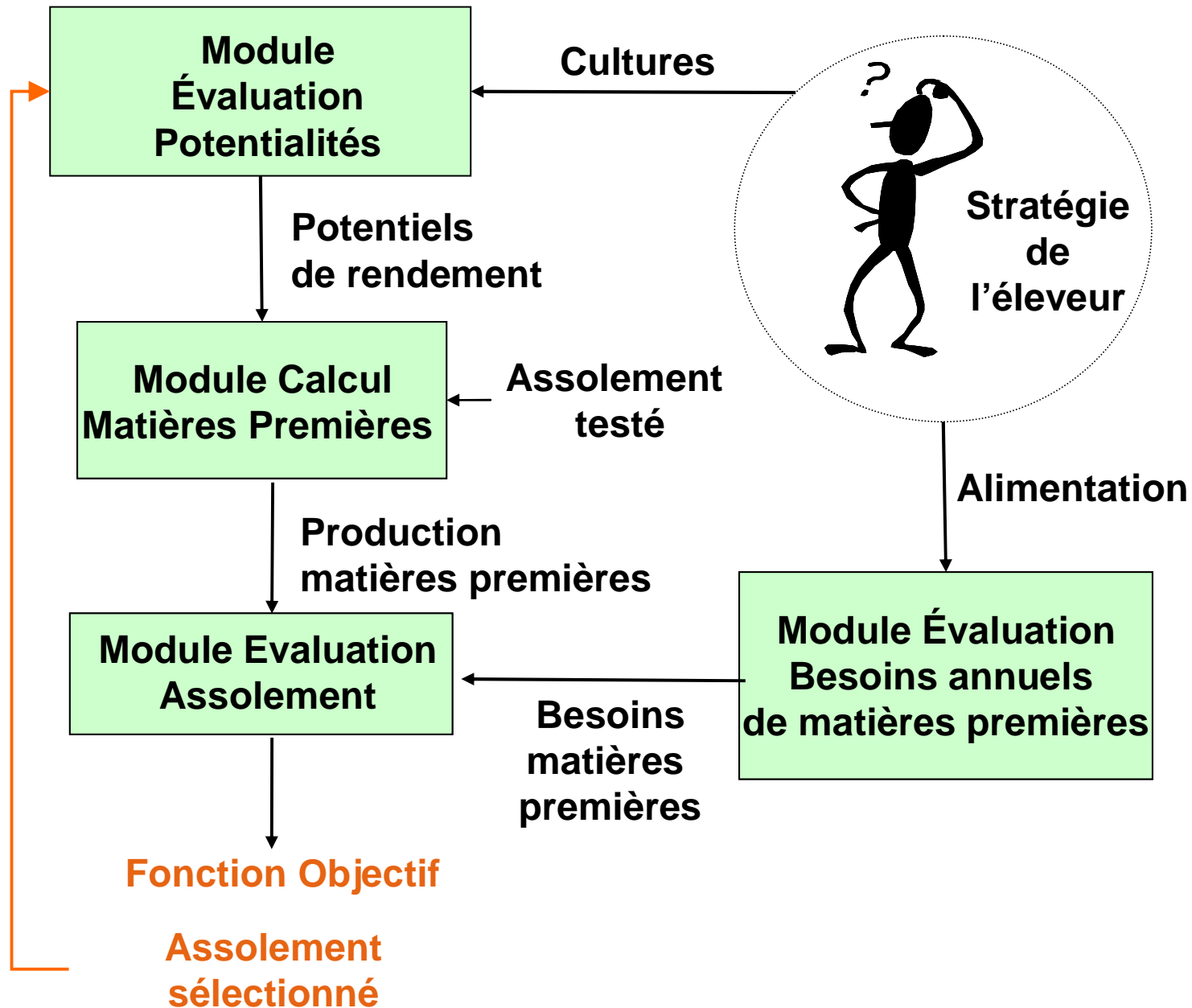
- La fonction d'optimisation doit porter les différentes contraintes ou objectifs intervenant dans la décision
- Le formalisme est plus éloigné de l'expertise qu'avec un corps de règles, mais plus simple à concevoir : plus abstrait, paramétrage plus complexe
- Les pondérations sont apparentes
- Les paramètres à estimer sont très nombreux, convergence? Optimum?
- L'interprétation de la solution est plus complexe

# Modélisation pluriannuelle des assolements dans une exploitation bovine laitière (ou d'élevage)

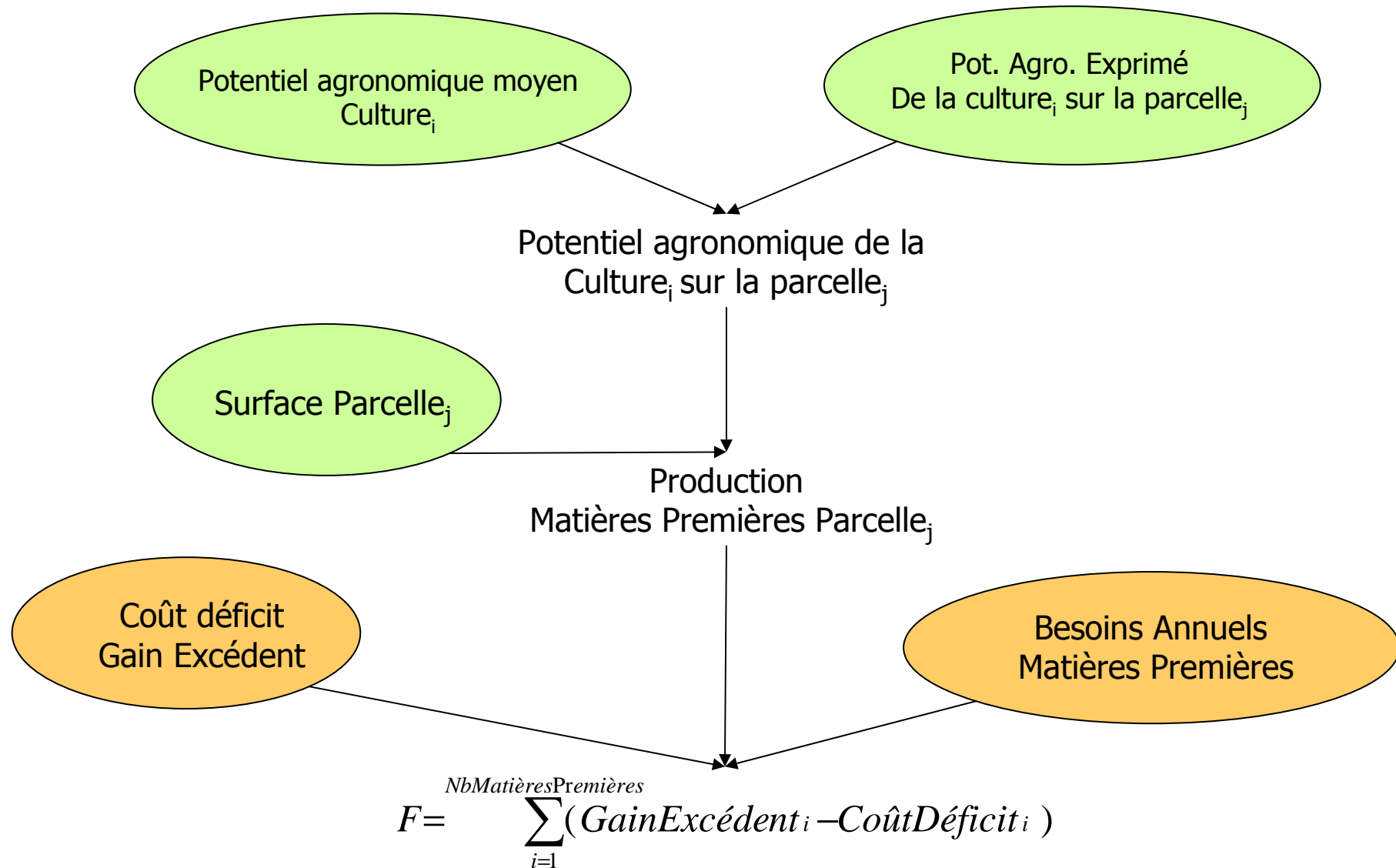
## Construction du modèle (1)



