

# SCV et changement climatique

## Sommaire

1. Introduction
2. Rappel des causes du changement climatique
3. Conséquences et hypothèses de régionalisation
4. Conséquences du changement climatique sur les plantes cultivées
  - 4.1. La concentration de CO<sub>2</sub>
  - 4.2. Les températures
  - 4.3. Le régime des pluies
5. Conséquences du changement climatique sur les sols
6. Conséquences du changement climatique pour les agriculteurs et les systèmes agraires
7. Réponse et adaptation des systèmes agraires : les SCV
  - 7.1. Amortissement des aléas climatiques
  - 7.2. Rôle sur la productivité et la pénibilité du travail
  - 7.3. Amélioration de la fertilité
8. Les SCV : leurs « externalités » positives
  - 8.1. Augmentation du niveau de vie et pluriactivité des agriculteurs
  - 8.2. Diminution du « coût » du développement pour le pays
  - 8.3. Régularisation des eaux dans les paysages
  - 8.4. Fixation de l'agriculture, protection des forêts résiduelles et de leur biodiversité
  - 8.5. SCV et agrobiodiversité
  - 8.6. SCV et biodiversité des aires protégées
9. Les SCV : leur contribution à la séquestration du carbone et à l'atténuation du changement climatique
10. Conclusions

## 1. Introduction

Tout d'abord, quelques rappels institutionnels.

Le 4 décembre 1992 a été ratifiée par l'ONU la « convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques » (CCNUCC ou UNFCCC en anglais) :

*L'article 2 de la Convention stipule que « l'objectif ultime ... (est de) stabiliser, conformément aux dispositions pertinentes de la Convention, les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau qui empêche toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique. Il conviendra d'atteindre ce niveau dans un délai suffisant pour que les écosystèmes puissent s'adapter naturellement aux changements climatiques, que la production alimentaire ne soit pas menacée et que le développement économique puisse se poursuivre d'une manière durable. »*

Issu de la CCNUCC, le **Protocole de Kyoto**, adopté le 11 décembre 1997 et dont la mise en œuvre par les pays développés (sans les USA) date du 16 février 2005, engagent ces pays à réduire leurs émissions de GES de 2008 à 2012. Pour cela il prévoit de recourir à des mécanismes dits « de flexibilité », qui sont au nombre de trois :

. **les « permis d'émission »**, cette disposition permet de vendre ou d'acheter des droits à émettre entre pays industrialisés ;

. **la « mise en œuvre conjointe »** (MOC) qui permet, entre pays développés de procéder à des investissements visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre en dehors de leur

territoire national et de bénéficier des crédits d'émission générés par les réductions ainsi obtenues ;

. le « **mécanisme de développement propre** » (MDP), proche du dispositif précédent, à la différence que les investissements sont effectués **par un pays développé, dans un pays en développement**.

Ci-dessous sera traité le cas de l'agriculture intertropicale et méditerranéenne, dans les pays en voie de développement : quelles en sont les problématiques et les enjeux concernant leur « durabilité » face aux changements climatiques, par rapport aux préoccupations institutionnelles. Il y a maintenant consensus dans le milieu scientifique international pour annoncer **un changement climatique significatif mondial au 21<sup>e</sup> siècle**. Le processus a déjà commencé. Le responsable en est l'évolution de « l'effet de serre » induit par une augmentation des « gaz à effet de serre » ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ) dont **l'activité humaine est responsable**. Il y aura une augmentation sensible des températures et des interactions complexes océan-terre-atmosphère dont, on prévoit, sans grande précision, avec différents modèles de simulation, les tendances et les effets.

Nous verrons dans ce qui suit **les conséquences, très négatives, qu'il faut en attendre sur les agricultures inter-tropicales**, quelles alternatives adaptatives, à base de SCV, sont possibles et souhaitables, et comment, en plus de leurs avantages sur la productivité, l'économie, la résilience et la durabilité des agroécosystèmes, ces alternatives sont capables en retour d'**atténuer le réchauffement climatique lui-même**.

## 2. Rappel des causes du changement climatique

L'effet de serre résulte du réchauffement des couches de l'atmosphère par le rayonnement infra-rouge émis par le sol à partir de l'absorption du rayonnement solaire incident.

Les « gaz à effets de serre » (GES) qui sont à l'origine de ce processus sont essentiellement le **gaz carbonique** ( $\text{CO}_2$ ), le **méthane** ( $\text{CH}_4$ ) et le **protoxyde d'azote** ( $\text{N}_2\text{O}$ ). La **vapeur d'eau**, classée aussi dans les GES, joue un rôle très important (sinon, le plus important). Il faut y ajouter les fréons (CFC) et les autres produits gazeux halogénés.

L'activité humaine (**via la consommation d'énergie fossile et la déforestation**) est responsable d'un accroissement de la concentration en GES qui risque de doubler à la fin du 21<sup>e</sup> siècle (passage de 380 ppm de  $\text{CO}_2$  en 2000, à 600 ppm en 2100, augmentation de 31 % depuis 1750), entraînant un sensible réchauffement climatique qui, selon la plupart des experts, a déjà commencé. La température moyenne actuelle de la surface de la terre est de 15°C. Elle a augmenté au 20<sup>e</sup> siècle, d'environ 0,6°C. Les modèles prévoient une **augmentation de cette moyenne générale de 1,4°C à 5,8°C d'ici à 2100**. Si la tendance au réchauffement fait maintenant l'objet d'un consensus, l'ampleur de ce phénomène est en grande partie imprévisible.

A ce réchauffement, sera associée une **montée du niveau marin** dans la fourchette de 9 à 88 cm en 2100 (montée de 10 à 20 cm au cours du 20<sup>e</sup> siècle) donc également avec une grande marge d'incertitude. L'élévation du niveau marin sera due à la **dilatation de la masse des océans « réchauffés »** à laquelle s'ajoutera **la fonte des glaciers**.

La répartition des calories, des énergies et des flux entre océans et atmosphère, qui règlera les climats continentaux et régionaux, est simulée par de multiples modèles couplés « océan-

atmosphère ». Ces derniers ne s'accordent pas toujours, expliquant des écarts importants dans les prévisions. **La répartition des climats est sous la dépendance des courants océaniques**, horizontaux et de profondeur (courants dits « convectifs » ou « thermohalins »). Ces courants eux-mêmes dépendent des différences de température et de salinité entre les couches océaniques : l'eau froide est plus lourde que l'eau chaude, l'eau salée (consécutive à une plus grande évaporation, elle-même responsable de l'émission de vapeur d'eau et de précipitations) est plus dense que l'eau douce. Deux grandes inconnues, parmi d'autres, sont la vitesse de circulation du **Gulf Stream dans l'Atlantique Nord** et l'évolution du **phénomène El Niño dans le Pacifique intertropical**, lui-même réglé par les différences thermiques de surface entre l'Ouest et l'Est, et responsable de fortes pluies et inondations d'un côté, de sécheresses de l'autre.

A l'échelle mondiale, les mouvements du Gulf Stream influencent une circulation océanique générale autour du globe appelée « tapis roulant » océanique dont les modèles prévoient un ralentissement et un réchauffement.

Prévoir avec un minimum d'exactitude l'évolution climatique sur un siècle est impossible. En effet, il s'agit de **systèmes très complexes, non linéaires**, possédant un grand nombre de variables qui évoluent en fonction de multiples interactions et **boucles de rétroactions**, soit positives (renforcement, amplifications, emballements), soit négatives (atténuation, régulation, stabilité temporaire). Tout cela fonctionne par des effets dominos, des franchissements de seuils déclencheurs, des inerties différentielles, etc ...

Par ailleurs, d'énormes incertitudes demeurent, par exemple le devenir des immenses gisements d'**hydrates de méthane** contenus dans les sédiments marins. Vont-ils libérer leur méthane avec le réchauffement océanique ? Dans une moindre mesure, quelle sera la quantité libérée de méthane, également sous forme solide, d'hydrates, dans les **permafrosts du Nord du Canada et de Russie**, qui vont sans doute dégeler ? Dans le cas le plus défavorable, le changement climatique pourrait être catastrophique pour l'homme sur la terre entière.

Autre incertitude : restera-t-il encore des forêts en 2050 ou en 2100 ? La concentration en CO<sub>2</sub> en dépendra beaucoup : puits ou sources ?

Autre question majeure : **les océans, qui ont un rôle régulateur et une grande inertie, évolueront-ils vers des puits ou des sources de carbone ?**

Toujours concernant les océans : **quel va être le rythme de montée des eaux**, celui-ci étant en partie lié à la vitesse, inconnue, de fonte des glaciers ?

Par ailleurs, on ne sait pas quel va être l'évolution des **aérosols** (particules microscopiques véhiculées par l'air), en particulier ceux qui sont d'origine anthropique (combustion de l'énergie fossile et de la biomasse), qui ont une action inverse de celle des GES c'est à dire de diminuer les températures.

On conçoit que, selon les hypothèses que l'on prend, la quantité et la qualité des données numériques à analyser que l'on rentre dans les ordinateurs, les modèles climatiques donnent des prévisions extrêmement différentes, plutôt optimistes ou plutôt pessimistes.

