

# Productions végétales : contraintes, ressources et innovations

Georges Pelletier  
INRA

Sauvons Le Climat

Autrans 9 et 10 octobre 2009

# ENJEUX POUR LE FUTUR

Il faudra produire pour au moins  $10^9$  habitants

Malgré des obstacles physiques et biologiques

En utilisant des ressources finies

Il faut réduire l'impact environnemental de la production

Avec des objectifs réalistes

Par l'innovation

# Contraintes physiques subies par la production végétale.

Les sols où il serait possible de pratiquer l'agriculture:  
22% des terres émergées  
soit 3,3 milliards d'hectares,  
plus du double des terres arables actuelles qu'on estime à  
1,5 milliard d'hectares.

Ces territoires débordent largement des aires d'origine  
des espèces.

Ils sont de qualité variable

# Contraintes physiques subies par la production végétale.

Seulement 15% des espaces de culture n'exercent pas de contraintes physico-chimiques particulières sur les plantes (Boyer 1982) :

45% ont une faible disponibilité en eau,  
17% sont trop humides,  
16% sont trop froids,  
7% sont salés ou alcalins

Les sols salés ou alcalins affectent tous les continents et représentent 831 millions d'hectares des terres émergées (Rengasamy 2006).

La salinisation s'accroît de 3 hectares par minute  
La moitié des terres irriguées dans les régions arides et semi-arides ont des problèmes de salinisation.

# Contraintes physico-chimiques subies par la production végétale: besoins en eau.

L'agriculture, l'élevage et l'aquaculture utilisent actuellement plus de 7100 km<sup>3</sup> d'eau par an, dont 2200 dans des zones irriguées (**International Water Management. Institute. 2007**).

40% de la production de plantes cultivées viennent de 16% des terres agricoles qui sont irriguées.

20% de l'irrigation des terres aux Etats-Unis provient des eaux souterraines utilisées au delà des capacités de recharge.

Globalement, le changement climatique conduira à:

- une accentuation des sécheresses dans les régions déjà sèches et aux latitudes moyennes
- un excès d'eau dans les régions tropicales et aux latitudes élevées (**Kundzewicz et al 2008**).

## Contraintes physico-chimiques subies par la production végétale: gaz carbonique.

Il y aura une élévation de la teneur en  $CO_2$  de l'atmosphère  
La photosynthèse de plantes en  $C_3$  (soja, colza, coton, riz, blé...) pourrait en être stimulée,  
Cet effet est moindre dans le cas des espèces en  $C_4$  (maïs, sorgho, canne à sucre...).

Pour une teneur de 550 ppm (niveau actuel 380) l'effet serait de faible amplitude sur le rendement final, sauf en cas de stress hydrique (Long et al. 2006).

Il est même probable que le résultat global en particulier au delà de 2050 sera plutôt une réduction de la productivité agricole surtout dans les pays en développement (Cline 2008)

# Contraintes physico-chimiques subies par la production végétale: l'azote.

L'azote est nécessaire à la vie.

Seules des bactéries sont capables d'utiliser l'azote de l'air. Quelques familles végétales en symbiose avec ces bactéries obtiennent cet élément sous forme d'ammoniac. Les engrais azotés de synthèse (nitrate ou ammoniac), coûteux en énergie, sont responsables depuis leur production jusqu'à leur utilisation, d'environ **un tiers** des émissions de gaz à effet de serre du secteur agricole dans le monde (**Strange et al. 2008**).

En particulier 50% de l'azote fourni au champ n'est pas directement utilisé par les cultures ni retenu par la matière organique du sol (eutrophisation de milieux aquatiques).

# Contraintes physiques et biologiques subies par la production végétale: le phosphore

Il ne serait pas possible de nourrir la population mondiale actuelle sans engrais phosphatés.

Le cycle du phosphore est dominé par les activités humaines, en particulier l'agriculture.

Des quantités **excessives** utilisées se retrouvent dissoutes dans les eaux de surface (eutrophisation).

Les ressources exploitées aujourd'hui sont **limitées**

Sa fourniture de moins en moins économique au cours de ce siècle.

