

RAPPORT DE MISSION EN TUNISIE

Du 13 au 19 septembre 2003

LUCIEN SEGUY

Cirad-ca
Programme GEC

TABLE DES MATIERES

I. – OBJECTIFS DE LA MISSION	3
II. – BILAN RESUME DU PROJET APRES 4 ANS : POINTS FORTS ET FAIBLESSES	3
2.1. – RAPPEL	3
2.2. – BILAN RESUME DES POINTS FORTS	3
2.3. – BILAN RESUME DES POINTS FAIBLES	4
III. – PERSPECTIVES FUTURES ET PROPOSITIONS DE MISE EN ŒUVRE – QUELQUES REGLES GENERALES	5
3.1. – LE DISPOSITIF D'ENSEMBLE : UN DISPOSITIF EVOLUTIF ET MODULABLE (CF. FIG. 1).....	6
IV. – APPLIQUER CES PRINCIPES PROGRESSIVEMENT : COMMENT FAIRE EN 2003/2004	10
4.1. – LE DISPOSITIF 2003/2004 (RECHERCHE ET FERMES PILOTES)	11
V. – CONSTRUIRE LES SCV : LES VOIES DU FUTUR A PREPARER DEJA EN 2003/2004	17
VI. – MATERIEL D'EXPERIMENTATION TRES UTILE POUR PRATIQUER LES SCV AVEC RIGUEUR.....	21
VII. – QUELQUES RECOMMANDATIONS POUR LE SEMINAIRE DE JANVIER	21
VIII. – RELANCE DE LA CULTURE DE COLZA	22
IX. – REMERCIEMENTS	23

I. – OBJECTIFS DE LA MISSION

Ce sont essentiellement :

- bilan des acquis du projet après 4 ans : points forts et faiblesses ;
- perspectives futures et propositions de mise en œuvre ;
- recommandations pour le séminaire de janvier 2004.

II. – BILAN RESUME DU PROJET APRES 4 ANS : POINTS FORTS ET FAIBLESSES

2.1. – Rappel

Ce projet vise la mise au point de systèmes de culture durables, en semis direct ; l'objectif principal étant d'abord de stopper l'érosion¹ catastrophique du patrimoine sol.

Les techniques de semis direct couvrent aujourd'hui plus de 60 millions d'hectares dans le monde sous tous les climats et sont les seules qui permettent de pratiquer une agriculture durable, propre et plus performante avec moins d'intrants chimiques et qui préservent les capitaux sols et eaux dans toutes leurs potentialités.

Sur les 4 ans, 2 voies de travail complémentaires ont été entreprises :

- l'une, conduite par la recherche agronomique, qui a porté essentiellement sur l'évolution comparée² des performances agronomiques entre systèmes traditionnels avec travail du sol et les mêmes systèmes en « zéro travail » pratiqués sur résidus de récolte en quantité variable (après pâture de saison sèche par les ovins), dans diverses régions pédoclimatiques qui encadrent la variabilité du grenier de production céréalière tunisien (de Mateur au Nord-Est la région la plus arrosée à Tadjerouine la plus sèche au Sud-Ouest) ; un début de caractérisation du fonctionnement comparé de ces 2 grands types de systèmes, notamment pour ce qui concerne l'efficacité de l'eau, facteur de production majeur dans cette région semi-aride, a été initié.
- l'autre voie, sur les fermes pilotes (chez des agriculteurs compétents et très motivés) a permis d'évaluer les performances agronomiques et technico-économiques des systèmes de culture avec « zéro travail » en vraie grandeur et de les comparer à celles des mêmes systèmes avec travail du sol traditionnel ; plus récemment, l'impact de l'érosion sur la production et les sols a été abordé sur des toposéquences représentatives³ qui réunissent : zéro travail sans aménagement de surface, zéro travail avec aménagement anti-érosif, labour traditionnel dans le même aménagement.

2.2. – Bilan résumé des points forts

Globalement, sur les 4 ans, caractérisés par une très forte variabilité climatique interannuelle (sécheresse totale à pluviométrie excédentaire exceptionnelle), les systèmes de culture, pratiqués avec zéro travail, mettent en évidence :

¹ entreprise à grands frais (entre 150 et plus de 600 US \$/ha) par un système d'aménagement de l'espace cultivé, à partir de cordons anti-érosifs

² cf. rapports annuels

³ cf. dispositif expérimental en vraie grandeur chez Adnen en 2002/2003

- pour ce qui concerne l'érosion et les externalités, un contrôle très supérieur à tous les autres systèmes, sans aménagement de surface, donc sans perturbation des sols en place, souvent très peu épais, même sur pentes très fortes ;
- pour la production de matière sèche totale et de grains, une légère supériorité en moyenne (aussi bien pour les céréales que les légumineuses) sur les mêmes systèmes pratiqués avec travail du sol ;
- un accès permanent à la parcelle après 2 à 3 années successives de zéro travail qui permet d'optimiser les itinéraires techniques (semis, traitements herbicides et phytosanitaires).

Dans tous les cas, le zéro travail n'entraîne aucune prise de risques supplémentaires pour l'agriculteur par rapport au système conventionnel, dans son état de mise au point actuelle (pas de surcoût significatif avec des performances agronomiques et techniques plutôt supérieures).

(*) il est en effet important de rappeler⁴ que ces nouvelles techniques (du zéro travail au semis direct) qui constituent un changement radical de paradigme (donc rencontrent nécessairement des manifestations d'opposition et rejet) sont en cours de construction et ne sont de ce fait qu'à leur début de maîtrise, donc très largement perfectibles, ce qui renforce leur supériorité globale actuelle pour les objectifs fixés ; actuellement, environ 1 200 ha sont cultivés en zéro-travail ; il est intéressant de noter que chez les agriculteurs qui ont adopté le système et contribuent à son perfectionnement, les techniques traditionnelles ne trouvent plus leur place.

Ce projet a en outre, permis sur 4 ans, d'identifier et de réunir, à la fois dans la recherche et chez les agriculteurs des partenaires de plus en plus motivés et compétents qui sont maintenant mieux armés pour assurer le perfectionnement de ces techniques, en particulier :

- contribuer, ensemble, à la maîtrise et à la diffusion du zéro-travail ;
- poursuivre la mise au point des systèmes de culture durables, en particulier, construire le passage du zéro-travail au semis direct (SCV) :
 - . modélisation théorique et pratique des systèmes en SCV (différenciation agronomique et diversification),
 - . modélisation de leur fonctionnement agronomique, possibilités d'extrapolation, analyse des impacts (externalités, fertilité des sols, qualité biologique des produits, sols et eaux),
- formation de tous les acteurs du développement.

2.3. – Bilan résumé des points faibles

Ils sont inhérents à tout projet nouveau, surtout lorsqu'il repose sur un changement radical de paradigme ; parmi les plus importants, on peut citer :

a) Côté recherche

- une adhésion trop faible à ce projet ;
- des méthodes de recherche-action qui sont encore beaucoup trop éloignées de la recherche-action participative intervenant pour, avec et chez les agriculteurs ; ce fait

⁴ point essentiel qui doit faire partie du discours d'ouverture du séminaire de janvier 2004

est imputable surtout à un manque cruel d'agronomes généralistes (de synthèses) qui sont capables de bien maîtriser l'approche scientifique systémique en milieu contrôlé et réel.

(*) L'abordage trop thématique des problèmes qui se posent (abordage trop cloisonné entre diverses disciplines) peut ainsi conduire à des contradictions fréquentes qui restent sans explication pour l'action future :

- les paramètres et indicateurs agronomiques mesurés sont toujours nettement en faveur des systèmes avec zéro-travail (efficacité de l'eau, propriétés physiques, composantes du rendement, etc ...) mais ces avantages agronomiques ne se traduisent pas toujours par des gains espérés de production ; parmi les causes de ces contradictions, on peut relever :
 - . échantillonnage déficient sur la production de biomasse (nombre de répétitions, intervalles de confiance, ... en fonction des systèmes pratiqués),
 - . prise en compte insuffisante du facteur nuisibilité et compétition des adventices qui est essentiel à évaluer, maîtriser, dans ce changement radical de techniques.
- le niveau de maîtrise technique (pratique) soit l'optimisation des opérations de l'itinéraire technique est souvent déficient.

b) Côté développement

Le projet a été un succès indéniable en si peu de temps comme le prouvent les résultats obtenus à des niveaux d'échelle convaincants (1 200 ha actuellement en zéro travail, pratique exclusive chez les paysans convaincus, etc ...). Mais, le semis direct sur couverture végétale (SCV) en est encore à ses premiers pas et l'offre technologique actuelle reste très faible par rapport au potentiel possible des SCV, aussi bien au plan de la diversification des productions, que des possibilités d'amélioration de la fertilité des sols, que du contrôle des externalités, que de la quantité et de la qualité des productions.

III - PERSPECTIVES FUTURES ET PROPOSITIONS DE MISE EN ŒUVRE - QUELQUES REGLES GENERALES

Partant du constat résumé, exposé au chapitre II, il est maintenant possible et nécessaire, à partir des acquis actuels, de modifier et améliorer le projet en conséquence pour assurer son plein succès à court, moyen et long termes.

Pour ce faire, il doit s'organiser autour de la pluridisciplinarité effective de tous les acteurs du développement : agriculteurs, chercheurs, vulgarisateurs œuvrant ensemble sur un dispositif d'intervention véritablement pluridisciplinaire dans lequel chaque partenaire peut et doit exercer sa compétence pour le progrès de tous :

- aux agriculteurs et agronomes généralistes, spécialistes des systèmes de culture, la modélisation pratique et la maîtrise technique des systèmes ;
- aux chercheurs, la modélisation de leur fonctionnement comparé, la formation des divers acteurs avec l'appui des agronomes, l'analyse des impacts des systèmes sur l'environnement ;
- aux vulgarisateurs, la diffusion des systèmes, leur contribution à l'appropriation.

(*) Les justifications scientifiques et les règles de construction de cette démarche de recherche-action participative et pluridisciplinaire ainsi que le suivi-évaluation des systèmes de culture, sont rappelés en annexe.

3.1. – Le dispositif d'ensemble : un dispositif évolutif et modulable (cf. Fig. 1)

3.1.1. – Les lieux de l'action

Les matrices « systèmes de culture », vitrines de l'offre technologique (champ des possibles) doit couvrir la diversité pédoclimatique du grenier céréales ; pour ce faire, retenir les 2 situations extrêmes plus 1 ou 2 situations intermédiaires :

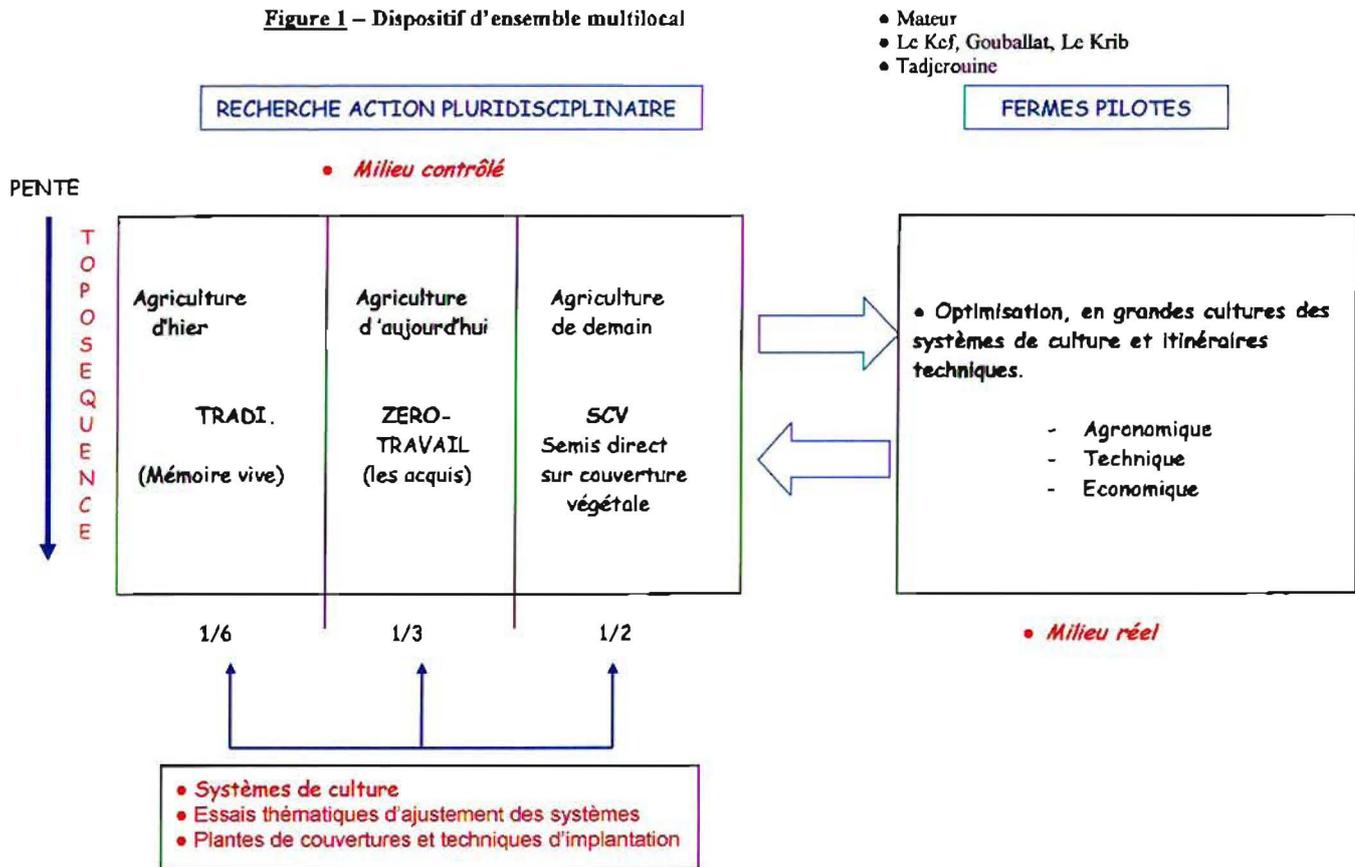
- site le plus arrosé (Mateur),
- site le moins arrosé (Tadjerouine),
- 1 ou 2 sites intermédiaires (interpolation des modes de fonctionnement des systèmes).

3.1.2. – Les composantes des matrices « systèmes de culture »

Ces dernières doivent réunir (cf. justifications en annexe) :

- l'agriculture d'hier : le ou les systèmes traditionnels les plus représentés dans chaque site,
- l'agriculture d'aujourd'hui : les mêmes systèmes mais avec zéro-travail,
- l'agriculture de demain : passage du zéro-travail aux SCV et diversification des systèmes.

Figure 1 – Dispositif d'ensemble multilocal



La matrice doit prendre en compte une toposéquence entière, à l'image de la structure foncière actuelle.

La part de surface imputée à chaque catégorie de systèmes (ordre d'idée) :

- d'hier : 1/6^{ème} → mémoire vive
 - d'aujourd'hui : 1/3
 - de demain : 1/2
- } → Objectifs prioritaires

Chaque parcelle élémentaire système doit être suffisante pour pouvoir conduire, si nécessaire, les essais thématiques spécifiques à la progression de chaque système (levée des contraintes hiérarchisées au cours du temps).

(*) La structure de la matrice est construite sur des multiples de la largeur du semoir et du pulvérisateur, les 2 outils essentiels du semis direct sur couverture végétale (SCV).

Les rotations de cultures :

Elles doivent être construites de manière à prendre en compte l'effet annuel climatique sur chaque culture de la rotation.

Exemple : Tadjerouine

Cultures proposées : orge (O), médic (M) et jachère (J) – JN : naturelle, JC : cultivée

Pente ↓

	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4
	O	M	O	M
Inverse R1	M	O	M	O
R2	JN	O	JN	O
Inverse R2	O	JN	O	JN
R3	JC	O	JC	O
Inverse R3	O	JC	O	JC

↑ ↑ ↑ ↑
Effet climatique annuel sur chaque culture

Pour être complet, le dispositif devrait inclure les monocultures relatives à chaque culture :

O	O	O	O
M	M	M	M
JN	JN	JN	JN
JC	JC	JC	JC

Mais ce sont toujours les pires systèmes et ils peuvent être écartés (excepté dans le cas d'études biologiques précises sur évolutions des maladies, parasitisme en général, adventices, faune et microflore du sol, ... où elles constituent les références négatives).

