

Carbone renouvelable et énergie verte

L'engagement des pouvoirs publics et des acteurs privés en faveur de la "biologie et chimie du végétal" répond à des enjeux considérables : émissions de CO₂, prix et raréfaction du pétrole, demande de biomatériaux dégradables. En France, aujourd'hui, 97% des produits chimiques sont encore d'origine pétrochimique. À l'INRA, une vingtaine d'unités de recherche se mobilisent sur la production et la transformation du carbone renouvelable. Les scientifiques sont impliqués dans des projets européens ou nationaux. L'INRA favorise également des recrutements dans cette thématique : 10% des 70 postes de scientifiques ouverts au concours en 2007.

L'Institut donne la priorité à 3 filières :

- oléagineux et lignocellulose pour les biocarburants,
- oléagineux et lignocellulose pour la chimie verte,
- fibres pour les biomatériaux.

L'INRA met l'accent sur le génie métabolique, c'est-à-dire la description des voies de synthèse/dégradation et de leur régulation, notamment pour la lignocellulose, en vue de favoriser sa bioconversion en de nouveaux produits. Pour chaque filière, l'INRA développe des approches globales prenant en compte l'ensemble des critères techniques, économiques, environnementaux et sociaux.

La filière oléagineux pour les biocarburants

Le colza représente en France la culture énergétique la plus importante en surface utilisée. Le colza fournit du biodiesel, incorporé dans le gazole à hauteur de 5% maximum d'après la réglementation. C'est le biocarburant privilégié en France. L'apparition du colza énergétique remonte à la réforme de la PAC de 1993, qui avait autorisé leur mise en culture sur des terres « gelées ». En 2006, la surface de colza énergétique est de 0,68 millions d'ha, contre 0,71 millions d'ha pour les usages alimentaires et les autres usages industriels (*source : Agreste-Statistique agricole annuelle*).

L'objectif de la directive européenne 2003/30/CE est d'inclure 5,75% de carburants végétaux dans les carburants fossiles en 2010. Plus ambitieuse encore, la France affiche 7% en 2010 et 10% en 2015. Pour augmenter la production de biodiesel, il est nécessaire d'améliorer le rendement énergétique du colza.

Pour cela, l'une des voies consiste à obtenir des variétés à haut rendement dédiées à cet usage. Les recherches coordonnées des scientifiques de l'INRA et des sélectionneurs se concentrent depuis quelques années sur la production d'hybrides de colza, production grandement facilitée par les progrès scientifiques réalisés en génétique par l'INRA.

Cf fiche de Presse Info du 31/08/2006 : La génétique au service de l'amélioration du colza http://www.inra.fr/presse/la_genetique_au_service_de_l_amelioration_du_colza

La compétitivité de cette filière dépend aussi de l'amélioration de l'extraction des lipides des graines. Cette extraction nécessite aujourd'hui des étapes de trituration et de raffinage polluantes et coûteuses en énergie. Les chercheurs de l'INRA s'emploient à renforcer les connaissances de base utiles pour améliorer les procédés d'extraction. Ils étudient en particulier les formes de stockage des lipides dans la graine de colza dans lesquelles interviennent des protéines

particulières, les oléosines :

Cf fiche du dossier de presse 2007 : Comprendre la graine des oléagineux pour en extraire l'huile p 25

La filière des oléagineux n'est pas compétitive pour l'instant par rapport au pétrole et doit être soutenue par l'Etat.

Il en est de même pour l'autre alternative : la production d'éthanol à partir de l'amidon de la graine de blé ou de la betterave à sucre. Ces cultures produisent plus d'énergie par hectare que le colza mais avec un bilan énergétique global moins favorable.

cf fiche du dossier de presse du 14/02/2006 : Une nécessaire évaluation globale des biocarburants http://www.inra.fr/presse/evaluation_des_biocarburants

La filière lignocellulosique pour les biocarburants

Ethanol et biodiesel issus des grandes cultures (colza, blé, betterave) ont permis d'initier le développement de la filière biocarburant. Cependant, on ne saurait en rester là. Trop d'hectares seraient nécessaires à terme. La phase actuelle apparaît comme une phase de transition vers une deuxième génération de biocarburants.