## Construction du modèle (2) : Structure globale

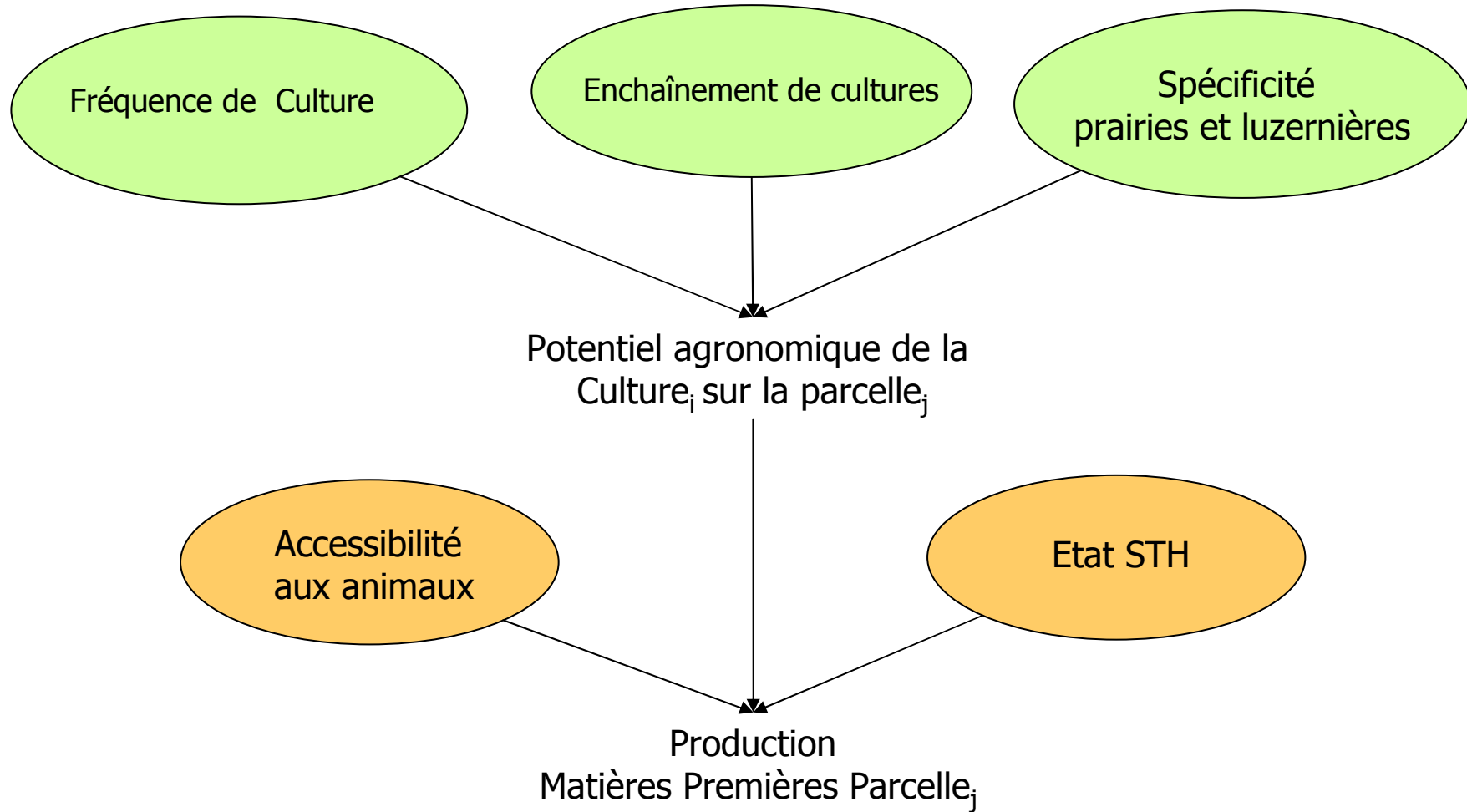


## Règles de décision et fonction objectif (1)





## Règles de décision et fonction objectif (2)



# Le module alimentation

## Liste fourrages

Herbe pâturée (kgMS/jr)  
Ensilage Herbe (kgMS/jr)  
Foin (kgMS/jr)  
Paille Fourrage (kgMS/jr)  
Ensilage Maïs (kgMS/jr)  
Ensilage Luzerne (kgMS/jr)  
Foin Luzerne (kgMS/jr)  
Luzerne déshydratée produite (kgMS/jr)  
Betterave fourragère (kgMS/jr)  
Luzerne déshydratée achetée (kgMS/jr)

## Liste Concentrés

Concentré commerce  
Concentré maïs  
Concentré blé  
Concentré orge  
Concentré triticales  
Concentré pois  
Concentré féverole  
Concentré lupin

## Litière

Paille bâtiment

## Besoins annuels

Herbe pâturée VL  
Herbe pâturée totale  
Herbe totale (pâturée+conservée)  
Maïs  
Paille  
Luzerne  
Blé  
Orge  
Triticale  
Betterave  
Pois  
Féverole  
Lupin  
Jachère

CI  
Effectifs  
VL&G

Calendrier mensuel

Périodes  
Bâtiment/Pâturage

# Quelle procédure d'optimisation associer à Tournesol ?

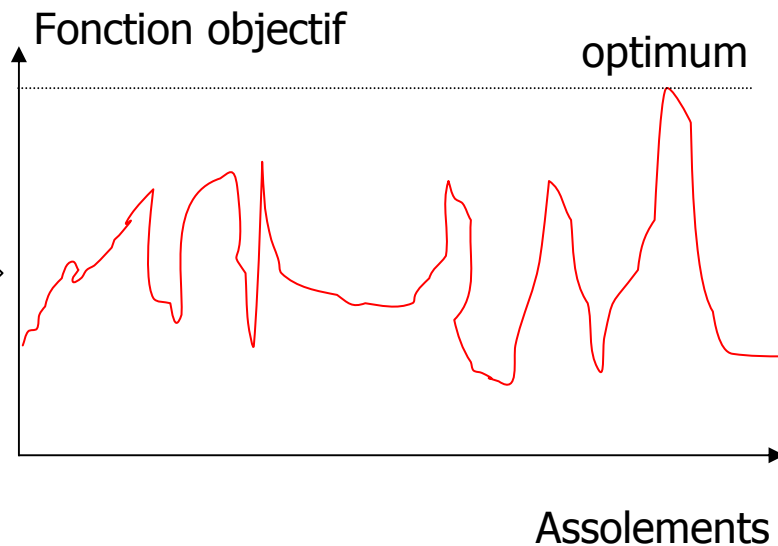
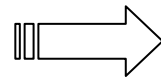
A chaque procédure d'optimisation :

(Nombre de cultures)<sup>Nombre de parcelles</sup>

Fonction objectif :