**Actuellement existe une quarantaine de scénarios** (SRES : Special Report on Emissions Scenarios) pour le futur. Le SRES a été élaboré en 2000 par le **GIEC** (Groupe

Intergouvernemental d'experts sur l'Evolution du Climat), en anglais, IPCC (Intergovernmental Panel on Climatic Change), mis en place en 1988 par l'OMM et le PNUE à la demande du G7.

### 3. Conséquences et hypothèses de régionalisation

#### *Les pluies*

L'augmentation des températures entraîne globalement une **augmentation de l'évaporation** puis celle des **condensations en pluies**. D'ici à 2100, toujours globalement, on prévoit, par rapport à 1990, **une augmentation des pluies de 2 à 7 %**, donc pas énorme, mais irrégulièrement répartie dans l'espace et l'année. L'Europe du Nord et du Centre, le Canada, l'Argentine et le Nord de l'Asie auront une pluviométrie totale peu perturbée. Seuls les hivers seront plus pluvieux, plus doux et plus courts.

Les régions où la pluviométrie baissera seront les zones continentales d'Asie et d'Amérique du Nord, les zones tropicales d'Afrique au Nord de l'Equateur (zones sahéliennes et soudaniennes actuelles) et au Sud (zone zambézienne actuelle à « miombo »), toute la Côte occidentale Andine de l'Amérique du Sud, le Nord-Est du Brésil, l'Australie.

Les régions équatoriales et tropicales d'altitude ne changeraient pas, concernant en tout cas la pluviométrie annuelle. Par contre, partout, mais spécialement dans la zone inter-tropicale, le régime des pluies risque de changer : les précipitations seront sous la forme d'**averses orageuses, plus violentes** et entrecoupées de petites périodes sèches défavorables aux cultures qui donneront une grande variabilité de production. Les sols tropicaux, fragiles, seront, encore plus qu'actuellement, agressés par les pluies avec **des processus érosifs plus violents et généralisés** (glissements de terrain, ravinements, décapage ...). Corrélativement, dans les plaines basses, il y aura **davantage d'inondations** catastrophiques, de destructions d'ouvrages, de cultures.

Ces processus seront favorisés par la **forte pression démographique** et donc **la pression sur les terres et la déforestation** qui va probablement s'accélérer : en Afrique, il faut s'attendre à une amplification des **processus de désertification** en zone sahélienne mais aussi en zones soudanienne et zambézienne, avec progression de ces écologies en direction de l'Equateur. La zone la plus « utile » (arrosée) pour l'agriculture (bien qu'exposée à l'érosion) pourrait être la bande 0 – 8° de part et d'autre de l'Equateur. Les régions des plateaux d'altitude seront également favorables (peu de changements prévus). De son côté, l'Afrique du Nord va sans doute souffrir de **davantage d'aridité et de désertification**.

L'Asie du Sud-Est sera également touchée par la variabilité des pluies, avec des moussons plus destructrices pour les sols et les cultures et la survenue de **cyclones dans les zones littorales** (auxquels s'ajouteront les ennoyages deltaïques par montée du niveau marin des zones en dessous de 1 mètre d'altitude). L'Asie du Sud et du Sud-Est ainsi que la Chine pourraient voir apparaître de plus en plus de processus de désertification (les sols loessiques de Chine seront particulièrement touchés). L'Amérique Centrale montagneuse verra de plus en plus de **cyclones dévastateurs** formés dans le golfe du Mexique. L'Amérique du Sud, à part le N-E brésilien et la bande pacifique qui seront plus secs et désertifiés, ne devrait pas être trop touchée.

## *Les températures*

De 1990 à 2100 **la température moyenne mondiale augmentera de 1,4°C à 5,8°C** (par rapport au 15°C d'aujourd'hui).

Les températures les plus « néfastes » pour les cultures et les animaux seront sans doute **les moyennes des maxima** et **les maxima extrêmes** qui seront bien plus élevées qu'à l'heure actuelle. Les régions qui seront les plus favorisées seront les grandes plaines d'Europe du Nord et d'Europe Centrale, avec des moyennes d'hiver plus douces et moins de gels. Les pluies étant là, les cultures tempérées profiteront bien de la fertilisation carbonée permise par une concentration plus élevée en CO<sub>2</sub>. Les actuelles zones et cultures (vigne, olivier ...) méditerranéennes du Sud de l'Europe monteront et s'élargiront vers le Centre.

Les grandes vagues de chaleurs d'été seront probablement plus fréquentes dans les régions tempérées.

En zones intertropicales, par contre, **les cultures souffriront, aux phases sensibles de leur développement**, de températures maxima excessives s'ajoutant aux aléas des stress hydriques. L'augmentation de CO<sub>2</sub> ne « boostera » pas les cultures, leurs rendements photosynthétiques (plantes en C4) étant déjà, pour la plupart, à leurs maxima.

Il est à craindre également, si la pluie est là, **une prolifération de mauvaises herbes**. En effet, beaucoup, parmi les dicotylédones, sont en C3 (donc favorisées par rapport aux cultures). Les parasites et maladies pourraient aussi se développer. Chez les hommes, **les maladies infectieuses vont proliférer** (malaria, dengue, choléra, dysenteries ...) favorisées par une **malnutrition** qui va augmenter. Les régions inter-tropicales pauvres seront par conséquent les plus vulnérables au changement climatique.

## **4. Conséquences du changement climatique sur les plantes cultivées**

Les incidences du changement climatique sur l'écophysiologie et le potentiel de production des plantes cultivées sont à envisager à plusieurs niveaux en fonction de différentes composantes climatiques et de leurs interactions, en particulier :

- l'augmentation de la concentration de CO<sub>2</sub>,
- les températures,
- le régime des pluies.

### **4.1. La concentration de CO<sub>2</sub>**

A priori, une haute teneur en CO<sub>2</sub> de l'air (on prévoit son doublement au 21<sup>e</sup> siècle) est favorable aux plantes cultivées, à l'accroissement de leur biomasse et de leurs rendements : c'est une **fertilisation carbonée** qui favorise la diminution de la transpiration (fermeture des stomates), améliore l'efficacité de l'eau, et permet une croissance plus rapide.

En réalité, comme l'ont montré les essais en serre et les modélisations, l'effet de l'augmentation de concentration en CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère dépend du type de **métabolisme photosynthétique**, qui n'est pas le même selon que les plantes sont dites « **en C3** » ou « **en C4** ».

On peut envisager que les plantes en C3 (grâce à une meilleure fixation du CO<sub>2</sub> par des carbo-enzymes) répondent davantage à l'augmentation de la concentration en CO<sub>2</sub> que les plantes en C4. Les premières concernent essentiellement les cultures tempérées (maïs non compris et riz compris). Les secondes sont plutôt localisées en régions inter-tropicales (sauf le coton, qui est en C3).

Il faut donc s'attendre plutôt à des **effets bénéfiques sur les cultures en régions tempérées** (si toutefois, ce qui est prévu, les températures n'augmentent pas au delà de quelques degrés) et à une **absence d'effet sur la plupart des cultures tropicales** dont le « palier » maximum de photosynthèse est déjà atteint et qui, par ailleurs, seront fortement pénalisées par l'augmentation trop importante des températures aux phases cruciales du développement des cultures (floraison-fructification). Les pertes de rendement pourraient atteindre 20 % sous les tropiques.

En régions tempérées on peut prévoir que les « grandes cultures » (blé, orge, avoine, pois, colza, soja, betterave, pomme de terre, tournesol, luzerne) qui ont encore une large marge de rendement photosynthétique (jusqu'à 40 %) augmenteront leurs rendements de 15 à 30 %. Ceci, naturellement, en l'absence de stress hydrique, ce qui ne sera pas forcément le cas partout en Europe (pourtour méditerranéen peut être plus sec), en Asie tempérée et en Amérique du Nord en particulier dans les zones continentales déjà « semi-arides » (dessèchement plus accentué du climat dans les Grandes Plaines des USA et dans les steppes asiatiques).

Par ailleurs, un certain nombre d'adventices tropicales (les dicotylédones) étant en C3, on peut s'attendre, les concernant, à une compétition plus importante qu'actuellement vis à vis des cultures.

#### **4.2. Les températures**

L'augmentation des températures moyennes aura des effets différents dans les zones tempérées, qu'elles soient humides ou plus sèches (semi-arides) et dans l'intertropique.

Au Nord, aux latitudes moyennes, le réchauffement augmentera progressivement de façon relativement faible (1 à 3°C) et sera réparti entre hiver et été. Au Sud (intertropiques), les augmentations, des moyennes (plus de 3 à 5°C) et des extrêmes des maxima, seront plus importantes. Elles gêneront souvent les capacités photosynthétiques des cultures et les périodes floraison-pollinisation-fructification, provoquant de forts risques d'**échaudage** (faible remplissage des grains) et de **faibles rendements**. En zone tropicale, l'adaptation des cultures et leur possible « descente » (hémisphère Nord) ou « montée » (hémisphère Sud) vers les faibles latitudes (8° N ou S) de part et d'autre de l'équateur, dépendra aussi beaucoup de la brutalité des changements, de la variabilité des moyennes et des extrêmes maxima.