Ces biocarburants proviennent d'une ressource largement disponible et qui n'entre pas en compétition avec les productions alimentaires : la lignocellulose des plantes, arbres, pailles, qui constitue l'essentiel de la biomasse végétale. Cette biomasse provient de l'accumulation des produits de la photosynthèse dans les végétaux au cours de leur vie.

Les ressources lignocellulosiques disponibles sont :

- les résidus de culture : pailles de céréales, rafles de maïs, tiges de colza
- les forêts (dont 40% de l'accroissement annuel est inexploité)
- les cultures dédiées : espèces pérennes herbacées : miscanthus, switchgrass, ou plantations de ligneux : peuplier, saule, robinier.

Les cultures lignocellulosiques dédiées représentent le potentiel le plus important en biomasse. Les plantes pérennes constituent un enjeu prioritaire compte tenu de leur niveau de production élevé et de leur impact positif sur l'environnement car elles sont moins consommatrices d'intrants que les plantes de grande culture telles que le colza, le blé ou la betterave.

C'est pourquoi, l'INRA focalise ses efforts :

- d'une part sur les productions ligneuses récoltées tous les 2 à 6 ans (peupliers et robiniers en taillis à courte rotation) :

cf. fiche du 14/02/2006 : Des mini-forêts pour produire du "bois-énergie" http://www.inra.fr/presse/produire_du_bois_energie

- d'autre part sur les plantes herbacées pérennes récoltées tous les ans, notamment celles qui ont un métabolisme photosynthétique « en C4 »: miscanthus, switchgrass. Aujourd'hui ces différentes espèces ont fait l'objet de très peu de travaux de sélection variétale, d'analyse des interactions entre le génotype et son milieu, de mise au point d'itinéraires techniques adaptés et d'analyse de leur insertion dans les systèmes de culture existants.

cf. fiche "Le Miscanthus, une plante qui carbure" p 27

La nouvelle filière n'utilise pas seulement la graine mais l'ensemble de la biomasse végétale. Pour l'instant, la transformation de la lignocellulose reste problématique : cette seule étape coûte environ la moitié du prix de revient de l'éthanol produit.

Deux voies sont possibles pour transformer la lignocellulose :

- la voie sèche ou thermo-chimique, dans laquelle la lignocellulose, formée d'hémicellulose, de lignine et de cellulose est chauffée à haute température (plus de 800°C). Le gaz produit (mélange de CO, H₂) appelé gaz de synthèse peut être ensuite transformé en hydrocarbures de synthèse (C_xH_y). Toute plante peut donc fournir du biocarburant par cette voie.

Conférence de presse • 27 février 2007

- la voie biologique « froide », dans laquelle les végétaux broyés sont soumis à l'action de microorganismes (champignons) dont les enzymes libèrent la cellulose de la lignine, l'hydrolyse en sucres, eux-mêmes convertis en alcools, dont l'éthanol. Avec cette voie, on n'obtient que de l'éthanol.

Les deux voies sont complémentaires, la voie thermo-chimique nécessitant l'utilisation de biomasse sèche, alors que la voie humide peut transformer de la biomasse peu déshydratée.

L'INRA privilégie la voie biologique à la voie thermo-chimique : l'action des enzymes est hautement spécifique et le potentiel biotechnologique permet d'envisager de réduire les coûts.

D'une part, les recherches approfondissent les connaissances génériques sur les tissus lignocellulosiques : organisation des parois végétales, réactions physico-chimiques et cytochimiques qui caractérisent la matière fibreuse.

