



# LA NATURE COMME MODÈLE,

pour une intensification écologique de l'agriculture





# Une nouvelle agriculture pour nourrir la planète



**Neuf milliards de bonnes raisons de produire plus et mieux**

C'est une obligation, la production alimentaire doit augmenter : en 2009, sur une population mondiale de 6,8 milliards d'hommes, un milliard de personnes souffre encore de la faim, et nous serons 9 milliards en 2050 !



Or la concurrence pour l'usage des terres s'accroît, entre la production alimentaire humaine et les cultures destinées aux agrocarburants (bioéthanol, biodiesel), aux biomatériaux (bois, fibres) et aux besoins de l'élevage. La demande mondiale en viande ne cesse de croître et, sachant qu'il faut 4 à 7 calories végétales pour produire une seule calorie de viande, les cultures destinées à nourrir le bétail connaissent une forte croissance (céréales, soja, fourrages). Face à cette concurrence, l'extension des surfaces cultivées au détriment des forêts est un risque majeur.

**C**omment construire une agriculture durable pour nourrir neuf milliards d'êtres humains à l'horizon 2050, leur fournir énergie et biomatériaux, tout en préservant l'environnement et les ressources naturelles ?

## Inventer une nouvelle agriculture

Au fil du temps, l'homme a artificialisé les milieux naturels pour mieux les maîtriser. En agriculture, il a privilégié les monocultures\* intensives et forcé les rendements\* par des apports massifs d'eau, d'engrais ou de pesticides.

Cette forme d'agriculture est non seulement vulnérable aux changements environnementaux, mais elle a aussi des conséquences, comme la pollution, la dégradation des sols et la réduction de la biodiversité\*. Elle contribue également de façon importante à l'émission de gaz à effet de serre. En plus, elle est inaccessible aux agriculteurs pauvres à cause de son coût élevé en intrants\* et en énergie. Face à ces constats, une révolution agricole est en cours, celle de l'agriculture « écologiquement intensive », ou intensification écologique.



## Les agricultures du Sud, clés du développement

Dans les pays du Sud, les deux tiers des emplois sont directement liés à l'activité agricole.

Dans le monde, 75 % des personnes les plus pauvres sont issues de familles rurales. Ces constats mettent l'accent sur l'importance et le rôle positif que peut avoir l'agriculture : c'est un véritable moteur du développement pour lutter contre la pauvreté, pour asseoir la stabilité politique et prévenir les conflits.

Le Cirad travaille en partenariat avec les acteurs agricoles de ces pays dans le but de valoriser leurs multiples savoir-faire paysans.



Photos de haut en bas :  
Vaine pâture, Nord Cameroun  
Stockage de paille dans un arbre, zone sèche, Burkina Faso  
Arbre de forêt humide, Amazonie

Photos de haut en bas :  
Récolte de riz, Vietnam  
Vente de beignets, Nord Cameroun  
Riz en fleur





## Histoire d'agriculture

XVII<sup>e</sup> siècle

Le Français Olivier de Serres, considéré comme le père de l'agronomie, prône une agriculture scientifique et industrielle.

Années 1930

Face à l'essor démographique, l'agriculture du Nord a amorcé une révolution technique fondée sur l'amélioration des variétés de céréales, l'utilisation d'engrais et la mécanisation.

Années 1950-1960

Pour en finir avec les grandes famines, les pays du Sud se lancent dans des politiques agricoles volontaristes fondées sur les subventions : c'est la « révolution verte » associant irrigation, fertilisation et nouvelles variétés.

Années 1980

Les pays du Sud s'endettent lourdement après leur indépendance. Les subventions à l'agriculture disparaissent, bloquant ainsi le principal mécanisme de la révolution verte. À la même époque en Europe, les rendements sont si élevés qu'une partie de la production est exportée. Les nuisances de l'agriculture intensive commencent à se faire sentir sur l'environnement et la santé.

2007-2008

La forte hausse du prix des denrées alimentaires de base et les « émeutes de la faim » replacent l'agriculture au premier plan des préoccupations internationales.



## Vers une agriculture écologique et intensive

L'intensification écologique, c'est concevoir une agriculture productive et durable, plus économe en intrants\* et moins nocive pour l'environnement, c'est aussi créer des variétés mieux adaptées à leur milieu, inventer de nouvelles techniques de lutte contre les maladies et les ravageurs.

L'agriculture écologiquement intensive s'inspire du fonctionnement de la nature. Sa performance ne se mesure pas seulement sur les quantités de biens agricoles produits mais elle tient aussi compte des « services écologiques » rendus, comme le stockage du carbone, la préservation de la biodiversité, la beauté des paysages, la prévention des catastrophes naturelles, l'usage respectueux de l'eau, le maintien de la fertilité des sols...

Cette agriculture s'appuie sur des avancées technologiques à la fois issues de la recherche scientifique et des savoir-faire paysans.



Photos de haut en bas :  
Entretien d'une jeune bananeraie  
Retour des champs, Inde  
Agriculture familiale et sauvegarde de la forêt, Amazonie  
Croisements variétaux de riz pluvial

Photos de haut en bas :  
Distribution de fourrage vert, Vietnam  
Village, Cameroun  
Prairie, mélange d'espèces, Vietnam  
Jardins de berge, fleuve Sénégal  
Formation sur le terrain, Amazonie



## \* Histoires de mots

Agriculture écologiquement intensive ou intensification écologique, agroécologie, agriculture raisonnée, agriculture de conservation, agriculture à haute valeur environnementale, agriculture biologique... A noter que seule l'agriculture biologique proscrie l'usage d'engrais et de pesticides de synthèse ainsi que d'organismes génétiquement modifiés.

\* Une **monoculture** est la culture d'une même plante sur la même parcelle plusieurs années à la suite (monoculture de blé par exemple).

\* Le **rendement** d'une culture est la production obtenue par unité de surface et par cycle. Par exemple, sur un hectare de terre, une ferme du Sahel produit 500 kilos de mil alors qu'une ferme céréalière du bassin parisien produit 8 000 kilos de blé.

\* Les **intrants** sont les produits naturels (fumier...) ou de synthèse (engrais, pesticides...) apportés aux terres et aux cultures.

\* La **biodiversité** est à la fois la diversité des espèces, la diversité des gènes au sein d'une même espèce, et la diversité des écosystèmes. C'est une assurance de survie face aux changements et une garantie de production minimale.

## Opinion d'expert

Michel Griffon, chercheur au Cirad

« Dans les décennies à venir, au Nord comme au Sud, les agricultures devront changer. Elles devront faire face à l'important accroissement des besoins alimentaires et des autres besoins. Elles devraient participer à une meilleure gestion de la biodiversité et à la séquestration du carbone pour réduire l'effet de serre, auquel elles devront par ailleurs s'adapter.

Les agricultures les plus pauvres devront assurer de l'emploi à un très grand nombre de personnes. Les agricultures modernes devront faire face à la hausse vraisemblable des

coûts de l'énergie. Les unes et les autres devront s'adapter à l'augmentation concomitante des prix des engrais azotés. Les engrais phosphatés pourraient eux aussi connaître des hausses pour des raisons de rareté. Les molécules chimiques utilisées pour lutter contre les maladies et les ravageurs sont de plus en plus contestées et des alternatives sont à rechercher.

Tout cela définit une équation inédite : produire plus, tout en respectant l'environnement, en ayant à faire face à de nouvelles contraintes techniques et économiques. »



## Le sol, une ressource précieuse

Les surfaces disponibles pour l'agriculture ne sont pas extensibles et elles ont même tendance à diminuer à cause de la désertification, de la dégradation des sols, de l'urbanisation ou de phénomènes naturels divers. Sur les 15 milliards d'hectares de terres émergées de la planète, 3,3 milliards d'hectares sont des terres cultivées ou cultivables : parmi elles, la majorité des surfaces qui ne sont pas encore cultivées se situe en Afrique et en Amérique latine.







# S'inspirer de la nature pour réinventer l'agriculture



Photos de haut en bas :  
Forêt amazonienne  
Recherche sur le riz  
Caféiers sous ombrage  
Plantation d'arbres au Sahel

Pour mettre au point les agricultures de demain, la recherche s'appuie sur la richesse des écosystèmes naturels : mieux comprendre le fonctionnement complexe de la nature aide à construire des agrosystèmes durables, à la fois productifs et moins nocifs pour l'environnement.

## La nature, comment ça marche ?

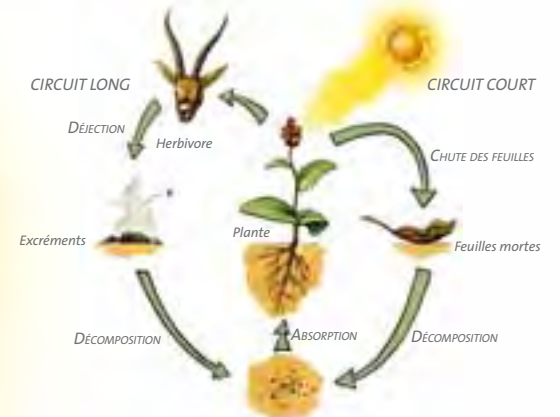
Un écosystème naturel est un milieu où les organismes vivants (plantes, animaux, micro-organismes) interagissent entre eux et avec leur environnement physique. Un tronc d'arbre en décomposition est un micro-écosystème, un océan est un macro-écosystème. L'objectif de l'agriculture écologiquement intensive est de concevoir des agrosystèmes en tirant parti des mécanismes naturels des écosystèmes.

### Avant tout...

- Inépuisable, l'énergie solaire permet aux plantes de croître grâce à la photosynthèse.
- Pour fabriquer leur matière vivante, les végétaux mettent en œuvre une réaction biochimique particulière, la **photosynthèse**. Pour cela, ils utilisent l'eau puisée dans le sol, le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>, un des principaux gaz à effet de serre) prélevé dans l'air et l'énergie solaire captée par la **chlorophylle**. Cette réaction produit de l'oxygène qui est rejeté dans l'air.
- La photosynthèse est l'un des mécanismes fondamentaux d'absorption du carbone. Elle contribue ainsi à la lutte contre l'effet de serre.
- L'eau (H<sub>2</sub>O) est le principal constituant des êtres vivants.