De nouvelles ressources minérales contenant cet élément, les procédés nécessaires à leur exploitation, et une meilleure utilisation en agriculture sont à rechercher (**Oelkers & Valsami-Jones 2008**).



# Contraintes biologiques subies par la production végétale : les pertes au champ

Du fait des contraintes biologiques : mauvaises herbes, parasites et pathogènes (virus, bactéries, champignons).

Malgré les mesures de protection chimique en particulier, elles s'élèvent au niveau mondial à 28% pour le blé, 37% pour le riz, 31% pour le maïs, 40% pour la pomme de terre, 26% pour le soja (**Oerke 2007**).

Pour le blé en Europe de l'ouest, les pertes sont de l'ordre de 14% (on produit en moyenne 70 quintaux par hectare)

Sans protection chimique des cultures elles seraient de 48% (on ne produirait que 40 quintaux).

Ces pertes sont plus importantes dans des pays soumis à une plus forte pression parasitaire et une moindre protection chimique.

En Afrique tropicale et équatoriale les seuls pathogènes (virus et champignons principalement) réduisent globalement la production de 35%. 50% de la production de céréales y est de plus détruite par les insectes.

# Changement climatique et parasitisme.

Sans qu'il soit possible de quantifier les effets climatiques sur la prolifération des parasites et des pathogènes, il est raisonnable de penser qu'elle ne pourra que s'accroître avec l'élévation des températures et l'augmentation de l'humidité dans certaines régions (Iglesias & Rosenzweig 2007).

Les parasites peuvent devenir plus agressifs par:

- extension de leur territoire géographique
- prolifération à des périodes inhabituelles de l'année s'attaquant par exemple plus tôt aux cultures.
- modification des proportions relatives des différents types de pathogènes
- développement de maladies considérées jusqu'ici comme mineures.

Il n'est donc pas concevable d'atteindre un niveau de production acceptable sans augmenter les mesures de protection des cultures (lutte intégrée, variétés résistantes issues ou non du génie génétique, utilisation de produits phytosanitaires).

## MIEUX UTILISER LES RESSOURCES: Les terres

3. L'augmentation de la production globale se fera à la fois par une amélioration des rendements et par une augmentation des surfaces cultivées. Ces dernières seront d'autant moins importantes que des progrès seront réalisés dans la productivité des cultures.
2. L'augmentation des rendements sur des territoires déjà consacrés à l'agriculture aura moins d'impacts négatifs sur l'environnement que la mise en culture de nouveaux territoires qui conduit à de fortes émissions de gaz à effet de serre (Fargione 2008) et a un impact négatif sur la biodiversité et la qualité de l'eau (Foley 2005).

# MIEUX UTILISER LES RESSOURCES: les rendements

Par exemple:

Le potentiel de rendement du maïs est de l'ordre de 25 tonnes à l'hectare

La moyenne dans les pays à agriculture intensive (USA, Chine, Argentine, France, Hongrie, Canada, Italie) est de 7,5 T/ha, et seulement de 2,8 T/ha dans les pays d'agriculture extensive traditionnelle (Tollenaar & Lee 2002).

Des progrès importants pourraient donc être réalisés dans ces régions par l'amélioration des techniques agricoles et la disponibilité d'engrais indispensables pour la croissance des plantes.

# MIEUX UTILISER LES RESSOURCES : Les intrants

1. Un usage excessif des intrants a des conséquences environnementales négatives.

L'efficacité d'utilisation de l'azote, à l'échelle globale de la production végétale mondiale n'est que de l'ordre de 33% (Raun & Johnson, 1999).

2. Minimiser les coûts environnementaux tout en maintenant la production signifie augmenter l'efficacité d'utilisation de l'eau, de l'azote et du phosphore et réduire l'usage des produits toxiques.

3. Ceci nécessite une amélioration des pratiques culturales ( il a été montré sur plusieurs exemple en Chine qu'il était possible de réduire de 30 à 60% la quantité d'azote épandue au champ et obtenir une même production Ju et al. 2009) et des variétés cultivées.

# MIEUX UTILISER LES RESSOURCES.

Il faut d'abord développer des méthodes et techniques permettant une plus exacte adaptation de la fourniture des ressources à la demande des plantes.