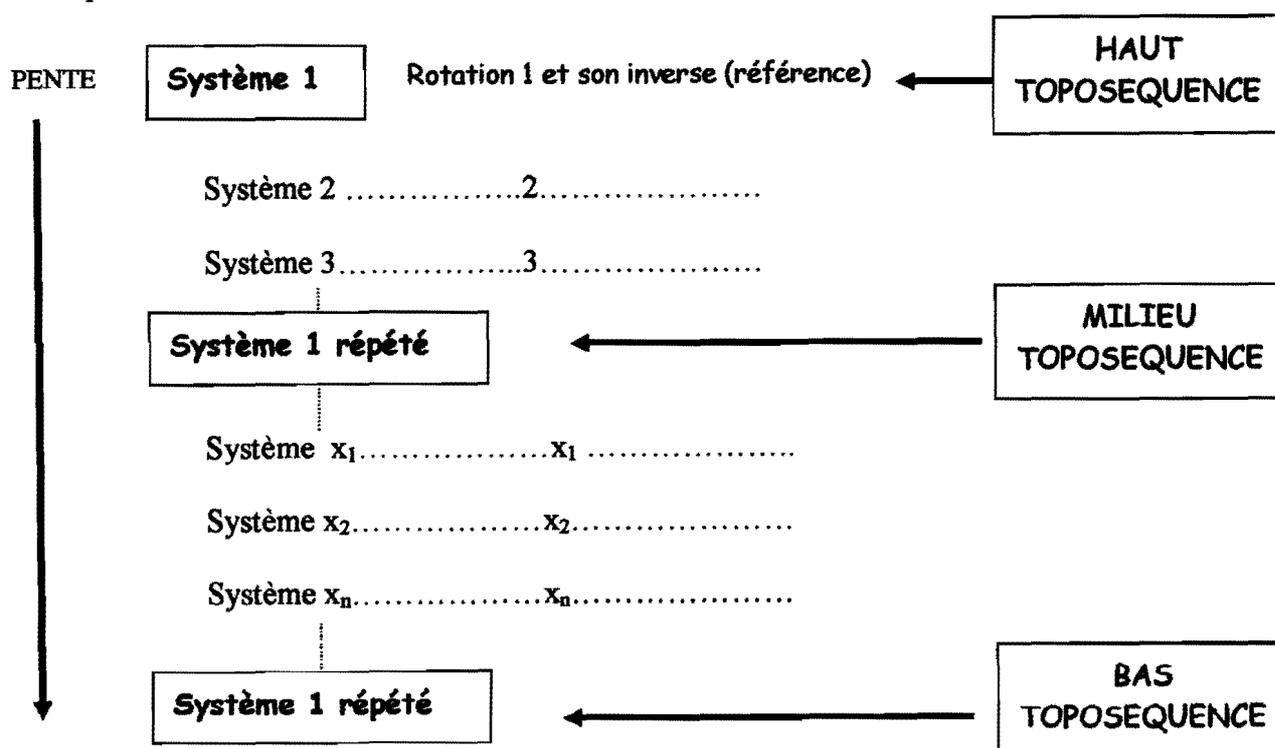
Prendre en compte la variabilité du facteur sol, des flux hydriques et de matière à l'échelle de la toposéquence.

Pour ce faire, il est nécessaire de répéter 1 ou 2 systèmes de référence, en haut, au milieu et en bas de la toposéquence.

Pour une même culture, on peut ainsi, pour évaluer les performances de production :

- tracer la ligne des témoins,
- mesurer le % des autres systèmes par rapport à cette ligne des témoins (référence de base 100).

Exemple :



Il est préférable de choisir un système en zéro-travail, bien maîtrisé, pour éviter les dommages collatéraux (érosion, ...).

3.1.3. – Suivi-évaluation des performances agronomiques comparées des systèmes de culture (fonctionnement comparé des systèmes, ses lois)

→ cf. annexe

Les paramètres suivants devraient être évalués sur chaque culture, dans chaque système :

- composantes du rendement⁵,
- production totale de matière sèche⁵ : parties aériennes grains + pailles ; poids racinaire (0,40 m x 0,40 m x 0,40 m) à la floraison,

⁵ nécessité absolue d'établir le nombre de répétitions nécessaires en fonction des systèmes (intervalles de confiance, CV %, ...)

- évolution du poids de biomasse aérienne⁵ du semis à la récolte (placettes de 1 m² x répétitions), tous les 30 jours,
- biomasse de résidus de récolte⁵ sur le sol à chaque semis (poids M.S.) et restitutions en nutriments (C, N, P, K, Ca, Mg),
- suivi de la flore adventice⁵ :
 - . identification, stade physiologique et quantité par m² au moment du désherbage,
 - . qualité du désherbage (adventices non contrôlées = Q/m² et identification),
 - . adventices qui se reproduisent après la récolte (alimentation du potentiel semencier, post-récolte).
- propriétés physiques, biologiques et chimiques des sols (transformation du sol sous l'effet des systèmes)
 - cf. annexe
- suivi hydrique x systèmes de culture : le facteur eau est capital dans le climat tunisien :
 - . au départ : caractériser la R.U. (pF_{.4,2} - pF_{.2,5}) ,
 - . dans chaque système :
 - + profil hydrique à tous les semis jusqu'à 1,50 m (voir eau profonde) à la récolte et aux moments physiologiques critiques (tallage, montaison, floraison)
- dynamique des bases, nitrates, xénobiotiques :
 - . batteries de capsules poreuses pour recueillir les eaux de percolation sur les systèmes les plus différenciés (labour, zéro travail, SCV) ; horizons 0-40, 40-80, 80-120 cm.

IV. – APPLIQUER CES PRINCIPES PROGRESSIVEMENT : COMMENT FAIRE EN 2003/2004

On ne peut pas raisonnablement passer en un clin d'œil de la situation actuelle à la démarche pluridisciplinaire proposée :

- il manque de compétences d'agronomes généralistes qui maîtrisent bien le semis direct et qui savent gérer la recherche systémique multi-acteurs,
- il faut chiffrer les coûts d'un tel dispositif, les moyens matériels et humains.

Dans un premier temps, l'année 2003/2004 étant considérée comme une année de transition, il conviendrait :

- de mettre déjà en formation un ou deux chercheurs tunisiens pour assurer cette fonction d'homme orchestre dans les années qui viennent (**Madagascar et Brésil sont les lieux de formation les plus recommandés**),
- de simplifier au maximum les dispositifs expérimentaux pluridisciplinaires et pluri-locaux, mais en leur donnant, dès le départ, une dimension suffisante pour pouvoir intégrer ensuite une différenciation plus poussée et plus rigoureuse qui doit servir en continu, à la fois :
 - . le développement,
 - . la production de connaissances scientifiques,
 - . la formation.

Cette année 2003/2004 de transition permettra en outre de bien choisir nos terrains et partenaires de travail, et de chiffrer avec précision les moyens nécessaires.

4.1. – Le dispositif 2003/2004 (recherche et fermes pilotes)

La campagne est déjà commencée, il est donc tard pour faire des aménagements importants aussi bien pour la recherche (sites) que sur les fermes pilotes.

4.1.1. – Les sites de la recherche

La structure de base des futures matrices systèmes (qui seront ensuite réaménagées) :

- un système traditionnel le plus représenté (rotation dominante + sens inverse),
- le même système mais en zéro-travail sur résidus,
- le même système en zéro-travail sur résidus qui incorpore déjà les acquis obtenus sur le semis direct, soit une sole de jachère cultivée qui permet de renforcer la production de biomasse au dessus et dans le profil cultural :
 - . avoine SD aux premières pluies, suivie en SD en mars-avril, de sorgho et mil.Cette sole sera subdivisée en deux :
 - ½ ensilage d'avoine + pâture mil, sorgho en saison sèche – dernière repousse aux premières pluies pour couverture SD,
 - ½ biomasse laissée sur place et protégée (pour vérifier les effets sur fertilité du sol et cultures suivantes).

Exemple de montage d'une unité de ce type : le cas de Tadjérouine

Cultures : orge (O), médic (M), jachère (J)

TADJEROUINE

	ANNEE 1		ANNEE 2		ANNEE 3		ANNEE 4		
1. ZERO TRAVAIL SYSTEME TEMOIN (T) répété (O/M ; M/O)	O		M		O		M		1 ha
	M		O		M		O		1 ha
2. LABOUR SYSTEME TRADI. (O/M ; M/O)	O		M		O		M		1 ha
	M		O		M		O		1 ha
1. ZERO TRAVAIL SYSTEME TEMOIN (T) répété (O/M ; M/O)	O		M		O		M		1 ha
	M		O		M		O		1 ha
4. ZERO TRAVAIL sur résidus (JN/O ; O/JN)	JN		O		JN		O		1 ha
	O		JN		O		JN		1 ha
5. ZERO TRAVAIL sur résidus (JC/O ; O/JC)	JC1	JC2	O		JC1	JC2			1 ha
	O		JC1	JC2	O		JC1	JC2	1 ha
6. ZERO TRAVAIL SYSTEME TEMOIN (T) répété (O/M ; M/O)	O		M		O		M		1 ha
	M		O		M		O		1 ha

JN : Jachère Naturelle

JC : Jachère Cultivée

+ JC₁ : Biomasse exportée (ensilage) + pâture été

+ JC₂ : Biomasse laissée sur place et protégée

O : Orge

M : Médic

Total : 12 hectares

Autre exemple : Matrice près du KEF

. Cultures : MEDIC (M), ORGE (O), TRITICALE (T), AVOINE (A)

	ANNEE 1	ANNEE 2	ANNEE 3	ANNEE 4	
1. ZERO TRAVAIL SYSTEME TEMOIN (T)	O	M	O	M	1 ha
	M	O	M	O	1 ha
2. SYSTEME TRADI. X LABOUR	O	M	O	M	1 ha
	M	O	M	O	1 ha
3. ZERO-TRAVAIL	T	M	T	M	1 ha
	M	T	M	T	1 ha
4. ZERO-TRAVAIL	A	M	A	M	1 ha
	M	A	M	A	1 ha
1. SYSTEME TEMOIN (T) ZERO TRAVAIL	O	M	O	M	1 ha
	M	O	M	O	1 ha
5. ZERO-TRAVAIL	O	T	A	O	1 ha
6. ZERO-TRAVAIL	T	A	O	T	1 ha
7. ZERO-TRAVAIL	A	O	T	A	1 ha
1. SYSTEME TEMOIN (T) ZERO TRAVAIL	O	M	O	M	1 ha
	M	O	M	O	1 ha

- . Chaque système : 1 rotation et son inverse,
- . Systèmes 1 à 4 : rotations et inverses « céréales – médic », alternées
- . Systèmes 5 à 7 : rotations céréalières sans médic
- . Le Système Zéro-Travail Témoin (T), (O, M), est répété 3 fois :
 - en haut
 - au milieu
 - en bas
- . 1 ha par sole, soit 2 ha par système . TOTAL = 15 hectares.

Ces exemples de montage peuvent être appliqués aux autres sites (régions).

4.1.2. – Les fermes pilotes

Ce dispositif est appuyé par J.C. Quillet et Stéphane Chouen qui dominent bien la maîtrise du semis direct ; cette technicité alliée à la motivation et au niveau déjà bon de maîtrise des agriculteurs permet de faire avancer le zéro travail et le semis direct à grands pas en leur donnant une dimension technico-économique et de reproductibilité des systèmes.

Le dispositif actuel doit être reconduit en 2003/2004 car c'est un outil incontournable de diffusion et de démonstration auprès de tous les acteurs du développement.

Il doit viser une maîtrise toujours meilleure des systèmes zéro travail et participer activement à la construction du semis direct sur couverture végétale (cf. chapitre V).

Pour ce faire, je propose :

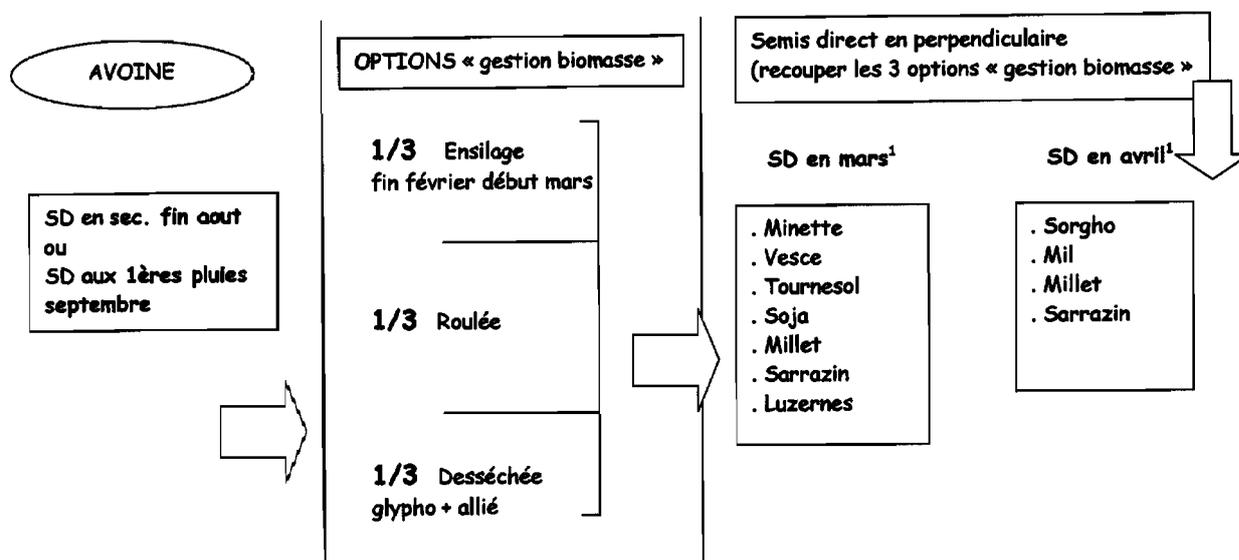
- 1) que soient ouvertes de petites parcelles (en haut, au milieu, en bas des toposéquences) de l'ordre de 200 m², dans les grandes parcelles de culture ; sur ces petites parcelles, on optimisera les opérations du calendrier cultural, après semis :
 - . désherbage parfait et à la bonne date,
 - . applications d'engrais minéral en couverture parfaite (date d'application et homogénéité d'application x doses).
- 2) il serait également opportun de doubler la densité du blé (repasser sur le semis) sur 3 bandes des grandes parcelles (au début du semis, à la moitié et à la fin) pour mettre en évidence clairement, et la date d'apport de N et son importance en fonction des conditions climatiques de l'année (détection de la meilleure date et importance des besoins en N).

(*) Le contrôle technique sur les petites parcelles d'optimisation de l'itinéraire technique se fera grâce à deux équipements peu onéreux :

- un pulvérisateur à pression entretenue (cf. multinationale – Monsanto, autres),
 - un semoir manuel d'épandage centrifuge type « Tornado » (épandage homogène d'engrais, herbicides et pesticides granulés, semences sous couvert).
- 3) poursuivre la mise au point des SCV en particulier :
 - la sole biomasse (chez Adnen, Abdelaziz (?), etc ... :
 - . avoine aux premières pluies (semis en sec de fin août),
 - . ensilage fin février-début mars ou biomasse laissée sur le sol et semis direct de diverses espèces qui prendront le relais de production de biomasse pour l'été (cf. Fig. 2 ci-après) ou de grains commercialisables ;
 - déterminer jusqu'à quelle date il est possible de semer le blé en semis direct sur biomasse d'avoine implantée aux premières pluies (fin août en sec, ou aux premières pluies début septembre) afin de connaître la capacité de semis en SD, sur biomasse d'entrée des pluies sans perdre de productivité significative (essai à reconduire sur 2-3 ans) (cf. Fig. 3).