### Le cycle de la matière organique



- Plus que tout autre insecte, les **abeilles** permettent la pollinisation de la majorité des plantes. Elles sont de précieux alliés pour l'agriculteur.
- Les **coccinelles** mangent les pucerons : ce sont des auxiliaires des cultures.
- Célèbres insectes ravageurs et vecteurs de maladies, les **pucerons** se nourrissent de la sève des plantes.

- La **chlorophylle** est un pigment contenu dans les parties vertes. Elle capte l'énergie solaire.

- La **biomasse** est la masse des êtres vivants présents dans un lieu donné (plantes, animaux, micro-organismes...). La matière biologique qui les compose est constituée d'atomes de carbone, d'hydrogène et d'oxygène auxquels sont liés des atomes d'azote et une multitude d'autres éléments. Dans les sols, la biomasse morte se décompose en matière organique puis en humus : le sol stocke ainsi de grandes quantités de carbone.

- Le **sol** est formé de matières minérales issues de la roche mère (argile, limon, sable, graviers), d'eau, d'air et d'humus. C'est le support nutritif des plantes et l'habitat d'une multitude d'êtres vivants. On considère qu'un bon sol agricole comprend 45 % de matières minérales, 25 % d'eau, 25 % d'air et 5 % d'humus.

- Les plantes de la famille des **légumineuses**, comme l'arachide, ont la précieuse particularité de capter l'azote de l'air grâce à des bactéries qu'elles abritent dans leurs racines.

- Les **vaches** sont des herbivores ruminants : elles sont capables de digérer la cellulose et la lignine des plantes. Leurs excréments, comme ceux des autres animaux, contribuent à la fertilité du sol.





# De bonnes raisons pour changer...

## Utiliser la diversité des plantes

Le mélange d'espèces ou de variétés permet de mieux utiliser les ressources du milieu et de s'adapter aux variations du climat. Par exemple, dans une prairie, un nombre élevé d'espèces différentes peut augmenter la productivité : les espèces se complètent et peuvent ainsi assurer une production plus régulière.

Associer les cultures peut aussi permettre de mieux valoriser l'espace, l'eau et l'énergie solaire : par exemple, dans les oasis, les palmiers dattiers protègent du soleil les légumes qui poussent à leur pied et les préservent d'une évaporation trop forte.

Des plantes dites « de service » peuvent être introduites dans les cultures pour attirer les ravageurs et les détourner de l'espèce cultivée. D'autres, comme les œillets d'Inde, secrètent des substances répulsives pour des ravageurs. Des haies peuvent être plantées pour servir d'habitat aux « auxiliaires », ennemis naturels de ravageurs. En Afrique, le neem est un arbre de haie dont les effets insecticides sont reconnus. Ainsi, la diversité remplit de nombreuses fonctions utiles pour la production !

## Préserver la qualité biologique des sols cultivés

Le semis dans une litière végétale sans travail du sol est un principe de conservation de la qualité biologique des sols pratiqué sur plus de 105 millions d'hectares, notamment dans les régions tropicales. La terre n'est plus travaillée avec des outils, comme la charrue, les disques ou les griffes. Tout ce qui n'est pas récolté reste en surface et forme une litière de matière organique utile à l'activité biologique du sol et source d'éléments nutritifs pour la culture.

- Du fait de leur longévité, les **arbres** ont un rôle majeur dans le fonctionnement écologique terrestre : lutte contre l'érosion, stockage du carbone, refuge pour de nombreuses espèces animales et végétales, brise-vent... Ils offrent aussi maintes ressources pour les sociétés humaines : bois d'œuvre ou de chauffage, fruits, sève, substances médicinales... L'ensemble du couvert végétal arboré influence le climat.



- Les sols et le bois constituent les principaux **puits de carbone** des terres émergées. Un puits de carbone est un milieu capable de stocker du carbone.

- Les **racines** fixent les végétaux au sol. Elles absorbent l'eau et les minéraux indispensables à la croissance de la plante. Elles contribuent à la formation du sol en sécrétant des acides qui rongent la roche mère. Elles participent aussi à l'aération du sol.

- Le **sol et ses habitants** forment un écosystème. D'innombrables espèces, comme les mille-pattes, les acariens, les vers, les champignons et 150 000 espèces de bactéries dégradent les restes végétaux et les déjections animales, les rendant ainsi assimilables par les plantes.

- Les **vers de terre** digèrent la matière organique morte et aèrent le sol.

- La **roche mère** constitue le sous-sol.



## Réduire l'emploi d'engrais chimiques

Toute matière organique peut être utilisée pour enrichir les sols, comme cela se fait naturellement dans la nature. Certaines activités, comme les élevages, l'industrie agro-alimentaire ou les stations d'épuration, produisent des matières organiques qui peuvent être transformées et substituées aux engrais chimiques. Néanmoins, certaines substances toxiques peuvent y être présentes, et les recherches s'intéressent aux moyens de détoxifier ces déchets organiques afin de pouvoir les utiliser en agriculture.



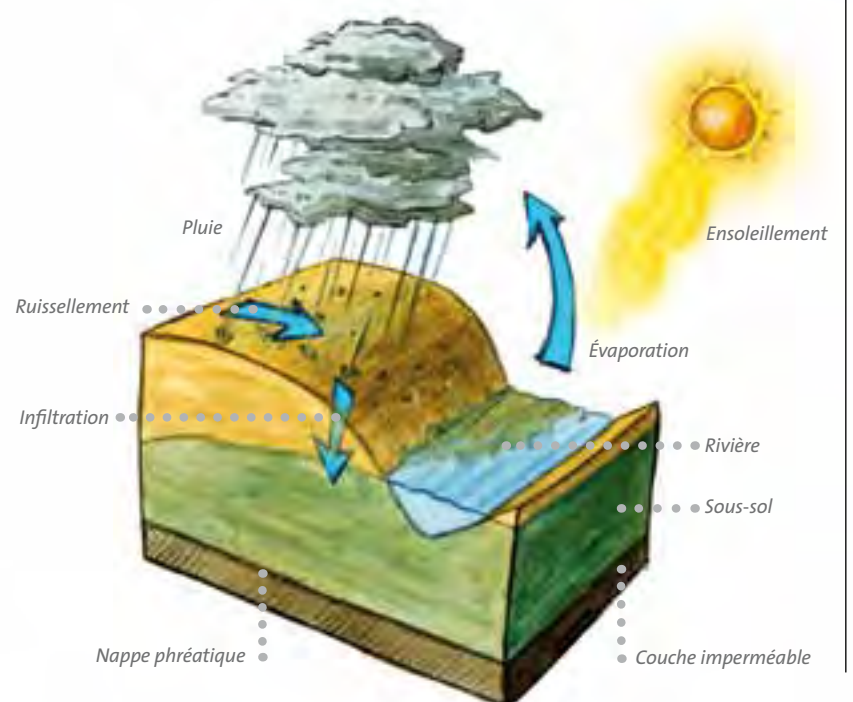
## Economiser l'eau

Les haies, les bandes de végétation ou les terrasses favorisent l'infiltration de l'eau dans le sol et limitent le ruissellement. De même, pour ralentir l'assèchement du sol, il est possible d'associer aux cultures principales des plantes couvrant le sol, dont certaines espèces bien choisies peuvent même empêcher les mauvaises herbes de pousser.



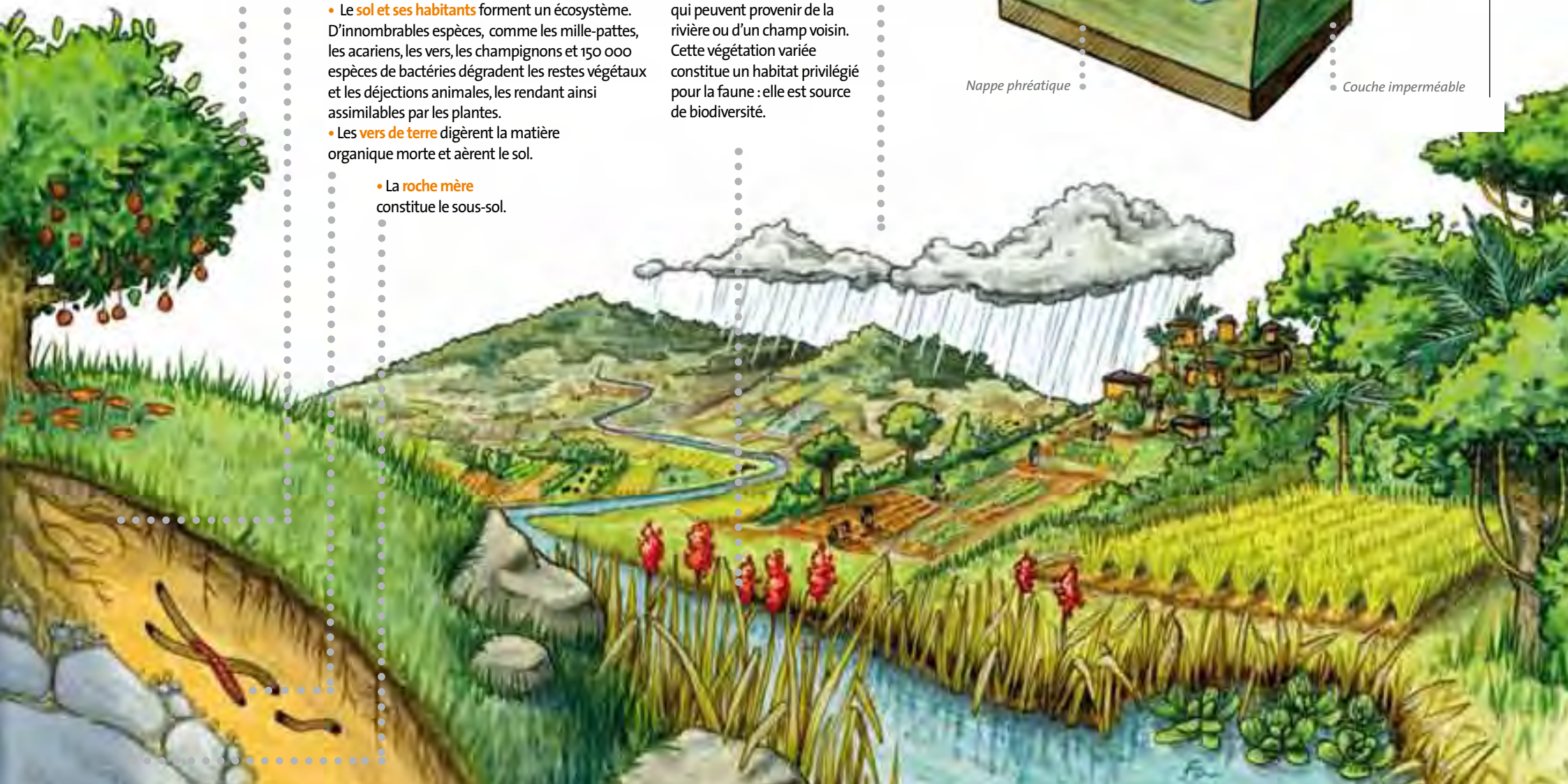
Photos de gauche à droite et de haut en bas : Littoral méditerranéen, Turquie / Paysage montagneux, Costa Rica / Travail du sol au Laos / Front pionnier, Brésil

## Le cycle de l'eau



- L'**eau** de pluie s'infiltrate dans le sol ou ruisselle à sa surface. Quand elle entraîne les minéraux trop en profondeur, c'est le lessivage. Lorsque le ruissellement entraîne le sol vers le bas des pentes, c'est l'érosion.