De grandes chaleurs en cours de campagne, auxquelles risquent de s'ajouter des stress hydriques beaucoup plus fréquents en zones sahélienne, soudanienne et zambézienne (son équivalent en Afrique Australe) vont, sans changement dans les pratiques agricoles, **fortement réduire les rendements moyens et accentuer leur variabilité**.

Un cas particulier est celui du **riz**, qui est **très sensible aux hautes températures** (quand les maxima sont au dessus de 35°C). L'aire de cette culture pourrait se restreindre. L'Asie du Sud-Est et l'Afrique seront les zones les plus chaudes et les plus touchées. Le riz pluvial

d'altitude et de montagne a peut être un bel avenir au 21<sup>e</sup> siècle, au détriment des riz aquatiques ou irrigués (par ailleurs émetteurs de CH<sub>4</sub>) des grands deltas qui, par ailleurs seront en partie, soit envahis par la mer, soit salinisés, soit trop « chauds », soit tout à la fois. En dehors de cela, les cycles tropicaux auront tendance à se raccourcir. Les maturations seront plus rapides et plus précoces.

### **4.3. Le régime des pluies**

Plus que l'augmentation globale des précipitations, très difficiles à régionaliser, c'est l'**augmentation de leur variabilité** (intra et inter-annuelles) de leurs montants et de leurs régimes avec averses intenses espacées, qui est probable, et qui est beaucoup plus handicapante pour l'agriculture en augmentant les risques.

En régions intertropicales, les modèles prévoient que globalement les pluies diminuent tout en augmentant légèrement dans la bande équatoriale. Les zones actuellement en processus de **désertification** (Sahel, Maghreb) **vont voir cette dynamique s'accélérer**. Dans l'hémisphère Nord de l'Afrique, les zones sahéliennes que nous connaissons descendront et remplaceront les zones soudaniennes, qui elles mêmes pourraient atteindre et remplacer en partie les zones guinéennes. Les actuelles régions cultivées (soudaniennes au Nord et zambéziennes au Sud), quant à elles, vont migrer vers l'équateur et la cuvette congolaise au détriment des reliquats forestiers.

Les actuelles zones à maïs (Afrique Australe surtout) évolueront vers des régions à sorgho et à mil. Quant au maïs, il se rapprochera de l'équateur. Il en sera peut être de même pour le coton pluvial. Globalement, il y aura davantage de courts et intenses épisodes pluvieux, au détriment d'une saison des pluies proprement dite et plus ou moins continue. Il y aura **alternances d'orages et de périodes sèches** (5 à 10 jours). Le milieu édaphique pourra être sec en cours de culture, même en cas de montant pluviométrique annuel élevé.

Si les pratiques agricoles actuelles perdurent, beaucoup d'eau sera perdue n'ayant pas le temps de rentrer suffisamment dans les sols, entraînant pour les cultures des **stress hydriques** (d'autant plus que l'ETP sera plus élevée) s'ajoutant aux **stress thermiques**. Il y aura donc des baisses de rendements et, pour les sols, une érosion accélérée en amont, des inondations et engorgements en aval. **L'agriculture deviendra, encore davantage qu'aujourd'hui, une activité à risques**. L'Afrique, au dessus des parallèles 8° au Nord et au Sud de l'équateur, avec la « sahélistation » et la désertification, se consacrera sans doute davantage à l'élevage même si celui-ci souffrira de l'élévation des températures avec le développement des épizooties. Une grande incertitude : comment, avec chaleur et humidité périodique, évolueront les cycles des maladies et ravageurs (insectes ...) des cultures ? Il est à craindre que ces derniers prolifèreront, en particulier avec des attaques de **criquets migrants** qui pourraient se rapprocher de l'équateur aussi bien en Afrique septentrionale que méridionale. Les micro-climats avec atmosphère chargée d'humidité pourraient favoriser les bactéries, champignons et nématodes.

Par ailleurs, un tel climat sera favorable aux mauvaises herbes, spécialement les dicotylédones qui sont en C3.

## **5. Conséquences du changement climatique sur les sols**

La nature des sols agricoles et des « altérites » (épaisse « roche pourrie » en profondeur sur 8 à 40 mètres d'épaisseur, souvent le siège, en zone tropicale, d'une nappe phréatique dite « d'altérite »), quand ils ne sont pas encore en cours d'érosion et de dégradation, reflète généralement leurs conditions de formation. Si ces conditions de stabilité changent, **les sols sont en déséquilibre dit « morpho-phyto-climatique »** ou « agricole » (en cas de trop forte pression d'utilisation), ils perdent leur équilibre (à l'échelle humaine) et se dégradent plus ou moins rapidement.

Or, **les conséquences du changement climatique seront de nature déstabilisante**, plus particulièrement concernant les sols intertropicaux dont les types d'argiles (kaolinites) et les teneurs, généralement faibles, en matière organique en font des sols **moins « résilients »** à la dégradation que les sols tempérés. Ces évolutions seront en grande partie le fait de changements de régime des eaux, en surface, dans le sol cultivé et en profondeur.

Les répercussions envisagées du changement climatique - températures plus élevées avec **minéralisation plus rapide de la matière organique, pluies intenses et orageuses très érosives, baisses des nappes**, migrations de populations, plus fortes concentrations et pression sur les terres, disparition des jachères, **déforestation** – auront, du fait d'une forte perte de résilience et si les pratiques culturales et agraires ne s'adaptent pas, des effets très négatifs sur le capital sol. Sans vouloir généraliser, les processus, souvent corrélés, auxquels on peut s'attendre sont les suivants :

- ***Une déstabilisation de l'ensemble du manteau altéritique*** dans les régions à pentes assez fortes. Du fait de la dégradation du couvert végétal et du ruissellement qui prendra le pas sur l'infiltration, la nappe phréatique, habituellement contenue dans cette couverture d'altération, va baisser, provoquant un affouillement-fluage à la base des collines et de forts et profonds ravinements sur les altérites du sommet. Il faut s'attendre, avec le changement du climat et d'utilisation des terres, à une prolifération de **glissement de terrains et de coulées boueuses**. C'est une érosion généralement spectaculaire et parfois catastrophique. Dans certaines régions (Sud de la zone soudanienne, Nord de la zone zambézienne, Hauts-Plateaux, en Afrique, collines et montagnes du Sud-Est Asiatique) il faut aussi s'attendre, à terme, à des processus de « lavakisation » (du terme malgache « lavaka » - trou, caractéristique d'une érosion spectaculaire en grandes excavations, affectant les altérites des hauts-plateaux de Madagascar).

- ***Le développement d'un ruissellement en nappe balayant et décapant*** dans les zones peu accidentées à larges interfluves ou glacis. Cette érosion en nappe aboutit à des petits ravinements, tendant à entrer en coalescence. De tels **processus de désertification** sont actuellement observés dans de nombreuses zones sahéliennes, soudanaises et zambésiennes d'Afrique sub-saharienne (Nord Cameroun, Sud Mali, Burkina, Sénégal, Niger, Zambie, Zimbabwe, Mozambique ...). Ils s'étendront et affecteront des régions plus proches de l'équateur dont la végétation forestière ou la savane boisée disparaîtra, du fait de la pression agricole.

- ***Une minéralisation plus rapide de la matière organique***, du fait de l'augmentation des températures. Cela concernera la matière organique fraîche (résidus de récolte, ...) et, de façon moins rapide, la matière organique humifiée fixée sur les parties minérales du sol (argiles, limons, sables). **La matière organique, pilier de la fertilité des sols, et déjà faiblement pourvue dans les sols tropicaux actuels va donc disparaître un peu plus, si les pratiques et systèmes culturels ne changent pas.** Cela inclut bien sûr le travail du sol,

exposant celui-ci au balayage par les orages. La biodiversité, la structure, la porosité et la capacité d'infiltration des sols, c'est à dire finalement leur résilience, risquent de s'effondrer rapidement, amplifiant et généralisant en boucles rétroactives positives les processus de désertification déjà observés en Afrique mais qui pourraient démarrer en Asie du Sud-Est et en Amérique Latine.

- **La réduction probable de la biodiversité « utile »**, conséquence des stress hydriques, des micro-climats contrastés (engorgement – sécheresse) et du décapage des sols (processus en interactions), il faut s'attendre à une régression des micro-organismes, de la macro-faune (vers de terre ...), des termites endogés utiles.

Les nouvelles pratiques agricoles devront converger vers des couvertures quasi-permanentes pour recréer un micro-climat « sol – culture » tamponné, favorable à la **biodiversité**, elle-même **élément clé de la résilience du système**.

- **La baisse de la nappe phréatique contenue dans les épaisses altérations** (jusqu'à 40 mètres sous le sol « agricole »). Cette nappe, malgré éventuellement une pluviométrie annuelle plus élevée, mais « segmentée » en averses intenses qui ruisselleront davantage qu'elles s'infiltreront, ne sera plus que très peu alimentée. Or c'est généralement cette nappe (et non la nappe phréatique profonde du socle géologique sain, qui est différente de la première) qui **alimente les puits villageois et les bas-fonds**. Les niveaux des premiers vont sans doute baisser ou s'assécher. Les seconds, en aval des paysages, par disparition et manque d'eau peu profonde, ne pourront plus servir de support pour les cultures maraîchères, l'abreuvement et le pâturage des troupeaux ; sans parler des répercussions de la baisse des nappes sur les écoulements de base des cours d'eau drainant le paysage.