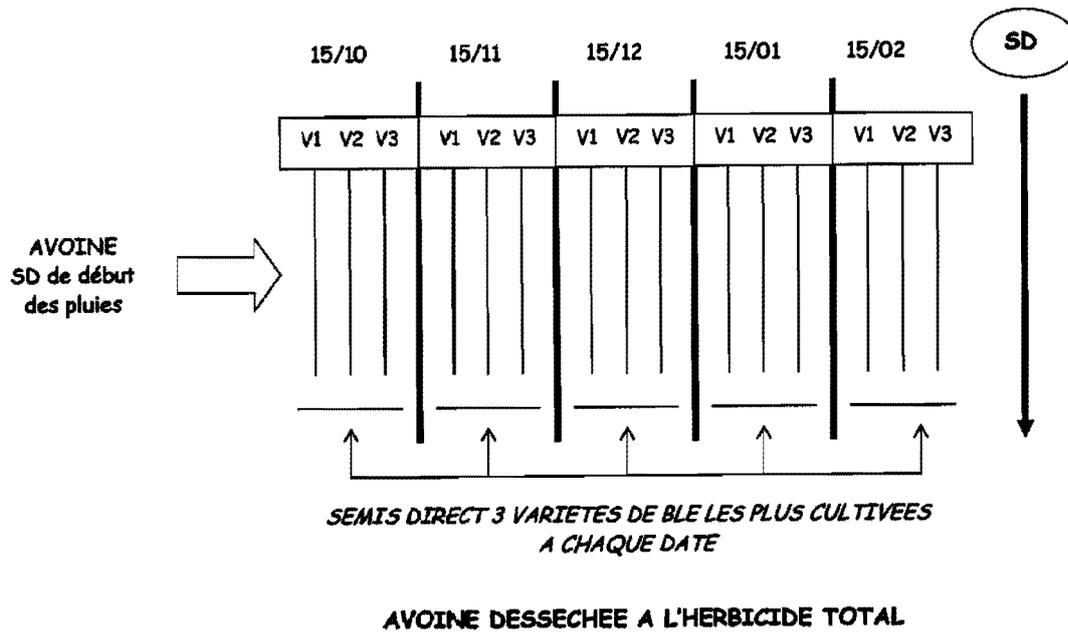
Ces deux points sont très importants à traiter en 2003/2004.

Figure 2 – Sole biomasse (ensilage + Pâturage, grains)



1. L'année suivante, des mélanges pourront être effectués, et de nouvelles espèces testées (serradelle, Lathyrus s.)
Expérimentation à conduire chez Adnen, Abdelaziz (?), Nasserline (?).

Figure 3 - SD Blé (dates de semis x variétés) sur biomasse de début des pluies



1. Chez Adnen, Abdelaziz (?), Nasseridine (?)

V. – CONSTRUIRE LES SCV : LES VOIES DU FUTUR A PREPARER DEJA EN 2003/2004

A partir des résultats acquis sur le comportement des plantes de couverture déjà testées et qui constituent les substituts biologiques des outils mécaniques (cf. annexe → multifonctionnalité des plantes de couverture), on peut et on doit déjà tracer les « grands chemins des SCV » en Tunisie.

Les figures 4, 5 et 6 réunissent les principaux éléments objectifs pour leur construction qui doit être entreprise dès maintenant.

Pour ce faire, il est nécessaire :

- de compléter la liste des plantes de couverture qui ont de fortes chances d'assurer les fonctions déterminantes pour la pérennisation du semis direct (à la lumière des résultats déjà obtenus),
- de conduire ces expérimentations sur les différents sites du dispositif multilocal, pour identifier et reproduire les espèces les mieux adaptées à chaque grande région pédoclimatique, et pour mettre au point leurs techniques d'implantation en SD (semis direct, semis sous couvert, etc ...),
- ces expérimentations, déjà débutées en 2002/2003, ne nécessitent pas dans un premier temps de dispositifs statistiques ; ce sont plutôt des dispositifs exploratoires qui permettent d'identifier les meilleures espèces et leurs techniques de semis les plus appropriées en fonction des systèmes SCV.

Figure 4 - Les systèmes SCV du futur à construire

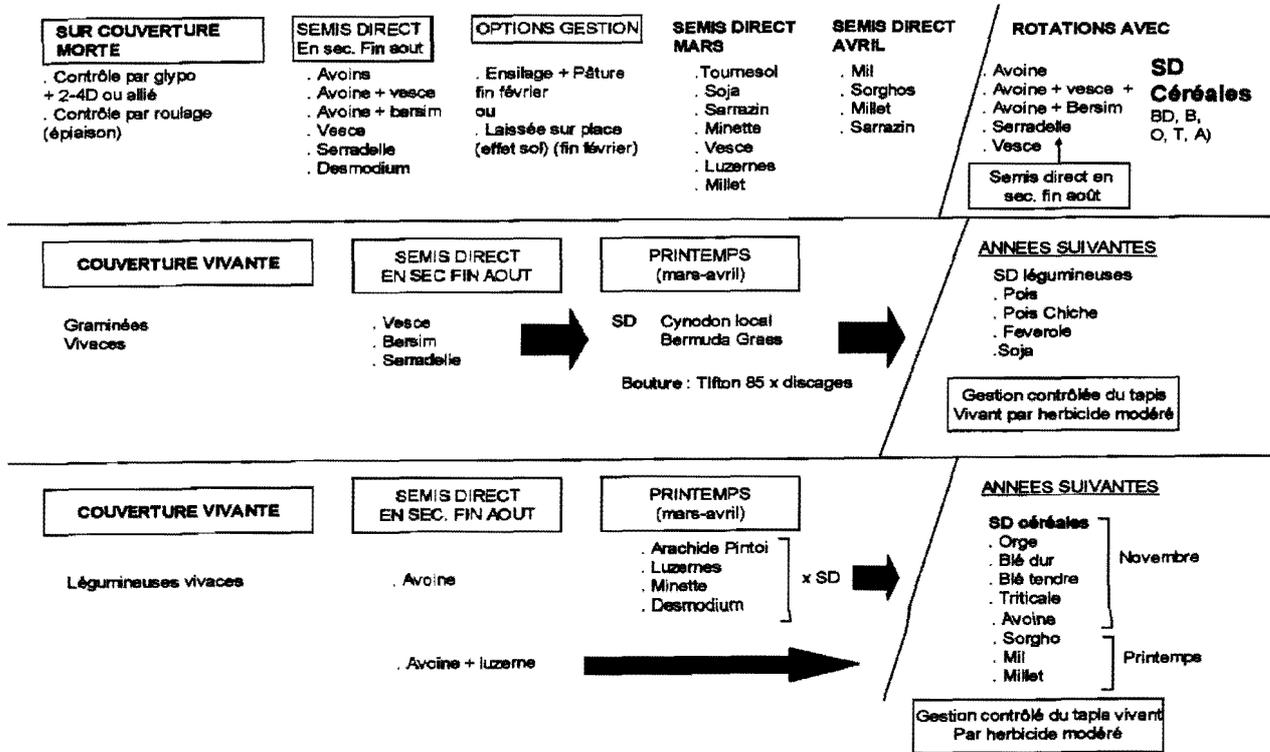


Figure 5 – La jachère dans les systèmes SCV

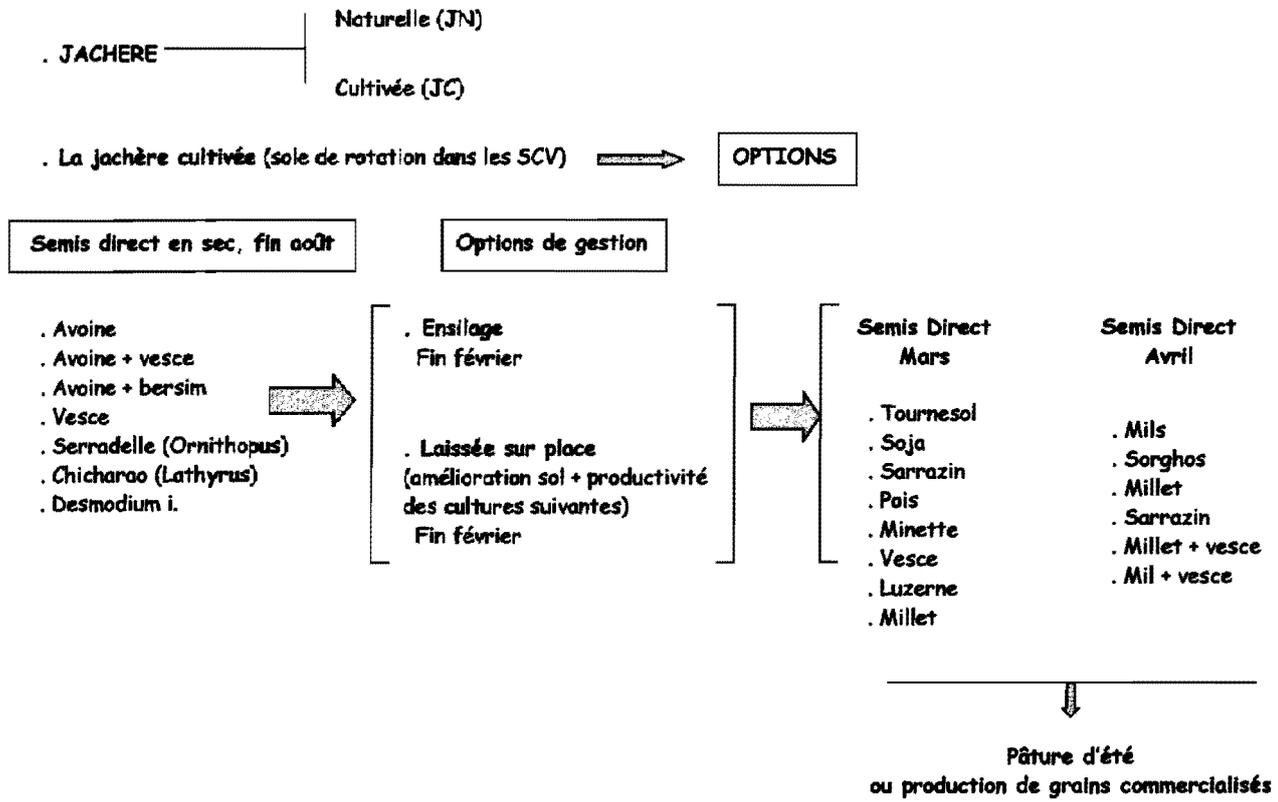
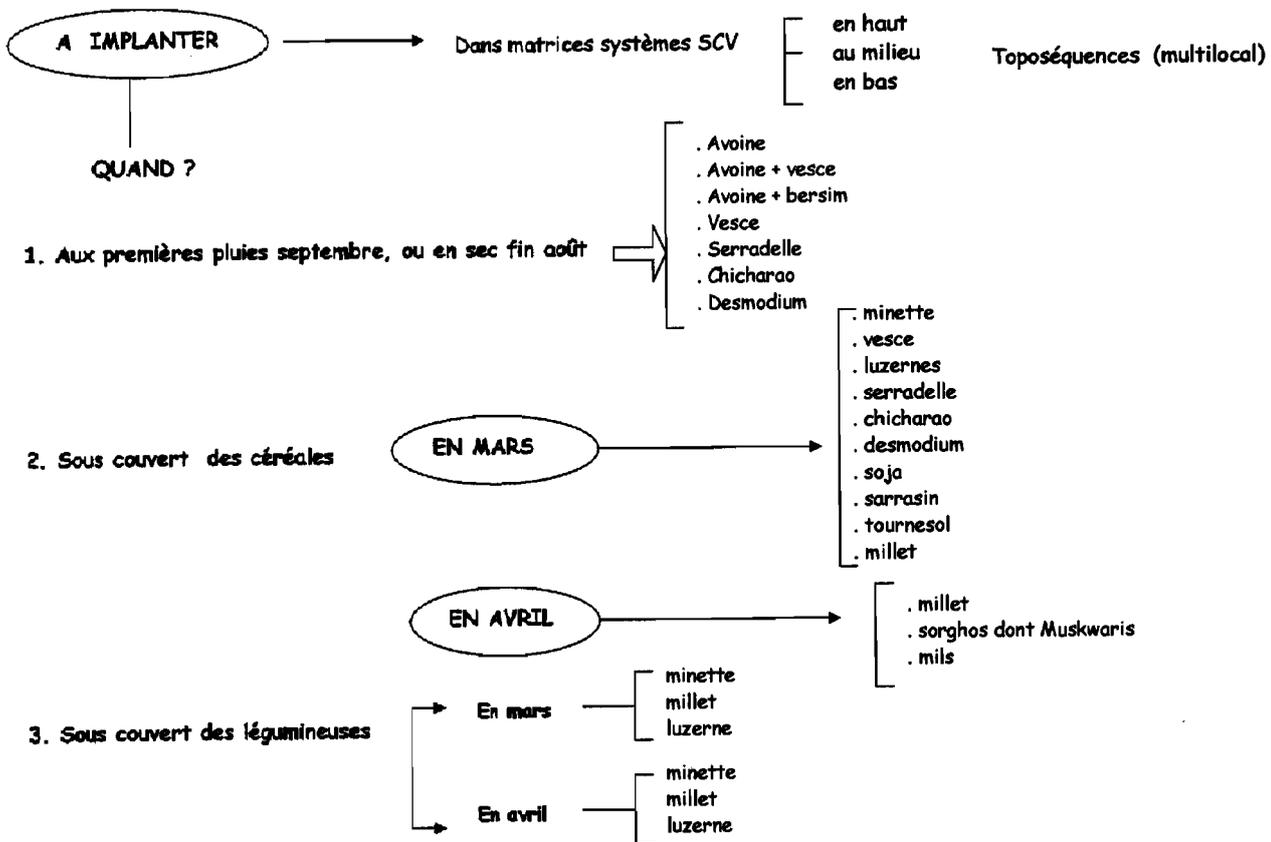


Figure 6 – Plantes de couverture multifonctionnelles
 A la lumière des résultats d'adaptabilité déjà obtenus.....



VI – MATERIEL D'EXPERIMENTATION TRES UTILE POUR PRATIQUER LES SCV AVEC RIGUEUR

Pour le semis de précision : semoir Semeanto tracté pour parcelles expérimentales (contrôle parfait de la population de plante).

Pour l'épandage d'engrais en couverture, semences sous couvert, pesticides granulés :

- les semoirs manuels centrifuges, modèle Tornado (coopératives agricoles).

(*) Ces outils sont faciles à transporter, donc facilitent les actions rapides, bien contrôlées, arguments décisifs dans un dispositif multilocal.

VII – QUELQUES RECOMMANDATIONS POUR LE SEMINAIRE DE JANVIER

... au risque d'enfoncer des portes ouvertes ! ...

- 1) Dès l'ouverture : il est fondamental de préciser, pour l'équipe tunisienne et française, que les résultats exposés vont porter sur l'évaluation comparée :
 - . de systèmes de culture traditionnels, donc déjà bien maîtrisés depuis de longues décades (plutôt figés, peu innovants, donc routiniers),
 - . de systèmes de culture en zéro travail (et non en semis direct : cf. définition SCV Lucien Séguy en annexe) sur les mêmes rotations qui sont en phase de construction, adaptation, mise au point, donc sujets à un niveau de maîtrise encore modeste, en tous cas, loin d'exprimer les potentialités du semis direct (SCV).
- 2) Les tableaux de résultats : pour ce qui concerne la production de biomasse, de grains, il est fondamental d'indiquer, en bas :
 - . la méthode de récolte (échantillonnage),
 - . les caractéristiques de distribution (écart type, CV %, intervalle de confiance ...) si disponible,
 - . le rapport = $\frac{x \text{ échantillons}}{\text{parcelle totale moisss. Batt}} \times 100$

Pour ce qui concerne les données économiques : il faut une cohérence.

Eliminer ou corriger (si c'est possible) les résultats erronés → cf. productivité orge de Tadjerouine 2003 dont la moitié est restée sur le champ en raison de récolte très tardive (août).

Toujours pour la cohérence :

- les paramètres et indicateurs de la production doivent être en accord avec les résultats, sinon on peut douter de l'échantillonnage « non représentatif » de facteurs contraignants non évalués (compétition adventices par exemple), etc ...