- La **végétation qui borde un cours d'eau** offre plusieurs services écologiques : en réduisant le ruissellement de l'eau de pluie, elle favorise son infiltration, atténue l'érosion, minimise les inondations et consolide les rives. Les plantes qui la composent, comme les bambous, filtrent naturellement les polluants qui peuvent provenir de la rivière ou d'un champ voisin. Cette végétation variée constitue un habitat privilégié pour la faune : elle est source de biodiversité.







# Quand l'agriculture mime la forêt

## Les objectifs de la recherche

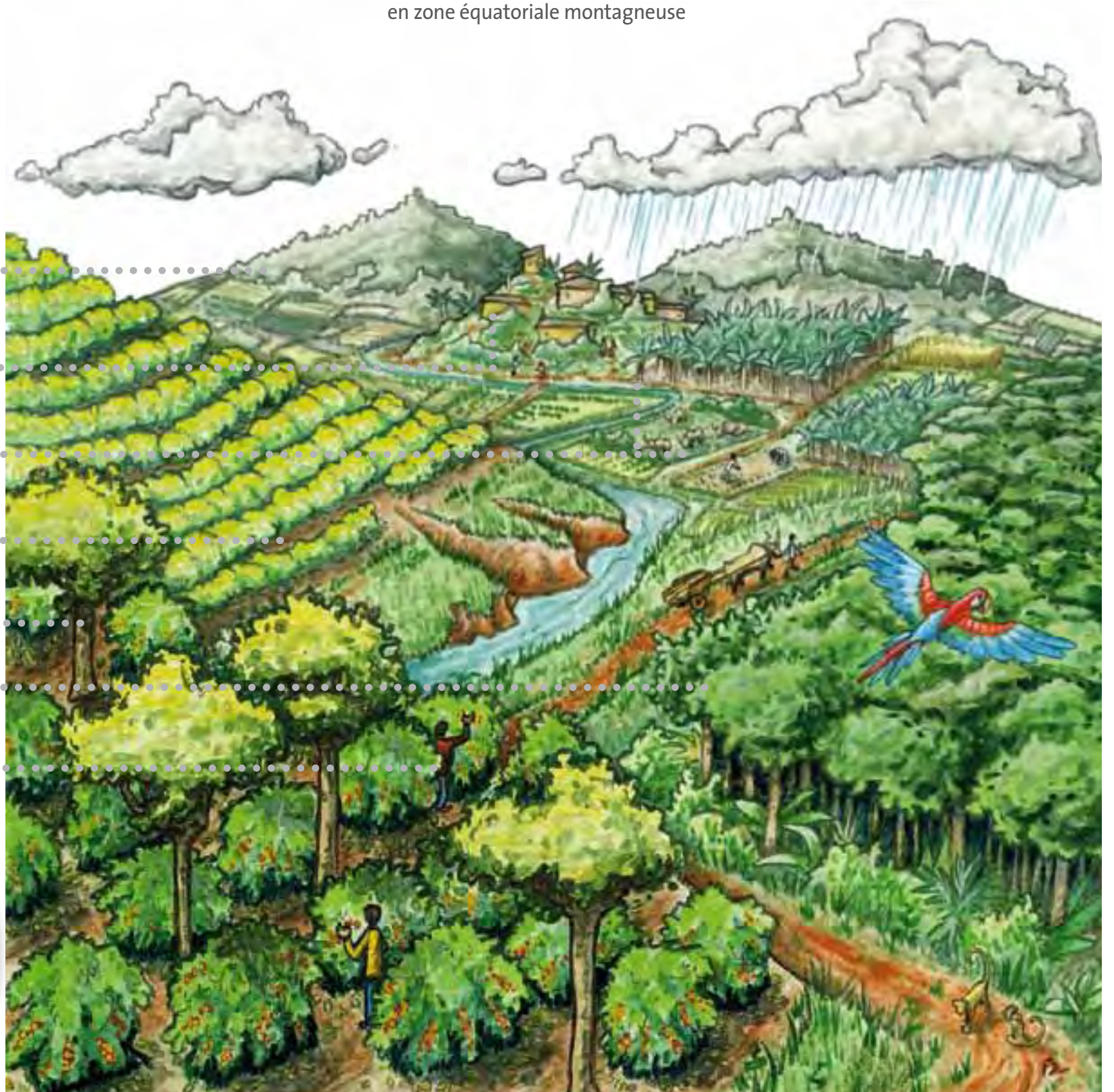
- Lutter contre les maladies, les prédateurs et les mauvaises herbes
- Atteindre des rendements permettant de rémunérer les producteurs et de nourrir les familles rurales et urbaines
- Protéger les sols contre les effets des pluies torrentielles



Photos de haut en bas :  
Piste en forêt amazonienne  
Agriculture de montagne, Costa Rica

Avec une température moyenne comprise entre 25 et 30 °C, plus de 1 500 millimètres de pluie par an et une humidité ambiante qui dépasse 80 %, le climat tropical humide est propice au foisonnement de la vie. Pour les agriculteurs, c'est à la fois un avantage et un problème, puisque les maladies, les prédateurs et les mauvaises herbes prolifèrent aussi !

Paysage traditionnel *cafetalero* en Colombie, en zone équatoriale montagneuse



**Les zones forestières vierges** sont constituées de réserves et de parcs nationaux. Elles s'étendent sur les sommets des montagnes. Elles préservent la biodiversité et la qualité de l'eau. Elles jouent également un rôle important dans le maintien du cycle de l'eau.

**L'habitat** est intégré au paysage. L'homme a su adapter une agriculture productive tout en préservant la biodiversité.

**Culture** de bananiers. **L'élevage** pratiqué sur de petites parcelles ne nuit pas à l'environnement.

**Les cultures** sont plantées en courbe de niveau pour prévenir les glissements de terrain et l'érosion.

**Les arbres** d'ombrage des caféiers fixent l'azote de l'air et le carbone. Ils servent de refuge à la faune.

**La sylviculture** consiste à cultiver des arbres de bois noble en zones basses.

**La récolte** des caféiers demande beaucoup de main-d'œuvre : elle limite l'exode rural.







## Optimiser l'élevage

En région tropicale humide, exploiter un pâturage est une opération délicate. L'herbe pousse très vite et le bétail délaisse les tiges hautes au profit des jeunes pousses. Ce broutage sélectif favorise l'implantation naturelle des plantes invasives : elles détruisent le pâturage et peuvent même s'attaquer aux forêts voisines !

Les chercheurs du Cirad se sont inspirés de pratiques d'éleveurs guyanais pour trouver le bon équilibre : l'éleveur concentre ses bêtes dans un parc où l'herbe est broutée régulièrement et presque à ras, puis le parc est déplacé et ainsi de suite. Les plantes invasives ne s'installent pas, l'herbe est plus digeste, la productivité fourragère est augmentée, et la végétation ainsi entretenue renouvelle en permanence ses racines, qui participent au stockage du carbone.

## Réduire l'érosion

Dans les régions à forte pente, les pluies abondantes créent de sérieux problèmes. Au Costa Rica par exemple, les barrages hydroélectriques sont ensablés par les sédiments emportés par le ruissellement.

Ce phénomène peut être atténué par la plantation d'arbres sur les pentes. Les agriculteurs qui entretiennent ces parcelles boisées rendent un véritable service écologique, rémunéré par les gestionnaires des barrages.



Photos de haut en bas :  
Buffles d'eau en pâture, Vietnam  
Agriculture de montagne, Costa Rica  
Érosion des sols, Costa Rica  
Réunion sur le terrain, Amazonie

## L'agroforesterie associe arbres et cultures

Dans des régions où l'écosystème naturel est la forêt, les familles rurales pratiquent l'agroforesterie... Cacaoyers et caféiers sont associés à des arbres forestiers, des arbres fruitiers et des arbres de la famille des légumineuses, qui ont l'avantage de fixer l'azote de l'air.

Dans ces agroforêts, cacaoyers et caféiers ont des rendements parfois moindres qu'en culture pure intensive, mais ils produisent bien plus longtemps avec beaucoup moins d'intrants chimiques. En plus, le café obtenu dans ces conditions est de meilleure qualité et se vend plus cher !

Ces agroforêts offrent aussi d'autres ressources aux agriculteurs, comme les fruits, le bois d'œuvre, les produits médicinaux, les ressources de chasse. Elles protègent également les sols, préservent la biodiversité et stockent le carbone. L'ombrage des arbres empêche même la prolifération de certains ravageurs ! Les chercheurs du Cirad étudient de nouvelles pratiques de culture des plantes tropicales en prenant en compte les avantages de l'agroforesterie.



Photos de haut en bas :  
Forêt communale, Brésil  
Récolte de cacao dans une agroforêt, Brésil  
Bananiers en agroforêt, Brésil  
Bas-fond rizicole, Côte d'Ivoire

## Améliorer les variétés

Bien que le riz soit semi-aquatique, il meurt au bout d'une semaine d'immersion complète. Des chercheurs ont identifié une variété de riz dont un gène permet la survie à une immersion de deux semaines. Pour transférer ce gène à d'autres variétés cultivées en zone inondable, ils étudient différents croisements naturels avec cette variété.