→ **A Toulouse**, l'INRA cherche à mettre au point de nouvelles enzymes pour réaliser par voie biologique la première étape de séparation de la cellulose des lignines et hémicelluloses. Utiliser des enzymes de bactéries ou de champignons apparaît comme la voie la plus prometteuse pour réduire le coût de cette étape, actuellement très élevé. L'objectif des chercheurs de Toulouse est de générer des enzymes ayant des propriétés nouvelles, en particulier de thermostabilité. Pour cela, ils utilisent une méthodologie de pointe basée sur des mutations et recombinaisons aléatoires de gènes d'enzymes, suivies d'un criblage à haut débit.

→ **À Reims**, l'INRA étudie l'action d'enzymes de la bactérie *Thermobacillus xylanilyticus* sur la paille et le son de blé. Le passage au stade industriel est exploré avec la société ARD dans le cadre du pôle de compétitivité "Industries et agro-ressources" porté par les régions Champagne-Ardenne et Picardie.

→ **À Marseille**, l'INRA travaille à partir d'enzymes issues de champignons filamenteux. Le programme européen NILE (New Improvements for Lignocellulosic Ethanol), conduit en partenariat avec l'Institut français du pétrole, vise à mettre au point un procédé qui sera testé sur pilote industriel à l'horizon 2010.

La voie sèche suppose de grosses unités de fabrication, entraînant des contraintes logistiques pour l'approvisionnement, mais une économie d'échelle. La voie humide permettrait des rééquilibrages territoriaux, grâce à de petites usines situées près des bassins de production. A travers cet exemple, on voit que le développement des nouvelles cultures à vocation énergétique s'accompagne d'une réorganisation territoriale. De nouvelles questions apparaissent pour la recherche :

- quelles sont les conditions de production pour optimiser à la fois les bilans écologiques, agronomiques et économiques ?
- quelle dimension donner aux différents bassins de production et de collecte des matières premières ?

En parallèle aux recherches biotechnologiques, il faut donc imaginer l'organisation des nouvelles filières de production énergétique ou chimique.

cf. fiche "Cultures énergétiques, territoires et biodiversité. Pistes de recherche" p 29

L'INRA : pour une agriculture durable et compétitive

Depuis 60 ans, les recherches de l'INRA enrichissent les techniques et savoirs au service des pratiques quotidiennes des agriculteurs. 40% des unités de l'INRA sont impliquées dans des partenariats agricoles en vue de construire des systèmes agroalimentaires durables.

Comprendre la graine des oléagineux pour en extraire l'huile

La France est le deuxième producteur européen de colza. La graine de colza est utilisée pour produire de l'huile à usage alimentaire ou industriel. L'huile de colza fournit en particulier le carburant biodiesel qui est mélangé actuellement au gazole. Ce débouché s'amplifie avec la volonté affichée en Europe de développer les biocarburants pour diminuer progressivement la consommation de carburants fossiles. Mais la compétitivité de cette filière dépendra en grande partie de l'amélioration de son bilan énergétique et notamment des techniques d'extraction de l'huile. Les chercheurs de l'INRA développent de nouvelles recherches sur les oléosines, des protéines particulières qui semblent avoir un rôle déterminant dans le stockage et la mobilisation des lipides des graines d'oléagineux.

Contact scientifique :

Thierry Chardot

tél. : 01 30 81 54 74

thierry.chardot@grignon.inra.fr

centre INRA de Versailles-Grignon.

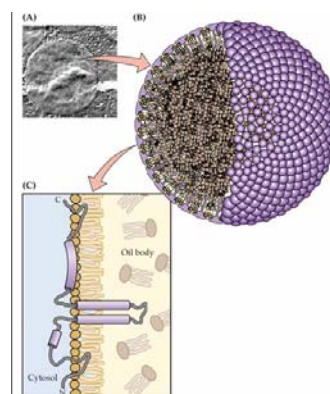
Le remplacement progressif du carburant fossile par du biocarburant devient une nécessité, soutenue dès 2003 par des directives européennes. La France projette de remplacer 5,75% de carburant fossile par du biocarburant en 2010. L'éthanol de blé et de betterave à sucre, l'huile des oléagineux sont en lice pour atteindre cet objectif.