3) Ambition de ce projet

Au delà de l'implantation durable des techniques de semis direct, faire rentrer les agriculteurs (petit à petit) dans une logique « agriculture d'opportunités » en prise directe avec les événements climatiques, très réactive ; si le contrôle de l'érosion y gagnera, sans aucun doute, la production également et surtout sa stabilité (tirer tout le parti de l'efficience de l'eau, en particulier d'un stock bien supérieur gagné grâce à l'infiltration et au pompage en profondeur des SCV).

VIII – RELANCE DE LA CULTURE DE COLZA

La production tunisienne s'appuie essentiellement sur des céréales considérées comme assez stables au plan économique. Il faut être plus prudent, et l'histoire de l'aire de culture du soja est éloquent à cet égard : les brésiliens en moins de 15 ans ont fait remonter l'aire de cette culture (à l'origine subtropicale à tempérée) jusqu'à l'Equateur changeant totalement la « donne économique ». J'ai moi-même montré ces trois dernières années :

- que la culture cotonnière pouvait, avec succès, être pratiquée en Amazonie ; les rendements de 4 à 5 200 kg/ha sont actuellement les records du monde en culture pluviale ...,
- que le blé tendre et le blé dur pouvaient également être cultivés (en phase de mise au point) dans le sud du bassin amazonien, en pleine zone tropicale humide ...

Ces exemples, pour montrer que personne n'est vraiment à l'abri de ce type de changement radical dans les possibilités de production des cultures, qui changent bien sur les performances économiques.

Pour se prémunir contre ce genre d'aléas, il faut diversifier sa production ; et les SCV sont construits justement sur cette diversité.

Dans ce cadre, la culture de colza mérite d'être relancée, car :

- la nature (milieu cultivé) est riche en crucifères au printemps → bon indicateur d'adaptation (maintien des espèces),
- le colza est une plante économiquement très intéressante (huile « omega 3 » pour l'alimentation humaine + aliments du bétail) et qui permet aujourd'hui, grâce à sa panoplie d'herbicides, de se débarrasser très facilement des graminées vivaces très difficiles à contrôler maintenant dans les céréales (brome, ray-grass, phalaris) ; ces herbicides n'existaient pas au lancement du 1^{er} plan-colza en Tunisie.

Il conviendrait déjà, en 2003, de tester diverses variétés dont les « canolas » canadiens et australiens qui devraient rapidement trouver une place d'élection dans les systèmes de semis direct diversifiés ; le colza est une culture très facile à pratiquer en semis direct.

IX. – REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier très chaleureusement les organisateurs de cette mission : l'AFD, le CTC, l'école du Kef, l'INRAT qui ont permis d'atteindre les objectifs fixés dans un climat très amical.

ANNEXE

Extraits du CD „dossier du semis direct sous couverture – systèmes de culture et dynamique de la matière organique“ L. Séguy, S. Bouzinac, A.C. Maronezzi

Voir et consulter partie 2 « Stratégie et méthodes de la recherche – action, concepts novateurs de gestion durable de la ressource sol. Suivi-évaluation et analyses d'impacts »

2.4 LA MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE-ACTION

- ◆ L'essentiel du travail de Recherche-Action consiste, en partant de diverses situations pédoclimatiques et socio-économiques régionales (*diagnostic initial, typologie des exploitations qui conduisent à l'analyse des contraintes majeures pour la fixation d'agricultures durables*), à adapter, construire, pour et avec les agriculteurs, dans leurs milieux, des systèmes de culture durables bâtis sur des techniques de Semis direct facilement appropriables par les agriculteurs (Fig. 2). Ces systèmes doivent d'abord améliorer, restaurer puis maintenir la capacité de production du sol à long terme avec l'utilisation d'un minimum d'intrants, voire sans intrants, dans un environnement totalement protégé (*échelles des unités de paysage, des terroirs, des bassins versants*).

(*) *Ce dernier objectif ne peut être atteint qu'en augmentant la teneur en matière organique des sols (Matière organique efficace), que seules, les techniques de semis direct permettent d'obtenir⁽⁹⁾, en l'absence de tout apport exogène de matière organique (fumier, compost) ou de présence de prairies naturelles et de jachères de longue durée.*

- ◆ La démarche de Recherche-Action comporte 3 étapes étroitement imbriquées⁽¹⁰⁾ (Fig. 1) :

- Un diagnostic initial (*situation de départ*), puis permanent (*analyse des impacts des innovations sur le milieu*),
- La création de systèmes de culture plus performants avec les agriculteurs, en partant des systèmes traditionnels (*vitrines de l'offre technologique = critères simultanément agronomiques, techniques, socio-économiques*),
- La contribution à l'appropriation des systèmes de culture choisis par les agriculteurs (*diffusion à l'échelle de Fazendas de référence et des terroirs avec appui à l'organisation des agriculteurs = filières commerciales, crédits, intrants, transformation des produits, gestion du foncier, création d'associations de producteurs en semis direct, etc...*),
- Et la formation continue de tous les acteurs du développement (*agriculteurs, vulgarisateurs, agronomes, chercheurs*).

◆ Les échelles d'intervention de la Recherche-Action

- D'abord 2 échelles complémentaires pour construire, dès le départ, les conditions de reproductibilité régionale des résultats appropriables par les agriculteurs (Fig. 3 et 4) :
 - + Les systèmes de culture, au niveau de la parcelle cultivée,
 - + Les toposéquences ou transects des unités de paysage représentatives, encadrant la variabilité du facteur état de fertilité du sol, dans lesquelles sont inclus les systèmes de culture traditionnels (*référence*) et les nouveaux systèmes (*novateurs*) en semis direct, plus performants. Ce niveau d'échelle d'intervention constitue la "vraie grandeur" opérationnelle, qui permet de prendre en compte

⁽⁹⁾ cf. Travaux Semis Direct Brésil (L. Séguy, S. Bouzinac, 1996-2000; Revue Plantio Direto n° 59).

⁽¹⁰⁾ cf. L. Seguy, 1994; L. Séguy, 1996; L. Seguy, 1999.

- les flux et transferts de matières qui conditionnent le potentiel de production des unités de paysage (*flux hydriques, transports solides et en solution, gradients de fertilité, histoires parcellaires, etc....*).
- On déduit de cette première étape de construction des systèmes de culture à l'échelle des toposéquences représentatives, avec les producteurs, tous les éléments nécessaires à la fixation de scénarios d'agriculture durable au niveau de fazendas de référence et des terroirs. Ce niveau d'échelle d'application aux fazendas de référence et terroirs permet d'éprouver l'offre technologique (*systèmes de culture diversifiés en semis direct*), en prenant en compte les contraintes socio-économiques des sociétés rurales et de contribuer à la diffusion en intervenant alors, si nécessaire, sur l'organisation des agriculteurs (*filières commerciales, crédit, intrants, gestion du foncier, création d'associations de producteurs en semis direct*),
 - Cette dynamique de création-diffusion et formation permet, grâce à ces différents niveaux d'échelle :
 - + l'apprentissage de la maîtrise technique des systèmes par les agriculteurs et l'incorporation de la praticabilité dans les innovations,
 - + de faciliter la diffusion spontanée des systèmes en semis direct,
 - + d'amplifier la diffusion et de contribuer efficacement à l'appropriation des systèmes par les producteurs en révélant des agriculteurs créateurs de l'innovation, charismatiques et souvent leaders influents, qui jouent le rôle de consultant-adaptateur des technologies au sein des communautés villageoises et réalimentent efficacement l'appareil de recherche (*feed-back*).

2.4.1 LA CREATION DE L'OFFRE TECHNOLOGIQUE "SYSTEMES DE CULTURE" AVEC LES AGRICULTEURS

- Les systèmes de culture (traditionnels + novateurs) sont organisés en "matrices des systèmes", sur toposéquences représentatives. Partant des systèmes traditionnels, les nouveaux systèmes sont élaborés par l'incorporation progressive, systématique et contrôlée de facteurs de production plus performants (*modes de gestion des sols et des cultures, produits thématiques tels que variétés, niveaux de fumure, etc. ...*), [Cf. Séguy L., 1994, 1996].
 - La construction de la matrice systèmes de culture obéit à des règles précises (Séguy L. , 1994 ; Séguy L. et al., 1996) qui permettent l'interprétation des effets directs et cumulés des composantes des systèmes au cours du temps aussi bien sur leurs performances que sur leurs impacts sur la fertilité des sols, la biologie des adventices, etc... (Cf. Fig. 5, 6 et 7).
- ◆ **LA MATRICE "SYSTEMES DE CULTURE", qui est pérennisée (pour au minimum 4 ou 5 ans), constituée à la fois =**
- **Un lieu d'action, de création de l'innovation et de formation des acteurs, dans lequel le montage matriciel des systèmes permet d'évaluer leurs performances comparées agronomiques, techniques dans les mêmes conditions de sol et climat, et de les classer au cours du temps (réponses de leur stabilité ou fluctuations par rapport aux risques**

climatique et économique), d'extraire des lois de fonctionnement des systèmes (*conditions de reproductibilité → modélisation*) ;

- **Un laboratoire de veille, précieux pour les scientifiques**, en permettant d'évaluer, de manière anticipée par rapport à l'adoption des systèmes, leurs impacts sur l'environnement (*érosion, qualité biologique des sols⁽¹¹⁾, externalités, xénobiotiques*). C'est donc un lieu privilégié pour mettre en regard = performances de production des systèmes, modes de fonctionnement et impacts environnementaux, dans une démarche préventive qui offre des solutions réelles aux agriculteurs et décideurs pour concilier les exigences de la société civile (*impacts environnementaux*) et les objectifs des agriculteurs (*Productivités des systèmes, du travail, des marges, etc. ...*).
 - **Le maintien de la mémoire vive** = les systèmes traditionnels et leurs évolutions y sont maintenus pour mesurer les progrès accomplis (*performances agronomiques et technico-économiques, impacts sur l'environnement*) au cours du temps. De même, les systèmes les plus destructifs de la ressource sol doivent être représentés tout au long de l'étude ; ils sont les témoins vivants de ce qu'il ne faut pas faire, et indispensables à la formation (*chronoséquences d'évolution des systèmes contrôlés*).
 - **Un vivier de systèmes de culture qui réunit l'agriculture d'hier (avec travail du sol), l'agriculture d'aujourd'hui (les cultures des agriculteurs conduites en système de Semis Direct) et l'agriculture de demain (systèmes en Semis Direct construits sur une plus grande diversité de cultures, sur l'intégration de l'agriculture, de l'élevage et de l'arbre dans l'espace cultivé).**
- ◆ Tous les systèmes de culture sont conduits avec 3 niveaux de fumure :
- La fumure traditionnelle ou recommandée par la recherche, les organismes de développement, celle qui est utilisée par la majorité des agriculteurs de la région
 - Un niveau de fumure faible, qui correspond, en gros, seulement aux exportations par grains des cultures,
 - Une fumure non limitante (*expression du potentiel agronomique dans l'offre pédoclimatique locale*).
- ◆ Ces 3 niveaux de fumure combinés aux modes différenciés de gestion des sols et des cultures doivent permettre de mettre en évidence⁽¹²⁾ au cours du temps :
- L'importance des possibilités de restauration de la fertilité au sens large **par la voie organo-biologique** (*Vitesse de restauration, importance → productivité de matière sèche totale en fonction des niveaux de fumure minérale, expression du potentiel de production du sol au cours du temps*) et la preuve de la fermeture du système "sol-cultures"⁽¹²⁾ sans pertes de nutriments, grâce aux systèmes de culture en Semis Direct conduits avec la fumure faible qui couvre seulement les exportations par grains.
 - L'importance capitale et prépondérante de la gestion prioritaire des propriétés physiques et agro-biologiques (*étroitement liées*) dans l'expression des performances agronomiques des systèmes de culture au cours du temps, par rapport à celle des propriétés chimiques, dans les

⁽¹¹⁾ cf. concepts de R. Chaussod (afes, vol. 3 - n° 4, 1996).

⁽¹²⁾ Concepts L. Ségué, S. Bouzinac 1990/2000.

sols tropicaux (ferrallitiques et ferrugineux dominants, plus ou moins dégradés).

(*) En résumé : la gestion agrobiologique des sols (Semis Direct) constitue la seule voie actuelle⁽¹³⁾ qui peut conduire à des rendements élevés et stables avec un minimum de fumure minérale, ce qui relativise beaucoup l'importance, souvent prioritaire et exclusive, donnée à l'heure actuelle aux engrais minéraux dans le processus de fixation d'agricultures durables (Importance négative de la géochimie de l'Aluminium surestimée, utilisation non nécessaire d'amendements, etc. ...).

2.4.2 LA VALIDATION DES SYSTEMES DE CULTURE choisis par les agriculteurs (*unités de recherche ouvertes en permanence aux acteurs*), au niveau de la région se fait dans des "fazendas de référence" représentatives (*milieu physique x milieu socio-économique*) et sur des terroirs, qui sont pilotés par des agriculteurs leaders, charismatiques ; ces derniers, si nécessaire, ajustent encore, affinent les systèmes par rapport à leurs objectifs et surtout amplifient la diffusion régionale (*agriculteurs consultants*). C'est à ce niveau des fazendas de référence et des terroirs que sont recueillies les performances des systèmes novateurs en milieu réel par rapport aux systèmes en vigueur (*critères agronomiques, techniques, économiques*) et que peuvent être aussi évalués les impacts sur l'environnement (*sols, externalités, etc. ...*), sur la mentalité des acteurs, ainsi que les possibilités d'évolution de l'économie régionale. Des banques de données de références sont ainsi établies dans chaque région.

2.4.3 LA FORMATION des divers acteurs du développement s'effectue tout au long du processus de création-diffusion en milieu contrôlé et milieu réel.

- ◆ L'ensemble du dispositif de Recherche-Action sert de support à la formation de jeunes agronomes des pays tropicaux, des chercheurs, des vulgarisateurs et des producteurs.
- ◆ LES MÉDIAS sont constamment sollicités (*journaux spécialisés, presse et TV locales*) pour aider à diffuser l'innovation.
- ◆ Toutes les activités de Recherche-Action du CIRAD en partenariat avec les pays du Sud constituent un véritable réseau d'adaptation et de validation des techniques de gestion conservatoire de la ressource sol (*Semis Direct sur couverture végétale*) dans le monde rural tropical et subtropical ; la démarche générale d'adaptation-validation repose surtout sur l'exploitation des lois de fonctionnement des systèmes de large applicabilité (*Travailler plutôt sur les points communs entre les divers écosystèmes et agrosystèmes que sur leurs différences*).

⁽¹³⁾ Résultats L. Séguy, S. Bouzinac 1990/2000; R. Michellon, A. Chabanne 1990/98; H. Charpentier, 1999 ; Documents internes CIRAD-CA 34398 Montpellier Cedex 5 France.

3.5 TROIS GRANDS TYPES DE SYSTÈMES DE CULTURE EN SEMIS DIRECT SUR COUVERTURE PERMANENTE ONT ÉTÉ CONSTRUITS À L'IMAGE DU FONCTIONNEMENT DE L'ÉCOSYSTÈME FORESTIER

- Ceux sur couvertures mortes,
- Ceux sur couvertures vivantes,
- Ceux sur couvertures à vocation mixte.

Dans les systèmes avec couverture morte permanente, la couverture du sol est assurée, en plus des résidus de récolte des cultures commerciales, par une culture de biomasse végétale (*espèce à vocation de production de grains*), extrêmement puissante, qui est implantée avant ou après la culture commerciale, en conditions climatiques généralement marginales (Cf. Fig. 8). Cette forte biomasse est desséchée aux herbicides totaux immédiatement avant le semis direct de la culture commerciale qui s'effectue dans la couverture grâce à des semoirs spécialement conçus à cet effet.

