

**GESTION DES CONTRAINTES PHYTOSANITAIRES
DES CULTURES TROPICALES: INTERET ET NECESSITE
D'UNE APPROCHE SYSTEMIQUE**

Serge SAVARY

ORSTOM, Institut Français de Recherche Scientifique
pour le Développement en Coopération
IRRI - Division of Plant Pathology
P.O. Box 933, 1099 Manila, Philippines

***Résumé:** La complexité des interactions hôte-ravageur est telle qu'une démarche réductionniste n'est pas envisageable dès lors que l'on s'adresse à la gestion des populations de ravageurs. Parce que toute gestion des populations de ravageurs (sensu lato) implique (a) une analyse des pertes de récolte et (b) l'identification de seuils, les concepts de perte de récolte et de seuil peuvent servir de support pour une réflexion sur les démarches envisageables. L'analyse des systèmes, en tant que démarche scientifique, est, le plus souvent exclusivement assimilée au développement de modèles mathématiques de simulation plus ou moins complexes, faisant intervenir un nombre plus ou moins grand d'hypothèses. En ce qui concerne la protection des cultures, cette conception est erronée - voire dangereuse. Deux grands types de démarches sont envisageables. L'un est fondée sur l'analyse statistique d'un ensemble de données représentant le fonctionnement du système considéré (approche diachronique: enquêtes, bases de données), et l'autre sur la réalisation d'une série d'expériences dont les résultats sont rassemblés dans un modèle déterministe (approche expérimentale, et modélisation). La première des deux démarches permet (1) de hiérarchiser les éléments principaux du système considéré, (2) de prendre en considération la diversité des situations de production et (3) de définir les limites du système qui pourra faire l'objet d'une modélisation. La seconde apporte les éléments constitutifs de modèles de simulation: des hypothèses testées expérimentalement, et donc une compréhension des mécanismes en cause. Ces deux approches sont donc complémentaires. Elles sont illustrées dans le cas de ceux cultures tropicales: l'arachide en Afrique de l'Ouest et le riz irrigué aux Philippines.*

***Abstract:** Host-pest interactions are too complex to enable a reductionist approach to be applied when pest management issues are being considered. This is due to the fact that controlling pest populations (lato sensus) implies: a) an analysis of crop losses, and b) an identification of thresholds. These two elements can serve as the basis for a system design. Systems analysis as a scientific approach is usually equated to the development of more or less complex mathematical simulation models, and entail a rather large number of hypotheses. When applied to crop protection problems, this perception is not only wrong, but may even be dangerous. Two types of procedures should be considered: one is based on the statistical analysis of a set of data that reflect the way the system under study functions (diachronic approach, surveys, data bases) and the other is based on a series of experiments compiled in a deterministic model (experimental approach, modelling). The first of the two can be used: 1) to rank the main elements in the system being studied; 2) to accommodate the variation in production situations and 3) to define the limits to the system that may be modelled. The second type of procedure provides the components of the simulation models, viz. experimentally tested hypotheses, and thus provides an understanding of the mechanisms involved. These two approaches are thus complementary, and are illustrated through their application to two tropical crops: groundnuts in West Africa and irrigated rice in the Philippines.*

LA CULTURE ET SES CONTRAINTES EN TANT QUE SYSTEME

La productivité d'une culture dépend d'un ensemble de facteurs extrêmement divers, que l'on peut désigner par l'expression: 'situation de production'. Une situation de production est représentée par l'ensemble des facteurs climatiques, biotiques, abiotiques, sociaux et économiques qui affectent la productivité agricole (de Wit 1982). En pratique, les recherches en protection des cultures se concentrent essentiellement sur deux aspects de la production agricole: d'une part, la culture proprement dite, c'est-à-dire son développement, sa croissance dans le temps, et le processus d'élaboration du rendement qui leur est associé, et d'autre part, les contraintes phytosanitaires, au travers de leur diversité, et de leurs dynamiques au cours de la période culturale.

L'étude des relations entre culture et contraintes phytosanitaires, c'est-à-dire des interactions entre populations de plantes et populations de ravageurs (*sensu lato*) implique nécessairement la prise en compte d'une série extrêmement diverse d'éléments, et de leurs interactions, au cours du cycle cultural. La mise en oeuvre de techniques relevant de l'analyse des systèmes est donc particulièrement appropriée pour ce type d'étude.

Cette présentation se focalise sur l'un des produits du fonctionnement du système culture-contrainte phytosanitaire: le rendement et ses variations. En effet, il faut considérer les variations de rendement induites par les contraintes phytosanitaires comme le résultat d'une interaction entre culture et contraintes tout au long du cycle cultural. Au cours de cette présentation, les contraintes phytosanitaires seront essentiellement, mais non exclusivement, représentées par des champignons phytopathogènes.

LES APPROCHES ENVISAGEABLES

Une approche systémique, c'est-à-dire une démarche prenant en compte le système considéré dans sa globalité, comporte différentes facettes. S'agissant de mettre en évidence quelques-unes des grandes caractéristiques des variations du rendement, et d'illustrer l'effet des situations de production en relation avec un petit nombre de composants du système considéré, une approche expérimentale en plein champ est envisageable.

En revanche, une approche diachronique, prenant en considération une grande diversité de situations de production, au cours de plusieurs périodes culturales, permet d'envisager l'analyse d'un nombre beaucoup plus important de constituants du système. Une telle démarche peut être envisagée à partir de données d'enquêtes, ou à partir d'une base de données structurée en une série d'expériences élémentaires.