En France, le biocarburant privilégié est pour l'instant le biodiesel provenant de l'huile de colza. Le biodiesel, ou diester, est mélangé réglementairement au gazole jusqu'à 5%. Il reste toutefois des progrès à accomplir dans les méthodes d'extraction de l'huile pour exploiter complètement les ressources du colza. En effet, l'extraction de l'huile des graines de colza nécessite actuellement leur cuisson puis un pressage complété par une extraction avec un solvant. La « désolvantation » du tourteau est réalisée par un traitement thermique qui a un impact négatif sur les protéines et sur leur usage pour l'alimentation animale.

Identifier les facteurs clés du stockage des lipides dans la graine

Pour développer des méthodes d'extraction plus douces et plus efficaces, il est nécessaire d'identifier les facteurs cellulaires et moléculaires qui régissent le stockage de lipides.

Les plantes oléagineuses stockent les lipides dans des structures spécialisées appelées oléosomes contenus dans les cellules de l'embryon dans la graine. Lorsque la graine germe, les réserves lipidiques sont libérées et mobilisées pour la croissance de la nouvelle plantule. Les oléosomes sont constitués d'un coeur de lipides neutres hydrophobes, entouré d'une monocouche de phospholipides, elle-même stabilisée par des protéines particulières appelées oléosines.



In: *Biochemistry & Molecular Biology of Plants*
Buchanan, Gruissem and Jones, ASP
Rockville (2000).

A : oléosome vu en microscopie électronique, B : schéma d'un oléosome, C : détail

Les oléosomes, considérés jusqu'ici comme d'inertes sacs de lipides, sont en train de gagner le statut d'organites ayant une structure organisée, au fur et à mesure que les connaissances progressent. Les biologistes, de plus en plus intéressés, découvrent que, outre les oléosines, qui ont un rôle essentiellement structural, l'enveloppe des oléosomes contient de nombreuses enzymes actives, dont les rôles ne sont pas tous connus. Certaines protéines pourraient capter des signaux cellulaires, régulant finement le rôle des oléosomes, leur déplacement dans la cellule et leurs liens avec les autres compartiments cellulaires.

Ce que l'on connaît actuellement des oléosines chez les végétaux laisse à penser qu'elles ont un rôle majeur dans la formation et la stabilité des oléosomes et par suite, dans leur résistance lors de l'extraction des lipides. Elles déterminent en particulier la taille des oléosomes, qui conditionne elle-même leurs propriétés fonctionnelles. Les oléosomes de colza, maïs, coton, lin sont petits et presque entièrement recouverts de protéines. Ils sont résistants à la dessiccation dans la plante *in vivo*, mais aussi aux traitements physiques et chimiques en laboratoire. Au contraire, les oléosomes de la chair d'avocat ou d'olive par exemple, non soumis à la dessiccation, sont beaucoup plus gros et quasiment dépourvus de protéines de surface.

Les oléosines

Les chercheurs de l'INRA ont purifié deux oléosines chez *Arabidopsis thaliana*, plante modèle du colza.

Ces protéines, très conservées entre les différentes espèces, ont une structure pour le moins atypique : elles contiennent un domaine central d'environ 70 acides aminés hydrophobes, le plus grand segment hydrophobe connu chez une protéine. Cette structure fait des oléosines des protéines aux propriétés tensio-actives particulièrement intéressantes. Elles pourraient constituer en elles-mêmes une source de tensio-actifs verts exploitable, d'autant qu'elles sont relativement abondantes dans la graine (4% en poids).