## Tromper les champignons

La pyriculariose est une maladie due à un champignon qui attaque la culture du riz dans le monde entier. Même si de nombreuses variétés de riz possèdent différents gènes de résistance, la maladie les surmonte en général rapidement.

Pour tromper le champignon, une technique consiste à mélanger des variétés sensibles et résistantes dans un même champ. Cette technique, testée à grande échelle en Chine, a permis de réduire l'emploi de pesticides.

Photos de gauche à droite :  
Epannage de lisier, La Réunion  
Expérimentation sur la pyriculariose du riz



## Les déchets organiques, une ressource à valoriser



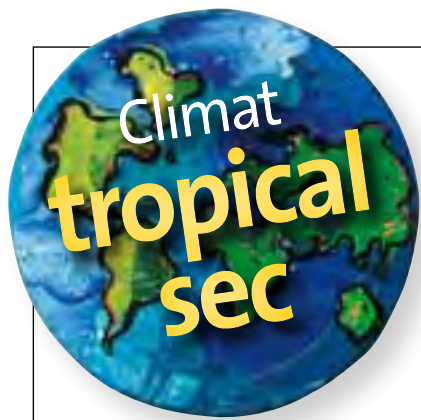
Les abondants déchets organiques issus des activités urbaines et industrielles peuvent être une source de pollution pour l'environnement. De ce fait, il est souvent nécessaire de les détoxifier avant de les transformer en matière organique recyclable en agriculture.

Cette pollution est présente dans les régions tropicales humides, notamment à proximité des grandes villes où se concentrent les industries agro-alimentaires et les élevages hors sol.

Le Cirad a travaillé sur la valorisation des lisiers de porc à l'île de La Réunion. Cette étude a abouti à une application sur le terrain : le lisier est collecté chez les éleveurs par un lycée agricole qui se charge de le composter et de le transformer en engrais organique non toxique, utilisable par les maraîchers et les pépiniéristes.







# Une agriculture qui s'adapte aux extrêmes



**E**n zones tropicales sèches, les agriculteurs se sont depuis longtemps adaptés à un environnement hostile. La saison sèche est longue et les pluies sont extrêmement irrégulières. À cela s'ajoutent la croissance démographique et la désertification : les agriculteurs doivent nourrir toujours plus de personnes alors que les terres cultivables se réduisent.



Premières pluies de la saison pluvieuse, Sénégal  
Vanneuses de mil, Mali

## Saison des pluies

Le bétail transhume vers des zones de pâture éloignées. Près des villages, il ne reste que quelques vaches laitières. Pendant cette saison, les mauvaises herbes envahissent très vite les cultures des zones humides, et les ravageurs et maladies sont nombreux.

## Saison sèche

Les céréales viennent d'être récoltées. Le bétail est revenu pour brouter la paille laissée dans les champs et le feuillage des arbres et arbustes qui restent verts une partie de la saison sèche. Des plantes maraîchères sont cultivées près des points d'eau.

**La saison des pluies** dure quelques mois. Les premières pluies sont violentes, elles ruissellent sur le sol sec et nu, prêt à être semé : l'eau emporte une partie de la terre, c'est l'érosion.

**La forêt** est source de bois d'œuvre et de bois de feu. C'est un lieu de chasse et on y cueille aussi baies et plantes médicinales. Clairières et terres défrichées sont toutes cultivées, en sorgho, coton et légumineuses (arachide, niébé, pois).

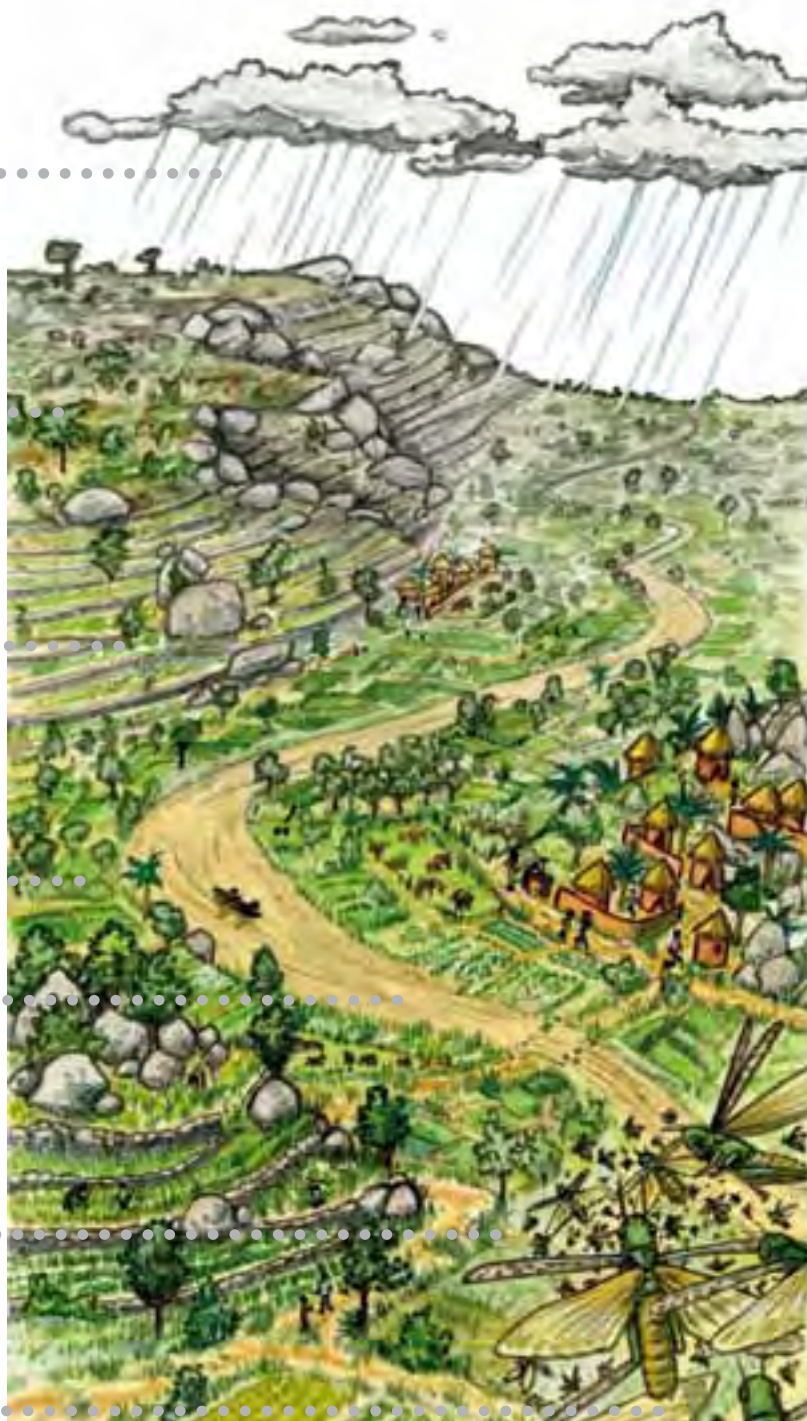
**Des terrasses** sont aménagées sur les pentes pour lutter contre l'érosion. Ces espaces, parfois exigus, ont un sol assez pauvre, qui convient aux sorghos et à l'arachide. L'entretien des terrasses et de leurs cultures ne peut se faire qu'à la main.

**Au bas des pentes**, les sols sont plus humides et moins pauvres. Les villages y sont installés, avec les jardins de légumes et d'arbres fruitiers, les volailles et quelques vaches laitières. Les tubercules (patate douce, manioc, taro...) sont cultivés en billons.

Les **cours d'eau** peuvent être permanents d'une pluie à l'autre : la pêche est alors possible.

**Dans les plaines**, les pluies provoquent souvent des inondations. Les grandes graminées qui y poussent sont utilisées en vannerie et tissage, elles serviront aussi de fourrage pour les troupeaux en saison sèche. Des zones sont aménagées pour la culture du riz.

**Les plantes** ont un cycle court, lié à la brièveté de la saison des pluies. La végétation, très vigoureuse dans les zones humides, est la cible des criquets, qui s'abattent sur les cultures et les déciment.





## Les objectifs de la recherche

- Optimiser les ressources irrégulières en eau
- Valoriser la biodiversité cultivée et conserver ses facultés d'adaptation
  - Partager espaces et ressources entre élevage et cultures



## La précieuse diversité du sorgho

Le sorgho est l'une des principales céréales des zones sèches d'Afrique. Il peut être cultivé avec peu d'engrais et sans pesticide grâce à sa rusticité et à ses profondes racines qui vont puiser l'eau et les éléments nutritifs loin dans le sol.

Le sorgho compte de très nombreuses variétés, une caractéristique qui lui assure une grande souplesse face aux aléas climatiques et qui permet aussi de multiples usages. C'est ainsi que les agriculteurs sélectionnent les meilleures variétés selon les usages voulus : alimentation, bière, sucre, fourrage, colorants, etc. Le Cirad explore également cette diversité avec les agriculteurs pour obtenir des sorghos encore plus tolérants à la sécheresse.

## L'eau, une ressource rare

En agriculture pluviale, plusieurs moyens permettent de retenir l'eau et de favoriser son infiltration : le labour perpendiculaire à la pente, l'aménagement de cordons pierreux, l'installation de bandes de végétation, la plantation en zaï.

En agriculture irriguée, près des cours d'eau, les champs peuvent être arrosés à l'aide de petits barrages et de pompes. Le Cirad travaille sur des méthodes de gestion collective de l'eau pour en limiter les pertes : organiser le partage et la distribution de l'eau, coordonner les dates de début et de fin d'irrigation, assurer l'entretien du réseau.



La **désertification** est un processus de dégradation des milieux arides et semi-arides lié à plusieurs causes, notamment la sécheresse.

Photos de haut en bas :  
Retenue d'eau, Tchad  
Culture en zaï, Burkina Faso



## Moins d'insecticides pour lutter contre les criquets

Sur un champ envahi de criquets, la pulvérisation de « myco-insecticides » à base de spores de champignons anéantit les insectes en quelques jours sans polluer l'environnement. Une autre solution consiste à ne traiter que la zone d'origine des invasions.