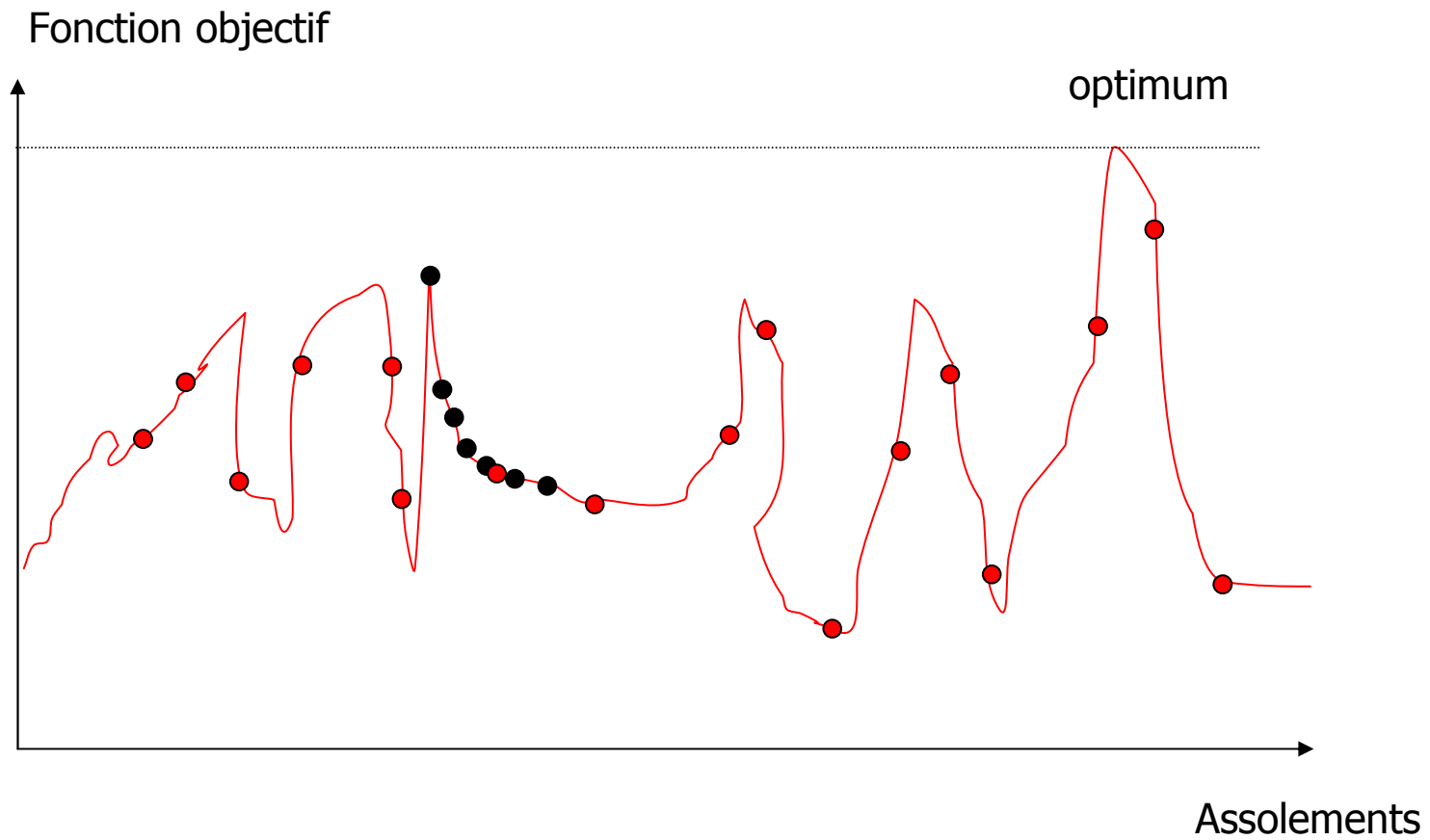
- nombreux optima locaux
- non lissée, avec paliers
- contraintes sur les options

*Assolement* = {  
1000000000000000  
1000000000000000  
0100000000000000  
0000100000000000  
0100000000000000  
0000000000010000  
1000000000000000  
0010000000000000  
0100000000000000  
0000000100000000  
0000100000000000  
0000000000000001  
}



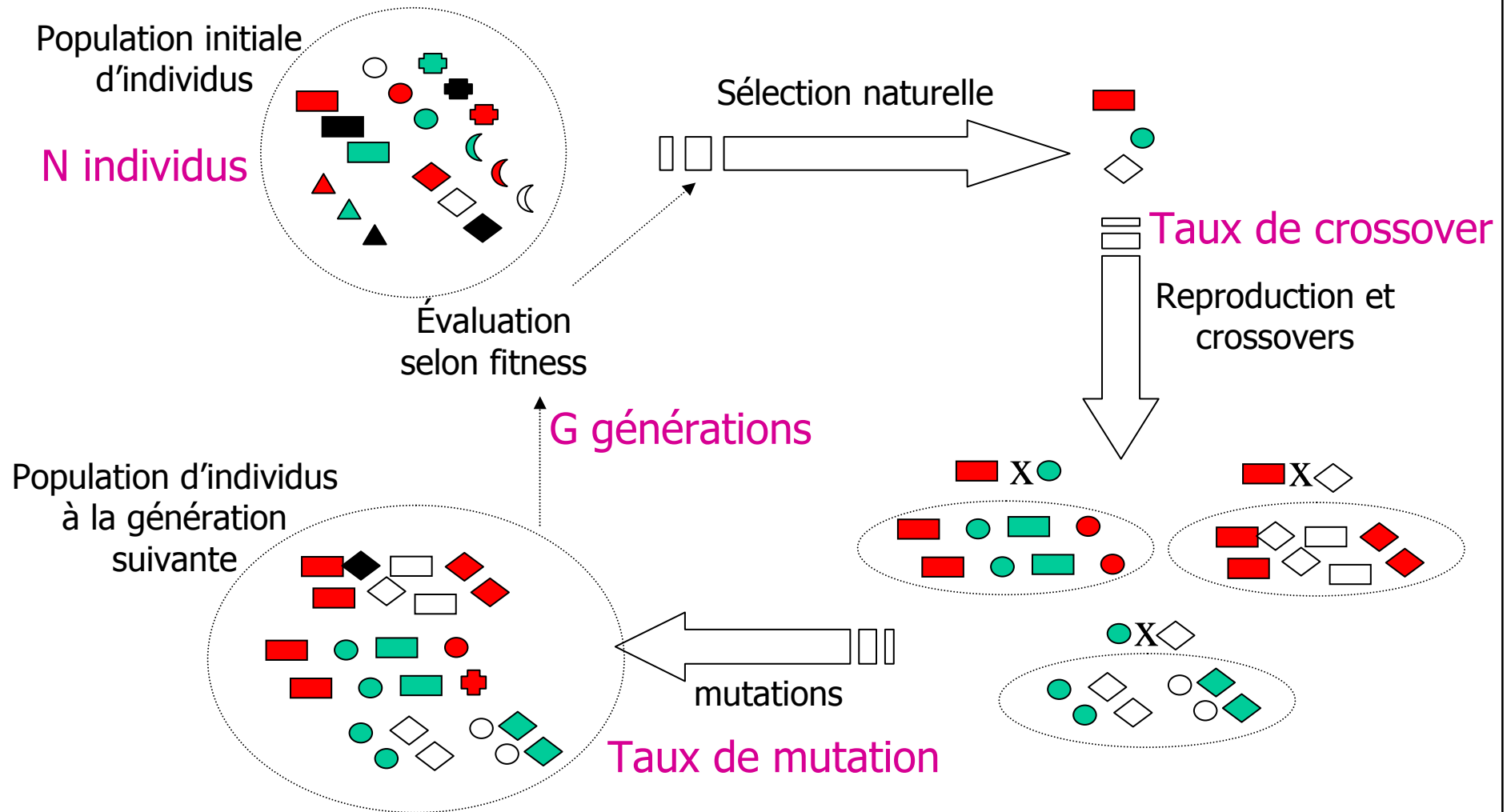
**Procédure d'algorithme évolutionnaire**