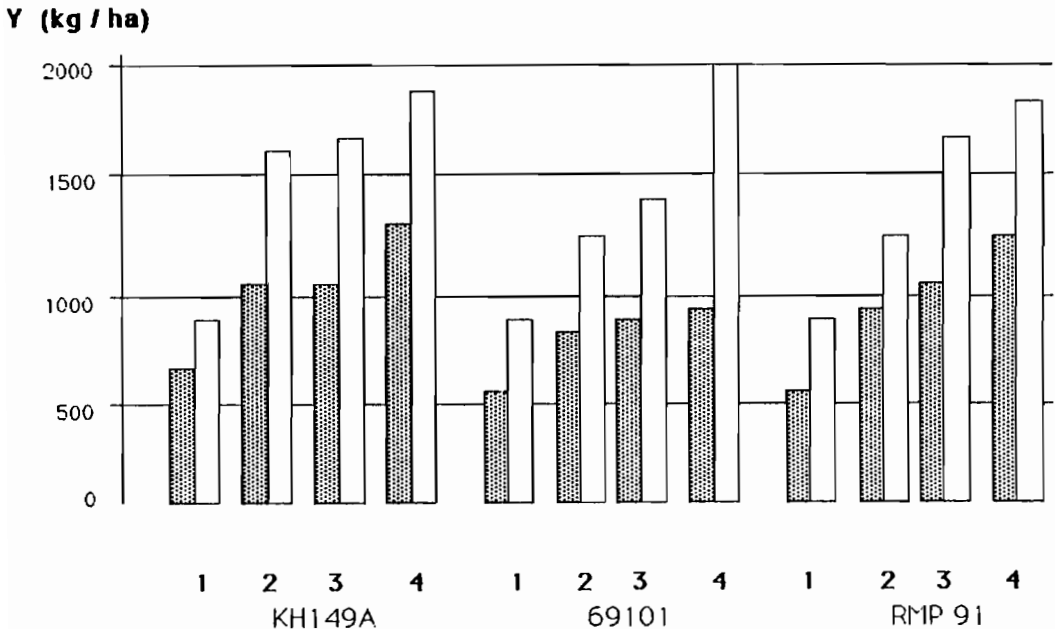
Enfin, l'élaboration de modèles de simulation peut être envisagée. De tels modèles sont fondés sur une connaissance approfondie, quantitative, des mécanismes impliqués dans le fonctionnement du système considéré.

Il s'agit, en pratique, d'une série d'hypothèses sur le fonctionnement du système, représenté par une architecture (un programme informatique), dans laquelle un ensemble de données expérimentales sont introduites.

APPROCHE EXPERIMENTALE

Les maladies fongiques de l'arachide constituent, en Afrique de l'Ouest, des composants majeurs du système de contraintes phytosanitaires de la culture (Savary 1991). Un essai préliminaire (Figure 1) permet de visualiser les relations entre situation de production et deux maladies, la rouille et la cercosporiose. Au cours de l'essai, différentes situations de production sont obtenues en introduisant successivement divers facteurs d'intensification dans un témoin: (1) un contrôle des mauvaises herbes (2), un accroissement de la densité de semis (3), et un apport d'engrais (4). Les deux maladies sont par ailleurs contrôlées à l'aide d'un fongicide de contact dans la moitié des parcelles (rectangles blancs), afin de mesurer les variations de rendement par rapport aux parcelles exposées au développement spontané des maladies (rectangles hachurés). L'expérience est conduite sur trois variétés d'arachide différentes. Les résultats montrent deux points importants: d'une part, des pertes de récoltes importantes quelque soit la variété et le niveau de production, et d'autre part, un accroissement des pertes de récoltes avec le niveau de production. En d'autres termes, les pertes dues aux deux maladies augmentent lorsque l'on améliore la situation de production. L'analyse de variance des rendements démontre par ailleurs que l'interaction entre situation de production et la présence de maladies est significative.

Figure 1



Une seconde expérience, beaucoup plus détaillée, est alors mise en place. Au cours de cette expérience, les deux types de maladies - rouille et cercosporioses - sont séparément manipulées par le biais d'infections artificielles et de traitement fongicides spécifiques. Ainsi, quatre types de parcelles sont obtenues, représentant quatre 'traitements maladies': sans maladies, infectée par la rouille, infectée par les cercosporioses, et infectée par les deux maladies.

A ce dispositif élémentaire, deux autres types de traitements sont superposés: le rendement potentiel des variétés (représentés) par trois variétés de cycle identiques, mais de productivités différentes), et le contrôle des mauvaises herbes (représentés par trois niveaux). Ces deux traitements superposés représentent donc une variation de la situation de production, parce qu'elles modifient la productivité de la culture indépendamment de la présence de maladies. Ce dispositif expérimental en bandes divisées superposées (Gomez et Gomez 1984, Johnson *et al.* 1986) permet de tester un ensemble d'interactions, et notamment de distinguer les effets des deux types de maladies.

L'analyse de variance des rendements met en évidence une série d'effets principaux et d'interactions significatives. Parmi ces dernières, deux ont une importance particulière: l'interaction simple rouille*enherbement, et l'interaction double rouille*enherbement*variété.

Ces deux interactions indiquent que les pertes de rendement dues à la rouille augmentent, respectivement, avec le contrôle des mauvaises herbes, et avec l'accroissement du rendement potentiel des variétés en combinaison avec un contrôle des mauvaises herbes accru. En d'autres termes, les pertes de rendement dues à la rouille augmentent lorsque la situation de production de la culture est améliorée. Il n'en est pas de même pour la cercosporiose, maladie pour laquelle aucune interaction significative est identifiée.

Ces deux expériences illustrent un phénomène bien connu - mais pourtant rarement décrit expérimentalement - en agronomie tropicale: l'accroissement du risque associé aux contraintes phytosanitaires lorsque le niveau d'intensification - représenté par la situation de production - s'accroît. Dans le cas des maladies fongiques de l'arachide, il semble que ce risque soit particulièrement associé à la rouille.