En Mauritanie et à Madagascar, un projet pilote utilise les images satellites pour détecter au plus tôt les zones favorables au regroupement et à la multiplication des criquets. Des équipes de surveillance se rendent ensuite sur place pour traiter ces zones et éviter ainsi le départ d'un nouveau fléau.



Photos de haut en bas :  
Couple de criquets migrants  
Nuage de criquets migrants, Madagascar  
Paysage sahélien, Nord Cameroun

L'**air sec et chaud** est favorable à la récolte et à la conservation des produits agricoles. La végétation verte disparaît, à l'exception de quelques arbres.

**Sur les collines**, la végétation de savane vit au ralenti. Le bétail se contente d'herbes sèches et s'amaigrit. Des feux de brousse sont allumés pour lutter contre les pullulations de parasites et aussi pour défricher de nouvelles parcelles dans la forêt. Les activités de chasse et d'exploitation du bois sont intenses.

**Les cours d'eau** sont asséchés ou intermittents. L'argile et le sable y sont exploités pour la construction des maisons. Au fil de la saison, il faut aller chercher l'eau de plus en plus loin dans la plaine, dans des puits profonds.

**Dans les villages**, les activités artisanales remplacent les activités agricoles.

**Au bas des pentes**, les points d'eau encore actifs permettent aux tubercules d'achever leur long cycle végétatif. Lorsque l'eau est abondante dans des puits peu profonds, les cultures maraîchères sont installées. Autrefois, l'oignon était la principale production. Aujourd'hui, les cultures sont très diverses et elles alimentent les marchés locaux et les pays limitrophes.

**Les plaines et les vallées** sont le refuge de troupeaux, là l'herbe est encore un peu verte. Un complément de fourrage séché et stocké au village leur est donné pour qu'ils passent la saison sèche sans trop dépérir.



Photos de haut en bas (Cameroun) :  
Sarclage du sorgho  
Épis de sorgho rouge  
Jardin maraîcher  
Attelage de zébus  
Chevreau dans un champs  
Parc à bovins

## L'équilibre entre élevage et cultures

Les haies, les arbres, les pailles des cultures et la végétation des jachères procurent du fourrage aux bêtes. Cette biomasse est aussi une source de matière organique pour fertiliser les sols. Le bétail ayant une grande importance dans la vie rurale, il est parfois difficile d'équilibrer ces deux usages. C'est pourquoi agriculteurs, zootechniciens et agronomes recherchent des solutions pour associer élevage et cultures.

La culture intercalaire est une de ces solutions : des lignes de céréales sont alternées avec une espèce fourragère broutée par les animaux après la récolte. Les légumineuses y ont une place de choix puisqu'elles enrichissent le sol en azote et apportent un fourrage de qualité au bétail qui, à son tour, restitue ses déjections au champ.



## Un arbre extraordinaire

L'acacia *albida* est le seul arbre du Sahel à perdre ses feuilles en saison des pluies et à reverdir en saison sèche.

Autrefois, cet arbre était préservé, même s'il poussait au milieu des champs : son bois était utilisé, le bétail se nourrissait de son feuillage en saison sèche et, en plus, il était bénéfique aux cultures voisines. Appartenant à la famille des légumineuses, il enrichit le sol en azote et, en attirant le bétail, il « concentre » les déjections aux alentours.

Son usage s'est perdu avec l'essor de l'agriculture intensive et de la mécanisation, peu compatible avec la présence d'arbres dans les champs. Mais, depuis les années 1990, l'apport d'engrais ne suffisant plus aux terres trop appauvries, l'acacia *albida* a été réhabilité et certains pays d'Afrique proposent même une incitation financière pour sa conservation.





# Une agriculture fragilisée par le réchauffement climatique



Photos de gauche à droite :  
Littoral méditerranéen, Turquie  
Verger d'oliviers, Maroc

**L**es régions méditerranéennes seront probablement très sensibles au réchauffement climatique.

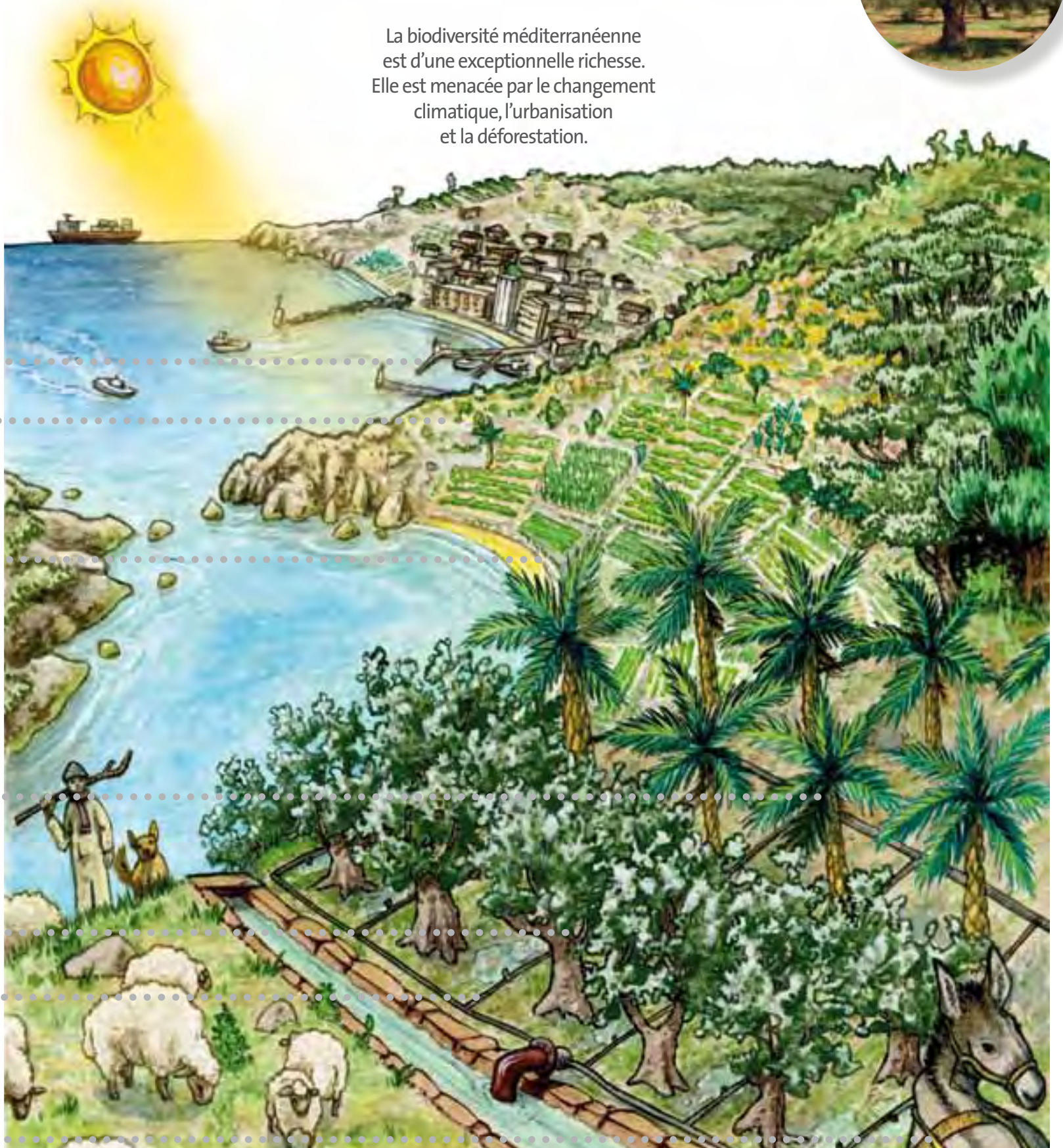
L'agriculture doit s'adapter à une aridité estivale de plus en plus forte et à l'apparition de nouvelles maladies animales. Le défi est de nourrir tous les habitants de ces régions dont les villes ne cessent de grandir.

## Les objectifs de la recherche

- Améliorer les plantes pour l'adaptation au manque d'eau
- Optimiser la gestion collective de l'eau
- Anticiper les nouvelles maladies animales



La biodiversité méditerranéenne est d'une exceptionnelle richesse. Elle est menacée par le changement climatique, l'urbanisation et la déforestation.



**Un littoral sous pression**  
L'urbanisation galopante, liée à l'exode rural et au tourisme, réduit les espaces agricoles et fait peser de nouvelles menaces sur la zone côtière : spéculation foncière, dégradation environnementale et pollutions multiples.

**Les sols arides**, soumis à l'érosion, sont difficiles à mettre en valeur.

**Le risque du sel...** En région aride, les sols peuvent être salés. L'artichaut est l'une des seules plantes capables de s'en accommoder. Une gestion appropriée de l'irrigation peut réduire cette salinité, sans toutefois la supprimer.

**Le palmier dattier** est très cultivé. Les stipes (troncs) servent dans la construction. Les feuilles séchées couvrent les maisons, les jeunes feuilles sont consommées en légume (chou palmiste). Les dattes sont consommées fraîches, fermentées ou séchées. Les graines sont parfois torréfiées comme substitut du café ou servent de nourriture aux animaux. Le bayoud est une maladie fongique du palmier qui cause actuellement des dégâts importants.

**L'olivier**, arbre symbolique de paix et de prospérité, a permis la mise en valeur de zones arides. L'huile d'olive est l'un des éléments de base de la diète méditerranéenne, aux effets bénéfiques reconnus pour la santé.

**Usage de l'eau...** L'agriculture est le plus souvent irriguée.

**Les petits ânes** sont encore très présents dans le paysage rural. Attelés à de grosses charrettes, ils assurent, infatigables, le transport des personnes, du matériel et des récoltes.



## Economies d'eau pour le Maghreb

Ces vingt dernières années, des sécheresses répétées ont sévi dans les pays du Maghreb, alors que les besoins en eau augmentent avec la croissance des villes et des industries.

Le projet Sirma, initié par le Cirad et ses partenaires, contribue à améliorer la gestion des systèmes irrigués. Il aide par exemple les agriculteurs à passer de l'irrigation gravitaire au goutte à goutte. Ce système est moins gourmand en eau et en main-d'œuvre, et il facilite aussi l'apport d'engrais.



### Irrigation

En milieu méditerranéen, les cultures sont en général irriguées, bien souvent avec l'eau de nappes fossiles qui ne peuvent pas être rechargées.