Pour étudier le rôle d'une protéine, un des moyens classiquement utilisés consiste à obtenir des mutants dans lesquels la protéine ne s'exprime pas et d'en analyser les conséquences. Les chercheurs de l'INRA ont ainsi isolé des mutants pour l'expression de différentes oléosines chez *Arabidopsis thaliana*. Ces mutants vont servir de point de départ à de multiples investigations. Comment sont modifiés la morphologie, le contenu en lipides et la stabilité des oléosomes de ces mutants ? Quelles protéines semblent les plus importantes pour les propriétés d'extractibilité ? Pour cela, en partenariat avec le Centre technique interprofessionnel des oléagineux métropolitains (CETIOM), différents essais de micro-pressage seront réalisés pour modéliser l'extraction de l'huile et le comportement des graines de mutants.

Les mêmes études seront conduites sur les mutants correspondants chez le colza, afin de transposer ces données fondamentales à l'espèce d'intérêt agronomique. Les oléosomes d'un de ces mutants, obtenus par voie chimique, s'avèrent d'ores et déjà plus gros que chez la plante de départ.

Ces recherches ont un intérêt à la fois agronomique, pour la capacité de germination des plantes et un intérêt industriel, pour l'extraction de l'huile et des protéines. Elles s'inscrivent dans un programme appelé Genobodies, présenté dans le cadre du groupement d'intérêt scientifique Génoplante et financé par l'Agence nationale de la recherche. Outre l'équipe de Chimie biologique de Grignon, il implique des unités de recherche INRA de Versailles, Rennes, Nantes, INRA/CNRS de Montpellier et le CETIOM à Pessac.

Contact scientifique :

Thierry Chardot

tél. : 01 30 81 54 74

thierry.chardot@grignon.inra.fr

UMR INRA AgroParisTech
"Chimie biologique"

département "Caractérisation
et élaboration des produits
issus de l'agriculture",

centre INRA de Versailles-
Grignon.

Le miscanthus, une plante qui carbure...

Une plante peu connue en France : *Miscanthus giganteus*, retient l'attention en Europe dans le cadre des cultures dédiées à la production de biocarburants. Elle est très productive, très riche en ligno-cellulose et peu exigeante en intrants. Le développement de cette culture en France passe par la mise au point de systèmes de culture recherchant les meilleurs bilans énergétiques et les plus faibles impacts environnementaux. Plusieurs équipes de l'INRA et de l'université de Lille s'associent pour coupler l'adaptation des techniques culturales à l'amélioration génétique de la plante.

Contacts scientifiques :

Stéphane Cadoux

tél. : 03 22 85 75 15
stephane.cadoux@mons.inra.fr
Unité INRA "Agronomie Laon-Reims-Mons"

Maryse Brancourt

tél. : 03 22 85 75 09
brancour@mons.inra.fr
Unité Mixte de Recherche
INRA/Université de Lille I
"Stress abiotiques et
différenciation des végétaux
cultivés"

Centre INRA de Lille.

Les atouts de *Miscanthus giganteus*

Miscanthus giganteus est une graminée vivace originaire d'Asie. Cette plante cumule deux avantages particulièrement intéressants pour la production de biocarburants : elle produit beaucoup de biomasse et elle est économe en intrants.

La productivité exceptionnelle du miscanthus s'explique par son métabolisme photosynthétique particulier, dit « en C4 », que partagent également d'autres plantes d'origine tropicale : maïs, canne à sucre, sorgho. Grâce à ce métabolisme, la plante est plus efficace dans la captation du gaz carbonique et dans la transformation de ce gaz carbonique en matière organique.

En outre, le miscanthus est une plante pérenne, qui repousse chaque année à partir des rhizomes qu'elle développe dans le sol. Elle nécessite une seule phase d'implantation pour plus d'une quinzaine d'années de culture. La première année est délicate car la culture installe ses racines. La croissance végétative est faible et la concurrence des mauvaises herbes élevée. L'apport d'herbicide permet alors de garantir une installation satisfaisante. En fin de première année, la restitution au sol après broyage de la culture crée une litière de surface qui limite le développement des mauvaises herbes. Les années suivantes, la croissance de la culture est rapide et permet d'éviter l'usage des herbicides. Le miscanthus ne nécessite pas non plus de fongicides ni d'insecticides.