QUELQUES CONCEPTS

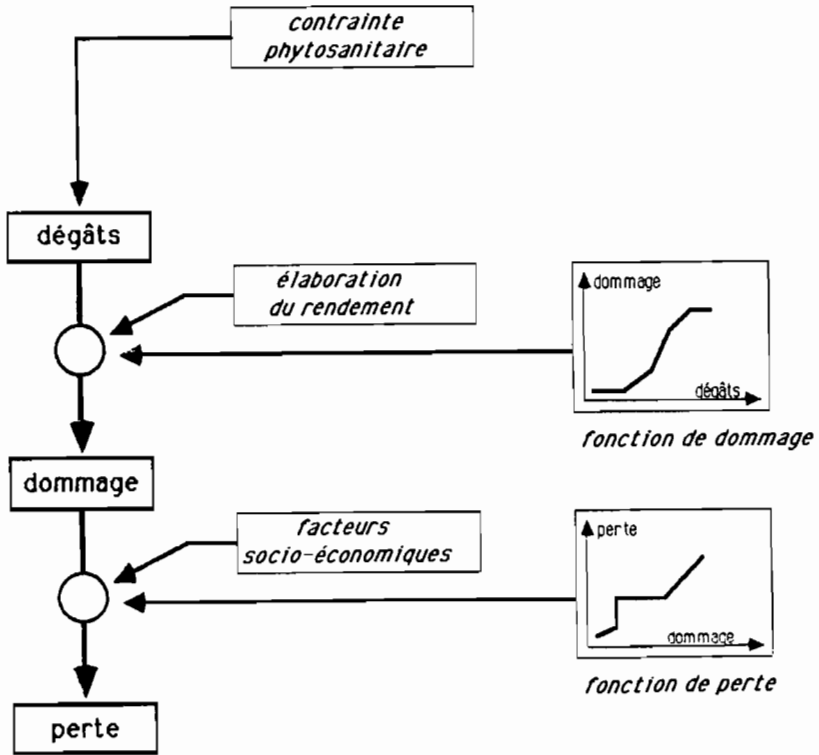
Il est sans doute utile, à ce point de revenir sur quelques concepts, illustrés dans la figure 2. Un dommage, c'est-à-dire une perte de récolte peut être défini comme le résultat d'une interaction dynamique entre, d'une part, les processus d'élaboration du rendement, et d'autre part, la cinétique d'une contrainte phytosanitaire. La figure 2 indique, de manière très simplifiée, quelles sont les relations entre dégât, dommage, et perte (Savary 1991). La présence d'une contrainte phytosanitaire dans une culture, par exemple une maladie, se traduit par un ensemble de signes, visibles, mesurables, que l'on peut désigner globalement par le terme dégât.

Ces signes visibles, de même que d'autres, parfois non mesurables, affectent le processus d'élaboration du rendement, et se traduisent par un dommage, c'est à dire une perte de

récolte. La fonction qui relie dommage et dégât est appelée la fonction de dommage. A son tour le dommage, en combinaison avec un ensemble de facteurs socio-économiques, se traduit par une perte économique.

Figure 2

**Diagramme relationnel entre les concepts:
dégâts, dommage, et perte**



La recherche en protection des cultures se focalise très rarement sur la fonction de perte, notamment en raison de l'extrême complexité des facteurs socio-économiques impliqués, spécialement en ce qui concerne les cultures vivrières tropicales. La fonction de dommage est, comme nous l'avons vu, fonction de la situation de production. Les différentes situations de production peuvent être représentées de manière quantitatives par leurs rendements accessibles respectifs (Zadoks et Schein 1979), c'est-à-dire, par les rendements obtenus en l'absence des contraintes phytosanitaires.

Pour un couple culture-contrainte phytosanitaire, il n'y a donc pas une fonction, mais une famille de fonctions de dommage. Par ailleurs, la fonction de dommage associée à une contrainte donnée risque fort d'être profondément modifiée par la présence d'une autre contrainte phytosanitaire.

De fait, il est assez rare qu'une culture soit, au cours de son cycle, exposée à une seule contrainte phytosanitaire. Si nous désirons être réaliste, il faut prendre en considération un ensemble de contraintes, ainsi qu'une certaine diversité des situations de production, afin de pouvoir envisager les variations de la fonction de dommage. Pour ce faire, une démarche diachronique doit être envisagée.

APPROCHE DIACHRONIQUE

Une enquête sur les contraintes phytosanitaires du riz aux Philippines

L'IRRI a conduit, de 1987 à 1989 une enquête sur les contraintes phytosanitaires du riz dans l'île de Luzon, aux Philippines (Elazequi *et al.* 1990). Les données rassemblées constituent vraisemblablement l'information la plus détaillée jamais recueillie sur les contraintes d'une culture vivrière tropicale. Ce jeu de données, qui couvre quatre cycles culturaux successifs dans 90 champs différents, comprend plusieurs volets. Chaque champ, au cours de chaque cycle cultural, est considéré comme un individu unique, représenté par un ensemble de pratiques culturales: la variété de riz, la date de repiquage, le mode de fertilisation, le contrôle de l'approvisionnement en eau, la fréquence et la nature des traitements pesticides, le mode de contrôle de l'enherbement, notamment. A ce volet, qui représente la situation de production - hormis les contraintes phytosanitaires - s'ajoutent trois autres, représentés par des données séquentielles acquises lors de trois visites successives dans chaque champ, concernant les insectes ravageurs, les maladies, et les mauvaises herbes. Enfin, des estimations de rendement sont, bien entendu, disponibles pour chaque culture dans chaque champ.

Ce jeu de données comporte donc à la fois des variables temporelles (par exemple l'intensité de pourriture des gaines lors d'une visite), et des variables indépendantes du temps (par exemple, la quantité d'engrais apportée); il comporte également des variables ordinales, ou qualitatives (comme la variété), et des variables cardinales, c'est-à-dire quantitatives (comme le rendement). Son analyse a été effectuée au cours d'étapes successives, avec pour objectif de définir des types de pratiques culturales, et des profils de contraintes phytosanitaires, et mettre en évidence d'éventuelles associations entre eux, ainsi qu'avec les niveaux de rendement.

Au cours d'une première étape, chaque série de variables liées au temps (observations successives dans les champs) a été remplacée par une nouvelle variable intégrant ces variations au cours du cycle cultural. Ensuite, pour chaque variable cardinale (quantitative), des classes successives ont été définies, et chacune de ces variables a été remplacée par une nouvelle variable codée selon ces classes. Ainsi, pour le rendement, la gamme de rendements observée, de 0,8 t/ha à 7 t/ha, a été remplacée par six classes successives, représentant un rendement très faible à très élevé.

A l'issue de ces deux premières étapes, on dispose alors d'un ensemble de variables qui sont indépendantes du temps, et qui sont ordinales, soit parce qu'elles sont purement qualitatives, soit parce qu'elle représente une caractéristique quantitative codée en classes de valeurs croissantes. Des groupes de champs ont ensuite été définis, en utilisant deux types de critères: les pratiques culturales, d'une part, et les contraintes phytosanitaires (mauvaises herbes, maladies, insectes ravageurs) d'autre part. Deux classifications ont donc été effectuées, de manière indépendante, sur la base de deux familles de critères différents.