## Vive les dromadaires !

Les dromadaires sont les animaux d'élevage les mieux adaptés aux régions arides méditerranéennes. Le Cirad travaille pour réhabiliter cet animal aux multiples vertus.

La chamelle, qui mange moins qu'une vache et se contente d'un fourrage de qualité moyenne, produit 20 % de lait de plus qu'une vache élevée dans les mêmes conditions arides. Ce lait est réputé bon pour la santé et il se vend bien. Les dromadaires luttent aussi à leur manière contre la désertification en disséminant les graines des plantes fourragères par leurs déjections. Ils permettent également de maintenir une activité rurale dans ces régions.



## Gestion durable des forêts de cèdres

La forêt de cèdres du Moyen Atlas est la cédraie la plus étendue au monde. Mais sa conservation est aujourd'hui menacée pour de multiples raisons : l'importante activité touristique, l'exploitation du bois et des produits forestiers, le pâturage des brebis et chèvres au pied des arbres... Or cette cédraie abrite une grande biodiversité et, comme toutes les forêts, elle stocke le carbone. En plus, c'est un véritable château d'eau régional qui favorise l'infiltration de l'eau de pluie, alimente les nappes souterraines et régule ainsi le débit des cours d'eau.

À la demande du gouvernement marocain, le Cirad a contribué à l'élaboration d'un plan d'aménagement, dans le cadre de la création du Parc national d'Ifrane. Le projet a impliqué les usagers traditionnels afin de coordonner l'exploitation des ressources et de pérenniser les services écologiques rendus par la forêt. Le plan règlemente le pâturage pour garantir la régénération naturelle, et des aménagements compensatoires agricoles et hydrauliques ont été réalisés hors de la forêt. La qualification de la cédraie en « réserve de biosphère » est également à l'étude à l'Unesco.

### De nouvelles maladies en Méditerranée

Les maladies dites vectorielles, c'est-à-dire transmises par un organisme vivant, généralement un insecte, sont très sensibles aux modifications de l'environnement. Avec le réchauffement climatique, les éleveurs d'Europe du Sud ont observé l'arrivée d'un moucheron originaire d'Afrique, vecteur de la fièvre catarrhale du mouton. Le virus de cette maladie s'est propagé dans plusieurs pays du bassin méditerranéen, dont la France. La lutte contre ce type de maladie consiste d'abord à s'attaquer à l'insecte vecteur.

Le Cirad explore différentes pistes pour réduire l'utilisation d'insecticides, par exemple les pièges attractifs. Une autre technique, employée avec les moustiques, consiste à stériliser des mâles puis à les relâcher dans la nature pour limiter la reproduction. Les recherches portent aussi sur des méthodes qui permettront d'anticiper l'apparition de ce type de maladies animales dans de nouvelles régions.



Photos de haut en bas :  
Labour en culture attelée, Maroc  
Cèdres de l'Atlas, Maroc  
Laboratoire vétérinaire, France  
Moutons en pâture, Maroc

## Des agrumes parés pour la sécheresse

Les agrumes ont la particularité de produire des graines avec quatre exemplaires de chaque chromosome : on parle de génotypes tétraploïdes.

Les travaux du Cirad et de ses partenaires ont montré que ces génotypes présentaient une plus grande tolérance à la sécheresse.

L'utilisation de porte-greffes tétraploïdes devrait permettre de réduire les besoins en eau sans diminuer la production de fruits.

Photos de gauche à droite :  
Irrigation, culture  
d'agrumes et transport  
à dos d'âne, Maroc







# L'innovation agricole, un défi à partager entre chercheurs et agriculteurs

## De nouvelles générations de plantes

En intensification écologique, les variétés cultivées idéales sont celles qui s'adaptent à leur environnement local : elles sont capables d'offrir des produits de qualité en quantité suffisante tout en étant peu gourmandes en engrais, en pesticides ou en eau ! « Le défi est d'améliorer la façon dont la plante utilise les ressources naturelles disponibles » explique un agronome qui travaille avec des agriculteurs du Sahel. « Pour cela, nous devons comprendre finement comment la plante interagit avec son environnement de culture. »



Et il ajoute : « il ne faut pas non plus oublier que la nature est bien faite : en apprenant à mieux connaître la grande diversité des plantes cultivées, nous pourrions en tirer parti en accumulant les gènes favorables portés par chacune d'entre elles. »

Les progrès récents en génomique et en informatique aident à comprendre tout cela et à modifier certains caractères des plantes cultivées. Un des défis lancés à la recherche agronomique est justement de créer des variétés qui ont la capacité à croître dans des conditions difficiles.

L'agriculture écologiquement intensive ne s'improvise pas ! Chercheurs et agriculteurs devront relever ensemble de nombreux défis : mieux connaître les écosystèmes pour optimiser leur fonctionnement, améliorer les variétés cultivées, adapter les techniques agricoles à chaque contexte local, évaluer les services écologiques rendus, proposer des politiques publiques originales...



## Des réseaux d'agriculteurs expérimentateurs

« Pour produire plus, mieux et de façon plus juste, les solutions techniques doivent être adaptées aux situations particulières. Elles doivent aussi être accompagnées d'innovations sociales et institutionnelles qui ne sont pas de la compétence des seuls chercheurs » précise un agriculteur. « En tant qu'agriculteurs, nous pouvons apporter aux chercheurs nos observations au champ et partager notre expérience de gestion et de prise de décision, qui est liée au type de ferme que nous dirigeons. »

Cette recherche en partenariat se fait au sein de réseaux d'agriculteurs expérimentateurs. Le choix collectif des expérimentations, leur suivi et la discussion des résultats avec les chercheurs permettent d'aboutir à des innovations adaptées aux projets des agriculteurs. L'innovation technique et les nouvelles connaissances sont ainsi mieux intégrées à l'environnement social, économique et politique du secteur agricole.

Ils devront partager des connaissances complexes, passer du temps à observer les champs, prendre en compte l'expérience pratique de chacun.



Photos de haut en bas :  
Dirigeable pour explorer la canopée  
Palmiers à huile in vitro  
Agriculteurs en formation, Nord Cameroun  
Prélèvements d'insectes du cotonnier,  
Nord Cameroun  
Affichage des prix du marché, Tchad  
Plantation de tomates, Côte d'Ivoire  
Réunion d'agriculteurs, Amazonie  
Réunion d'organisations paysannes  
féminines, Madagascar



## Plantez couvert !

Le semis direct sous couverture végétale permanente permet de réhabiliter des terres agricoles appauvries. Cette technique a été testée au nord du Cameroun.

L'agriculteur sème d'abord le sorgho en association avec une plante qui va couvrir le sol, de préférence une légumineuse. Après la récolte des graines de sorgho, l'agriculteur laisse la végétation sécher en surface. Cette litière de paille enrichit le sol en matière organique et le protège contre l'érosion. A la saison des pluies suivante, le coton est semé dans la litière, sans labour préalable. Les rendements en coton affichent 40 % de plus qu'une culture classique sur sol nu ! Seule contrainte : le champ doit être protégé du bétail, qui apprécie particulièrement les pailles laissées au sol.



Photos de gauche à droite et de haut en bas :

Cultures sans travail du sol dans une litière de paille ou dans un couvert végétal vivant

Motte de terre provenant d'un champ cultivé sans travail du sol

Récolte de semences d'une graminée de couverture végétale, Laos

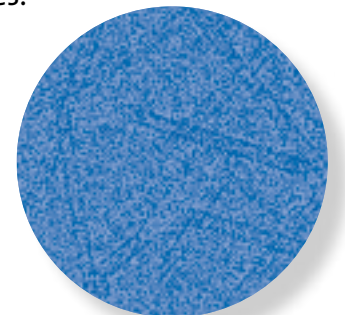


## Nanotubes dépolluants

Le recyclage des boues de station d'épuration permet de fertiliser les sols cultivés mais il peut aussi les contaminer en métaux lourds : cette pratique est donc réglementée.

À la Réunion, où les sols volcaniques sont naturellement riches en nickel et en chrome, l'épandage de ces boues est interdit. Mais en étudiant des nanoparticules minérales présentes dans ces sols, des chercheurs du Cirad et du Cnrs (Centre national de la recherche scientifique) ont découvert une étonnante propriété. Ces nanoparticules en forme de tubes sont capables de séquestrer une partie des métaux lourds des sols, notamment jusqu'à 75 % du nickel.

Ces résultats vont contribuer à la signature d'un arrêté préfectoral qui assouplira en toute sécurité la réglementation des épandages de boues sur l'île. Les prochaines recherches visent à étudier les capacités de ces nanotubes à séquestrer les métaux pour des applications futures dans d'autres contextes.



Photos de haut en bas :  
Microscopie électronique : nanotubes des sols de La Réunion  
Fruits du palmier à huile  
Simulation de croissance d'une palmeraie  
Expérimentation sur palmier à huile, Indonésie



## Cohabiter avec les bioagresseurs

Responsables de plus d'un tiers des pertes agricoles, les ravageurs et maladies des cultures, appelés aussi « bioagresseurs », sont trop souvent combattus par des techniques dommageables à la santé et à l'environnement. « L'idéal serait d'intensifier les mécanismes de défense naturelle des plantes » explique une généticienne qui travaille sur les plantes des tropiques humides, « mais cela implique d'approfondir des connaissances dans des domaines biologiques complexes. »

À l'échelle microscopique, c'est le génome de la plante qui est visé ainsi que les mécanismes cellulaires et moléculaires en jeu lorsque la plante cherche à se défendre. « Nous devons aussi étudier le génome du bioagresseur et ses mécanismes d'attaque » ajoute le phytopathologiste, spécialiste des maladies des plantes, « et se poser les mêmes questions sur les auxiliaires, c'est-à-dire les insectes et les micro-organismes qui sont eux-mêmes des ennemis des bioagresseurs, et qui peuvent vivre dans le même environnement ! » complète l'entomologiste de l'équipe.

À l'échelle macroscopique, « c'est l'étude du paysage et de sa biodiversité qui nous renseigne sur les relations entre la composition végétale du milieu et les multiples espèces animales et microbiennes qu'il héberge. Ce milieu peut ainsi être favorable à certains auxiliaires et défavorable à la prolifération de bioagresseurs » précisent l'entomologiste et le phytopathologiste. « Ces observations nous aident à trouver les meilleures façons d'associer plantes et arbres dans un paysage donné, ou encore les meilleures manières de faire se succéder différentes cultures d'une année à l'autre » conclut l'agro-écologue.