(l'agriculture de **précision**, qui utilise des outils modernes de diagnostic pour décider de la fourniture de l'eau et des éléments, allant même quand cela est possible à une application à proximité des racines pour éviter les pertes, en est un exemple).

Des systèmes de culture **associant** des rotations d'espèces comme les légumineuses capables, grâce à la symbiose bactérienne, de fixer l'azote et des céréales pour limiter l'apport d'engrais à ces dernières qu'il soit d'origine biologique ou de synthèse.

L'utilisation de cultures associées à des productions ligneuses comme dans l'agroforesterie a pour avantage de stocker du carbone et de limiter l'érosion.

La réalisation, dans **un espace réaménagé**, de bandes tampons constituées d'une flore persistante pouvant accueillir une faune utile pour les cultures (exemple des pollinisateurs) et également capable de piéger les éléments en excédent libérés par les cultures et par l'élevage à proximité des rivières, des lacs et des estuaires.

# MIEUX UTILISER LES RESSOURCES.

L'agriculture biologique n'est pas généralisable.

Elle proscrit les engrais et les produits de protection des cultures issus de synthèse chimique et impose un usage limité de fumure (animale et plantes fixatrices l'azote) et de produits de traitement organiques ou « traditionnels ».

Elle a des rendements réduits. La productivité est de l'ordre de 60% de ce qu'elle pourrait être en agriculture conventionnelle qui par l'usage de produits de synthèse est mieux adaptée à la demande physiologique des plantes. **(Mason et al. 2007)**.

Des raisons de nature philosophique la conduisent à proscrire certains types de variétés (variétés hybrides ou issues de méthodes biotechnologiques).

En excluant les substances de synthèse et les méthodes récentes de création variétale elle ne peut prétendre assurer une production suffisante pour 9 milliards d'êtres humains **(Trewavas 2004)**.

Toute extension significative de l'AB conduirait à une augmentation des prix agricoles, à une fluctuation plus grande des productions, (aléas climatiques et surtout parasites) et à une demande supplémentaire de terres accélérant la déforestation. A ces effets s'ajouterait la nécessité d'élever plus d'animaux en particulier des ruminants (le passage au 100% biologique aux Etats-Unis conduirait à multiplier par 7 le nombre de bovins dans ce pays avec une augmentation en conséquence des émissions de gaz à effet de serre!)

# MIEUX UTILISER LES RESSOURCES.

Par ailleurs un choix d'espèces et la création de variétés végétales plus économes en eau, capables de surmonter des épisodes de déficit hydrique et ayant une meilleure efficacité d'utilisation des éléments minéraux sont tout aussi essentiels. Des variétés ayant une meilleure tolérance à la sécheresse devraient toutes choses égales par ailleurs conduire à de meilleurs rendements dans des zones plus sèches, éviter le stress en système pluvial et diminuer les besoins en zone irriguées (**Mittler 2005**).

Par exemple la sécheresse affecte de plus en plus les riz pluviaux qui consomment beaucoup d'eau. Le système racinaire profond et vigoureux d'une variété de riz des Philippines été conféré, grâce aux techniques modernes de la génétique, à des variétés du type Indica (**Steele et al. 2006**).

De même l'orge sauvage (*Hordeum spontaneum*) est une source de gènes de tolérance à la sécheresse pour l'orge cultivée (*H. vulgare*) en région méditerranéenne et également de gènes qui peuvent améliorer le rendement en conditions non limitantes (**Talamé et al. 2004**).



# MIEUX UTILISER LES RESSOURCES.

L'amélioration de l'efficacité d'utilisation des éléments est un facteur qui peut réduire également la demande de terres nouvelles. Il faut que les cycles de l'azote et du phosphore soient réellement « fermés » et ne donnent pas lieu à des « fuites » humaines ou animales, et donc il faut accroître la production par unité d'élément utilisé.

Par exemple l'efficacité d'utilisation de l'azote chez le maïs aux Etats Unis a augmenté de 36% au cours des 20 dernières années.

En France la production d'une même quantité de sucre de betterave nécessite près de 10 fois moins d'azote au champ qu'il y a 50 ans (**Doré & Varoquaux 2006**).