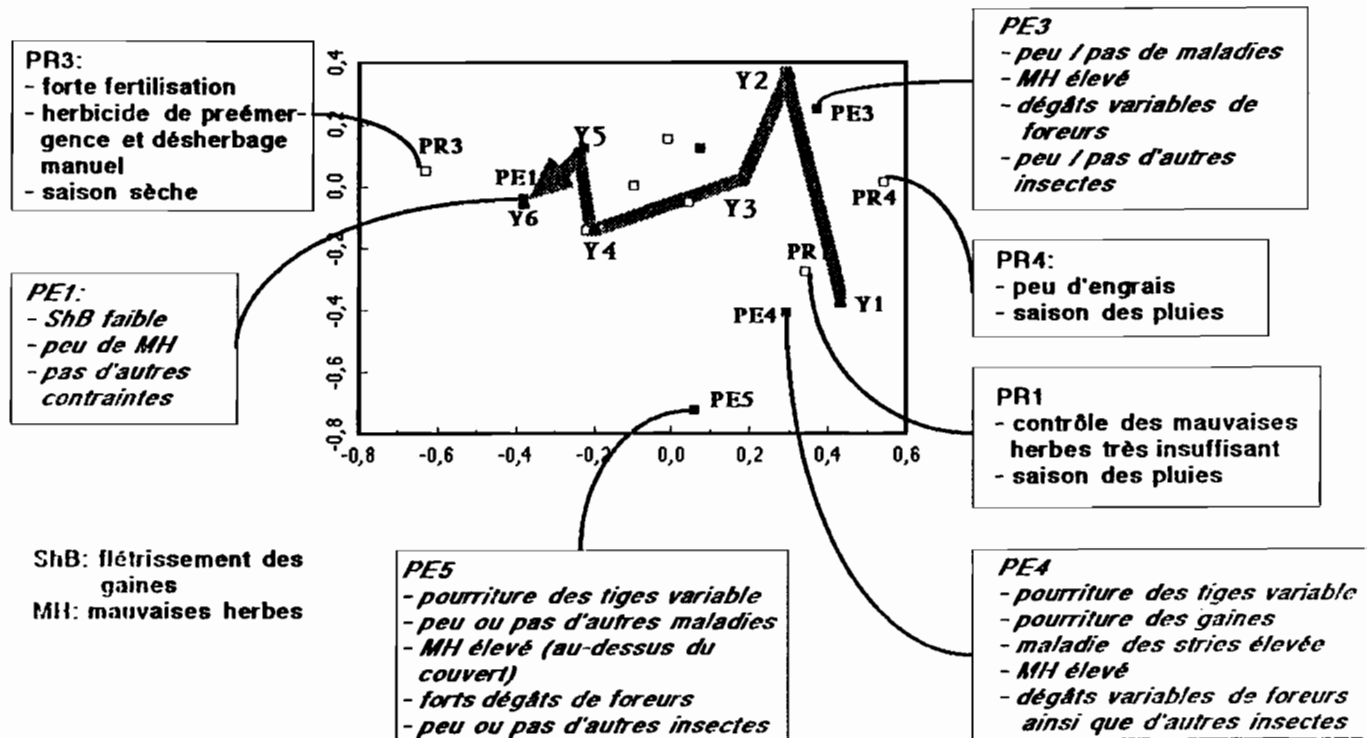
L'étape finale de l'analyse consiste à considérer les résultats de ces deux classifications et à les relier aux variations du rendement. Ces deux classifications, en effet, aboutissent à des regroupements que l'on peut décrire comme des types de pratiques culturales, et comme des profils de contraintes phytosanitaires - la question étant de savoir s'il existe une relation entre pratiques culturales et profils de contraintes, et comment les unes et les autres sont associées au rendement. Ces associations peuvent être visualisées grâce à des analyses factorielles des correspondances, et testées par des tests de chi-deux.

La figure 3 montre les relations indiquées par une analyse factorielle des correspondances entre pratiques culturales, profils de contraintes phytosanitaires et rendement. De ce graphe, naturellement complexe, quelques faits saillants émergent. Ce graphe représente les positions des variables selon les deux premiers axes, qui rendent compte ensemble d'environ 80% de l'inertie totale. Les deux classifications de champs, soit en fonction des pratiques culturales, soit en fonction des profils de contraintes, y sont représentées. Les classes successives de rendement ont été reliées entre elles, de manière à obtenir un itinéraire de rendements croissants, positionné par rapport aux différents types de champs. Différentes associations sont indiquées, comme, par exemple les rendements très élevés (Y6) avec le type de pratique culturale PR3: forte fertilisation, bon contrôle de l'enherbement, et saison sèche. Cette association s'oppose à celle liant les rendements très faibles (Y1) et PR1 (contrôle très insuffisant des mauvaises herbes, et saison des pluies).

Les rendements très faibles sont également associés à deux types de profils de contraintes, l'un et l'autre représentant une grande diversité d'agents (maladies, insectes, mauvaises herbes). Les rendements très élevés, en revanche, sont associés à l'absence de toute contrainte, à l'exception d'une seule, le flétrissement des gaines. Cette maladie est favorisée par des cultures denses, avec un apport de fumure azotée important. D'une manière très générale, cette analyse montre que la contrainte biotique principale est constituée par les mauvaises herbes, de mauvais résultats étant particulièrement aggravés par les insectes foreurs des tiges. Le cas du flétrissement des gaines est particulier; une interprétation possible, nécessitant des expériences de confirmation, est que cette maladie constitue la seule contrainte réelle du riz aux rendements accessibles élevés.

Figure 3

- ▲ Y : classes de rendements
- PR : types de pratiques culturales
- PE : types de profils de contraintes



Analyse d'une base de données sur les maladies de l'arachide

Six expériences élémentaires successives (figure 4) ont été réalisées, au cours d'une période d'environ deux années sur le dommage occasionné par les maladies foliaires de l'arachide. Cet ensemble d'expériences constitue une base de données comportant 90 individus représentés par des parcelles individuelles. Cette base de données doit, en premier lieu, couvrir la plus grande diversité possible de situations de production, représentatives de l'Afrique de l'Ouest. Les situations de production sont manipulées (a) en répétant les expériences, c'est-à-dire en modifiant les périodes de culture et les conditions de mise en place (axe horizontal), et (b) en incorporant une sélection de facteurs d'intensification, l'un d'entre eux étant assigné à chaque expérience, avec l'un des trois niveaux possibles de ce facteur représenté par l'un des blocs dans chaque expérience (axe vertical).

Le second objectif est d'obtenir une diversité de dégâts; les niveaux de dégâts occasionnés sont manipulés afin d'obtenir deux niveaux différents pour chacune des deux maladies. Ces niveaux sont établis grâce à des infections artificielles avec l'agent de la rouille ou de la cercosporiose tardive.