Dans les systèmes avec couverture vivante permanente, cette dernière est toujours une espèce fourragère, pérenne grâce à ses organes de multiplication végétative (stolons, rhizomes) ; la culture commerciale est implantée sur la couverture dont on a seulement desséché la partie aérienne (*en préservant totalement les organes de reproduction végétative par des herbicides appropriés, peu coûteux et peu polluants*). La couverture est maintenue à l'état de vie ralentie, non compétitive pour la culture commerciale (à l'aide d'herbicides sélectifs utilisés à très faible dose), jusqu'à ce que la culture commerciale, gérée à cet effet, assure un ombrage total au-dessous d'elle. Dès que la culture commerciale mûrit, elle laisse pénétrer la lumière, et la couverture vivante recouvre rapidement le sol à nouveau et peut être pâturée par les animaux après la récolte (*successions annuelles : production de grains + production de lait ou viande ; voir Fig. 9*)

Les systèmes mixtes sont intermédiaires entre les deux modèles précédents et sont bâtis sur des successions annuelles qui comprennent : 1 culture commerciale + 1 culture biomasse pour production de grains, associée à une culture fourragère. On récolte donc 2 cultures successives pendant la saison des pluies, suivies pendant la saison sèche d'une production de viande ou lait, qui est assurée par la culture fourragère (Cf. Fig.10).

(*) Ce sont les longueurs de la saison des pluies et l'importance de la pluviométrie qui déterminent les possibilités d'application de l'un ou l'autre des systèmes de culture précédents en Semis Direct sur couverture permanente des sols.

Les figures 11 à 17 montrent quelques exemples de montage de systèmes en Semis Direct préservateurs de l'environnement en fonction des écologies, créés par l'équipe SCV du CIRAD CA (Séguy L., Bouznac S., Michellon R., Charpentier H., Julien P., Chabanne A., Husson O., Rollin D.)

IV SUIVI EVALUATION ET ANALYSES D'IMPACTS

4.1. SUIVI - ÉVALUATION⁽²⁹⁾

Il est d'abord conditionné par l'importance des moyens financiers et humains mis à la disposition des projets de Recherche - Développement. Le dossier 1, en annexe, donne un exemple de suivi-évaluation de systèmes de culture en ZTH (les systèmes de culture constituant notre objet central d'adaptation et d'étude).

En fonction des échelles d'interventions =

- + **Echelle de la parcelle** (systèmes de culture en milieux contrôlé et réel). Performances comparées = agronomiques, techniques et économiques des systèmes de culture → Evaluation annuelle et interannuelle (classification au cours du temps → cf. Dossier 1 en annexe).

(*) En cas de moyens limités (financiers, personnel qualifié), les évaluations minimums incontournables portent sur :

- Production de biomasse (grains, paille), de viande, C/N des biomasses au dessèchement immédiatement avant semis direct des cultures et à la récolte des cultures et teneurs en nutriments de la M.S. ;
- Dynamique d'avancée du front racinaire et poids de racines dans l'horizon 0-40 cm (à la floraison des cultures et au dessèchement des biomasses) ; analyse C/N et teneurs en nutriments de la M.S. racinaire ;
- Parasitisme sol, culture ;
- Evolution flore adventice ;
- Calendrier et temps de travaux,
- Coûts de production, marges et valorisation de la journée de travail.

Le recueil de ces données minimums permet, dans tous les cas :

- de classer les systèmes de culture à partir de leurs performances inter-annuelles, aux plans agronomique, technique et économique ;
- de comparer et comprendre leurs principaux modes de fonctionnement agronomique au cours du temps (Relations Sol-Cultures) et de les classer face aux risques climatiques majeurs ;
- d'identifier les systèmes les plus stables et de moindre risque du point de vue de la gestion économique face aux variabilités climatique et économique.

- + **Echelle de la toposéquence** (Transect d'une unité de paysage)
 - Dynamique de l'érosion et du ruissellement (qualitatif = photos),
 - Evaluation des externalités = charge solide, teneurs en nitrates, bases, P, molécules xénobiotiques, recueillies dans la partie aval des toposéquences.

(*) Les systèmes traditionnels peuvent occuper par exemple un transect complet, comparé à un transect adjacent conduit en semis direct ; les eaux de ruissellement peuvent être collectées dans une tranchée dans la partie basse de chaque toposéquence.

⁽²⁹⁾ Un diagnostic initial, un état des lieux, caractérisant les conditions agronomiques, techniques et socio-économiques de l'agriculture régionale est un préalable incontournable à l'amélioration des systèmes de culture et de production.

- + **Echelle des terroirs (milieu réel)**
 - Performances comparées des systèmes de culture et de production sur **simultanément** = critères agronomiques, techniques et économiques.
 - Diffusion spontanée des systèmes de culture en Semis Direct
 - Identification des agriculteurs leaders (*futurs consultants*).
 - Modification des systèmes de culture et de production, de l'occupation de l'espace ; place de l'arbre dans l'espace cultivé, de la jachère.

- + **Echelle régionale**
 - Création de références agronomiques et technico-économiques régionales (*banque de données*) sur les systèmes de culture en Semis Direct sur couverture végétale.
 - Modélisation du fonctionnement comparé des systèmes de culture (*lois de fonctionnement des agrosystèmes extrapolables pour d'autres écologies*).

4.2. ANALYSES D'IMPACTS

+ SUR LE SOL

Analyses de routine : Propriétés chimiques dont pH, S, CEC, P total et échangeable (*Résine*), oligo-éléments ; **Propriétés physiques** = M.O., N organique, propriétés hydrodynamiques = eau utilisable, sa vitesse d'infiltration sous cultures, la typologie des agrégats et de l'espace poral ; la caractérisation et suivi permanent du profil cultural et en particulier de la dynamique de colonisation racinaire (*vitesse, caractéristiques d'exploration du profil*).

Analyses plus fines, nécessaires pour quantifier la dynamique du carbone et des ions : la dynamique des nitrates, de Ca et K (*Type de fonctionnement du système "Sol-cultures" : ouvert ou fermé [concept L. Séguy, 1996]*) . **Les Propriétés biologiques** = caractérisation de la faune (*macro et méso*), biomasse microbienne, biomasse microbienne/C, C et N organique, dynamique du C⁽³¹⁾ (C¹³/C¹²), méthode du fractionnement granulométrique des matières organiques⁽³²⁾, indice d'activité biologique globale⁽³³⁾

+ SUR LES EXTERNALITÉS

À l'échelle de toposéquences représentatives ou portions de bassins versants =

- Entretien des infrastructures = routes, pistes, aménagements hydrauliques (*opérations, coûts*) ;
- Rivières, puits, nappes phréatiques = pollution au sens large.

+ SUR LA MENTALITÉ DES AGRICULTEURS

- Relations avec l'environnement (*culture de l'arbre, embocagement, respect de la faune*).
- Prise en compte de la qualité de la production.
- Organisation de la profession agricole (*clubs et associations de semis direct*).
- Nature de leurs décisions, vision de leur avenir.

⁽³¹⁾ CERRI C. et al. (1985).

⁽³²⁾ FELLER C., 1995.

⁽³³⁾ BOURGUIGNON C. - 1995/2000 communications personnelles.

+ SUR L'ÉCONOMIE RÉGIONALE

- Filières commerciales, marchés, transformation de la production
- Circuits d'approvisionnements en facteurs de production, en crédits.
- Place de l'agriculture dans l'économie régionale.

4.3. TRAVAILLER À LA RECHERCHE D'INDICATEURS SIMPLES, FIABLES, À LA PORTÉE DES DIVERS ACTEURS, EN MILIEU RÉEL.

+ COMME OUTILS DE DIAGNOSTIC AU DÉPART

La flore adventice recèle de nombreux indicateurs précieux et simples de la fertilité, faciles à repérer ; la liste est trop longue pour en faire l'inventaire ici ; l'analyse agronomique comparée des systèmes de culture permet de les repérer, de même que les états très différenciés de fertilité existante dans les systèmes traditionnels et le milieu physique en général.

+ COMME OUTILS DE DIAGNOSTIC PERMANENT ET D'ÉVALUATION

- La flore adventice (*espèces indicatrices de diverses propriétés du sol*).
- La faune du sol (*macrofaune comme vers de terre, bousier etc...*)
→ *indicateurs de fertilité, de l'état de pollution du sol*.
- L'évolution de la production de biomasse sèche végétale =
 - + Au-dessus du sol → Partie aérienne + grains ;
 - + Au-dessous du sol → Vitesse de colonisation du front racinaire et biomasse des racines dans l'horizon 0-40 cm (*limite inférieure de l'action des outils*).

() Le profil cultural, comme méthode globale de synthèse pour l'appréciation de la fertilité au sens large, reste un outil indispensable et extrêmement précieux pour tous les acteurs. La méthode a été très utilement complétée et améliorée par C. Bourguignon, notamment sur l'évaluation in situ de l'activité biologique. Le réseau tropical SCV piloté par le CIRAD sur tous les continents doit devenir un support d'identification et de mise au point d'indicateurs simples et efficaces.*

FIG. 1 RECHERCHE-ACTION, POUR AVEC ET CHEZ LES AGRICULTEURS

SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA -GEC, 1997

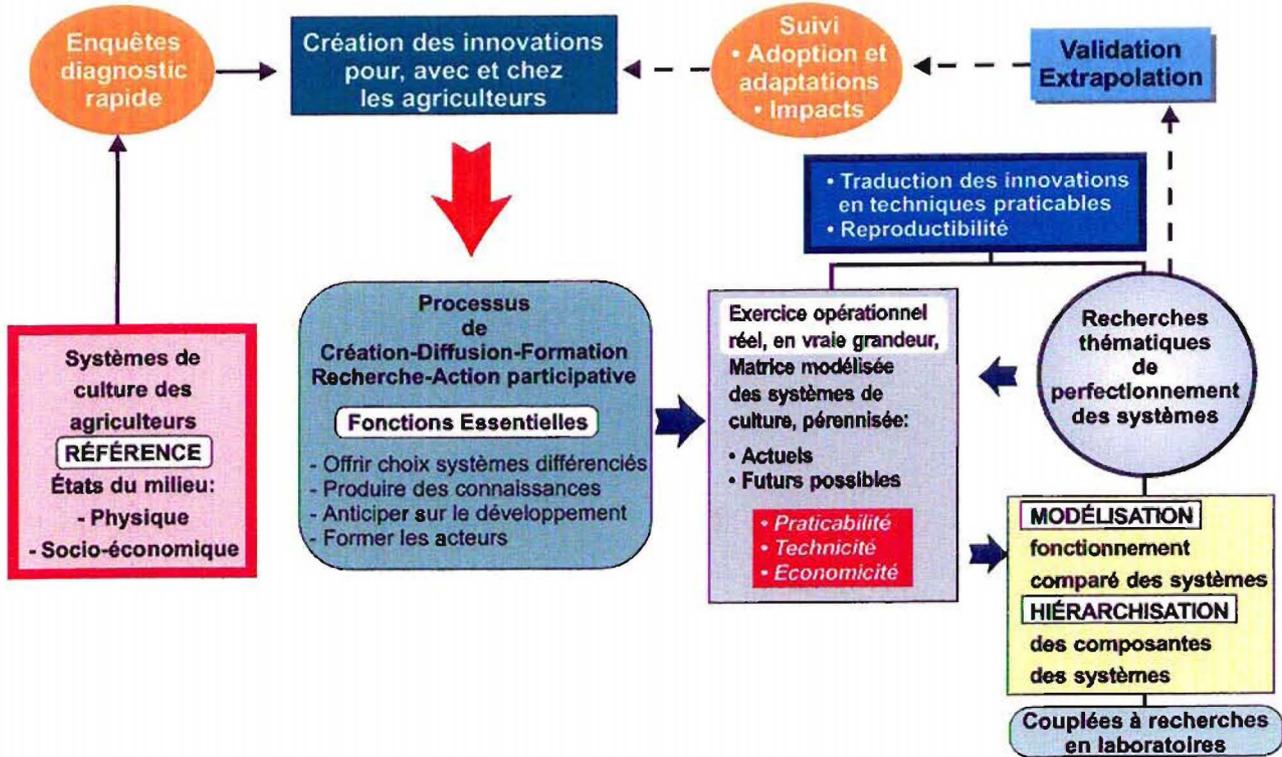


FIG. 2 - RECHERCHE - ACTION POUR, AVEC ET CHEZ LES AGRICULTEURS

AGIR

Simultanément:

- Solutions pratiques, technologies
- Connaissances scientifiques

SUR LE MILIEU PHYSIQUE

- Différencier pour comprendre, évaluer
- Expliquer
- Agir sur systèmes
- Critères:
 - + Agronomiques
 - + Techniques
 - + Économiques

NIVEAUX D'ÉCHELLES

- | | | |
|--|--------------|--|
| <p>Systèmes de cultures</p> <ul style="list-style-type: none"> • Actuels • Novateurs • Améliorés | <p>Sur →</p> | <p>Toposéquences représentatives</p> <ul style="list-style-type: none"> • Unités paysage • États de dégradation du milieu |
|--|--------------|--|

FAZENDAS DE RÉFÉRENCE

TERROIRS

MILIEU CONTROLÉ

ANTICIPER

- Rigueur scientifique
- Expressions différenciées du potentiel de production (*offre technologique*)
- Progression par hiérarchisation permanente
- Évaluation anticipée des impacts environnementaux



MILIEU RÉEL

- Évaluation des changements sur:
 - + Agriculture
 - + Conditions de vie
 - + Impacts environnementaux

SUR LES HOMMES QUI LE CULTIVENT

- Incorporation de:
 - + praticabilité
 - + Faisabilité
- Formation:
 - + Apprentissage de la maîtrise technique, pratique -
 - ↓
 - reproductibilité*
- Choix et ajustements multi-Acteurs

- Contribution, Participation à:
 - + Diffusion
 - + Formation
 - + Organisation des Producteurs (associations de semis direct)