©INRA/S.Cadoux,ref : PCD9044IMG0067
Essai de miscanthus sur le domaine INRA
d'Estrées-Mons

L'adaptation des techniques culturales

Pour que la plante exprime tout son potentiel, il faut des conditions de culture optimales. Les chercheurs de l'INRA ont mis en place en 2006 des plantations expérimentales de miscanthus dans le cadre du projet REGIX (1).

Ces essais ont débuté parallèlement sur sept espèces potentiellement intéressantes pour la production d'énergie : trois espèces « en C4 » : miscanthus,

switchgrass (graminée originaire des Etats-Unis), sorgho, dont les deux premières sont pérennes, trois espèces annuelles « en C3 » : triticale, luzerne, fétuque et des plantations de peupliers cultivées en taillis à très courte rotation (TTCR).

Pour chaque espèce et pour différentes conditions de culture, les chercheurs mesureront la quantité et la qualité de la biomasse. Les chercheurs de l'INRA (2) étudieront les mécanismes de transformation de la biomasse en carburant. Selon que la conversion de la lignocellulose en éthanol ou en essence utilise la voie biologique ou la voie thermochimique, les exigences sont différentes. Les paramètres importants sont (i) la teneur en éléments minéraux tels que silice, chlore, indésirables dans la voie thermochimique (ii) la teneur en eau et le rapport lignine/cellulose qui conditionnent les capacités fermentaires des microorganismes dans la voie biologique.

Pour le miscanthus, la récolte se fait idéalement en février-mars, lorsque les feuilles sont tombées et restituent l'azote au sol. Néanmoins, il est possible de récolter plus tôt pour utiliser la biomasse des feuilles. Dans ce cas, il est nécessaire d'apporter une fertilisation azotée pour assurer les besoins de l'année suivante. Il faut aussi prendre en compte les risques de tassement du sol provoqué par une récolte hivernale sur sol humide. Les chercheurs analyseront toutes ces modalités culturales et leurs conséquences sur l'évolution du sol à long terme, son état physique et organique.

L'amélioration génétique

En complément de ces études, un projet initié en 2007 (3) vise à étudier la variabilité génétique du miscanthus pour des caractères agronomiques importants : production de biomasse aérienne, caractères associés à la biologie florale, physiologie du métabolisme azoté. Ce travail constitue la première étape pour étudier le déterminisme génétique de la production de biomasse du miscanthus sous contrainte abiotique (disponibilité en azote, condition de température de l'air et du sol, disponibilité en eau...) en vue de construire des innovations variétales adaptées à l'Europe du Nord et à un usage en bio-énergie.

Dans le cadre du pôle de compétitivité à vocation mondiale "Industries et Agro-ressources" labellisé en Picardie et Champagne-Ardenne, l'ensemble de ce programme inter-disciplinaire implique : au niveau local les agronomes et les généticiens de l'INRA de Lille et la plateforme agri-environnementale d'Estrées-Mons, au niveau régional les biologistes de l'université de Lille, les physiologistes du métabolisme azoté de l'université d'Amiens.

Plus largement, l'ensemble des travaux agronomiques et génétiques s'inscrit dans la thématique du « Carbone renouvelable » que l'INRA souhaite intensifier par le recrutement de nouveaux chercheurs. Ces travaux sont menés en collaboration avec d'autres équipes INRA ainsi qu'au niveau européen avec les principaux agronomes et généticiens spécialistes du miscanthus (BBSRC, Université de Wageningen...).