Dans chaque bloc, l'une des parcelles est une référence, protégée contre les deux maladies par une couverture continue avec un fongicide de contact. Ces parcelles de référence produisent un rendement accessible (Y_a), représentatif du bloc dans chaque expérience. La mesure de ce rendement accessible constitue donc la définition opérationnelle de la situation de production, c'est-à-dire, de chaque combinaison: bloc/expérience.

Une description sommaire de cette base de données peut être obtenue grâce à des regressions multiples pas à pas, dont voici un exemple:

$$Y = 143 + 0.96 Y_a - 9.70 Rl*Sl - 0.055 Y_a*Rl + 0.020 Y_a*Sl$$

($R^2 = 0.92$, 85 d.d.l.)

où Rl et Sl sont les logarithmes népériens des aires sous les courbes de progression des épidémies.

Cette équation indique que le rendement réel d'une parcelle (Y) peut être décrit comme une surface de réponse aux variations de la situation de production (Y_a), des dégâts causés par la rouille (Rl) et par la cercosporiose (Sl), et leurs interactions. Elle montre, en particulier, que les dégâts ont des effets moins qu'additifs sur la réduction de Y, c'est-à-dire, sur le dommage (terme Y_a*Sl positif), et, surtout, que l'effet des dégâts n'est pas indépendant de la situation de production (termes Y_a*Rl et Y_a*Sl).

Il est possible de revenir à l'information produite par la base de données au travers d'analyses factorielles des correspondances. La figure 5 en donne un exemple. Deux types de rendements peuvent être considérés: le rendement des cultures protégées (rendement accessible, Y_{ref}) ou non protégées (rendement réel, Y_p), et classés en catégories. Simultanément, deux situations parasitaires peuvent être envisagées: subissant les contraintes parasitaires ($D=1$), ou non ($D=0$).

Cette analyse indique que le rendement accessible, le rendement réel, et la présence de contraintes sont associés, en deux phases:

- dans une première phase (figure 5 b), le rendement réel augmente à mesure que le rendement accessible augmente;
- dans une seconde phase (figure 5 c), l'accroissement du rendement réel avec le rendement accessible dépend de la présence de maladies.

En d'autres termes, l'analyse met en évidence l'existence d'un seuil de rendement accessible; en deçà de ce seuil, des dommages ont lieu, mais n'affectent pas la progression du rendement; au-delà de ce seuil, les dommages sont d'importance suffisante pour que les rendements stagnent. Il existe donc une situation de production optimale, représentée par un rendement accessible de l'ordre de 1400 kg/ha, au-delà de laquelle les pertes de récolte seraient telle qu'une protection fongicide deviendrait indispensable.

MODELES DE SIMULATION

Couplage hôte-parasite: canevas général d'un modèle

La figure 6 indique l'organisation générale d'un modèle destiné à simuler les interactions entre une culture et une contrainte phytosanitaire. La structure du modèle comporte deux parties: la croissance et le développement de la culture, d'une part, et la dynamique de la contrainte, d'autre part. La croissance et le développement de la culture est représentée, très sommairement, par un certain nombre de variables d'état, telles que les photosynthétats assimilés, la biomasse des racines, ou la biomasse des organes de stockage - qui, au terme du cycle cultural, constituera le rendement de la culture. Ces variables d'états sont reliées par des flux de biomasse, contrôlés par des taux tels que le taux de photosynthèse, et par des coefficients de répartition. La dynamique de la contrainte phytosanitaire est représentée schématiquement par différents stades de développement rendant compte du cycle biologique de l'agent, reliés par des flux d'individus, passant d'un stade au stade suivant.

Fonctions de couplage

Enfin, les deux unités sont reliées par des coupleurs. Ces coupleurs, orientés soit dans le sens contrainte-culture, soit dans le sens culture-contrainte, représentent les interactions entre les deux populations. Dans le sens culture-contrainte, un élément de couplage essentiel est la croissance elle-même de la culture, puisque celle-ci définit la capacité de support du milieu pour l'agent responsable de la contrainte. Ainsi, la dynamique d'un parasite foliaire sera étroitement dépendant de la surface foliaire disponible pour son développement. Différents types de couplages dans le sens contrainte-culture peuvent être envisagés. Ces types peuvent être représentés par différentes fonctions de dommage: une réduction du peuplement végétal, une réduction du taux de photosynthèse, une accélération de la sénescence, une réduction de la lumière interceptée par les tissus en place, un détournement d'assimilats, la consommation et la destruction de tissus et une réduction de la turgescence des tissus (Boote *et al.* 1983).