FIG. 3 ÉCHELLES D'INTERVENTION ET FONCTIONS DE LA RECHERCHE-ACTION, ADAPTATIVE DES SCV

SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA - 1978/2000

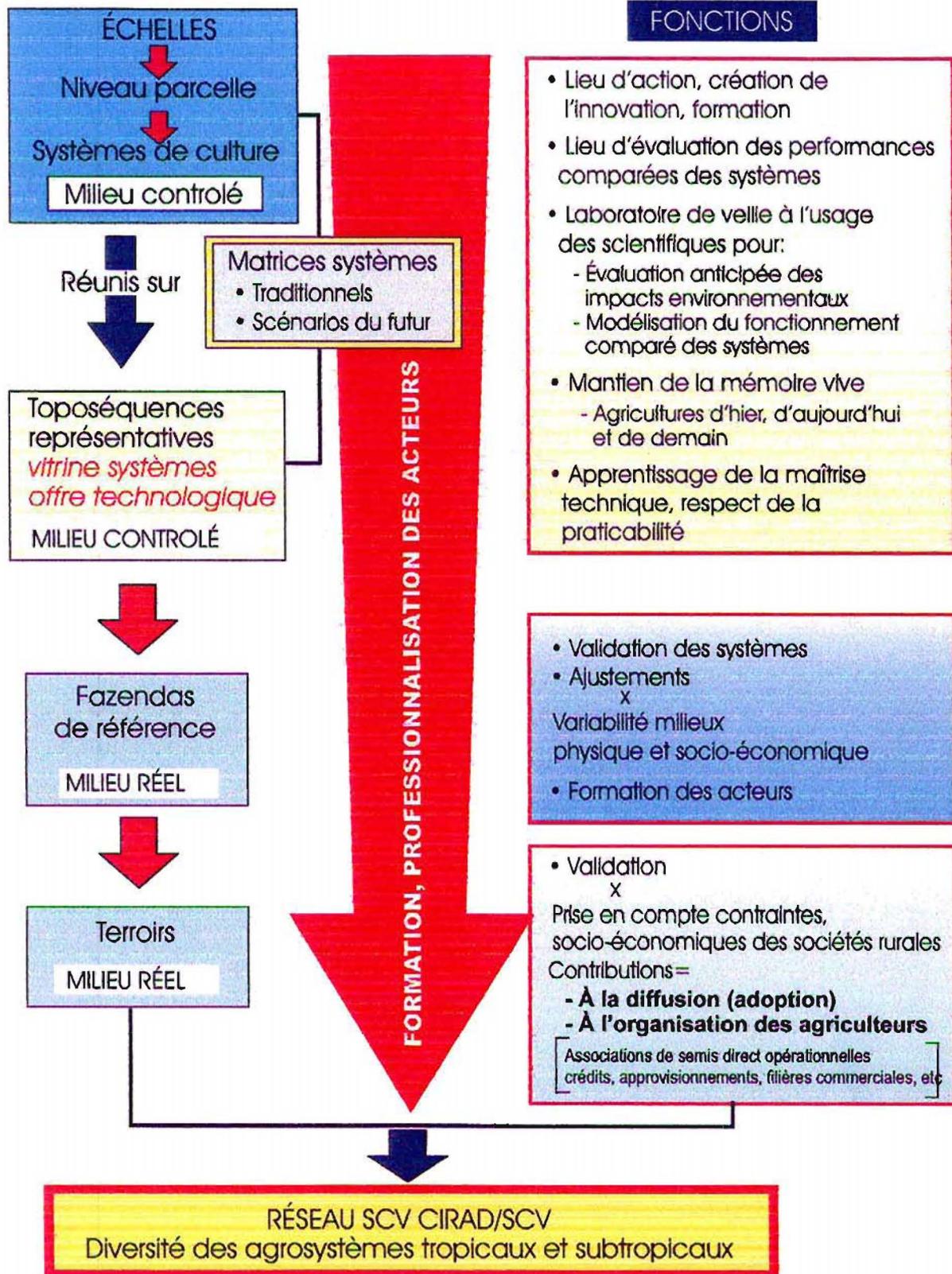
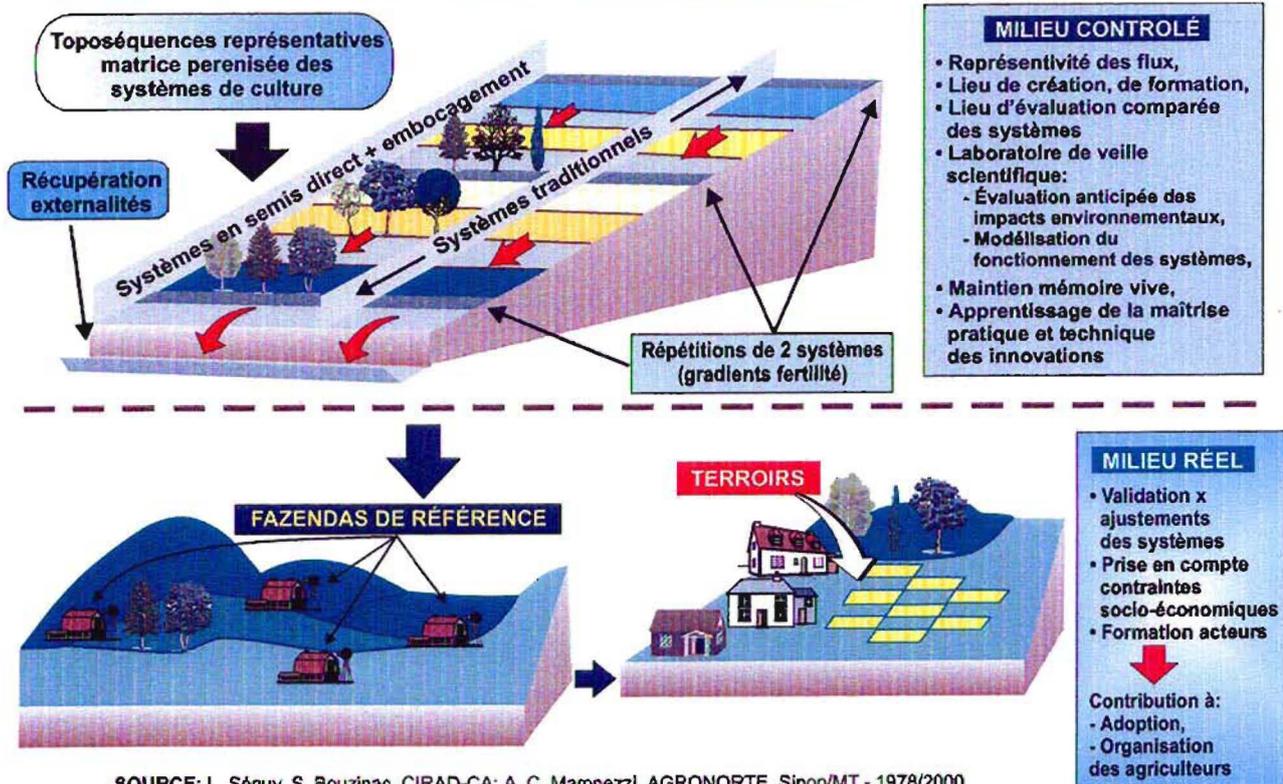


FIG. 4 DÉMARCHE DE LA RECHERCHE-ACTION, POUR, AVEC ET CHEZ AGRICULTEURS - NIVEAUX D'ÉCHELLES ET FONCTIONS -



SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA; A. C. Maronezzi, AGRONORTE, Sinop/MT - 1978/2000

FIG. 5 DÉMARCHE OPÉRATIONNELLE DE CRÉATION-DIFFUSION DES SYSTÈMES DE CULTURE ET FORMATION

SOURCE: L. Ségué, S. Bouzinac, 1997

1. Un outil régional opérationnel

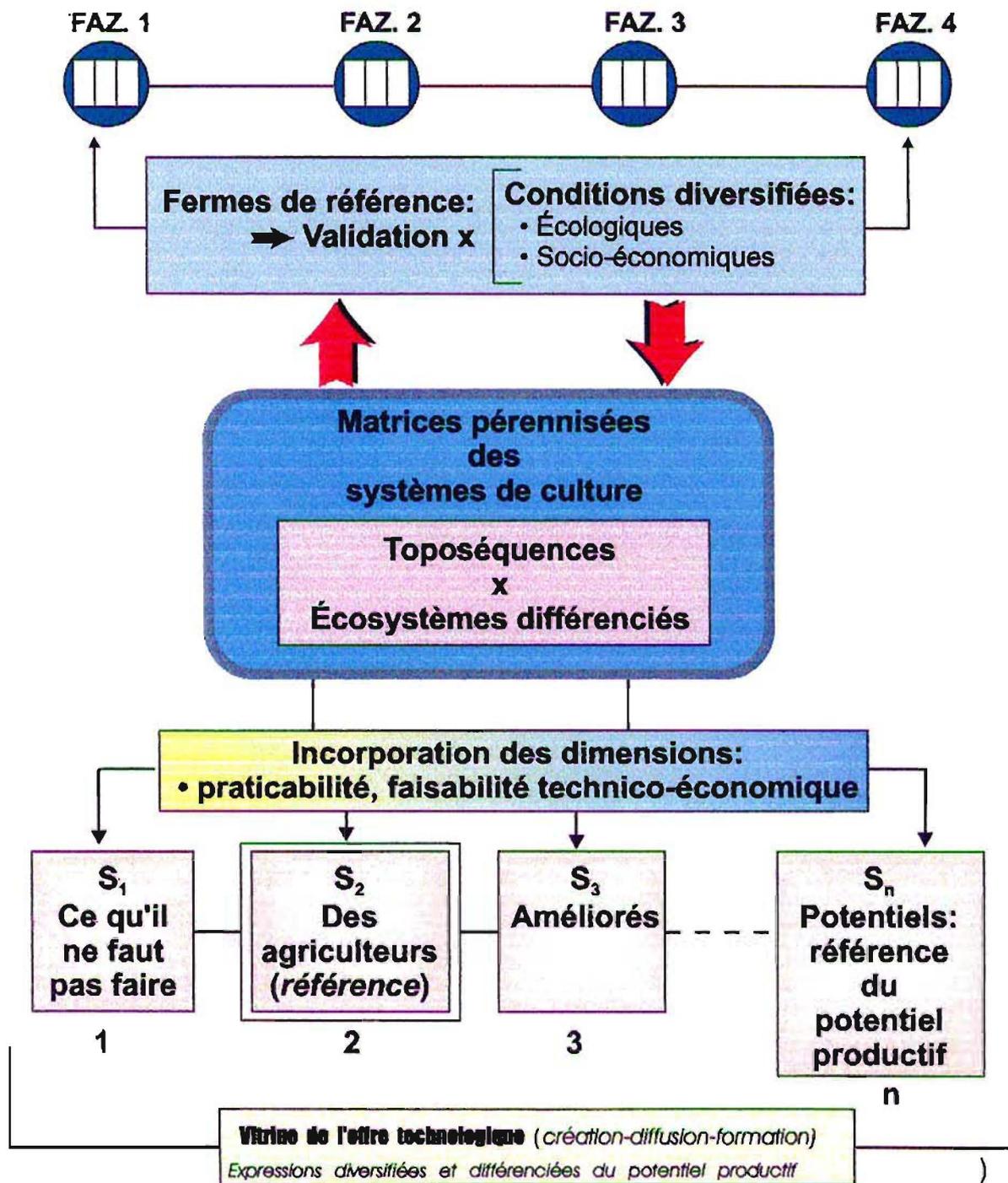
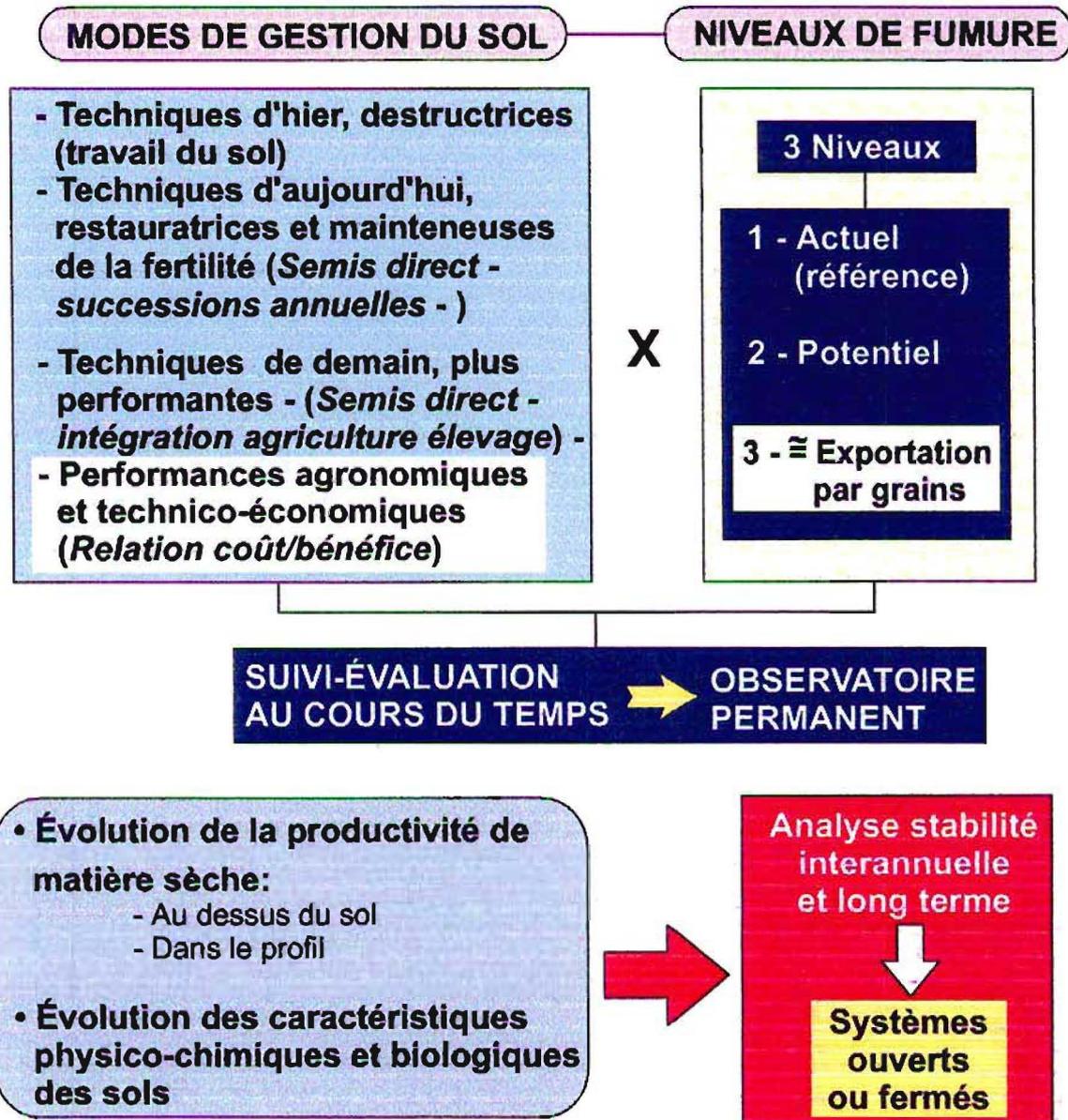


FIG. 6 MÉTHODOLOGIE D'ÉTUDE DU FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES DE CULTURE

MODÉLISATION DES SYSTÈMES DE CULTURE ➔ MATRICE
PÉRENNISÉE DES SYSTÈMES, EN MILIEUX ÉCOLOGIQUES
DIVERSIFIÉS, CONTRÔLÉS ET RÉELS - (Unités de paysage
représentatives)

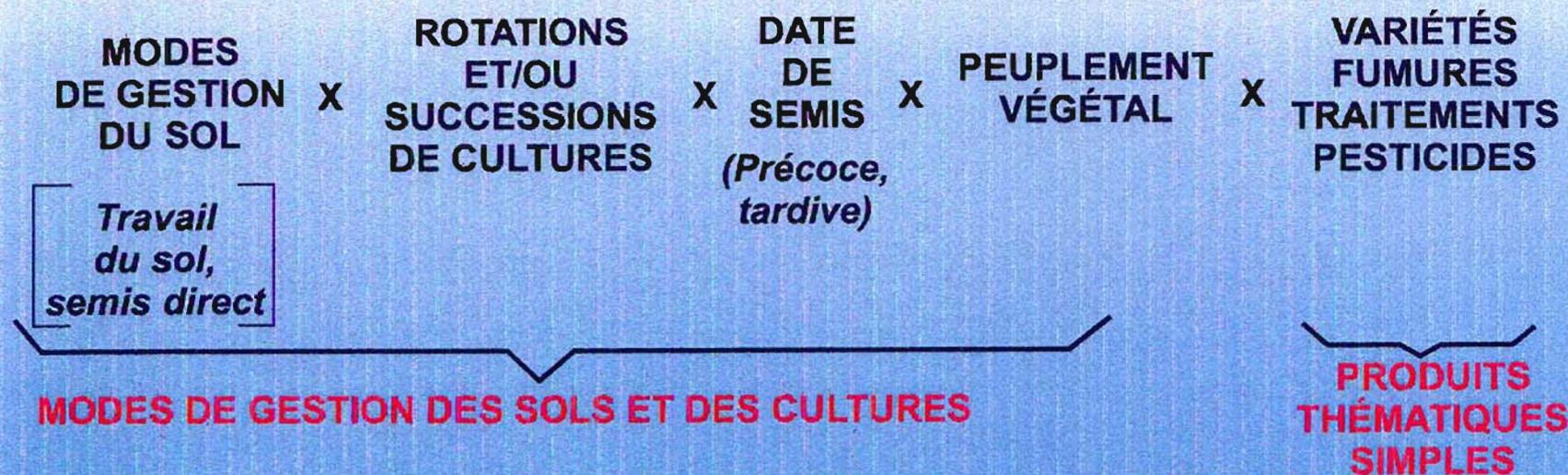


SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac CIRAD CA - GEC; Goiânia, GO - 1998