## Palmiers à huile durables

Les cultures de palmier à huile sont souvent pointées du doigt pour leur impact négatif sur l'environnement. Pourtant, cette plante est la première source de matière grasse des habitants des régions tropicales.

C'est pourquoi le Cirad s'est associé à plusieurs acteurs de la filière pour définir les critères d'une production durable et pour élaborer un guide des bonnes pratiques. Le Cirad a développé des indicateurs permettant d'évaluer les effets des pesticides et des engrais azotés, couramment utilisés dans les plantations. Les planteurs utilisent ces indicateurs « agri-environnementaux » comme outils d'aide à la décision. Ils servent à la fois à simuler préventivement diverses situations et à diagnostiquer des problèmes.

Les recherches futures porteront sur d'autres indicateurs, qui permettront d'évaluer l'effet des plantations de palmier à huile sur la biodiversité et le climat d'une région.





## Des services écologiques rétribués !

« Dans une zone sujette aux inondations et à l'érosion parce qu'elle est traversée par une rivière capricieuse, les forestiers et les agriculteurs ont pris en main l'entretien et la replantation de la végétation des rives, notamment des arbres et des bambous qui tempèrent les caprices des eaux » explique un économiste qui travaille en région forestière. « C'est ce qu'on appelle un service écologique. N'est-il pas logique que ces personnes reçoivent une compensation de la part de la collectivité qui bénéficie de ce service ? Cette compensation est une rétribution qui peut prendre de nombreuses formes : paiement financier, parcelle supplémentaire à exploiter, usage gracieux d'une ressource... »

Un service écologique rendu doit être reconnu en tant que tel. Bien souvent, il touche à des ressources sur lesquelles il peut y avoir des conflits d'usage, comme l'eau, la forêt, la qualité de l'air, la biodiversité animale et végétale, le paysage... D'une manière générale, le paiement d'un service écologique facilite les relations entre la collectivité qui fournit le service et celle qui en bénéficie.

La rémunération des services écologiques rendus par les agriculteurs à la société est un point essentiel des décisions de politique publique. Et en la matière, tout est à apprendre ! Les recherches actuelles ont pour but de décrire ces services écologiques, appelés aussi « services environnementaux », d'en étudier les conditions de réalisation et d'en évaluer les effets les plus divers. Les chercheurs étudient aussi les coopérations ou les conflits que ces services peuvent engendrer. Ils travaillent en collaboration avec les collectivités concernées pour proposer des moyens originaux de rétribution. C'est ainsi que le Cirad est partie prenante dans des situations concrètes en Amérique centrale, en Asie et en Afrique, avec le Cifor (Centre international pour la recherche forestière) et le Catie (Centre agronomique tropical d'investigation et d'étude du Costa Rica).



## Des contributions planétaires

À l'échelle mondiale, le stockage du carbone par les forêts est un service écologique qui contribue à réduire les émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

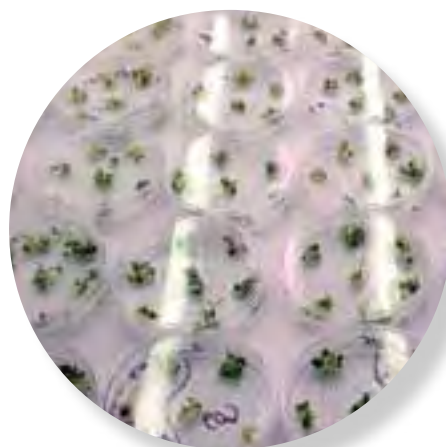
À une échelle plus locale, les forêts produisent d'autres services qui tempèrent les aléas climatiques : elles modèrent la force des vents, elles rafraîchissent la température de l'air pendant les vagues de chaleur, elles régulent les débits des cours d'eau en période de sécheresse.



Photos de haut en bas :  
Repiquage de riz inondé, Thaïlande  
Pêche à l'épervier, Tchad  
Abeille et grenouille dans les cotonniers, Cameroun



Photos de gauche à droite  
et de haut en bas :  
Pâturages, Laos  
Ruissellement et érosion  
des sols nus, Laos  
Régénération de plantes  
transgéniques  
Prairie sur défriche  
forestière, Guyane



## Quand la prairie stocke le carbone

En région tropicale humide, comme l'Amazonie, la forêt est défrichée essentiellement au profit des élevages bovins. Après défriche, les éleveurs profitent de la bonne qualité du sol forestier pour installer une prairie. Mais, bien souvent, cette prairie est surexploitée par un trop grand nombre d'animaux : en moins de cinq ans, sol et herbe se dégradent et il faut abandonner la parcelle. L'éleveur défriche à nouveau un bout de forêt, y installe son troupeau, et ainsi de suite. Dès lors, comment concilier forêt et pâturage, à la fois pour préserver l'environnement et assurer un revenu durable aux éleveurs ?

C'est la question à laquelle répondra le projet Carpagg en Guyane. Premier objectif : identifier les compositions végétales de prairies et les différentes techniques de pâture aboutissant à un stockage maximal de carbone dans le sol, dans le but de compenser une part des pertes en carbone dues à la déforestation. Second objectif : mettre au point des techniques de culture de la prairie qui préservent durablement la fertilité des sols. Les résultats de ce projet pourront être utilisés dans d'autres régions, comme au Brésil, très concerné par ce problème.



## Poissons carnivores au régime

L'aquaculture est la production animale qui progresse le plus vite. Les poissons d'élevage sont souvent nourris à partir d'huiles et de farines issues de poissons pêchés en mer : il faut par exemple 3 kilos de poissons pour obtenir 1 kilo de saumon frais ! A l'échelle mondiale, plus de 80 % des huiles de poisson sont utilisées par l'aquaculture et, au rythme où les élevages progressent, elles ne suffiront bientôt plus.

C'est pourquoi le Cirad et l'Ifremer (Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer) travaillent avec les professionnels de la filière pour modifier les techniques aquacoles.

La valorisation de la biodiversité est une des pistes explorées, puisque seulement 200 espèces de poissons sont élevées sur les 30 000 recensées. De nouvelles espèces sont domestiquées, notamment des poissons herbivores ou filtreurs de plancton. La sélection génétique d'animaux transformant mieux les aliments ou s'adaptant à une nourriture végétale constitue une autre piste. La polyculture est également étudiée parce qu'elle permet un élevage sans aliment artificiel : plusieurs espèces de poissons, crevettes et mollusques sont élevés dans un même étang et ils se nourrissent à différents niveaux de la chaîne trophique.

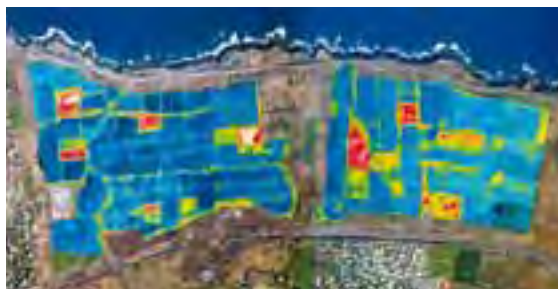




# Tout un monde d'agriculteurs et d'agricultures



*Tout un monde d'agricultures, d'agriculteurs et de savoir-faire pour une innovation agricole.*







**cirad**  
LA RECHERCHE AGRONOMIQUE  
POUR LE DÉVELOPPEMENT

**Siège Social**  
42, rue Scheffer - 75116 Paris - France  
Centre de recherche de Montpellier  
Av. Agropolis - 34398 Montpellier Cedex 5 - France  
> [www.cirad.fr](http://www.cirad.fr)

Le Cirad est un centre de recherche français qui répond, avec les pays du Sud, aux enjeux internationaux de l'agriculture et du développement.

En partenariat avec les pays du Sud, il produit et transmet de nouvelles connaissances, pour accompagner le développement agricole et contribuer au débat sur les grands enjeux mondiaux de l'agriculture, de l'alimentation et des territoires ruraux.

Le Cirad dispose d'un réseau mondial de partenaires et de directions régionales, à partir desquelles il mène des activités de coopération avec plus de 90 pays.

Il emploie 1 800 agents, dont 800 ingénieurs chercheurs.

Son budget s'élève à 203 millions d'euros dont les deux tiers proviennent de l'Etat français.

• **Coordination** : Anne Hébert, déléguée à la communication, Cirad.

• **Textes** : Caroline Dangleant, Cécile Fovet-Robot, François Affholder, Nourollah Ahmadi, François Baroiller, Dominique Berry, Vincent Blanfort, Jean-Pierre Caliman, Patrick Caron, François Côte, Michel Crétenet, Laurence Dedieu, Michael Dingkuhn, Emmanuel Doelsch, Patrick Dugué, Bernard Faye, Jean-Luc Farinet, Francis Forest, Francis Ganry, Michel Griffon, Hubert Guérin, Rolland Guis, Jean-Michel Harmand, Johann Hugué, Étienne Hainzelin, Henri Hocdé, Patrick Jagoret, Jean-Yves Jamin, Marcel Kuper, Nathalie Lamanda, Michel Lecoq, Philippe Lhoste, Bruno Locatelli, Eric Malézieux, Florent Maraou, Thibaud Martin, Dominique Martinez, Olivier Mikolasek, Gilles Mille, Denis Montange, Raphaël Morillon, Dominique Nicolas, Christine Nouaille, Hubert Omont, Régis Peltier, Marcel de Raïssac, Bruno Rapidel, Didier Richard, Hervé Saint Macary, Jean-Louis Sarah, Didier Snoeck, Philippe Thaler, Jean-Philippe Tonneau, Michel Trebel, Gilles Trouche, Aude Verwilghen, Julie Wohlfahrt.

• **Conception et réalisation** : Denis Delebecque, Cirad.

• **Iconographie** : Cécile Fovet-Robot - Roselyne Calmel, Pôle images, Cirad - Serge Volper, Bibliothèque historique du Cirad.

• **Illustrations originales** : Nathalie Le Gall (couverture, p.2), François Dolambi (illustrations botaniques pp.4-5, 6-7, 8, 10, 12), Jacques Lucchino (BD, Les aventures de K. pp. 3, 5, 7, 9, 11, 12, 15).