Figure 4

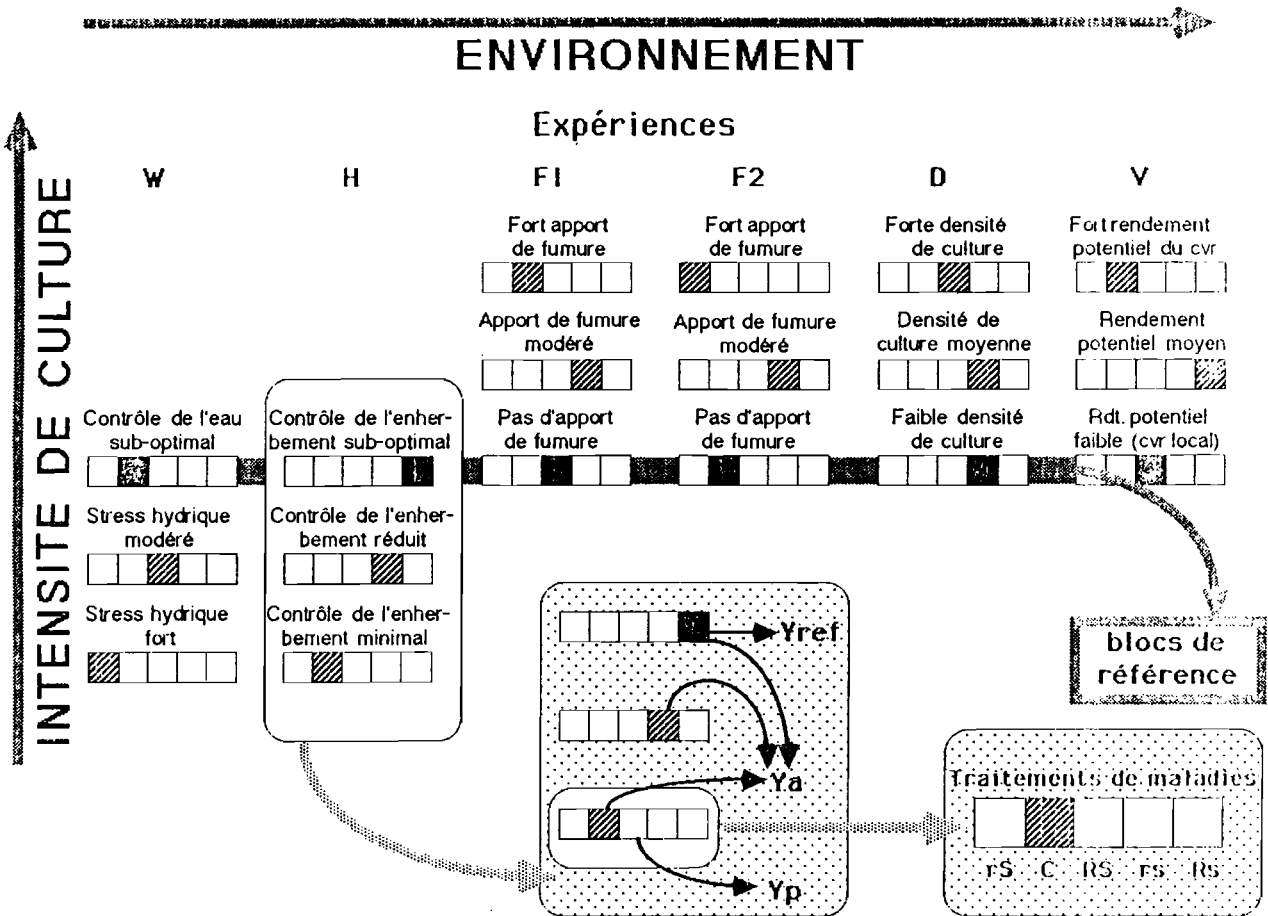


Figure 5

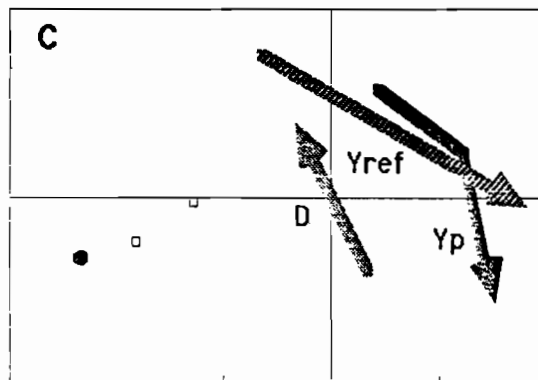
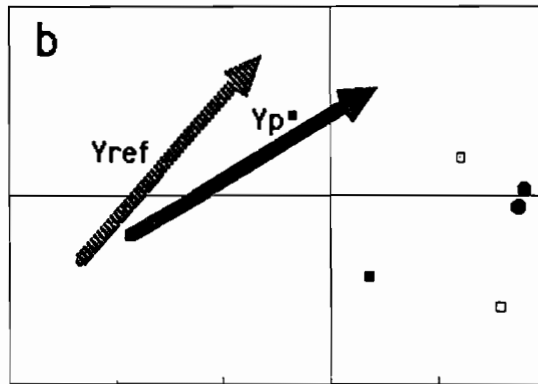
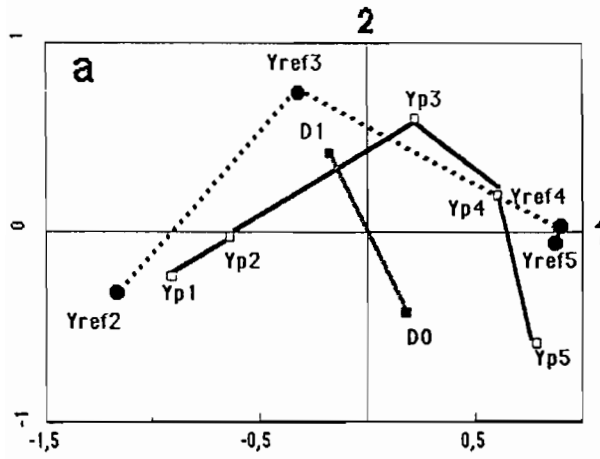
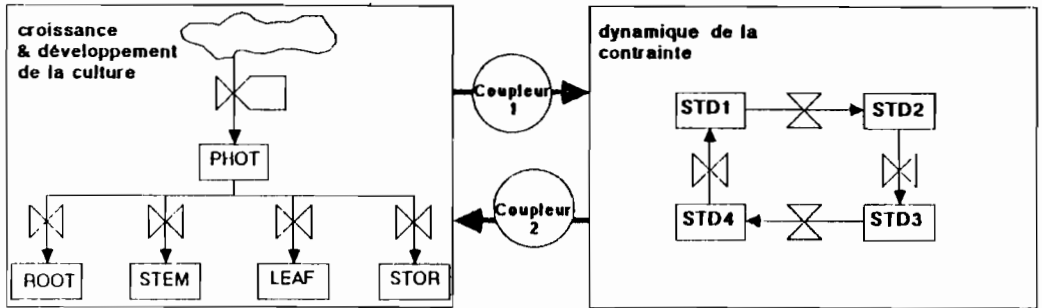


Figure 6



Un élément essentiel est qu'une contrainte phytosanitaire peut être associée à différentes fonctions de dommage. Ainsi par exemple, la cercosporiose de l'arachide provoque une réduction du taux de photosynthèse (probablement), une accélération de la sénescence des feuilles, et une réduction de la lumière interceptée par les feuilles en place. Par contre, un insecte foreur des tiges du riz provoque une réduction du peuplement végétal, consomme et détruit ses tissus, et réduit leur turgescence.

Modèles comportant plusieurs contraintes

Cette architecture peut être étendue à plusieurs contraintes prises en considération simultanément. La figure 7 montre l'organisation générale d'un modèle de ce type. Ce schéma met en évidence l'importance d'une structure modulaire de chacun des éléments du modèle, seule à même d'exploiter le caractère universel des fonctions de couplage.

Il permet également de souligner l'importance du modèle de culture, qui doit simuler quantitativement les processus physiologiques au niveau desquels ces fonctions de couplage interviennent. En d'autres termes, le modèle de la culture doit être suffisamment détaillé pour rendre compte des effets physiologiques des contraintes phytosanitaires, afin de pouvoir les traduire en pertes de rendement.