- **La salinisation des zones littorales basses**. Les grands deltas et plaines littorales seront progressivement touchés par la montée du niveau marin (prévision d'environ 90 cm pour la fin du 21<sup>e</sup> siècle), si toutefois l'alluvionnement progresse à une cadence inférieure (ce qui n'est pas sûr, compte tenu de l'érosion prévisible sur les grands bassins versants). Quand aux littoraux non deltaïques, ils subiront un sapement et une érosion côtière.

Du fait de l'**intrusion de l'eau salée dans les nappes**, les zones situées en amont immédiat des zones recouvertes, avec une évaporation augmentée, souffriront d'une **salinisation des sédiments et des sols** ou, dans les zones très pluvieuses, de leur évolution vers des sols tourbeux ou sulfatés acides difficiles à gérer ou inutilisables alors qu'ils étaient de bons sols avant une telle évolution. On pense ici aux grands deltas du Sud-Est Asiatique (Fleuve Rouge, Mékong, Irrawady, Plaines de Bangkok, Gange, plaines littorales orientales de Sumatra ...) mais aussi aux deltas africains (Nil, Sénégal, Niger, Gambie, Wabi Shebelle ...). Par ailleurs, les deltas asiatiques seront sans doute encore plus exposés aux **cyclones** qu'actuellement ce qui accroîtra leur **vulnérabilité aux destructions et aux inondations**. Les cultures irriguées et la riziculture en souffriront et reculeront. Concernant la riziculture irriguée, qui sera touchée par les maxima thermiques, elle régressera davantage, au profit des rizicultures pluviales, là où la pluviométrie le permet. Par ailleurs, une telle conversion sera bénéfique à l'atténuation de l'émission de CH<sub>4</sub>, forte composante de l'effet de serre.

## **6. Conséquences du changement climatique pour les agriculteurs et les systèmes agraires**

La population mondiale est de 6 milliards d'habitants en 2005. Elle est prévue de **9 milliards en 2050 et 15 milliards en 2100**. En Afrique : avec 0,8 milliard en 2005 dont 200 millions en

malnutrition (800 millions dans le monde), on atteindra **2 milliards** en 2050 et **5 milliards en 2100**. La production agricole devra suivre, d'autant plus que les villes vont gonfler énormément. Malgré famine, malnutritions et désertifications actuelles qui ne vont que s'amplifier, ce continent devra produire, en 2050, 3 fois ce qu'il produisait en 2005 et, en 2100, 7 fois plus !

Les chiffres donnent le vertige. Et ce n'est pas fini puisque **le changement climatique va sans doute multiplier par 2 ou 3 les surfaces désertifiées**. Les populations rurales, qui ne pourront pas toutes immigrer vers les pays « développés » du Nord, seront, d'une façon ou d'une autre, obligées de migrer vers les zones plus humides de la bande 0-8° de part et d'autre de l'équateur et en altitude, sur les hauts-plateaux (zone déjà surpeuplée). Ailleurs ce sera plutôt le domaine de l'élevage extensif. Les exploitations seront inférieures à 1 ha. Il y aura donc surpopulation (comparable à celle du Rwanda actuel), déforestation, extinction définitive des jachères, avec gros risques d'érosion généralisée, de malnutritions, de famines, de maladies, de conflits fonciers inter-ethniques et de guerres.

**Les systèmes agraires inter-tropicaux actuels sont d'une extrême vulnérabilité et possèdent une faible marge d'adaptation vis à vis du changement climatique.** On ne voit pas, en l'absence de changements dans ces systèmes, comment la sécurité alimentaire pourra être assurée d'ici à 2050, spécialement en Afrique (devront-ils compter sur les pays du Nord et le Brésil pour les nourrir ?) sans parler de la protection de l'environnement !

Quel que soit l'état critique de la situation, ce qui est certain, est que les agriculteurs devront pratiquer une **agriculture sédentarisée, intensifiée et durable**, donc **obligatoirement changer drastiquement de systèmes techniques**.

En Asie du Sud-Est, les agriculteurs des parties stérilisées des plaines et deltas rizicoles irrigués surpeuplés devront migrer plus au Nord et investir les zones « pluviales » collinaires et montagneuses, avec sans doute, ici aussi, déforestation généralisée. L'essartage, pratique encore répandue, ne sera plus possible. Les régions déjà déforestées devront être intensifiées avec des pratiques agricoles très différentes.

A côté de la malnutrition, **il est prévu que le changement climatique favorisera les maladies infectieuses et épidémies tropicales**, soit à transmission vectorielle (malaria, dengue ...), soit véhiculées par l'eau (dysenterie, typhoïde, choléra ...) ou par l'air (maladies respiratoires ...), sans parler du SIDA ... Ajoutées à la **malnutrition**, les maladies auront un **effet très négatif sur la force de travail** disponible pour les petites agricultures. Par ailleurs, la réduction prévue de la longueur des cycles culturels due à des températures accrues risque d'imposer un enchaînement trop rapide et épuisant des travaux agricoles. Enfin, compte tenu de l'aléa pluviométrique, des resemis seront fréquemment nécessaires obligeant encore l'agriculteur à un surplus de travail. **La productivité du travail sera encore bien plus faible qu'aujourd'hui**. Dans ces conditions, on ne voit pas comment intensifier l'agriculture. Il faudra trouver des systèmes techniques (en manuel, en attelé ou en motorisé) qui, tout en étant productifs, économes en intrants et durables pour les sols, **économisent les temps de travaux** et réduisent fortement leur pénibilité.

## **7. Réponse et adaptation des systèmes agraires : les SCV**

On a vu que les agriculteurs du Sud, s'ils veulent s'adapter au changement climatique et faire face à une **demande alimentaire croissante**, n'ont pas d'autre choix que de changer de

systèmes techniques, systèmes de culture et systèmes agraires. Les systèmes actuels, déjà peu productifs et non durables dans les situations climatiques que nous connaissons, le seront encore moins au cours du 21<sup>ème</sup> siècle. Ceci, compte tenu de la **démographie** et de la **pression sur la terre**, mais aussi sans doute, dans l'hypothèse probable de l'extension de la désertification, de la concentration régionale sur moins de superficie (bande de plus basse latitude ou régions d'altitude) des cultures vivrières et commerciales. D'autant plus qu'elles seront pratiquées par des agriculteurs peu performants car mal nourris et souvent malades.

### **7.1. Amortissement des aléas climatiques**

En régions intertropicales et méditerranéennes, ce qu'il faut rechercher avant tout, est que les nouveaux systèmes aient **une fonction d'amortissement des a-coups climatiques et des processus érosifs**.

La variabilité du climat – intra saison des pluies et interannuelle – avec des pluies intenses pouvant alterner avec des phases de sécheresse en cours de campagne sera le premier défi à relever du changement climatique qui amplifiera énormément cette variabilité au cours des années à venir. L'**effet tampon** devra amortir les variations thermiques, couper l'évaporation, favoriser ainsi la conservation de l'eau (éviter le décrochement hydrique des systèmes racinaires) et, bien entendu, stopper l'agressivité érosive des pluies violentes à la surface du sol. Il s'agit de créer au niveau du système sol-culture, un micro-environnement relativement stable et totalement protégé, **favorisant l'infiltration et le stockage de l'eau ainsi que le retour d'une biodiversité utile**.

Pour que cet objectif ambitieux de recouvrement et de renforcement de résilience soit possible il n'y a qu'une voie possible : celle qui consiste à **protéger le terrain cultivé en permanence avec une couverture végétale** (morte ou vivante) c'est à dire un mulch permanent et, par conséquent, **ne jamais travailler le sol**.

L'énoncé en est aisé, la mise en application et les modalités spécifiques selon les milieux, le sont moins. Il ne s'agit en aucun cas de « simples » techniques. Au point de concerner non seulement la culture, mais le système de culture, le système agraire et parfois même au-delà.

Il s'agit de la voie dite « **SCV** » : **Systèmes de culture en semis direct sur Couverture Végétale**, que l'on appelle aussi « **agriculture de conservation** ». On parle de « semis direct » car le sol n'est pas travaillé avant de semer. Sous les tropiques, ces systèmes ont commencé à être mis au point et développés à partir du début des années 90, par le CIRAD, avec l'impulsion et la créativité permanente de Lucien Séguy (CIRAD) depuis le Brésil. Le semis direct sur mulch de résidus végétaux était déjà pratiqué auparavant dans les régions à climat tempéré (USA, Australie) ou sub-tropical (Sud du Brésil) en grande agriculture mécanisée. Mais rien n'avait été fait pour les climats inter-tropicaux où **la matière organique fraîche (mulch) se minéralise souvent trop vite** pour couvrir le sol entre la récolte et le début de la culture suivante.

Rien n'avait été fait également pour les petits agriculteurs ayant 0,5 à 20 hectares et travaillant le sol manuellement ou en traction animale.

Depuis 1990, **de multiples systèmes SCV ont été créés dans des conditions agro-socio-économiques et écologiques diverses** et avec des options productives différentes. Le

référentiel est là et la diffusion, forcément lente pour un tel changement de paradigme, s'initie dans divers pays : Madagascar, Laos, Vietnam, Cambodge, Gabon, Mali ...