# Comment fonctionne un algorithme évolutionnaire ?(1)

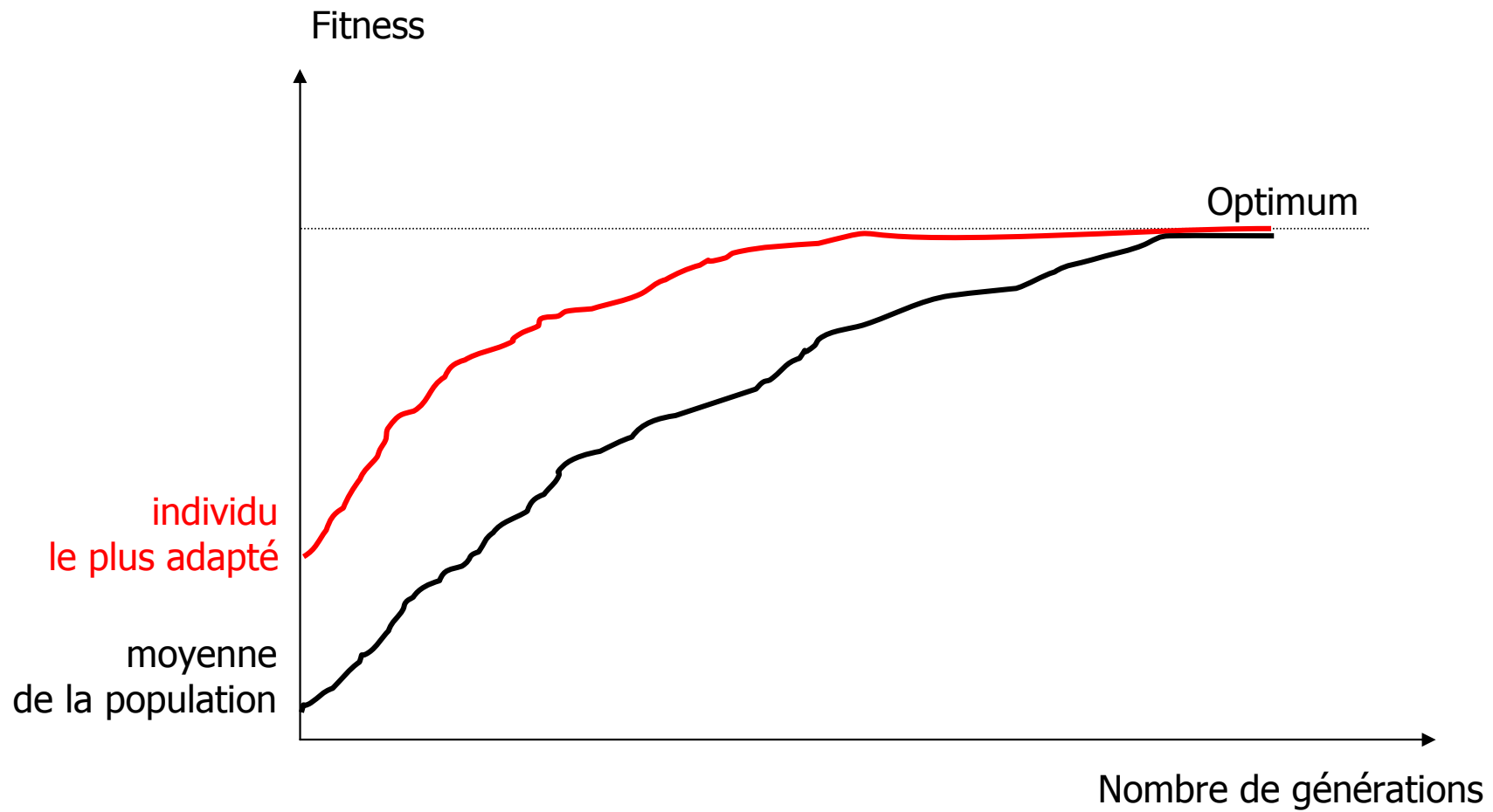


Utilisation d'un pool de solutions réparties sur la surface de réponse

## Comment fonctionne un algorithme évolutionnaire ?(2)

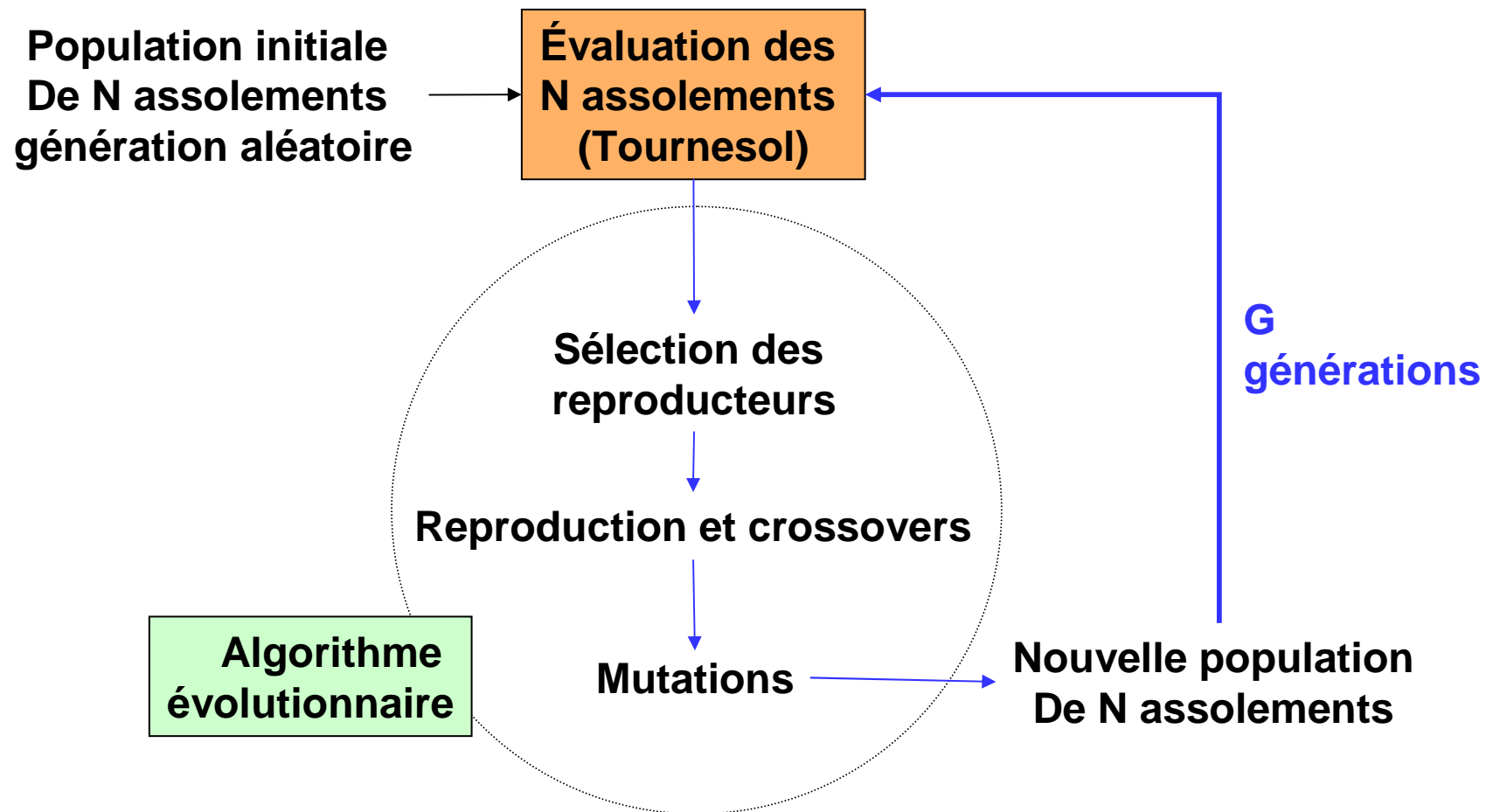


## Comment fonctionne un algorithme évolutionnaire ?(3)





# Couplage de Tournesol avec un algorithme évolutionnaire



# **Les entrées et les sorties du modèle Tournesol**

## **Entrées**

**Besoins annuels du troupeau  
(alimentation+litière)**

**Potentiels agronomiques moyens des  
cultures**

**Parcelles :**  
-potentiel exprimé pour  
chaque culture  
-état STH  
-Surface

## **Sorties**

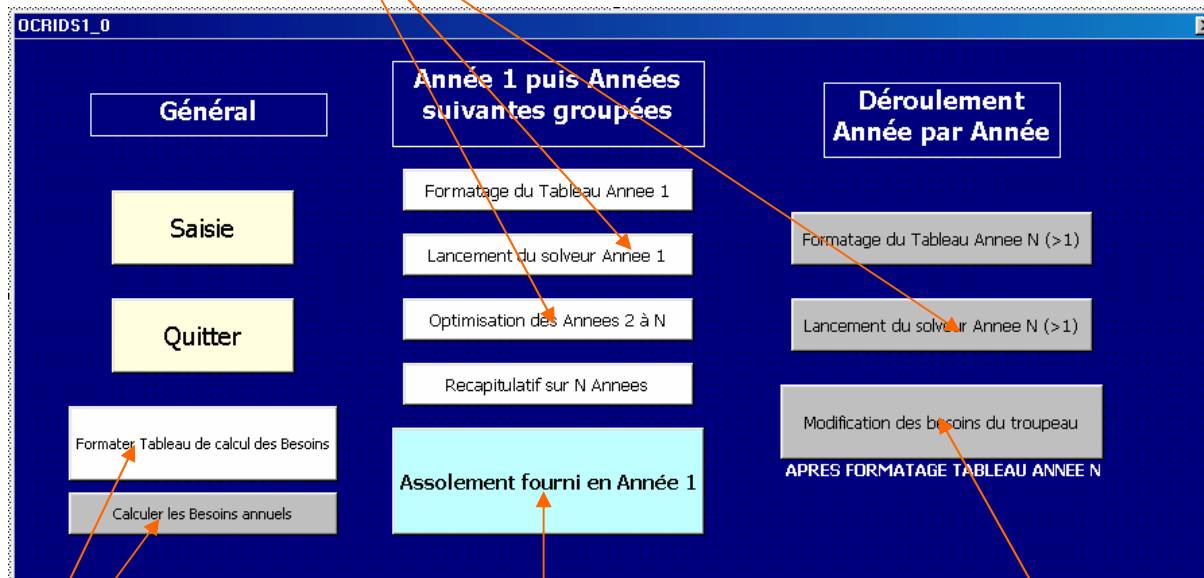
**Assolements pluriannuels**

**Surfaces par culture et par an**

**Production par matière première  
et par an**

# Implémentation du modèle en VBA pour Excel

Utilisation du solveur Excel – algorithme évolutionnaire  
Premium Solver for Education 5.0



Possibilité d'estimer les besoins annuels de matières premières

Possibilité de saisir un assolement de départ

Possibilité de modifier les besoins annuels en cours de simulation

## Comment Tournesol reproduit-il un assolement pluriannuel réel ? l'exploitation du Centre de Formation de Quintenic (22)



Le parcellaire :

- 70 hectares – 34 parcelles
- des parcelles STH autour du siège de l'exploitation
- un grand îlot dédié aux cultures SCOP
- deux parcelles essentiellement gérées en jachère entretenue

Atelier VL:

- environ 36 VL – 18 G0-1an et 18 G 1-2 ans
- quota = 240 000 l – PL moyenne = 7000kg/VL/an

Atelier taurillons :

- achat 54 veaux par an – abattus à 18 mois

Atelier porcs :

- alimentation non produite sur l'exploitation

# l'exploitation du Centre de Formation de Quintenic

## L'assolement observé

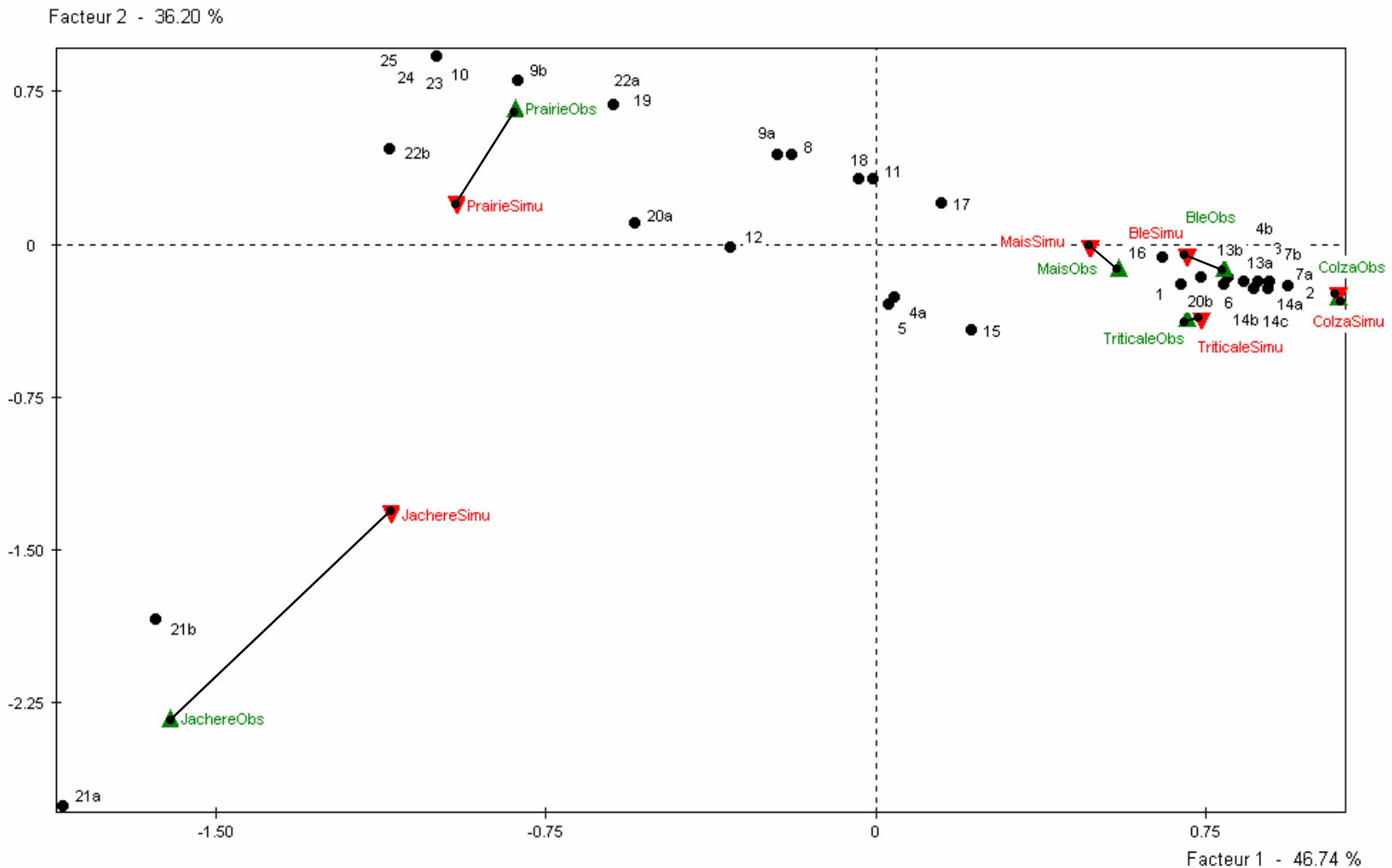