Architecture d'un modèle de simulation préliminaire du flétrissement des gaines du riz

Le flétrissement des gaines du riz est provoqué par un champignon (*Rhizoctonia solani* Kühn) qui possède la caractéristique de ne pas avoir de stade de développement véritablement clair - hormis la formation de sclérotés - au cours de son cycle biologique, qui est presque toujours végétatif. Le développement des épidémies est attribué à un inoculum d'origine tellurique,

représenté par du mycélium survivant sur des débris végétaux et par des sclérotés, puis à l'infection de jeunes plants de riz.

Ultérieurement, l'épidémie se développe essentiellement par contact entre tissus infectés et tissus sains. Deux types de tissus peuvent être considérés: les gaines, et les feuilles proprement dites.

L'infection peut se propager sur l'un et l'autre des deux supports, qui sont donc considérés séparément, et reliés entre eux par des fonction de contacts. Ce cas particulier de modèle doit permettre de tester si les épidémies de flétrissement des gaines sont effectivement gouvernées par la fréquence des contacts, dans le couvert végétal, entre tissus sains et tissus infectés. Il pourra ultérieurement être couplé à un modèle de croissance du riz.

Un modèle de simulation pour la rouille de l'arachide

La construction d'un modèle de simulation constitue une approche idéale pour rassembler les informations disponibles sur un système biologique complexe, et pour identifier les points qui nécessitent de futures expérimentations. Un tel modèle a été élaboré pour la rouille de l'arachide (Savary *et al.* 1990) à partir de données expérimentales. Ce modèle comporte les deux parties, évoquées précédemment, d'un modèle couplé: un sous-modèle de la croissance et du développement de la culture, et un sous-modèle de dynamique de la maladie.

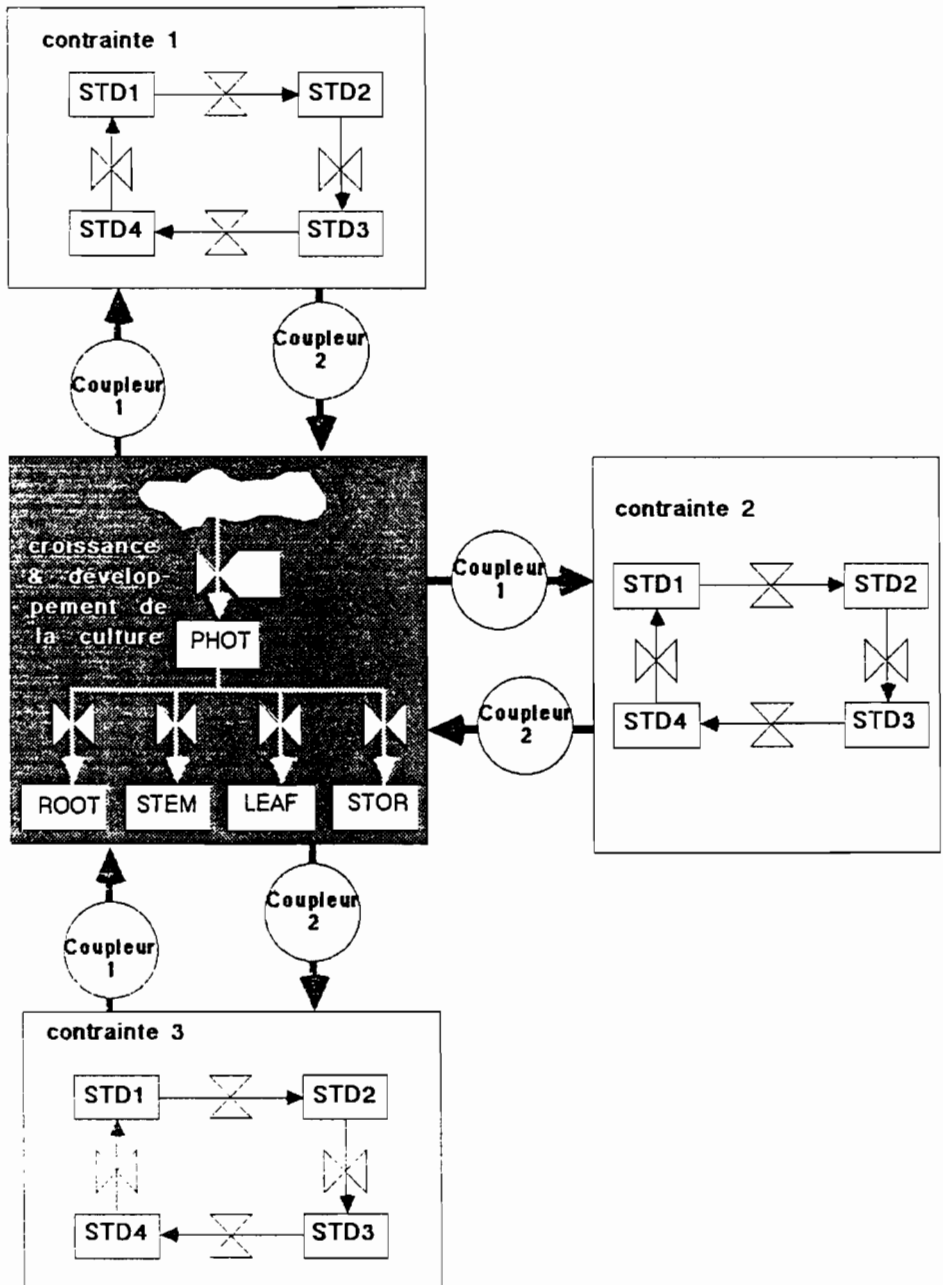
Le système considéré par ce modèle est constitué par 1 m² de culture d'arachide infectée par la rouille, entouré par un grand nombre de systèmes équivalents. Le pas de temps du modèle est de 1 jour: à la fin de chaque journée écoulée, l'ensemble des valeurs des variables considérées est réévalué en fonction des nouvelles valeurs des fonctions directrices (principalement climatiques) du modèle.

Le modèle de l'hôte est un modèle très simple, qui rend compte de la photosynthèse et de la transpiration en conditions optimales d'alimentation hydrique et minérale. Les hydrates de carbones libres sont alors répartis et fixés dans les différents organes: racines, tiges, feuilles, et gousses. Cette répartition est fonction du stade de développement de la culture.