### **7.2. Rôles sur la productivité et la pénibilité du travail**

Une deuxième exigence pour une meilleure adaptation des petits agriculteurs du 21<sup>ème</sup> siècle : **augmenter la productivité et diminuer la pénibilité du travail** tout en diminuant les temps de travaux. Ceci pour tenir compte de la probable dégradation de la santé (maladies, faim) des populations africaines, d'Asie du Sud-Est et du Sud ainsi que, peut être dans une moindre mesure, d'Amérique Latine.

Les économies de temps de travaux concerneront essentiellement les trois postes consommateurs traditionnels (en dehors de la récolte) : **préparation du terrain, semis, sarclage**. Le travail du sol sera purement et simplement supprimé ; sous mulch le semis pourra être précoce après 40-50 même de pluie sans, en principe, devoir être refait en cas de petite sécheresse postérieure puisqu'il y aura peu d'évaporation, ou en cas d'averse orageuse car la surface sera protégée par le même mulch. Les sarclages manuels seront réduits du fait du couvert végétal avec ses effets d'ombrage ou/et par des effets allélopathiques entre les lignes de semis, réduisant la germination des adventices. Bien entendu ces économies de travail seront plus ou moins importantes selon que les pratiques culturales « SCV » seront bien ou moins bien réalisées et donc que les fonctions attendues du couvert végétal seront permises ou non. En cas de pâturage par les troupeaux itinérants il faudra que l'agriculteur gère son mulch au profit, à la fois des SCV et de l'élevage. C'est plus ou moins facile selon les régions, les régimes fonciers, le jeu des acteurs ...

### **7.3. Amélioration de la fertilité**

Troisième impératif de durabilité : **l'entretien et l'amélioration de la fertilité des sols**.

Les jachères et agricultures sur brûlis n'étant plus possibles et les exploitations étant de petite taille, interdisant d'immobiliser des surfaces productives, l'entretien de la fertilité, avec peu ou sans intrants chimiques, devra être assuré par la voie agronomique intégrée. La suppression de la jachère ne devra pas supprimer sa fonction et là encore, on fera appel aux SCV. Les plantes de couverture et/ou mulch de résidus de récolte, alliées à des rotations de culture, auront ce rôle de permettre l'entretien de la fertilité tout en cultivant la parcelle donc **sans surface improductive sur la ferme**. Cette fertilité sera renforcée grâce à divers processus physiques, oeuvrant en interactions, en surface, dans le mulch et sous le mulch :

. Amortissement des agressions thermiques, pluviométriques et mécaniques : suppression de l'érosion et entrée de l'eau, permettant aux processus biologiques, hydriques et chimiques sous-jacents de fonctionner dans la durée ;

. **Mécanismes biologiques de structuration du sol et de construction de porosités** sur une profondeur suffisante avec porosité biologique (vers de terre, fourmis, termites, larves ...) et racinaire, participation de plusieurs systèmes de racines oeuvrant, de façon complémentaire, simultanément ou en succession. On a là typiquement des mécanismes à boucles de rétroactions, d'abord positives (les effets boostant les causes qui renforcent les effets) puis régulatrice : rentrée de l'eau et des racines, recyclage (remontée) des éléments minéraux avant qu'ils ne soient lessivés, structuration, enrichissement en matière organique, activité de la macrofaune, etc ... Le mulch de surface, régulateur, permet à l'écosystème SCV (bio-

réacteur) de fonctionner dans la durée, sans a-coups destructeurs ou nocifs pour les cultures et le sol. Le système, ainsi rendu résilient, résiste aux perturbations extérieures.

La couverture permanente du sol (résidus de récolte et plantes de couverture) ont un important rôle de recyclage des éléments minéraux de la profondeur vers la surface. Rien n'est perdu en lessivage (ni en ruissellement). **Les SCV sont donc à même d'économiser les engrais** qui seront rares et coûteux, et qui sont, par ailleurs émetteurs de N<sub>2</sub>O, puissant gaz à effet de serre. La construction d'une telle fertilité durable se traduira par l'obtention de productions supérieures à celles des situations antérieures, et surtout, avec **une faible variabilité d'une année à une autre**. Les risques dus aux aléas climatiques étant amortis, l'agriculteur qui produit très peu ou rien en années « exceptionnelles » (elles le seront toutes !), aura néanmoins une production correcte.

Il devra cependant bien contrôler ses mauvaises herbes et autres ennemis des cultures (maladies et insectes). En effet, les SCV, avec leur biomasse et leur micro-environnement, sont favorables à la biodiversité dont l'agriculteur ne devra conserver que celle qui est utile. Une biodiversité nuisible peut éventuellement apparaître à certaines périodes. Seule une lutte intégrée (IPM), incluant **diversification et rotations des cultures**, avec peu de pesticides car trop coûteux, pourra obtenir une régression à un niveau admissible d'infestation. La gamme d'avantages décrits précédemment (en particulier l'économie sur les temps de travaux) obtenus avec les SCV justifient une vigilance minimale et acceptable par l'agriculteur. Un autre avantage que l'on peut rajouter aux SCV est qu'**ils ont tendance à gommer la variabilité des cultures dans les parcelles**. L'environnement « SCV », à régime hydrique tamponné, évite les contrastes et les irrégularités spatiales si fréquents en gestion traditionnelle.

## **8. Les SCV : leurs « externalités » positives**

### **8.1. Augmentation du niveau de vie et pluriactivité des agriculteurs**

Le réchauffement climatique, sans changements agricoles majeurs au Sud, entraînera une **extrême pauvreté, menaçant la survie des agriculteurs** bien plus que ce qu'on observe dans les conditions actuelles, déjà défavorables. L'adoption des systèmes SCV, comme on l'a vu, tirera vers le haut les agriculteurs, aux niveaux de la productivité et de la durabilité socio-économique, avec en particulier une **diminution des temps de travaux**. Ça ne se fera pas tout de suite. Il faudra bien 50 ans pour que le développement des SCV chez les petits agriculteurs atteigne une ampleur significative, en particulier pour que les conditions structurelles et institutionnelles des pays (environnement rural, avec ses services) permettent et favorisent cette évolution. Dans ces conditions, les agriculteurs, de leur position actuelle de survie, évolueront vers de vrais acteurs économiques et sortiront du cercle vicieux de la misère. **Le temps libéré permettra d'autres activités**, relatives ou non au secteur agricole : gestion des ressources communautaires du territoire (eaux, forêts, pâturage, chasse ...), commerce, artisanat, accueil des touristes, services d'appui au développement local, etc ... Le niveau de vie s'élèvera avec accès aux biens et services (école, santé, crédit).

### **8.2. Diminution du « coût » du développement pour le pays**

Les SCV demandent beaucoup de formation, avec des agents compétents et motivés. Les SCV sont des systèmes techniques qui doivent être intériorisés non seulement par les acteurs du monde rural mais par les institutions et les politiques. Par contre, **les SCV ne demandent pas**

**d'aménagements**, ni au niveau parcelles, ni aux niveaux terroirs ou bassins versants (CES, DRS, lignes de pierres, agroforesterie ...). Autrement dit, il n'y aura plus de coûts récurrents de réalisation et d'entretiens. C'est appréciable sachant la part de budget pris habituellement par ces coûts dans le développement rural. Par ailleurs, les SCV, au niveau bassin, ont pour effet de tamponner et régulariser l'infiltration et le ruissellement des eaux. Conséquences, les « ouvrages » (routes, barrages, casiers rizicoles ...) seront protégés des destructions et envasements ce qui constituera **une importante économie pour le pays**.

### **8.3. Régularisation des eaux dans les paysages**

Lorsque les SCV seront généralisés à l'échelle des bassins versants et des terroirs, les eaux pluviales s'infiltreront au lieu de ruisseler brutalement. On enregistrera de nombreuses externalités positives sur les eaux de surface et les eaux profondes.

#### *. L'arrêt de l'érosion*

Les sols, à propriétés physiques et biologiques très améliorées en SCV et n'étant plus découverts, la végétation naturelle se restaurant et les plages nues de dégradation (feux, passages des troupeaux...) se revégétalisant, une partie très importante des eaux de pluie sera absorbée. Le ruissellement, fortement diminué, sera étalé dans le temps, à **actions retardées** et **sans capacité érosive**. L'érosion, source importante de désertification et de dégradation des sols, avec ses actions cumulatives au niveau du paysage, sera **supprimée**. Un impact très important concernera les retenues et barrages en aval qui ne **seront plus envasés ou ensablés**.

#### *. La prévention des inondations*

Pour les raisons précédentes (ruissellement faible, lent, retardé et dispersé sur les bassins versants), les parties aval des paysages, dépressions, cuvettes, bas-fonds et parties inférieures des glacis, **ne seront plus inondés**. Les terroirs et zones habitées, en général à bonne capacité potentielle productive en cultures et en pâturages (vertisols, sols, hydromorphes de bas-fond, ...) seront protégés et ne seront plus condamnés par les brutales arrivées d'eau.