	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Parcelle n°1		colza	maïs	maïs	triticale		maïs	maïs	maïs	maïs	maïs	maïs	maïs
Parcelle n°2		blé	maïs	blé	maïs		blé	colza	maïs	blé	colza	maïs	blé
Parcelle n°3	maïs	blé	maïs	blé	maïs		colza	blé	maïs	blé	maïs	maïs	blé
Parcelle n°4a		maïs	maïs	maïs	blé		prairie	maïs	maïs	prairie	jachère	maïs	maïs
Parcelle n°4b		maïs	maïs	maïs	blé		blé	maïs	blé	maïs	blé	colza	maïs
Parcelle n°5	maïs	colza	triticale	maïs	triticale		maïs	maïs	jachère	prairie	prairie	maïs	maïs
Parcelle n°6		maïs	maïs	triticale	maïs		maïs	blé	maïs	blé	maïs	blé	maïs
Parcelle n°7a	maïs	blé	maïs	blé	maïs		pois	blé	maïs	blé	maïs	blé	colza
Parcelle n°7b	maïs	blé	maïs	blé	maïs		maïs	blé	maïs	blé	maïs	blé	colza
Parcelle n°8		colza	blé	maïs	blé		blé	maïs	prairie	prairie	prairie	prairie	prairie
Parcelle n°9a	blé	maïs	blé	maïs	prairie		prairie	prairie	prairie	prairie	maïs	blé	maïs
Parcelle n°9b	blé	maïs	blé	maïs	prairie		prairie	prairie	prairie	prairie	prairie	prairie	prairie
Parcelle n°10	prairie	prairie	prairie	prairie	prairie		prairie	prairie	prairie	prairie	prairie	prairie	prairie
Parcelle n°11	prairie	prairie	prairie	prairie	maïs		blé	maïs	blé	maïs	prairie	prairie	prairie
Parcelle n°12	prairie	blé	maïs	jachère	prairie		prairie	prairie	prairie	maïs	blé	maïs	maïs
Parcelle n°13a	maïs	pois	blé	maïs	blé		maïs	blé	colza	maïs	blé	maïs	blé
Parcelle n°13b	blé	maïs	blé	maïs	blé		maïs	blé	maïs	blé	maïs	maïs	blé
Parcelle n°14a	blé	maïs	maïs	blé	triticale		blé	maïs	maïs	blé	colza	blé	maïs
Parcelle n°14b	maïs			blé			maïs	maïs	blé	colza	maïs	blé	maïs
Parcelle n°14c	maïs	blé	colza	triticale	maïs		maïs	maïs	blé	maïs	blé	colza	blé
Parcelle n°15	blé	maïs	colza	triticale	maïs		maïs	maïs	blé	maïs	prairie	maïs	maïs
Parcelle n°16	prairie	prairie	prairie	prairie	maïs		blé	colza	maïs	blé	maïs	maïs	blé