**Credits photos et illustrations (de haut en bas et de gauche à droite)**

• **Couverture** :

Illustration originale de Nathalie Le Gall. Photos : R. Peltier, A. Chabanne, N. Ahmadi, D. Chauvet, R. Domergue, A. Chabanne, M. Kuper.

• **Une nouvelle agriculture pour nourrir la planète** (pp. 2-3)

Illustrations originales de N. Le Gall - Bovins, Nord Cameroun, P. Dugué © Cirad - Arbre de stockage de pailles, Burkina Faso, P. Dugué © Pôle images, Cirad - Amazonie, Brésil, P. Syst © Cirad - Saint Exupéry © Folio, Ed. Gallimard - Vente de beignets de niébé, Nord Cameroun, C. Cerdan © Prasad, Cirad - Riz en fleur, D. Filloux © Pôle images, Cirad - Récolte du riz, Vietnam, J.-C. Maillard © Pôle images, Cirad - Entretien d'une jeune bananeraie, R. Domergue © Cirad - Retour des champs, Inde, G. Trébuil © Pôle images, Cirad - Croisements variétaux de riz, J.-E. Taillebois © Pôle images, Cirad - Village, Nord Cameroun, M. Havard © Prasad, Cirad - Prairie en mélange d'espèces, Vietnam, P. Salgado © Pôle images, Cirad - Jardins de berge, fleuve Sénégal, C. Dancette © Pôle images, Cirad - Formation sur le terrain, Amazonie, Brésil, P. Syst © Cirad - Agriculture familiale en forêt amazonienne, Brésil, P. Syst © Cirad - Fourrage vert et buffes d'eau, Vietnam, P. Salgado © Pôle images, Cirad.

• **S'inspirer de la nature pour réinventer l'agriculture** (pp. 4-5)

Illustrations originales de N. Le Gall - Forêt amazonienne, Brésil, P. Syst © Cirad - Forêt de montagne, Costa Rica, B. Rapidel © Cirad - Expérimentations en rizière, N. Ahmadi © Cirad - Cafésiers sous ombrage, P. Vaast © Cirad - Plantation arborée au Sahel, R. Peltier © Cirad - Agroforêt de cacaoiers, E. Malezieux © Cirad - Bananeraie en Turquie, F. Bakry © Cirad - Agroforêt de caféiers, Costa Rica, B. Rapidel © Cirad - Agricultrices, Laos, P. Lienhard © Cirad - Front pionnier, Brésil, P. Syst © Cirad.

• **S'inspirer de la nature pour réinventer l'agriculture** (pp. 6-7)

Planète, illustration originale de N. Le Gall - Route amazonienne, Brésil, P. Syst © Cirad - Agriculture tropicale humide, illustration originale de F. Dolambi - Buffes d'eau, Vietnam, V. Porphyre © Pôle images, Cirad - Costa Rica, B. Rapidel © Cirad - Erosion, Costa Rica, B. Rapidel © Cirad - Erosion en champ de soja, Brésil, R. Michellon © Pôle images, Cirad - Réunion de terrain, Amazonie, Brésil,

P. Syst © Cirad - Porcellets, V. Porphyre © Cirad - Forêt communale, Amazonie, Brésil, P. Syst © Cirad - Récolte du cacao en agroforêt, Brésil, P. Syst © Cirad - Bananiers en agroforêt, Brésil, P. Syst © Cirad - Bas-fond rizicole, Côte d'Ivoire, P. Dugué © Cirad - Épandage de lisier de porc, La Réunion, F. Feder © Cirad - Expérimentation sur le riz, N. Ahmadi © Cirad.

• **Une agriculture qui s'adapte aux extrêmes** (pp. 8-9)

Planète, illustration originale de N. Le Gall - Premières pluies, Sénégal, J.-M. Thévenin © Pôle images, Cirad - Vanneuses de mil, Mali © D. Delebecque - Agriculture en climat tropical sec : saisons humide et sèche, illustrations originales de F. Dolambi - Retenu d'eau, Tchad, A. Dairou © Prasad, Cirad - Culture en zaï, Burkina Faso, P. Dugué © Cirad - Sarcage du sorgho, Nord Cameroun, B. Mathieu © Prasad, Cirad - Sorgho rouge, G. Magrin © Prasad, Cirad - Jardin maraîcher, Nord Cameroun, R. Peltier © Cirad - Zébus attelés, Nord Cameroun, M. Havard © Prasad, Cirad - Chevreau, Nord Cameroun, J.-Y. Jamin © Prasad, Cirad - Parc à bovins, Nord Cameroun, J.-Y. Jamin © Prasad, Cirad - Criquets migrants, M. Lecoq © Cirad - Nuage de criquets, Madagascar, M. Lecoq © Cirad - Paysage sahélien, Nord Cameroun, R. Peltier © Cirad.

• **Une agriculture fragilisée par le réchauffement climatique** (pp. 10-11)

Planète, illustration originale de N. Le Gall - Littoral, Turquie, F. Bakry © Cirad - Oliviers, Maroc, C. Rollin © Cirad - Agriculture méditerranéenne, illustration originale de F. Dolambi - Goutte à goutte, Maroc, M. Kuper © Cirad - Labour au dromadaire et mulet, Maroc, B. Faye © Cirad - Pompe d'irrigation, Maroc, M. Kuper © Cirad - Arrosage d'agrumes, Maroc, M. Kuper © Cirad - Cédraie, Maroc, P. Arragon © IAMM - Moutons, Maroc, P. Arragon © IAMM - Laboratoire vétérinaire, Montpellier, M. Adell © Cirad - Récolte d'agrumes, Maroc, M. Kuper © Cirad - Transport à dos d'âne, Maroc, M. Kuper © Cirad - Oranges immatures, C. Rollin © Cirad - Dromadaire, Maroc, P. Arragon © IAMM.

• **L'innovation agricole, un défi à partager entre chercheurs et agriculteurs** (pp. 12-13-14)

Dirigeable pour explorer la canopée, L. Ollivier © Cirad - palmiers à huile *in vitro*, A. Labeyrie © Cirad - Agriculteurs en formation, Nord Cameroun, M. Havard © Prasad, Cirad - Prélèvement d'insectes sur cotonnier, Nord Cameroun, T. Brévault © Cirad - Tableau des prix du marché, Tchad, J.-Y. Jamin © Prasad, Cirad - Plantation de tomates, Côte d'Ivoire, P. Dugué © Cirad - Réunion d'agriculteurs, Amazonie, P. Syst © Cirad - Réunion d'organisations paysannes féminines, Madagascar, E. Penot © Pôle images, Cirad - Récolte de semences de *Brachiaria*, graminée de couverture végétale, Laos,

P. Grand © Cirad - Cultures sans travail du sol en semis direct sous couverture végétale (3 clichés), F. Tivet, L. Ségué © Cirad - Motte de terre issue de champ sans travail du sol, F. Tivet © Cirad - Imogolite en microscopie électronique à transmission, A. Thill © Sis2M Umr Cea-Cnrs 3299, E. Larquet © Impmc Umr Cnrs 7590 - Fruits du palmier à huile, A. Labeyrie © Cirad - Simulation de la croissance d'une palmeraie, C. Jourdan © Cirad - Expérimentation sur palmiers à huile, Indonésie, J.-C. Jacquemard © Pôle images, Cirad - Repliquage du riz sous palmiers sucriers, Thaïlande, G. Trébuil © Cirad - Abeille et grenouille sur cotonniers, Cameroun (2 clichés), T. Brévault © Cirad - Pâturage, Laos, A. Chabanne © Cirad - Ruissellement sur sol nu, Laos, A. Chabanne © Cirad - Régénération de plantes transgéniques, E. Guiderdoni © Pôle images, Cirad - Prairie après défriche forestière, Guyane, V. Blanfort © Cirad - Pêche à l'épervier, Tchad, G. Magrin © Prasad, Cirad.

• **Tout un monde d'agriculteurs et d'agricultures** (p. 15)  
Statuettes, Brésil, D. Delebecque © Cirad - Système « eau-sol-plante », illustration originale de Francis Forest - Labour au dromadaire, E. Vall © Cirad - Récolte de la canne à sucre, Antilles © Agrimonde Inra-Cirad - Ferme de montagne, Costa Rica, B. Rapidel © Cirad - Champs vus d'avion © Agrimonde Inra-Cirad - Discussion entre agriculteurs et chercheurs, Burkina Faso, P. Dugué © Pôle images, Cirad - Rampe d'irrigation Agrimonde Inra-Cirad - Pépinière de palmiers à huile, P. Dugué © Cirad - Agriculteur dans sa parcelle, Côte d'Ivoire, P. Dugué © Cirad - Greniers à fonio, Burkina Faso, P. Dugué © Pôle images, Cirad - Paysan et son âne, Nordeste, Brésil, P. Dugué, © Pôle images, Cirad - Affiche publicitaire pour la pompe de jardin, P. Dugué, © Pôle images, Cirad - Pompe de jardin, Côte d'Ivoire, P. Dugué, © Pôle images, Cirad - Forêt tropicale, vue aérienne, Gabon, D. Louppe, © Pôle images, Cirad - Canne à sucre, Photo aérienne en infrarouge thermique, La Réunion, V. Lebourgeois © Cirad - Maraîchage périurbain, Vietnam, L. Vagneron © Cirad - Motopompe, P. Dugué © Cirad. Huit photos anciennes sélectionnées par S. Volper © Collection Cirad Nogent - Jeune fille revenant de la rizière avec du riz et des serpents, Indochine, 1930 - Battage manuel de l'arachide, Sénégal, 1930 - Jardin potager, Haute-Volta, 1930 - Scène de pêche, Tchad, 1934 - Transport de bois, Cochinchine, 1920 - Débarrage de grume par triqueballe tiré par 20 paires de bœufs, Indochine, 1938 - Sarcage de l'arachide en culture attelée, Sénégal, 1930 - Piétinage aux bœufs d'une rizière, Madagascar, 1950.

• **Photographie** : Noir Ebène - Montpellier  
• **Impression** : Pure Impression - Mougins  
Papier : Neomat Produit certifié PEFC 70% - FCBA/08-008892  
• © Cirad, février 2010.