#### *. La remontée des nappes phréatiques et l'alimentation des cours d'eau*

Il est évident que l'augmentation de l'infiltration au niveau général des bassins versants aura des conséquences très positives sur la remontée sensible (un à plusieurs mètres) des nappes phréatiques contenues dans l'épais manteau d'altération qui supporte les sols des régions inter-tropicales. Les bénéfices se feront sentir à plusieurs niveaux :

- **Les puits des villages**, qui seront moins profonds et moins susceptibles de s'assécher.
- L'alimentation plus régulière du **régime hydrologique des bas-fonds** propice à la riziculture ainsi qu'au maraîchage de contre-saison, et à l'abreuvement des animaux.
- **Les franges plus ou moins larges (50 à 300 mètres) en périphérie des bas-fonds** et dépressions où la nappe, devenue peu profonde, pourra alimenter (en partie) des « cultures sur nappe » telle que le riz et les tubercules (igname, manioc, patate...) qui tamponneront l'irrégularité des pluies.
- **Les écoulements des cours d'eau régularisés et étalés dans l'année.**

### **8.4. Fixation de l'agriculture, protection des forêts résiduelles et de leur biodiversité**

En régions intertropicales, les agricultures paysannes (manuelles ou faiblement mécanisées) tentent encore souvent de reconstituer leur fertilité en pratiquant **l'agriculture itinérante sur brûlis de la forêt**. Ces pratiques, autrefois « durables », qui laissaient au moins 20 ans aux espèces forestières pour se reconstituer, tendent aujourd'hui à la disparition de la jachère **sans reconstitution forestière possible**, ce qui a un impact important sur l'érosion de la diversité forestière et animale associée. D'année en année cet écosystème disparaît un peu plus. Les plages intactes (Madagascar-Est, Amazonie, Bassin du Congo, Asie du Sud-Est, Papouasie - Nouvelle Guinée...) se réduisent de plus en plus. Avec la démographie et la pression agricole qui augmentent, **il n'en restera rien dans 50 ans si les pratiquent ne changent pas**.

L'agriculture de conservation, les SCV en particulier, permettent une **sédentarisation durable des terroirs** et la réduction de l'itinérance sur brûlis de forêt. Les forêts naturelles tropicales avec leur biodiversité, végétale et animale, peuvent donc être en partie protégées par le recours aux SCV. Sur un total mondial en 2005 d'environ de 2 milliards de km<sup>2</sup> de forêts tropicales on estime à 20 millions d'hectares (1%) la déforestation annuelle dont 5,4 millions (27% de ces 20 millions) seraient le fait de l'agriculture sur brûlis (le reste étant dû aux **exploitations forestières**). Si cette agriculture était « fixée », non seulement ces étendues, avec leur biodiversité, au lieu d'être brûlées tous les ans, serait conservées, mais les jachères se transformeraient peu à peu en forêt régénérée, et donc la superficie forestière mondiale diminuerait moins vite. Contrôler les exploitations forestières (15 millions d'ha annuels de plus) dans les forêts naturelles est difficile mais théoriquement possible. **Par contre interdire le "slash-and-burn" sans proposer d'alternatives aux agriculteurs est inapplicable** à moins de migrations massives et forcées vers les plaines, incapables de les absorber. L'agriculture à base de SCV et d'agroforesterie est donc la seule voie possible pour sédentariser les terroirs et protéger les forêts naturelles. Les SCV permettent la reconstitution et l'amélioration de leur propre fertilité en même temps qu'ils produisent et au même endroit, sans que les agriculteurs aient besoin de défricher plus loin. Par ailleurs, rappelons que la protection des forêts contre le « slash-and-burn » signifierait, annuellement, autant de carbone en moins dans l'atmosphère ( $1,7 \cdot 10^9$  t/an). C'est une des contributions théoriques des SCV à la **limitation de l'effet de serre** (sans parler de l'augmentation de carbone dans les sols sous SCV, de 0,5 à 3 t/ha/an).

### **8.5. SCV et agrobiodiversité**

Avec les OGM, et avec la spécialisation et l'uniformisation de l'agriculture « conventionnelle » intensive dans les pays développés (et certains pays asiatiques de la « Révolution verte ») les bases génétiques, réservoir de biodiversité des plantes cultivées, rétrécissent de façon alarmante et de nombreux **gènes potentiellement utiles** et inestimables car adaptés à divers environnements, disparaissent. C'est dramatique alors que le réchauffement climatique va induire l'évolution vers de nombreux milieux difficiles auxquels il faudra s'adapter. **Nous avons besoin d'un maximum de biodiversité pour y faire face**.

Au niveau variétal, les SCV permettent de mieux exploiter les **synergies génotype x environnement**. Beaucoup de variétés considérées comme sensibles à certaines pestes en conditions d'agriculture « travaillée » et intensive, donc éliminées par la sélection malgré des avantages par ailleurs (rusticité, qualité, faible exigence en engrais...), s'avèrent en réalité beaucoup mieux protégées ou plus tolérantes dans certaines conditions de micro-environnement créées par les SCV pour lesquelles elles sont mieux adaptées.

En SCV une grande quantité de variétés sont donc sans doute à réhabiliter et à exploiter génétiquement, ce qui, en soi, concourt à une augmentation de biodiversité. Il en est de

même pour la diversité des plantes de couvertures (légumineuses, graminées, crucifères...), le plus souvent **pluri-fonctionnelles**. Les exploitations conduites en SCV à faibles niveaux d'intrants, qui parient davantage sur **l'agronomie et la diversification** que sur la **chimie et la monoculture** sont donc des systèmes qui exploitent et créent de la diversité biologique. Or on sait que **la biodiversité est une des conditions de la résilience**. Au niveau racinaire et proche racinaire, la diversité des espèces de cultures et de couvertures engendre, d'un système à un autre, une grande variété de micro-organismes aidant la nutrition des plantes (bactéries symbiotiques fixatrices d'azote, mycorhizes...) **permettant une réduction significative d'intrants**, d'autant plus que ces mêmes racines remontent et recyclent les éléments en voie de lixiviation en profondeur. Pour schématiser, les SCV fonctionnent et s'améliorent en « cercle vertueux » : ils créent de la fertilité qui crée de la biodiversité qui crée à son tour davantage de fertilité.

### **8.6. SCV et biodiversité des aires protégées**

Une autre situation où les SCV peuvent avoir un impact, indirect, sur la biodiversité de la faune sauvage cette fois, est leur intégration dans les agricultures **des zones périphériques des Aires protégées** riches en grande faune. Ces zones sont poreuses à la fois pour la faune sauvage et pour l'agriculture, qui est souvent **itinérante sur brûlis**. La cohabitation y est généralement **conflictuelle** c'est-à-dire que les gros animaux détruisent les cultures, obligeant les agriculteurs à les tuer, et qu'inversement l'agriculture détruit l'environnement et les habitats de cette faune, sans parler du braconnage. Avec le changement climatique, cette situation risque d'empirer avec la disparition de cette riche biodiversité.

De telles situations sont très nombreuses, spécialement en Afrique et en Asie, où les aires protégées, avec leurs zones périphériques seront de plus en plus menacées. Il en est de même des zones dites (WWF) « **Aires d'Intérêt Biologique** » (AIB) qui, sans être officiellement « protégées », hébergent encore ¼ de la grande faune emblématique de l'Afrique (éléphants, rhinocéros blancs, girafes...). En Afrique Australe, compte tenu de la pression démographique et donc de la pression sur les terres, le WWF a compris qu'on n'y arriverait pas si, en même temps que la faune, on ne s'intéressait pas à la **sédentarisation et à la durabilité des agricultures** de ces éco-régions de « Miombo », dites souvent « marginales » relativement à la piètre qualité de leurs sols, à leur faible pluviométrie, et au faible intérêt qu'y prêtent les « autorités », agences de développement et bailleurs de fonds. Il s'agit, dans ces territoires, **d'intégrer agriculture sur couverture (souvent fourragère), élevage avec maîtrise des feux de brousse et gestion de la faune sauvage**. Il y a là un enjeu considérable concernant les régions australes, refuges de grande faune (d'Angola au Mozambique, de Tanzanie à l'Afrique du Sud en passant par le Zimbabwe, le Malawi, la Zambie et le Botswana).

Les SCV, de par leur fonction « fixatrice » des terroirs agricoles, sont supposés aider à la résolution des conflits entre « **réservoirs de biodiversité** » et « **réservoirs agricoles** », entre production (agricole) et conservation (de la biodiversité).

## **9. Les SCV : leur contribution à la séquestration du carbone et à l'atténuation du changement climatique**

**A l'échelle planétaire, les sols séquestrent davantage de carbone (1550.10<sup>9</sup> t) que l'atmosphère (750.10<sup>9</sup> t) et la biomasse végétale (550.10<sup>9</sup> t) réunies**

En dehors des sols boréaux, gelés (permafrost), ce sont les sols sous forêt naturelle qui contiennent la plus forte proportion de carbone.

**La déforestation tropicale de type « défriche-brûlis »** a un double effet négatif sur l'augmentation de l'effet de serre :

- d'abord par la **forte libération de carbone par combustion de la biomasse** (100 à 200 t/ha de carbone) lors du brûlis,
- puis par **une baisse régulière du taux de matière organique, donc de carbone** (celui-ci partant dans l'atmosphère) des anciens sols forestiers transformés en sols cultivés.