Parcelle n°17	prairie	prairie	prairie	prairie	maïs		maïs	blé	maïs	maïs	maïs	prairie	prairie
Parcelle n°18	prairie	prairie	prairie	prairie	maïs		blé	prairie	maïs	maïs	maïs	prairie	prairie
Parcelle n°19	maïs	pois	triticale	maïs	blé		prairie	prairie	prairie	prairie	prairie	prairie	prairie
Parcelle n°20a	prairie	prairie	maïs	maïs	maïs		maïs	jachère	prairie	prairie	prairie	prairie	prairie
Parcelle n°20b	prairie	prairie	maïs	maïs	maïs		maïs	blé	maïs	maïs	maïs	maïs	blé
Parcelle n°21a	prairie	prairie	prairie	prairie	jachère		jachère	jachère	jachère	jachère	jachère	jachère	jachère
Parcelle n°21b	prairie	prairie	prairie	prairie	jachère		jachère	jachère	jachère	jachère	jachère	prairie	prairie
Parcelle n°22a	maïs	maïs	prairie	prairie	prairie		prairie	prairie	prairie	prairie	prairie	maïs	blé
Parcelle n°22b	maïs	maïs	prairie	prairie	prairie		prairie	prairie	prairie	prairie	prairie	jachère	prairie
Parcelle n°23	prairie	prairie	prairie	prairie	prairie		prairie	prairie	prairie	prairie	prairie	prairie	prairie
Parcelle n°24	prairie	prairie	prairie	prairie	prairie		prairie	prairie	prairie	prairie	prairie	prairie	prairie
Parcelle n°25	prairie	prairie	prairie	prairie	prairie		prairie	prairie	prairie	prairie	prairie	prairie	prairie
Production prairie	182.8	152.4	130.0	130.0	118.0		139.6	142.0	166.4	148.0	153.6	150.0	153.2
Production maïs	271.3	265.6	356.9	366.3	360.0		325.6	313.8	351.3	333.8	396.3	336.9	325.6
Production blé	122.4	118.4	129.2	135.2	115.2		157.2	160.4	113.2	161.2	96.4	152.0	157.2
Production pois	0.0	33.0	0.0	0.0	0.0		11.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Production triticale	0.0	0.0	19.6	25.2	51.8		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Production colza	0.0	18.4	9.1	0.0	0.0		13.0	13.1	14.0	12.3	18.2	14.9	15.8