FIG. 7 GESTION DE LA FERTILITÉ PAR LE SYSTÈME DE CULTURE

OBJECTIF = Exprimer le potentiel du sol, de manière durable, au moindre coût

COMPOSANTES DU SYSTÈME POUR UN TYPE DE SOL



SOURCE: L. Ségué, S. Bouzinac CIRAD CA - GEC; Groupe Maeda - SP, 1998

FIG. 18 SEMIS DIRECT

MOTS ET EXPRESSIONS CLÉS

- AU NIVEAU DE LA PLANÈTE ➔ Réduction de l'émission de gaz à effet de serre (*réchauffement de la planète*) en particulier CO_2 (*Séquestration de C*)
- AU NIVEAU DES ÉCOSYSTÈMES ➔ Production durable et au moindre coût, des écosystèmes cultivés
 - Fonctionnement du système "Sols-Cultures", en circuit fermé, reproduisant le fonctionnement de l'écosystème forestier, sans perte de nutriments -
 - Protection de la ressource sol et de sa qualité biologique (*érosion, excès climatiques, xénobiotiques*), des unités de paysage (*biodiversité accrue, régulation des flux "Infiltration-Ruissellement"*, *protection des routes et infrastructures*) et de la qualité de l'eau des rivières, lacs et des nappes (*pollution par xénobiotiques, engrais minéraux dont phosphates et surtout nitrates*)
 - Meilleure efficacité agronomique de la ressource sol -
 - Meilleure efficacité de l'eau
 - Recyclage de nutriments dont nitrates, bases
 - Capacité de désintoxication par voie biologique
 - Restructuration biologique (*Activité biologique = Systèmes racinaires + faune + microflore*)
 - Meilleure contrôle des adventices par les voies naturelles (*ombrage + allélopathie*)
 - Séquestration de C (*Augmentation de la M. O. du sol avec ses effets bénéfiques*)
 - Meilleure efficacité technique et économique des systèmes de culture -
 - Meilleure efficacité des engrais minéraux (*moins d'engrais*)
 - Plus grande capacité des équipements mécanisés, de la main d'œuvre, plus grande flexibilité d'utilisation (*moins de machines, moins de main d'oeuvre, facilité opérationnelle accrue*)
 - Coûts de production moindres, compatibles avec une production agricole toujours plus élevée, toujours plus stable -

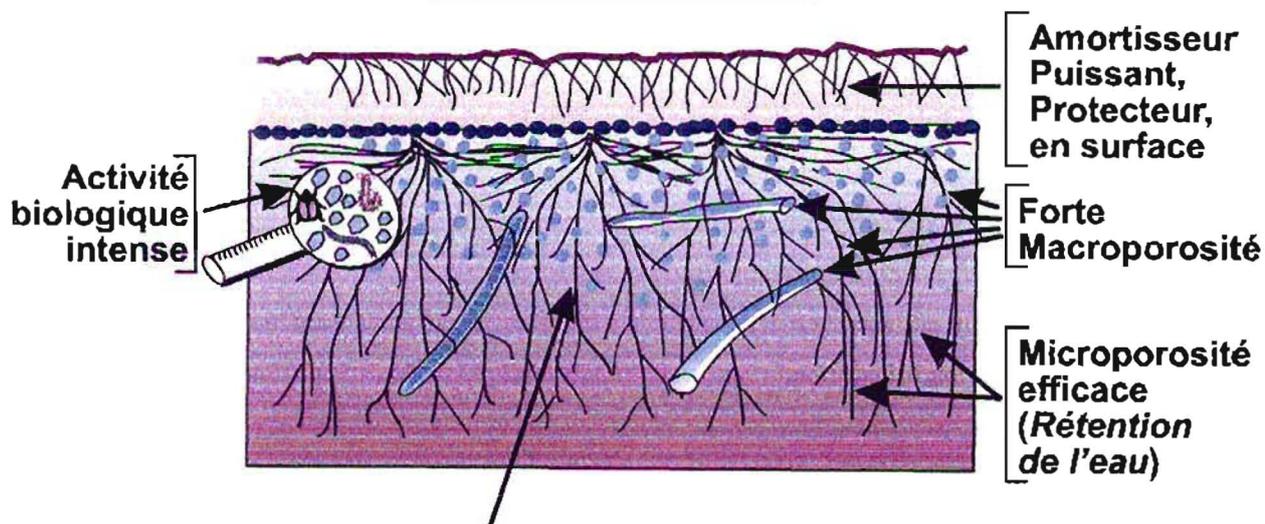
SOURCE: Séguy L. Bouzinac S. CIRAD-CA; Maronezzi A., Lucas G. L., AGRONORTE - Sinop/MT, 1999

FIG. 19 LE SEMIS DIRECT SUR COUVERTURE VÉGÉTALE

DÉFINITION

Le semis direct sur couvertures végétales est un système conservatoire de gestion des sols et des cultures, dans lequel la semence est placée directement dans **le sol qui n'est jamais travaillé** - Seul un petit trou ou sillon est ouvert, de profondeur et largeur suffisantes, avec des outils spécialement conçus à cet effet, pour garantir une bonne couverture et un bon contact de la semence avec le sol - **Aucune autre préparation du sol n'est effectuée** - l'élimination des mauvaises herbes, avant et après le semis est faite avec des herbicides les moins polluants possibles pour **le sol qui doit toujours rester couvert** -

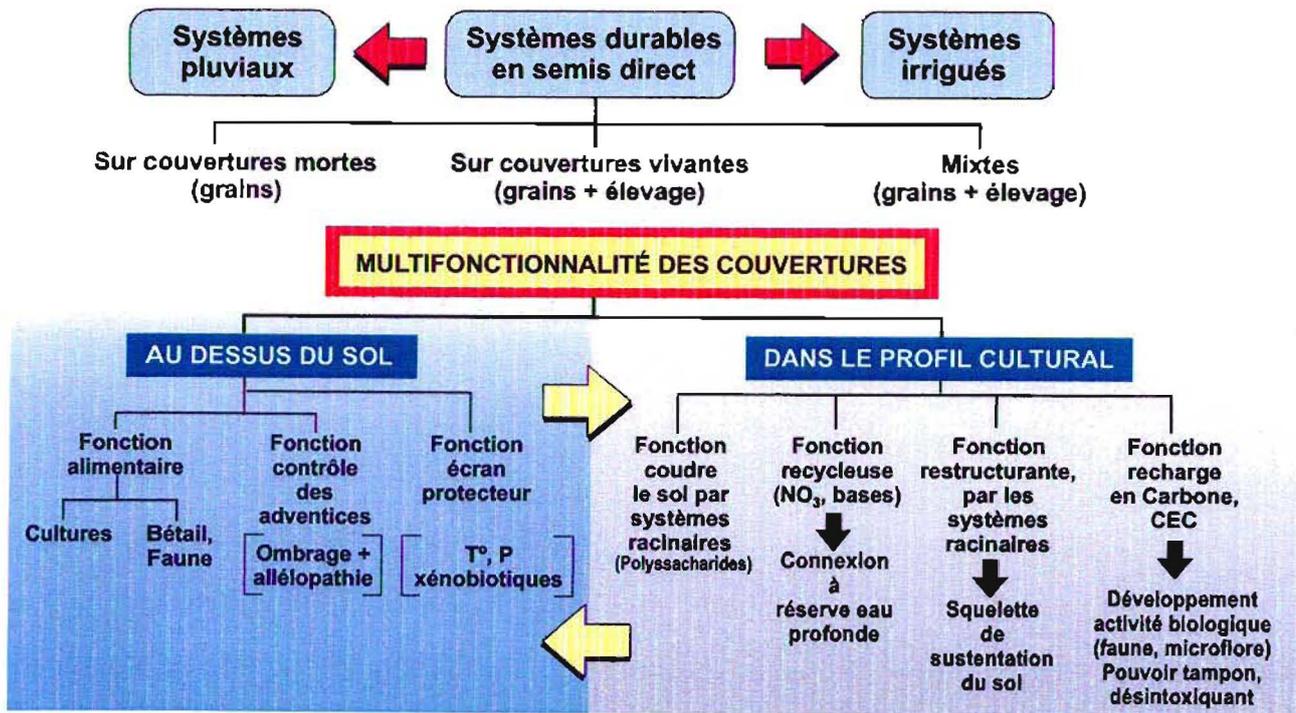
REPRÉSENTATION



SQUELETTE ORGANIQUE DE SUSTENTATION DU SOL
QUI CONFÈRE AU PROFIL CULTURAL = STRUCTURE
ENTRETENUE, RÉSISTANCES AU TASSEMENT ET À LA
DÉFORMATION, RESSUYAGE RAPIDE.

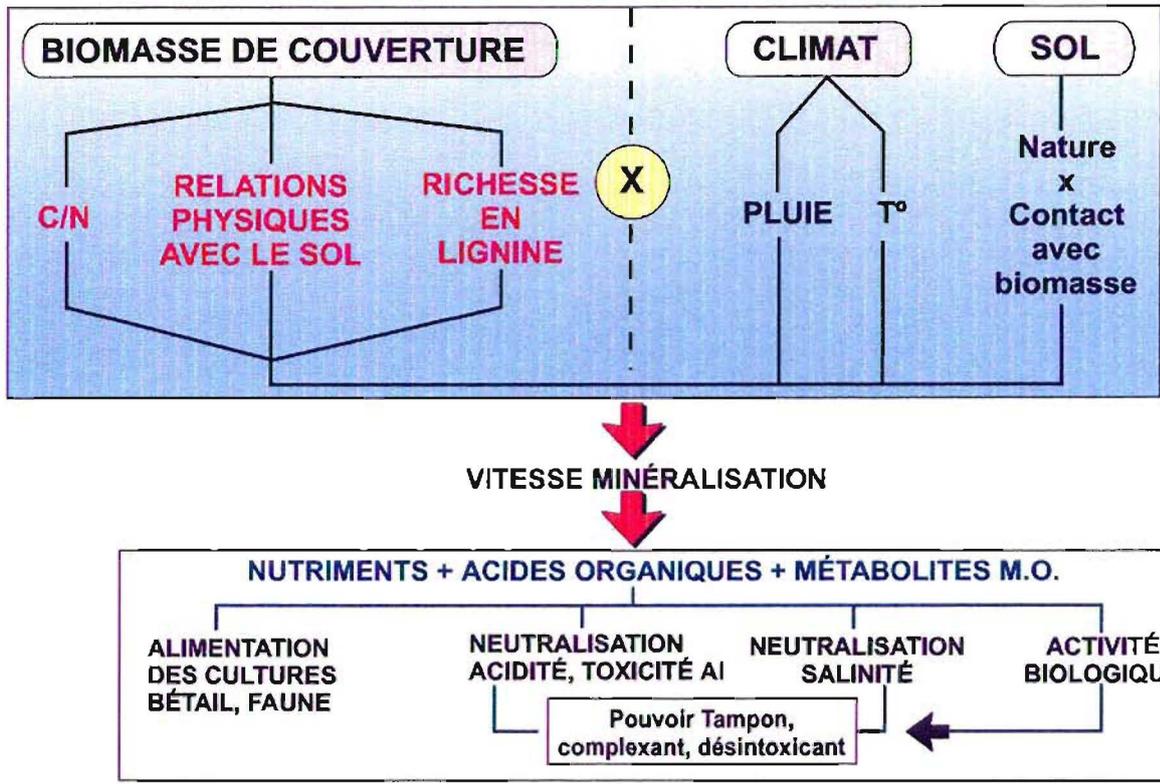
↓
SYSTÈMES RACINAIRES
+
CONSTRUCTIONS DE LA FAUNE

**FIG. 20 LE CONCEPT DE MULTIFONCTIONNalité
DES BIOMASSES DE COUVERTURE, EN SEMIS DIRECT**



SOURCE: L. Ségué, S. Bouzinac, CIRAD-CA; A. C. Maronezzi, AGRONORTE, Sinop/MT - 1978/2000

FIG. 21 FONCTION ALIMENTAIRE



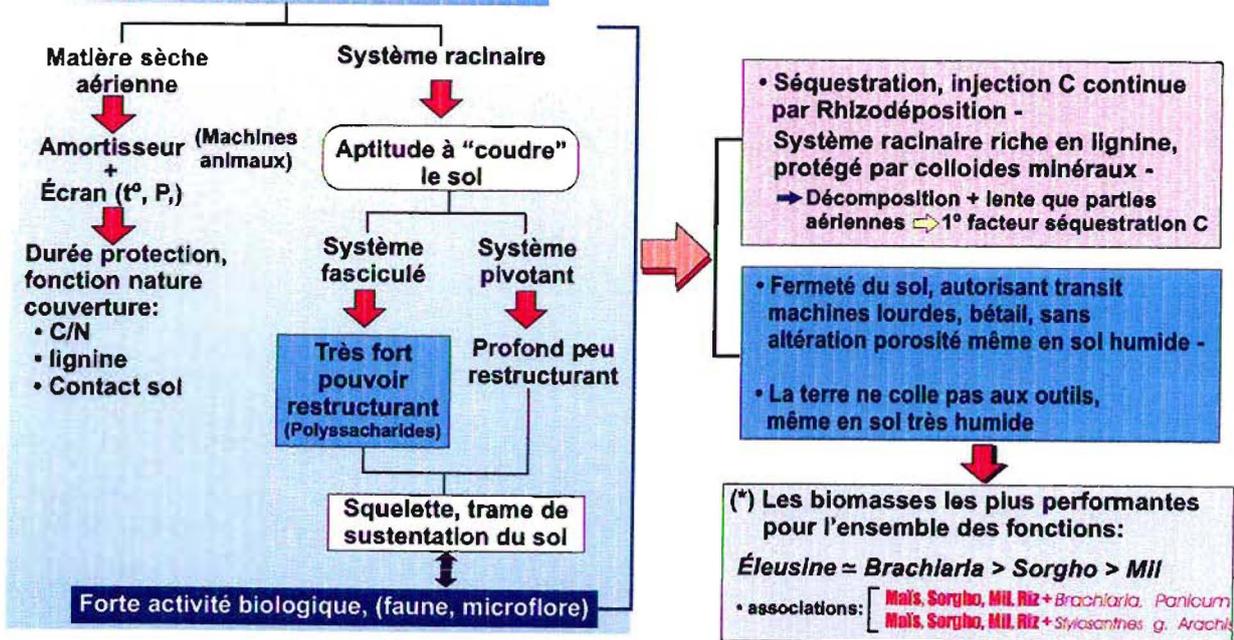
SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA; A. C. Maronezzi, AGRONORTE, Sinop/MT - 1978/2000

FIG. 22

FONCTIONS:

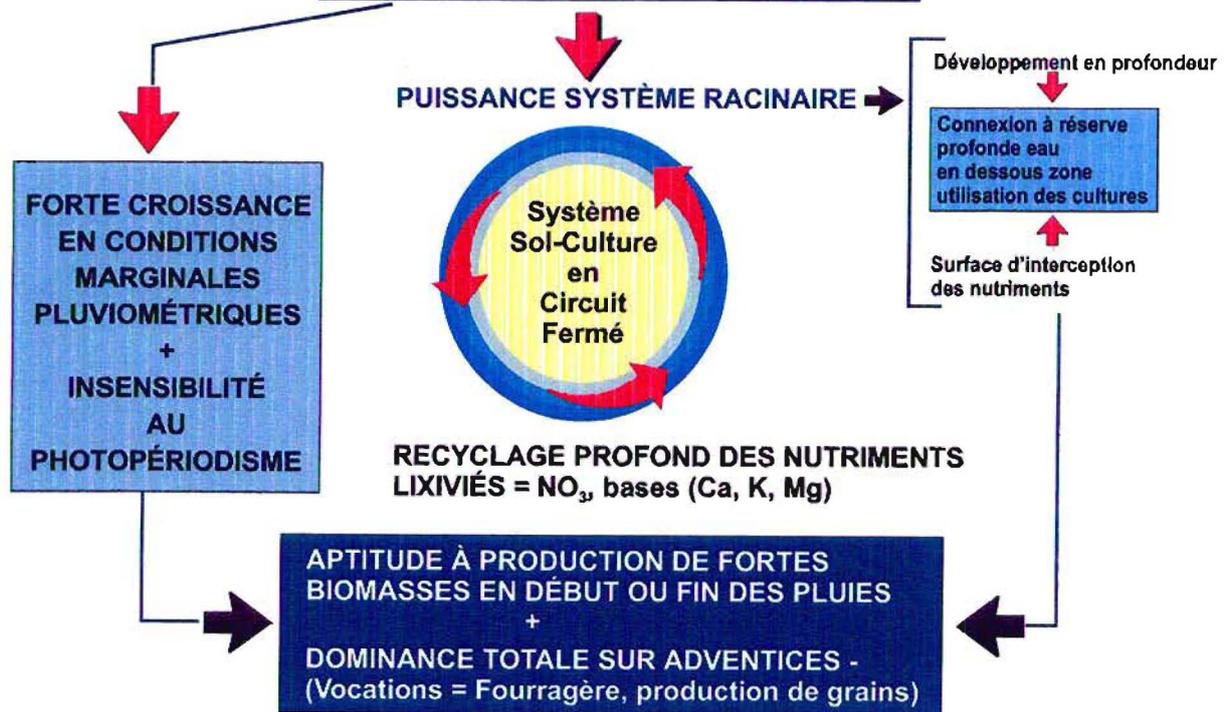
- PROTECTION CONTRE L'ÉROSION
- POUVOIR RESTRUCTURANT
- RECHARGE EN CARBONE

PROTECTION CONTRE L'ÉROSION



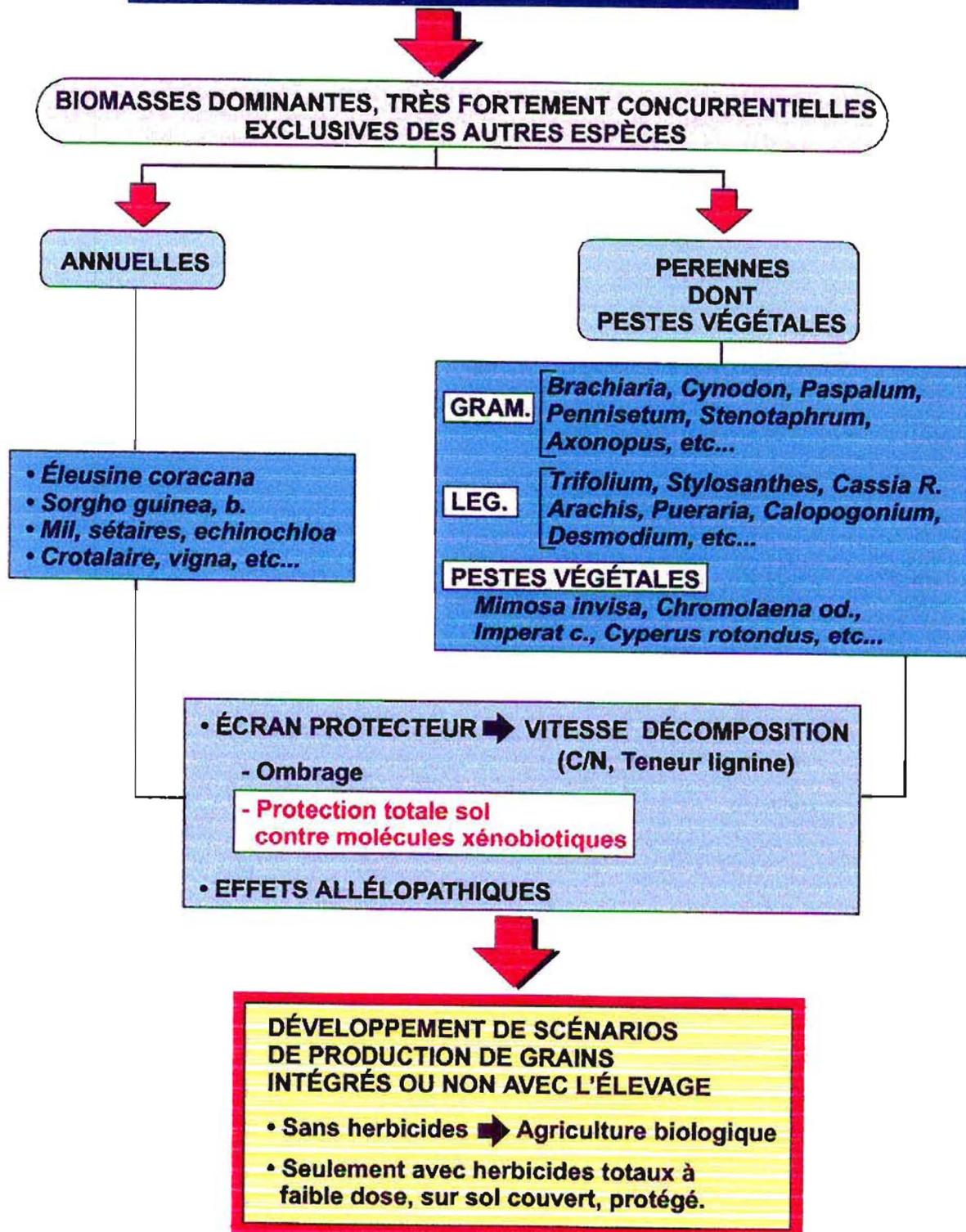
SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA; A. C. Maronezzi, AGRONORTE, Sinop/MT - 1978/2000

FIG. 23 FONCTION RECYCLEUSE



SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA; A. C. Maronezzi, AGRONORTE, Sinop/MT - 1978/2000

FIG. 24 FONCTION: CONTRÔLE DES ADVENTICES



SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA; A. C. Maronezzi, AGRONORTE, Sinop/MT - 1978/2000

ANNEXE

SUIVI-ÉVALUATION DES SYSTÈMES DE CULTURE

EXEMPLE DE LA ZTH

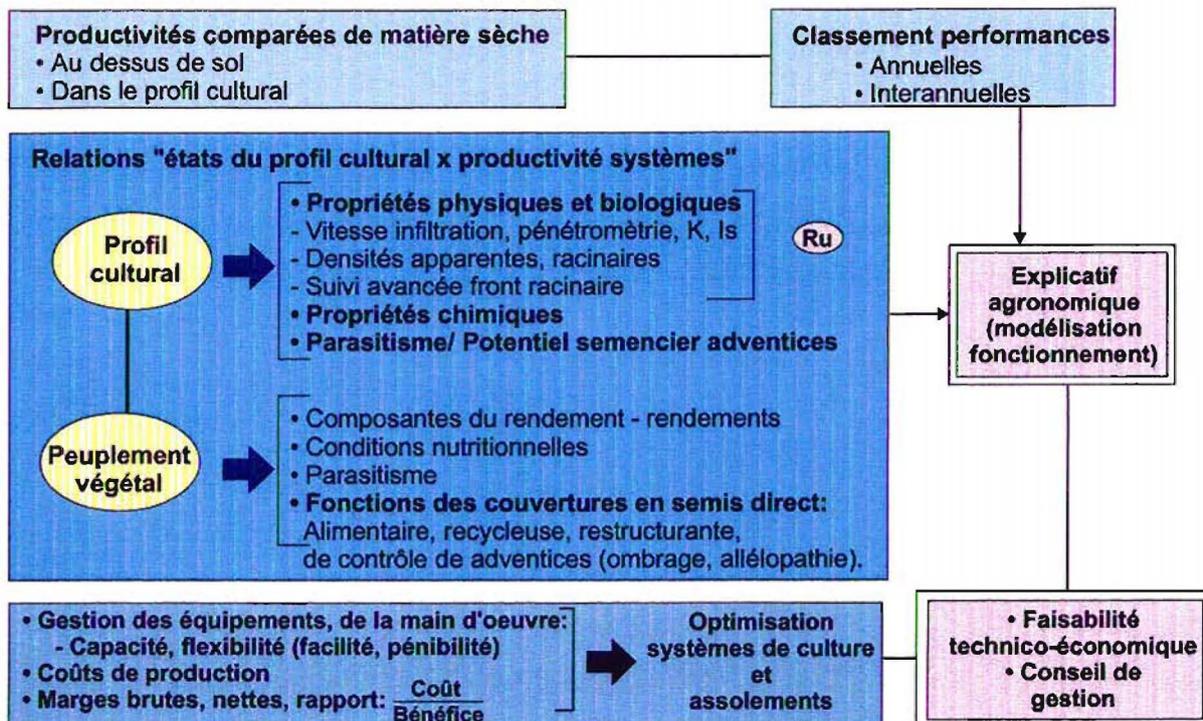
- **LE SOL EST L'ÉLÉMENT-CLÉ DES ÉCOSYSTÈMES TERRESTRES ET EN PARTICULIER DES AGROSYSTEMES.**
- **CE N'EST PAS UNE RESSOURCE RENOUVELABLE, MAIS UN MILIEU VIVANT QUI PEUT ÊTRE ALTÉRÉ DE MANIÈRE IRRÉVERSIBLE PAR LES INTERVENTIONS HUMAINES INADAPTÉES.**
- **IL CONSTITUE LA PREMIÈRE CLÉ DE LA LUTTE CONTRE LA PAUVRETÉ SOUS LES TROPIQUES.**
- **LES SYSTEMES DE PRODUCTION DURABLES DU FUTUR, NE PEUVENT SE CONCEVOIR SANS GESTION CONSERVATOIRE DU SOL.**
- **UNE GESTION "AU PLUS PRÈS DU BIOLOGIQUE" EST CERTAINEMENT LA MEILLEURE STRATÉGIE À LONG TERME POUR LA GESTION DURABLE DES SOLS.**

**LA GESTION DURABLE
DES SOLS AGRICOLES
DOIT AVOIR 3 OBJECTIFS**

- FOURNIR DES PRODUITS SAINS ET DE QUALITÉ, AVEC LE MINIMUM D'INTRANTS ET RENTABILITÉ.
- MINIMISER LES IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT.
- RESTAURER, PUIS MAINTENIR LA CAPACITÉ DE PRODUCTION DU PATRIMOINE SOL À LONG TERME, AVEC UN MINIMUM D'INTRANTS CHIMIQUES

MÉTHODOLOGIE D'ÉTUDE "SYSTÉMIQUE X THÉMATIQUE"

SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, 1997



**CRITÈRES DÉTERMINANTS
PRIS EN COMPTE
DANS LA CRÉATION DE SYSTÈMES
DE CULTURE PLUS PERFORMANTS**

**PAR ORDRE D'INTÉRÊT
DÉCROISSANT POUR LES AGRICULTEURS**

GESTION DES SYSTÈMES

- Facilité de réalisation
- Flexibilité d'utilisation des équipements
- Diminution des coûts de production

PRODUCTIVITÉ DES SYSTÈMES

- Lucrativité - relation bénéfique/coûts -
- Facilité de financement
- Productivité des cultures

- Amélioration et préservation du potentiel productif de la ressource sol
- Qualité des productions

**COURT
TERME**

**PLUS
LONG
TERME**

SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac - CIRAD-CA - GEC, 1998

CARACTERISATION DU PROFIL CULTURAL



**À LA RECHERCHE DES PARAMÈTRES
INDICATEURS LES PLUS PERTINENTES
ET EXPLICATIFS DE LA PRODUCTION DE
MATIÈRE SÈCHE ET DE SA REPRODUCTIBILITÉ**

→ SUR LE PROFIL CULTURAL

MATRICE DES SYSTÈMES

PERMANENT

(1)

LYSIMÈTRES
1 m à 2 m
Échantillon non déformé



ANALYSE

- Flux d'eau (ETR, drainage)
- Flux d'éléments minéraux (Lessivage, recyclage)

DYNAMIQUE INTERNE/CULTURE/SYSTÈME (2)

SUR 3 PROFILS DE LA MATRICE QUI ENGENDRENT LES CROISSANCES DE CULTURES LES PLUS DIFFÉRENCIÉES

- Le meilleur
- Le pire
- Un intermédiaire → interpolation des données

- Érosion
 - Adventices
- Avant la couverture totale du sol

■ Description du profil cultural et mesures:

Évolution Da, DR, K, IS, résistance mécanique à la pénétration
Enracinement
Conditions d'oxydo-réduction
activité de la M.O.
Niveaux chimiques dans la solution

Fin de tallage (céréales), début floraison (soja, coton)
↑↓
Pleine floraison (maximum du système racinaire)

ÉVOLUTION

(1) Lorsque les moyens le permettent
(2) Suivi obligatoire

SUR LES CULTURES, DANS LES SYSTÈMES

• Analyse du rendement (R)

$$\left[\begin{array}{l} \text{Ex.: Céréales} \rightarrow N^{\circ} \text{ pieds}/m^2 \times N^{\circ} \left\{ \begin{array}{l} \text{Épis} \\ \text{Panicules} \end{array} \right. / \text{Pied} \times N^{\circ} \text{ grains} / \left\{ \begin{array}{l} \text{Épis} \\ \text{Panicules} \end{array} \right. = R_c \\ \text{Ex.: Soja} \rightarrow N^{\circ} \text{ pieds}/m^2 \times N^{\circ} \text{ gousses}/\text{pied} \times N^{\circ} \text{ grains}/\text{gousse} = R_s \end{array} \right.$$

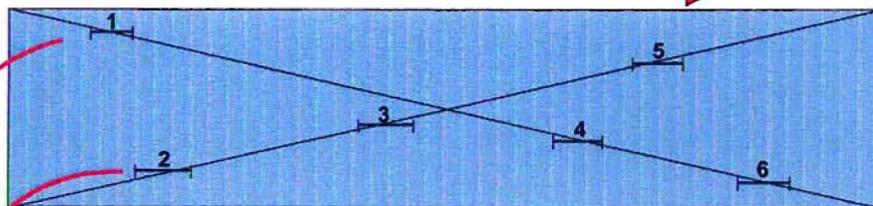
↳ Identifier, hiérarchiser les facteurs et conditions du milieu à chaque étape de l'élaboration du rendement

- **LES FACTEURS** → Les éléments du milieu qui interfèrent dans les processus biologiques (*synthèse chlorophyllienne, respiration*)
 = radiation, CO₂, éléments minéraux, eau.
- **LES CONDITIONS** → Disponibilité des éléments minéraux en fonction des états du profil cultural.
- Les composantes du rendement traduisent les effets =
 - Des modes de gestion du sol
 - De l'histoire culturale (succession des cultures x modes de gestion du sol)
 - + À court terme (*effet des précédents et modes de gestion du sol, adventices*)
 - + À plus long terme, effet cumulatifs (*évolution de M. O., État structural, distribution P, bases, potentiel semencier des adventices*)

ÉCHANTILLONNAGE INTRA-PARCELLES SYSTÈMES
 ⇒ **DIAGNOSTIC AGRONOMIQUE/CULTURE/SYSTÈME**

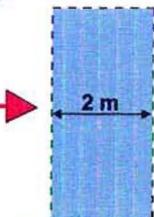
MATRICE SYSTÈMES PÉRENNISÉE

Parcelle système en conditions d'exploitation réelles → > 1ha



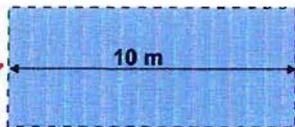
Immédiatement après la levée de la culture, piqueter, au hasard:

- 6-8 échantillons élémentaires (profil culturel homogène)
- > 8 échantillons, si profil culturel hétérogène



Ligne centrale de une parcelle élémentaire de 2m x 5m = 10m² (ou 5 x 2m) à la récolte

RIZ, SOJA



Ligne centrale de une parcelle élémentaire de 10m x 2,7m = 27m² à la récolte

COTON, MAÏS, MIL, SORGHO

SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac et al., 1994

ÉVALUATIONS

SUR LE PROFIL CULTURAL	DATE DE RÉALISATION
<ul style="list-style-type: none"> • Pénétrométrie • Vitesse d'infiltration de l'eau • IS, K, DA, DR 	<ul style="list-style-type: none"> → Au semis, 45 JAS, pleine floraison → 45 JAS et pleine floraison.
SUR LES CULTURES	
<ul style="list-style-type: none"> • Relations de concurrence adventices x cultures • Composantes du rendement • Maladies, insectes • Potential adventices post-récolte 	<ul style="list-style-type: none"> → 0-30 JAS, 30 JAS - couverture du sol par la culture. → Stades physiologiques/culture. → Post-récolte, saison sèche.

MESURES SUR LE PROFIL CULTURAL, IN SITU, POUR LES ÉVALUATIONS

- Da (densité apparente)
- DR (densité de racines)
- IS (indice d'instabilité structurale)
- K (conductivité hydraulique de Darcy)

4 Paramètres à partir du même échantillon non remanié

ÉCHANTILLONNAGE → Cylindres horizontaux → Perpendiculaires aux lignes de semis

SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, 1994