Cette déforestation tropicale, source majeure d'émission de carbone après la combustion de l'énergie fossile, participe donc **doublement** à l'augmentation de l'effet de serre. Au train actuel, en 2050 il n'y aura plus de forêts.

Par ailleurs (en dehors des zones forestières), les « sols agricoles », suivant leur mode de gestion, se comportent tantôt comme des « **puits** », tantôt (le plus souvent) comme des « **sources** » vis à vis du carbone atmosphérique.

Dans leur mode d'utilisation actuelle le plus répandu, basé sur le labour et le travail mécanique, aussi bien en zone tropicale qu'en zone tempérée, la « respiration » (minéralisation de la matière organique et libération de CO<sub>2</sub>) excessive des sols agricoles constitue **une source très importante d'émission de carbone**, participant dans de fortes proportions à l'effet de serre.

La course à la productivité dans les pays du Nord et la course à la terre (donc à la déforestation) et à la satisfaction du court terme, consécutive à la pauvreté, dans les pays du Sud, augmentent toujours plus le taux d'émission de carbone à partir des sols, avec les techniques actuelles..

Afin d'être plus concrets, essayons d'évaluer ce bilan pour la zone intertropicale. Avec les quelques chiffres et approximations dont nous disposons, puis les extrapolations globales qu'on se permet d'en tirer, se dégagent quelques ordres de grandeur de la **contribution du monde intertropical au bilan de carbone** (via le CO<sub>2</sub> seulement) qui alimente l'atmosphère. Si l'on calcule grossièrement la contribution des terres cultivées (500 millions d'ha) et de la déforestation tropicales (20 millions d'ha/an) à l'émission annuelle de carbone on arrive à un chiffre de l'ordre de **3.10<sup>9</sup> tonnes/an** : 1,70.10<sup>9</sup> pour la déforestation, 0,5.10<sup>9</sup> pour les pratiques culturales et 0,8.10<sup>9</sup> pour l'émission consécutive à l'érosion des terres (l'érosion « évacue » 5,7.10<sup>9</sup> t/an de carbone dont 0,8.10<sup>9</sup> dans l'atmosphère).

**Le domaine intertropical, hors utilisation d'énergie fossile (pétrole), représente donc environ 43 % de l'émission annuelle de carbone (7.10<sup>9</sup> t/an) du domaine terrestre planétaire.**

Si, par ailleurs, et toujours « à la louche » on considère (taux discutable, bien sûr) que 30 % de la déforestation tropicale (soit **0,6.10<sup>9</sup> t/an**) est la conséquence directe des pratiques agricoles de « défriche-brûlis », on en conclut que **l'agriculture intertropicale est responsable de l'émission annuelle de 1,9.10<sup>9</sup> t de carbone, soit 27 % de l'émission annuelle du domaine terrestre planétaire (7.10<sup>9</sup> t)**. A partir de ces chiffres, et sachant qu'un

gain net est la somme de ce qui ne part plus avec les nouvelles pratiques et de ce qui est directement séquestré, tentons une autre estimation, cette fois autant utopique que grossière. Si l'ensemble de l'agriculture intertropicale était pratiquée en SCV, et en tenant compte de la réduction de la déforestation, on aurait une séquestration de carbone de **1,9.10<sup>9</sup> t/an** (qui partaient auparavant dans l'atmosphère) auxquels s'ajoutent **la séquestration directe par les sols sous SCV**. Or les sols tropicaux (cf. travaux du CIRAD, avec **L. Séguy**), avec des pratiques de SCV, fixeraient en moyenne (sur 20 cm) **2 t/ha/an de carbone sur 10 à 15 ans**. Sur 500 millions d'hectares cultivés, on aboutit à une séquestration de **1.10<sup>9</sup> t/an**.

**Le changement drastique des pratiques agricoles, du « conventionnel » aux SCV, conduirait, donc, directement ou indirectement (avec la déforestation ainsi évitée) à la séquestration de 2,9.10<sup>9</sup> t/an de carbone, ce qui compenserait cette fois 43 % de l'émission annuelle actuelle du domaine terrestre planétaire, consommation d'énergie fossile (5,4.10<sup>9</sup> t) comprise.**

Ce serait considérable.

Pour revenir à la séquestration de carbone dans les sols agricoles gérés en SCV, les chiffres de séquestration pourraient varier **entre 0,5 et 3 t/ha/an**, en fonction bien sûr des sols et du climat, mais aussi des modalités du semis direct. La balise inférieure serait le semis direct sur sol présentant quelques résidus de récolte mais sans biomasse additionnelle de couverture en interculture. La balise supérieure serait constituée par les « vrais » SCV, les plus efficaces, avec des **biomasses graminéennes d'interculture à puissants enracinements** (*Brachiaria*, *Eleusine*, *Cynodon tifton*, sorgho ...) ou comprenant des pâturages de plusieurs années dans les rotations. Outre la faible précision des évaluations précédentes, beaucoup d'incertitudes demeurent cependant, entre autres :

- on mesure généralement les stocks sur 0-5, 5-10 et 10-20 cm de profondeur. Or les systèmes SCV à forte et profonde biomasse racinaire « recycleuse » peuvent produire, dans certains sols (ferrallitiques), **du carbone jusqu'à au moins 2 m de profondeur**. Cette contribution n'est pas encore vraiment quantifiée. Dans certains cas (puissants enracinements graminéens) les 3 t/ha/an doivent pouvoir être dépassés.
- **la durée et le montant maximum de la séquestration, suivant le statut de départ du sol**, dont on ne sait s'il est proche ou loin de son équilibre, sont mal connus. En combien d'années l'équilibre est atteint c'est à dire quand l'augmentation équivaut-elle à la minéralisation ? Il semble (**L. Séguy**) que certains SCV permettent de dépasser la teneur des sols « témoins » sous forêt. En régions chaudes l'accroissement du taux de C semble être relativement rapide : 10 à 15 ans ? (comparés à 30 à 40 ans pour les sols tempérés ?).
- en cas d'arrêt des SCV et de retour au travail du sol, **comment se déroule, temporellement et quantitativement, le déstockage** ? Aussi vite, moins vite ou plus vite (probablement) que le stockage ?
- ces questions sont liées à **la nature de la matière organique stockée** (stade d'humification) et à son **degré de protection par les matières minérales**. Cela dépend donc des sols.
- sous SCV, on sait peu de choses concernant la **production de protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O)** lors des processus de nitrification-dénitrification, en particulier avec des légumineuses. Cet aspect est important car, à volume égal, **l'effet de serre du N<sub>2</sub>O est 200 à 300 fois celui du CO<sub>2</sub>**.

- une incertitude plus globale concerne **les limites « spatio-temporelles » du système considéré autour du système SCV et de son sol**. Le bilan positif du C au niveau profil de sol, ou parcellaire, le reste-t-il aussi si on considère les conséquences directes et indirectes de ces changements de pratique agricole, sur les systèmes « englobants » : nouveau système de production, consommation d'herbicides, économie de fuel, mode de vie induit et autres activités conduisant éventuellement l'agriculteur à consommer plus d'énergie, effets sur l'environnement de la ferme, du terroir, de la région ... A chaque échelle, le calcul du bilan de C sera différent, avec des composantes différentes.

En conclusion, le petit agriculteur pauvre du Sud (mais aussi le « gros » des Cerrados du Brésil) pourrait participer au marché mondial du carbone et percevoir des « **primes** » sur ses « **bonnes pratiques agricoles** » (on parle de 10 à 15 US \$ par tonne de carbone) qui pourraient être financées par l'aide au développement, multilatérale ou bilatérale, publique ou privée, par exemple les industries polluantes des états ayant ratifié le protocole de Kyoto et qui auraient besoin d'**acheter des « droits à polluer »** au Sud. Dans le cadre du Mécanisme de Développement Propre (MDP), l'agriculteur a quelque chose à « offrir » à la communauté, en terme de réduction d'émission de GES. Il serait dans une dynamique « win-win » car doublement ou triplement gagnant. En effet, en même temps que le bénéfice de la prime, cet agriculteur réduirait ses temps de travaux (ainsi que leur pénibilité) et ses coûts de production. Il amortirait les aléas climatiques sur ses productions en régularisant les rendements. Par ailleurs, il gagnerait sur la fertilité, améliorée, et l'arrêt de l'érosion de son patrimoine sol. Le problème de la **mesure et du contrôle peu coûteux du bilan de carbone** sur une ferme est cependant posé. Le constat de « bonnes pratiques agricoles », préalablement « étalonnées », ne suffirait-il pas pour autoriser les primes ? Par ailleurs, la communauté gagnerait aussi par la protection de la biodiversité (forêts épargnées), la protection de la qualité des eaux continentales et la protection des infrastructures situées en aval des bassins versants par réduction et étalement des ruissellements.