# Assolement simulé à Quintenic avec Tournesol

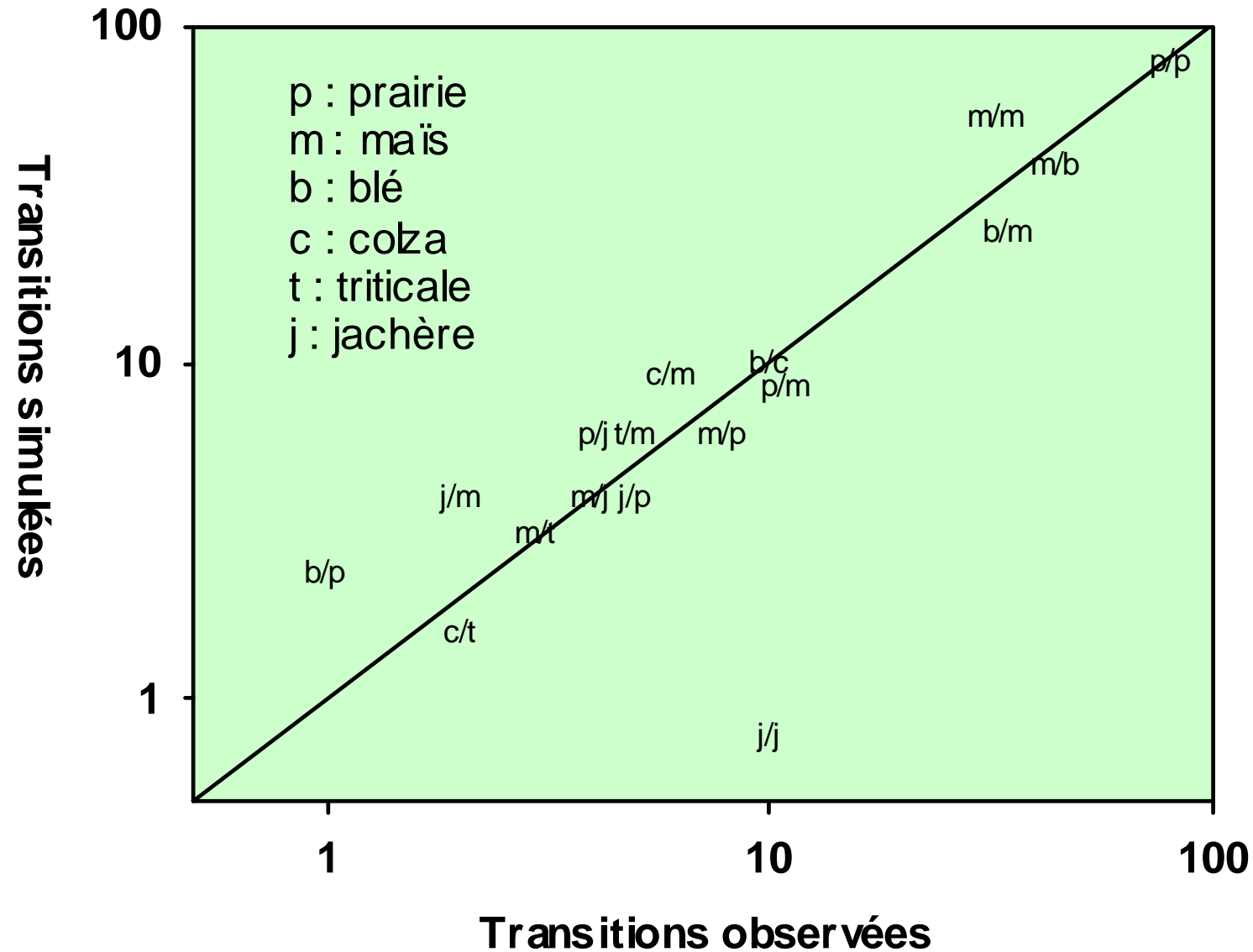
	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Parcelle n°1	maïs	maïs	triticale	maïs	maïs	maïs	maïs	maïs	maïs	maïs
Parcelle n°2	maïs	maïs	blé	colza	maïs	blé	maïs	blé	colza	maïs
Parcelle n°3	blé	colza	maïs	blé	colza	maïs	blé	maïs	blé	maïs
Parcelle n°4a	prairie	prairie	prairie	maïs	maïs	blé	maïs	blé	maïs	prairie
Parcelle n°4b	blé	colza	maïs	maïs	blé	maïs	maïs	blé	maïs	maïs
Parcelle n°5	maïs	maïs	triticale	maïs	maïs	maïs	prairie	prairie	prairie	maïs
Parcelle n°6	maïs	maïs	triticale	maïs	blé	maïs	blé	maïs	blé	maïs
Parcelle n°7a	blé	maïs	maïs	blé	colza	maïs	maïs	maïs	blé	maïs
Parcelle n°7b	blé	maïs	maïs	maïs	blé	colza	maïs	blé	colza	maïs
Parcelle n°8	maïs	maïs	blé	maïs	blé	maïs	maïs	blé	maïs	maïs
Parcelle n°9a	maïs	blé	maïs	blé	maïs	prairie	prairie	prairie	maïs	blé
Parcelle n°9b	maïs	maïs	maïs	prairie	prairie	prairie	prairie	maïs	prairie	prairie
Parcelle n°10	prairie	prairie	prairie	prairie	prairie	prairie	prairie	prairie	prairie	prairie
Parcelle n°11	prairie	prairie	prairie	prairie	prairie	maïs	blé	maïs	prairie	prairie
Parcelle n°12	prairie	prairie	prairie	prairie	maïs	prairie	prairie	prairie	maïs	jachère
Parcelle n°13a	maïs	blé	colza	maïs	maïs	blé	maïs	blé	colza	maïs
Parcelle n°13b	maïs	blé	maïs	blé	maïs	blé	maïs	blé	maïs	blé
Parcelle n°14a	triticale	maïs	triticale	maïs	blé	maïs	blé	colza	maïs	blé
Parcelle n°14b	blé	maïs	blé	colza	maïs	blé	colza	maïs	blé	colza
Parcelle n°14c	triticale	maïs	triticale	maïs	blé	colza	maïs	blé	maïs	blé
Parcelle n°15	triticale	maïs	triticale	maïs	maïs	maïs	maïs	jachère	maïs	maïs
Parcelle n°16	maïs	maïs	maïs	maïs	blé	colza	maïs	maïs	blé	maïs
Parcelle n°17	prairie	maïs	maïs	prairie	prairie	prairie	maïs	prairie	prairie	prairie
Parcelle n°18	prairie	maïs	blé	maïs	prairie	prairie	prairie	maïs	blé	maïs
Parcelle n°19	maïs	maïs	maïs	maïs	prairie	prairie	prairie	maïs	prairie	prairie
Parcelle n°20a	jachère	prairie	prairie	prairie	prairie	maïs	jachère	prairie	prairie	prairie
Parcelle n°20b	maïs	blé	maïs	blé	maïs	blé	maïs	maïs	blé	maïs
Parcelle n°21a	prairie	prairie	prairie	jachère	prairie	prairie	prairie	prairie	prairie	prairie
Parcelle n°21b	jachère	prairie	prairie	prairie	prairie	prairie	prairie	jachère	prairie	prairie
Parcelle n°22a	prairie	prairie	prairie	maïs	blé	maïs	blé	maïs	blé	maïs
Parcelle n°22b	prairie	prairie	prairie	prairie	prairie	prairie	prairie	prairie	prairie	prairie
Parcelle n°23	prairie	prairie	prairie	prairie	prairie	prairie	prairie	prairie	prairie	prairie
Parcelle n°24	prairie	prairie	prairie	prairie	prairie	prairie	prairie	prairie	prairie	prairie
Parcelle n°25	prairie	prairie	prairie	prairie	prairie	prairie	prairie	prairie	prairie	prairie
Fonction Objectif	40373.1096	38077.5065	40597	38048.7791	39824.1838	37810.166	35417.0232	37712.4992	41172.0992	33045.5215
Surface prairie	17.75	18	18	18.15	17.85	19.05	18.4	17.45	17.65	17.55
Surface maïs	28.5	30.15	29.35	29.45	29	29.4	29.5	29.25	27.4	30.25
Surface blé	14.35	15.4	7.55	17.1	17.35	14.8	16.3	17.7	17.15	14.8
Surface triticale	6.6	0	11	0	0	0	0	0	0	0
Surface colza	0	6.35	4	4.7	5.7	6.65	3.5	4	7.7	3.5
Surface jachère	2.7	0	0	0.5	0	0	2.2	1.5	0	3.8



# L'assolement simulé reproduit bien les utilisations des différentes parcelles



# L'assolement simulé reproduit bien les transitions de cultures réalisées à Quintenic



# **Simulation d'une exploitation laitière avec deux systèmes d'alimentation**

- Exploitation de 50 ha avec une SAU constituée de 20 parcelles dont 3 sont en prairies permanentes
- L'exploitation possède un quota de 344 000 L et un troupeau de 40 VL ainsi que de 40 génisses pour assurer le renouvellement (tx = 33%)
- Le système Maïs repose sur une utilisation du silo de maïs toute l'année pour sécuriser le système, en laissant les vaches pâturer au printemps
- Le système Maïs + pâturage essaye de valoriser au mieux l'herbe pâturée mais réalise l'alimentation hivernale avec l'ensilage de maïs

## Comparaison de 2 conduites alimentaires sur les besoins de fourrages produits en autonomie

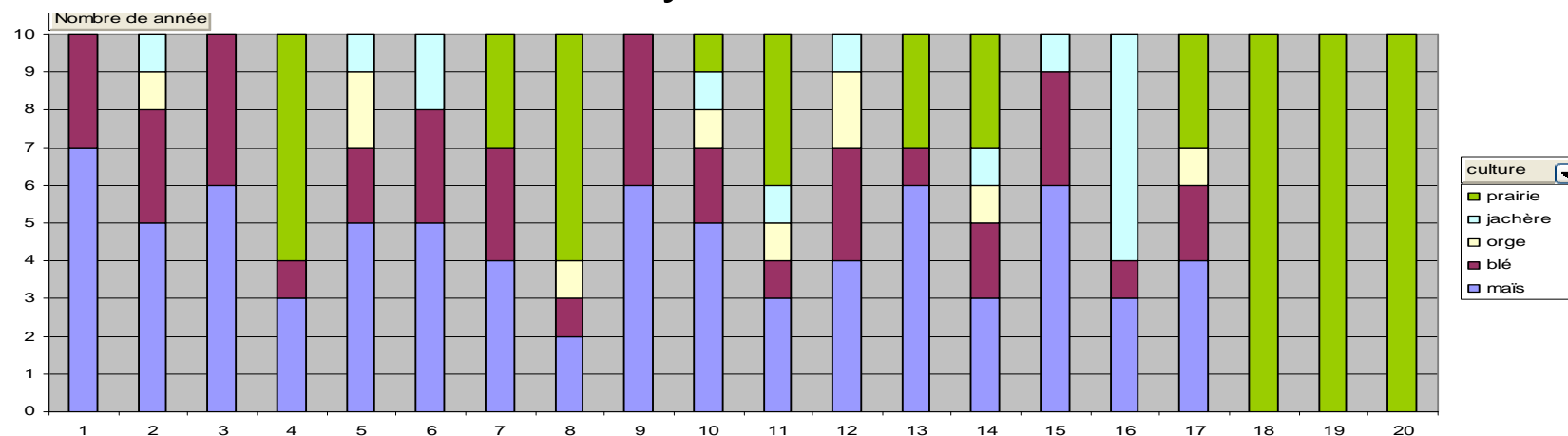
<u>Quantités (t)</u>	<u>Mais</u>	<u>Maïs + Pâturage</u>
Herbe Paturée VL	131	89
Herbe pâturée VL + Génisses	215	117
Herbe totale	215	117
Maïs	175	274
Paille	22	16