Le modèle de maladie prend en considération plusieurs stades de développement des lésions de rouille; un site à la surface d'une feuille peut être libre, latent, infectieux (la lésion est toujours visible, mais elle ne produit plus de spores et ne participe plus à l'épidémie). La sporulation, à partir des lésions infectieuses, donne naissance à un flux de spores libérées, puis transportées, et déposées.

Différents facteurs régissant ces processus sont pris en compte dans le modèle. Le couplage entre les deux sous-modèles s'effectue dans les deux directions: maladie-culture et culture-maladie. La croissance du couvert, et l'accroissement de l'indice foliaire, est directement responsable des variations du substrat disponible pour le parasite (sens culture-maladie). De plus, le nombre de spores piégées par le couvert végétal est proportionnel à l'indice foliaire.

Figure 7



En sens inverse, la maladie affecte la culture de deux manières: la multiplication des lésions réduit la surface foliaire photosynthétisante, et la production de spores s'effectue directement aux dépens des hydrates de carbones non encore fixés. Ce second effet est sans doute très important: une culture d'arachide (LAI=4) infectée par la rouille avec une sévérité de 15% (environ $1.86 \cdot 10^6$ lésions.m²) produit 1 à 3 kg de spores par hectare et par jour, dans des conditions modérément favorables.

Ce modèle permet de tester et de tester diverses hypothèses concernant les composantes de résistance à la maladie et constitue donc un outil pour la sélection de variétés résistantes. Il permet également de comparer différents scénarios pouvant influencer le cours d'une épidémie, soit du fait de changements climatiques, soit du fait de la mise en oeuvre de mesures de contrôle, notamment par un fongicide. Il peut donc être utilisé comme outil d'optimisation et d'évaluation. Naturellement, l'outil est imparfait. Plusieurs améliorations peuvent être envisagées (Savary *et al.* 1990), qui concernent essentiellement le modèle de la culture.

CONCLUSION

Les expressions 'démarche systémique' et 'analyse des systèmes' reprennent, sous des termes rénovés, des conceptions établies depuis longtemps: il est nécessaire d'avoir une connaissance globale d'un système avant de pouvoir le gérer. Souvent, l'analyse des systèmes est associée d'une manière exclusive à l'élaboration et à l'utilisation de modèles mathématiques. Il est vrai que ces modèles mathématiques constituent le moyen privilégié de rassembler des hypothèses, de les structurer, et de mesurer quantitativement leur signification dans le contexte du système considéré.

Il est vrai également que seuls ces modèles permettent d'explorer l'ensemble des interactions entre les différents composants du système, comme, ici, des relations plantes-parasites. L'élaboration de modèles mathématiques ne permet pas, cependant, d'appréhender la complexité et la diversité de certains systèmes, comme par exemple l'ensemble des contraintes phytosanitaires d'une culture vivrière tropicale. Cette perception-là, seule une enquête de terrain, structurée et dûment analysée, est capable de la fournir.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Boote K.J., Jones J.W., Mishoe J.W. and Berger R.D. (1983). Coupling pests to crop growth simulator to predict yield reductions. *Phytopathology* 73: 1581-1587.
- De Wit C.T. et Penning de Vries F.W.T. (1982). L'analyse des systèmes de production primaires. In: *La Productivité des Pâturages Sahéliens*. F.W.T. Penning de Vries et M.A. Djiteye Eds. Agr. Res Rep. 918 Pudoc, Wageningen. pp. 275-283.
- Elazegui F.A., Soriano J., Bandong J., Estorninos L., Jonson I., Teng P.S., Shepard B.M., Litsinger J.A., Moody K. and Hibino H. (1990). Methodology used in the IRRRI integrated pest survey. In: *Crop Loss Assessment in Rice*. IRRRI, Los Baños, pp. 241-271.
- Gomez K.A. and Gomez A.A. (1984). *Statistical Procedures for Agricultural Research*. Second Edition. John Wiley and Sons, New York. 680 pp.

- Johnson K.B., Radcliffe E.B. and Teng P.S. (1986). Effects of interacting populations of *Alternaria solani*, *Verticillium dahliae* and the potato leafhopper (*Empoasca fabae*) on potato yield. *Phytopathology* 76: 1046-1052.
- Savary S., De Jong, Rabbinge R. and Zadoks J.C. (1990). Dynamic simulation of groundnut rust: a preliminary model. *Agricultural Systems* 32: 113-141.
- Savary S. (1991). *Approches de la Pathologie des Cultures Tropicales. L'exemple de l'Arachide en Afrique de l'Ouest*. Editions Karthala/ORSTOM, Paris. 288 pp.
- Zadoks J.C. and Schein R.D. (1979). *Epidemiology and Plant Disease Management*. Oxford University Press, New York. 427 pp.

**INTERACTIONS PLANTES
MICROORGANISMES**

**SENEGAL
FEBRUARY 1992**

ifs

Fondation Internationale pour la Science

INTERACTIONS PLANTES MICROORGANISMES

INTERACTIONS BETWEEN PLANTS AND MICROORGANISMS

**Compte rendu du séminaire régional organisé par
la Fondation Internationale pour la Science (IFS)
et l'Institut Français de Recherche Scientifique
pour le Développement en Coopération (ORSTOM)**

**Dakar, Sénégal
17-22 février 1992**

Organisateurs:

Fondation Internationale pour la Science (IFS)
Institut Français de Recherche Scientifique
pour le Développement en Coopération (ORSTOM)

Co-financé par:

Institut Français de Recherche Scientifique
pour le Développement en Coopération (ORSTOM)
Islamic Educational, Scientific and Cultural Organization (ISESCO)
Centre Technique de Coopération Agricole et Rurale (CTA)

Publié par:

Fondation Internationale pour la Science (IFS)
Grev Turegatan 19, 114 38 Stockholm, Sweden

Rédaction:

Judith N. Wolf

Les communications qui figurent dans cette publication ont été reproduites telles que soumises et n'ont pas été revues par des pairs, ni révisées du point de vue scientifique par la Fondation Internationale pour la Science (IFS). Les opinions exprimées n'engagent que les auteurs et pas la Fondation Internationale pour la Science (IFS).

La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les "copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective" et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, "toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droits ou ayants cause, est illicite" (alinéa 1er de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code Pénal.

ISBN: 91 85798 31 2