## 10. Conclusions

Le réchauffement et la menace climatique affecteront les pays et les populations rurales les plus vulnérables. En matière agricole, ce sont essentiellement les pays intertropicaux, en voie de développement, qui seront les premiers touchés. Tout particulièrement l'Afrique, mais aussi l'Asie du Sud et du Sud-Est, ainsi que l'Amérique Latine en tout cas celle des petits agriculteurs pauvres. Les processus de désertification vont s'amplifier en Afrique et apparaître en Asie du Sud-Est. Les températures maxima vont augmenter, la saison des cultures va se segmenter en épisodes pluvieux séparés par des périodes de sécheresses, les événements climatiques extrêmes vont se développer et peut être devenir la règle : orages de forte intensité, cyclones sur certaines façades océaniques, températures extrêmes, sécheresses plus longues, périodes de grosses chaleurs, etc ... **Les sols et les cultures vont se trouver en déséquilibre** du fait de ces nouvelles données climatiques : érosion amplifiée sous toutes ses formes, stress hydriques, envahissement par certaines adventices, températures excessives aux phases-clé de développement des plantes cultivées, entraînant échaudages, maladies, pertes de rendement ...

Les zones cultivées vont se rapprocher de l'Equateur et des plateaux d'altitude pour des raisons hydriques et d'avancée de la désertification. L'**énorme démographie du 21<sup>e</sup> siècle** va entraîner une concentration dans certaines zones restant encore cultivables, avec **très forte pression sur la terre** et naturellement **érosion toujours plus forte, perte irrémédiable de**

**fertilité des sols et déforestation** jusqu'en phase finale, amplifiant encore l'effet de serre. Ces migrations seront sources de conflits dans les zones déjà fortement peuplées.

Les agriculteurs eux mêmes seront touchés par une **recrudescence des maladies et de la malnutrition** (dues à l'augmentation très forte de l'insécurité alimentaire) avec **impact sur la productivité du travail** qui va fortement diminuer. Sans parler des zones littorales deltaïques (Asie du Sud-Est, Afrique) qui seront envahies, en aval par la **montée du niveau marin** (près de 1 mètre) et, plus en amont, par les **processus de salinisation ou de dégradation en sols sulfatés acides**. Ces sols, aujourd'hui parmi les meilleurs et les plus productifs du monde tropical, seront rendus en grande partie inutilisables.

Parmi les conséquences sur les cultures, **la riziculture pourrait être spécialement touchée** par cette évolution négative : du fait des températures maxima qui, pouvant dépasser 35°C, seront très préjudiciables à cette culture. Mais aussi du fait de la diminution et de la dégradation des rizicultures irriguées des grandes plaines. **Le riz pluvial aura alors un développement important dans les zones hautes et montagneuses plus fraîches**. Mais la résilience et la durabilité de ces milieux seront fortement menacées si les pratiques culturales sont inadaptées.

Face à ces graves menaces qui se concrétiseront sans doute de façon catastrophique **si rien n'est fait au niveau du changement des systèmes de culture et des systèmes agraires**, la recherche-développement peut proposer de nouvelles façons de cultiver.

Ces changements de pratiques et de systèmes s'appellent les « **SCV** » (Systèmes de Culture en semis direct sur Couverture Végétale). Ces SCV sont testés, diversifiés et développés avec succès, depuis une quinzaine d'années en diverses zones intertropicales et méditerranéennes représentant toutes les écologies.

Les principaux mérites des SCV face aux effets négatifs et aux catastrophes annoncés sont :

- leur **résilience**, c'est à dire leurs facultés d'amortissement face aux agressions climatiques et érosives donc aux processus de désertification, principales conséquences du réchauffement climatique,
- leur rôle d'entretien et d'**amélioration durable de la fertilité des sols**,
- l'**économie de travail** qu'ils autorisent,
- la **productivité régulière** et la **diversification permises des cultures**, avec gains économiques, augmentation du niveau de vie des agriculteurs, pluriactivité et participation réelle au développement économique régional et national,
- l'**absence de coût d'aménagements** donc de coûts spécifiques de développement (sauf en formation, qui devra être soigneusement entretenue),
- d'**innombrables externalités positives** aux niveaux terroir, région, pays concernant les sols, les eaux, les ouvrages, le développement, etc ... ,
- la contribution forte et « gratuite » (mais dont l'agriculteur pourrait être récompensé et subventionné, comme acteur du MDP) à l'**atténuation du changement climatique**, par l'évolution des terroirs et de leurs sols en **puits de carbone tout à fait significatifs**.

Les enjeux mondiaux sont tels qu'au cours du 21<sup>e</sup> siècle la généralisation du développement des SCV au niveau de l'ensemble du monde tropical (mais aussi tempéré) paraît **une voie non seulement crédible, mais, sans doute, indispensable**. A l'heure actuelle nous ne voyons pas

d'autres systèmes ayant les avantages (sans inconvénients, sinon un gros investissement en formation) des SCV.

Le rythme d'adoption des SCV en petite agriculture, en tant que nouveau paradigme, sera relativement lent et se fera à l'échelle de une ou deux générations. Les effets néfastes du changement climatique apparaîtront avec un rythme comparable. Raison majeure pour accélérer la diffusion là où les SCV ont déjà été implantés et pour commencer le plus tôt possible ailleurs.

Dossier préparé par Michel Raunet  
CIRAD Novembre 2005

[Raunet@Cirad.fr](mailto:Raunet@Cirad.fr)

**Exemple : Séquestration du carbone - travaux de L. Séguy et al au Brésil - 2005.**

**FIG 47**

| <b>STOCK<sup>1</sup> DE CARBONE C (en tonne/ha) ET FRACTIONS GRANULOMÉTRIQUES (2000<sub>μm</sub> à &lt;53<sub>μm</sub>) DANS L'HORIZON 0-20 cm (0-10 et 10-20cm), EN FONCTION DU SYSTÈME DE CULTURE APRÈS 3 ANS DE FONCTIONNEMENT DE SYSTÈMES TRÈS CONTRASTÉS</b> |                     |             |                |             |                        |             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------|----------------|-------------|------------------------|-------------|
| Écologie des cerrados humides d'altitude (600-700m) du Sud-Est Mato Grosso Fazenda Mourão - Campo Verde/MT - 2005                                                                                                                                                 |                     |             |                |             |                        |             |
| Horizon<br>x<br>Fractions<br>Granulométriques                                                                                                                                                                                                                     | SYSTÈMES DE CULTURE |             |                |             |                        |             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                   | S <sub>1</sub>      |             | T <sub>2</sub> |             | T <sub>1</sub>         |             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                   | Semis Direct SCV    |             | Semi-Direct    |             | Monoculture x Discages |             |
| 0-10 cm                                                                                                                                                                                                                                                           | C (t/ha)            | CV%         | C (t/ha)       | CV%         | C (t/ha)               | CV%         |
| 210-2000 <sub>μm</sub>                                                                                                                                                                                                                                            | 6,25                | 16,50       | 3,95           | 7,00        | 2,86                   | 8,32        |
| 53-210 <sub>μm</sub>                                                                                                                                                                                                                                              | 6,09                | 19,60       | 5,33           | 13,57       | 3,90                   | 8,50        |
| < 53 <sub>μm</sub>                                                                                                                                                                                                                                                | 6,22                | 3,60        | 4,09           | 10,20       | 2,83                   | 16,65       |
| <b>TOTAL C (0-10 cm)</b>                                                                                                                                                                                                                                          | <b>18,56</b>        | <b>5,60</b> | <b>13,37</b>   | <b>4,78</b> | <b>9,59</b>            | <b>6,95</b> |
| 10-20 cm                                                                                                                                                                                                                                                          | C (t/ha)            | CV%         | C (t/ha)       | CV%         | C (t/ha)               | CV%         |
| 210-2000 <sub>μm</sub>                                                                                                                                                                                                                                            | 2,69                | 15,00       | 2,79           | 12,03       | 1,69                   | 12,01       |
| 53-210 <sub>μm</sub>                                                                                                                                                                                                                                              | 5,24                | 7,88        | 4,04           | 6,10        | 4,06                   | 9,25        |
| < 53 <sub>μm</sub>                                                                                                                                                                                                                                                | 3,91                | 20,51       | 3,45           | 6,84        | 2,77                   | 7,24        |
| <b>TOTAL C (10-20 cm)</b>                                                                                                                                                                                                                                         | <b>11,84</b>        | <b>6,86</b> | <b>10,29</b>   | <b>7,41</b> | <b>8,52</b>            | <b>7,86</b> |
| <b>TOTAL C (0-20 cm)</b>                                                                                                                                                                                                                                          | <b>30,40</b>        |             | <b>23,66</b>   |             | <b>18,11</b>           |             |
| <b>C Relatif %</b>                                                                                                                                                                                                                                                | <b>(100)</b>        |             | <b>(78)</b>    |             | <b>(60)</b>            |             |

1 - Dispositif expérimental: Matrice de systèmes de culture en collection testée, avec 2 témoins répétés à chaque extrémité et intercalés au milieu (T<sub>1</sub> et T<sub>2</sub>) - Dispositif conduit en conditions réelles d'exploitation mécanisées.  
 (\*) - Moyenne de 3 répétitions - Échantillons prélevés sur les systèmes conduits avec fumure réduite: 65N + 73P; D<sub>1</sub> + 96K (1)  
 SOURCE: Projet FADUAL/COODETEC/CIRAD/FAZ. MOURÃO - Equipe CIRAD: J. L. Belst; J. Marth; L. Séguy; S. Bouzinac - COODETEC: A. Marques; M. Rodrigo; J. C. Moraes de Sá; M. Machado Sá - IEPG - Ponta Grossa - Campo Verde/MT - 2005