## Comparaison de 2 conduites alimentaires sur l'assolement

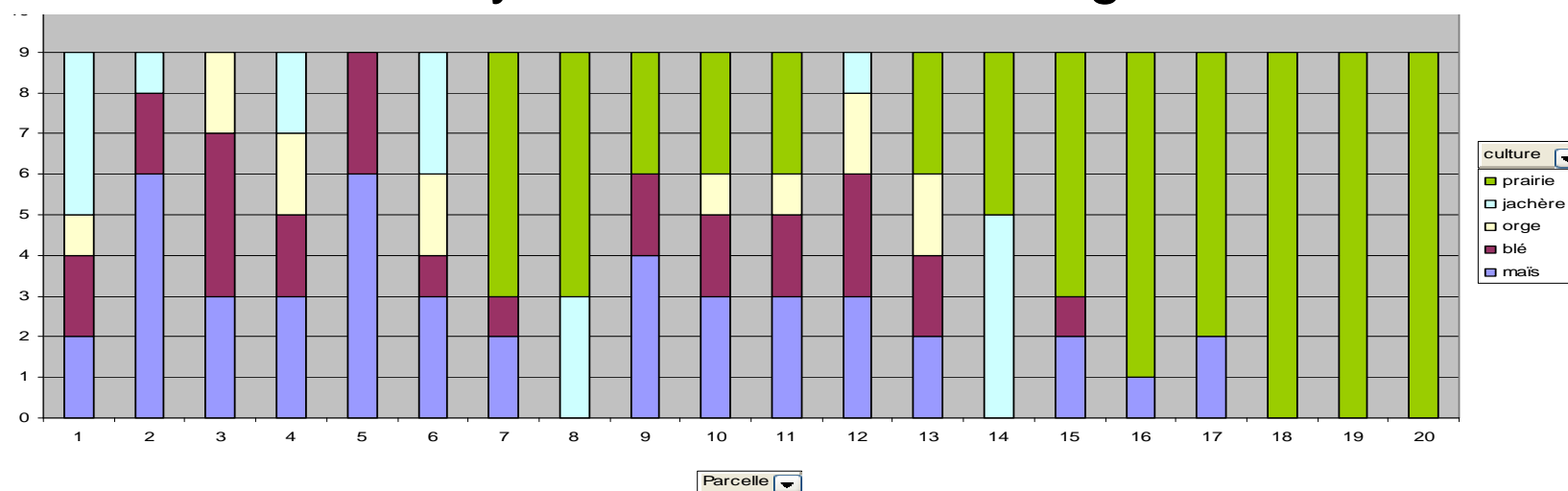
<u>Surface</u>	<u>Mais</u>	<u>Maïs + Pâturage</u>
Prairie	11.7	20.7
Maïs	21.7	13.8
Blé	10.9	8.5
Orge	2.1	3.2

# Comparaison de l'utilisation (10 ans) des parcelles pour les différentes cultures

## Système maïs

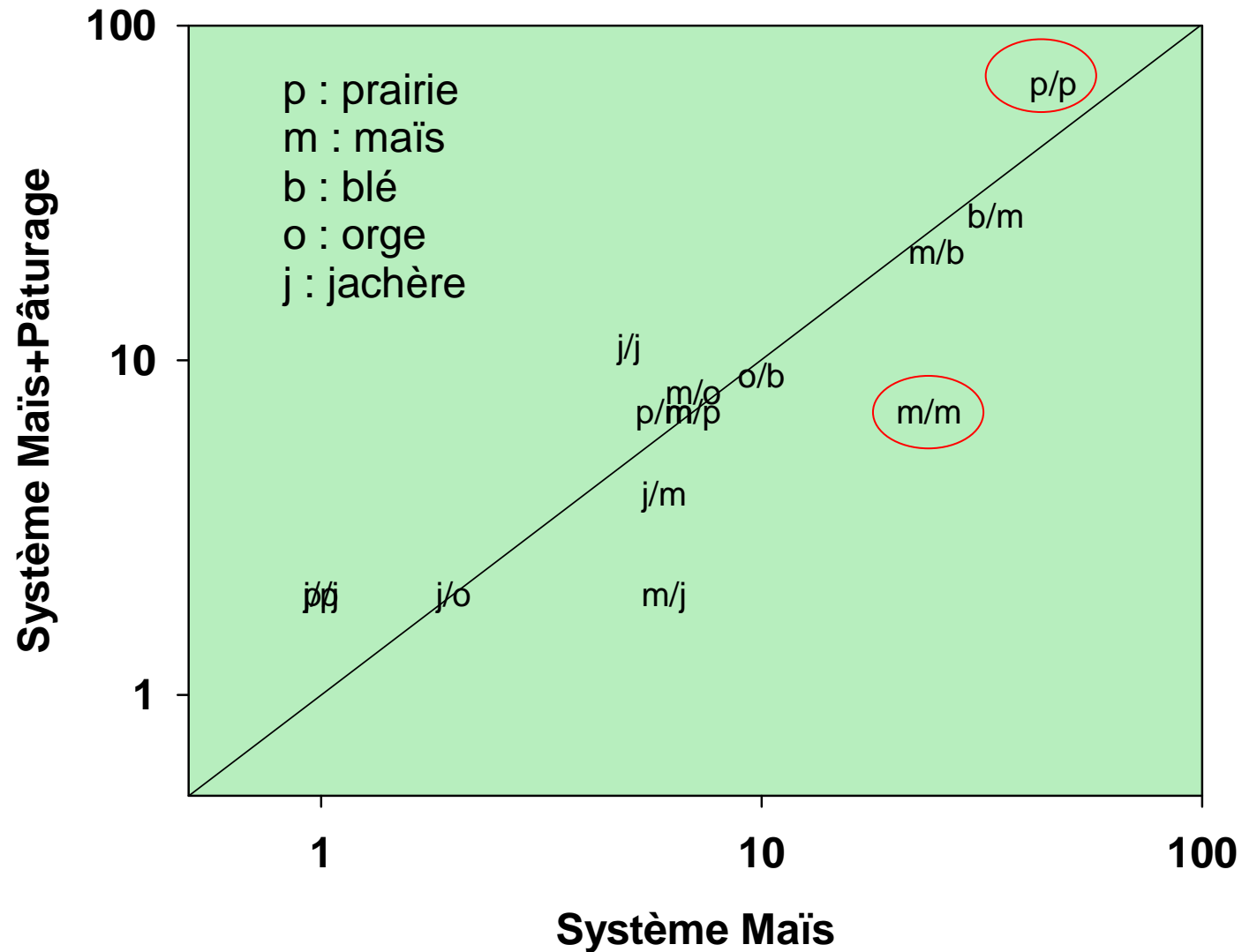


## Système maïs + Pâturage





# Comparaison des différentes successions culturales entre deux systèmes d'alimentation





## Atouts, Améliorations et limites

**Représentation stratégie de l'éleveur**

**Souplesse d'utilisation**

**Prise en compte :**

- des spécificités de chaque parcelle
- des besoins en élevage laitier
- assolements précédents

**Bonne représentation  
des utilisations des parcelles  
et des transitions de cultures réalisées**

**Meilleur ajustement des :**

- modifications de rendement liées aux enchaînements de culture
- Valeurs d'usage des différentes matières premières

**Prise en compte des rotations à l'année – pas de cultures dérochées**  
**Pas de prise en compte explicite des possibilités d'épandage**

# Utilisations futures de Tournesol

## Utilisation autonome :

- **Tester capacité de l'exploitation à autonomie fourragère, à supporter évolutions...**
- **Proposer assolements adaptés à un système de production**
- **Déterminer les impacts paysagers**

## Utilisation couplée :

- **Déterminer les capacités d'épandage annuelles et donc le devenir des effluents**

**Fournir les stocks d'aliments de l'exploitation**

## Remerciements

Intra UMR Production du Lait :

- Philippe FAVERDIN
- Luc DELABY
- Jean-Louis PEYRAUD
- Christine BARATTE

Intra INRA :

- Jean-Marie PAILLAT

Chambres d'Agriculture :

- Marie-Madeleine CABARET (CA22)
- Robert BLONDEL (CRAB)
- Daniel HAQUIN – Centre de Formation de Quintenic (CA22)

CETIOM :

- Raymond REAU (Thiverval Grignon)

Arvalis :

- Eric MASSON
- Philippe DU CHEYRON