Dans les deux cas une amélioration des **pratiques agricoles**, de la **technicité** des agriculteurs et la sélection de **nouvelles variétés** y ont contribué.

# MIEUX RESISTER AUX AGRESSEURS

Les plantes cultivées par l'étendue des **surfaces** de culture et par leur introduction dans des **biotopes nouveaux**, présentent une fragilité particulière aux attaques de certains **parasites**.

En conséquence, l'usage des produits **phytosanitaires** s'est largement répandu au cours des 60 dernières années entraînant des coûts environnementaux qu'une gestion plus intégrée des maladies et un recours à une plus grande diversité des espèces et de types de résistance des variétés permettraient de minimiser.

# MIEUX RESISTER AUX AGRESSEURS

Les variétés cultivées anciennes sont en général sensibles aux maladies: les pathogènes se sont adaptés ! (Bannerot 1997).

De nombreuses variétés cultivées résistantes à un ou plusieurs pathogènes ont été obtenues à la suite des travaux d'amélioration génétique réalisés depuis le début du XX<sup>e</sup> siècle.

Ainsi pour le blé, 40 % des variétés inscrites en France depuis 1996 portent un fragment chromosomique de l'espèce sauvage *Aegilops ventricosa*, responsable des résistances au piétin verse, à l'oidium, aux rouilles, à la septoriose et à des nématodes à kystes. L'introduction de fragments chromosomiques de seigle et de chiendent (*Agropyron elongatum*) a apporté d'autres gènes de résistances.

Dans le cas de la tomate, des résistances à divers types de pathogènes : virus, bactéries, champignons proviennent d'espèces apparentées comme *L. hirsutum*, *L. peruvianum*, *L. pimpinellifolium* et représentent près de 10 % du génome des variétés de tomate cultivées (Laterot 1989).

## MIEUX RESISTER AUX AGRESSEURS

La résistance génétique représente une valeur économique et environnementale importante.

La compréhension des mécanismes de résistance conduit à un grand nombre d'applications par génie génétique. Les **premières variétés transgéniques** cultivées étaient des **variétés résistantes à des virus**, élaborées dès 1986. Par exemple les papayes résistantes aux PRSV ont sauvé cette production, décimée par ce virus aux îles Hawaï.

Les courges résistantes au ZYMV, WMV et CMV ont été créées aux Etats-Unis où elles sont cultivées et consommées depuis 1995 avec une remarquable stabilité de ces résistances.

Un maïs résistant au MSV vient d'être créé par des chercheurs d'Afrique du Sud (Sherpherd et al. 2007 ).

Les résistances aux virus sont le principal caractère que les pays en développement introduisent par transgénèse dans de nombreuses espèces (c'est aussi un des principaux problèmes des cultures vivrières).

Dès les années 1970 les biologistes des végétaux ont pressenti les limites des méthodes traditionnelles d'amélioration des plantes pour pouvoir répondre à un certain nombre de défis comme l'amélioration de la résistance aux parasites et aux maladies, de l'utilisation de l'eau et des engrais azotés, de l'efficacité de la photosynthèse, de la qualité nutritionnelle ou industrielle et des méthodes de génie génétique étaient activement recherchées (**Kleinhofs et Behki, 1977**).

Ces préoccupations sont d'autant plus d'actualité qu'il faut augmenter la production malgré la réduction prévisible des ressources (**Umezawa et al. (2006)**).

Parmi plusieurs centaines d'exemples:

Améliorer l'efficacité d'utilisation de l'eau par la plante  
accumulation de métabolites protecteurs (**Karim et al. 2007**)  
activation de la pompe à protons vacuolaire (**Rivero et al. 2007**)  
augmentation de la masse racinaire (**Park et al. 2005**).

Meilleure efficacité d'utilisation de l'azote (**Hirel et al. 2008**)  
Des variétés résistantes à des excès de sel (**Nelson et al. 2007, Karaba et al. 2007, Yu et al. 2008, Hu et al. 2006**).

Amélioration de l'assimilation du phosphate (**Nilsson et al. 2007**)  
Limitation des rejets de P par l'animal (phytase dans la plante **Chen et al. 2008**).