Contacts scientifiques :

Stéphane Cadoux

tél. : 03 22 85 75 15
stephane.cadoux@mons.inra.fr
Unité INRA "Agronomie Laon-Reims-Mons"

Maryse Brancourt

tél. : 03 22 85 75 09
brancour@mons.inra.fr
Unité Mixte de Recherche
INRA/Université de Lille I
"Stress abiotiques et
différenciation des végétaux
cultivés"

Centre INRA de Lille.

(1) REGIX (Référentiel unifié, méthodes et expérimentations en vue d'une meilleure évaluation du gisement potentiel en ressources lignocellulosiques agricole et forestière pour la bioénergie en France) est financé dans le cadre du programme National Recherche Bioénergie de l'Agence Nationale de la Recherche (2005-2008). En collaboration avec le GIE ARVALIS/ONIDOL (coordinateur du projet), Association forêt cellulose (AFOCEL), Office National des Forêts (ONF), Union de la Coopération Forestière Française (UCFF), EDF Recherche & Développement, Chambre régionale d'agriculture du Centre, Fédération Régionale des Coopératives agricoles (FRCA) de Picardie.

(2) Unité Mixte de Recherche Fractionnement des agroressources et emballage INRA-Université de Reims.

(3) Projet PEL "Picardie Espèces Ligno-cellulosiques", impliquant l'Unité Mixte de Recherche INRA/Université de Lille I "Stress abiotiques et différenciation des végétaux cultivés", l'Université d'Amiens et UNISIGMA.

Cultures énergétiques, territoires, biodiversité. Pistes de recherche.

Le développement de cultures non alimentaires pour produire de l'énergie est non seulement un enjeu de compétitivité mais aussi un moteur des dynamiques territoriales. En effet, il faut adapter les systèmes de culture, de collecte et de transformation des produits agricoles et ces changements nécessitent une coordination dans l'organisation du territoire. Les chercheurs de l'INRA conduisent des travaux prospectifs pour analyser, selon différents scénarios, l'ensemble des conséquences du développement des cultures énergétiques et dégagent des pistes de recherche.

Contact scientifique :

Jean-Marc Meynard

tél : 01 30 81 54 59
meynard@grignon.inra.fr

centre de Versailles-
Grignon

Adapter les systèmes de culture

Dès lors que l'on s'intéresse à des critères de qualité nouveaux, les modes de production agricoles doivent être adaptés.

L'INRA a mis au point à la fin des années 90 des techniques de culture spécifiques pour le blé destiné à produire du bio-éthanol. Ces techniques tiennent compte de l'extractibilité de l'amidon du grain, de la teneur en protéines des tiges permettant leur utilisation en alimentation du bétail, de l'optimisation du bilan énergétique, tout en cherchant à minimiser le coût de production du litre de biocarburant. L'itinéraire cultural proposé diffère de celui du blé panifiable par le choix de la variété, une réduction de 40 à 50% des engrais azotés et de 30% des semences et par la suppression des traitements fongicides et régulateurs de croissance. On réduit ainsi fortement les nuisances dues aux pesticides et le coût de production du quintal de grain. Cet itinéraire technique « optimisé » a été élaboré grâce à l'utilisation d'un modèle informatique, BETHA, qui permet de répondre à un cahier des charges complexe, intégrant objectifs économiques et environnementaux.

Un travail analogue reste à faire pour d'autres cultures et d'autres débouchés. Comme pour le blé, il sera nécessaire de recourir à la modélisation, car elle permet de tester rapidement et à peu de frais des solutions techniques très diverses, avec leurs conséquences sur la production, la qualité et l'environnement.

Préserver la biodiversité cultivée et sauvage

Les débouchés non alimentaires de l'agriculture offrent une opportunité de diversifier les espèces cultivées. Cette diversification sera bienvenue, car la spécialisation régionale actuelle favorise le développement des adventices et parasites des cultures (donc l'usage des pesticides) et réduit les habitats pour la faune sauvage.

En ce qui concerne les biocarburants, seul le développement des filières ligno-cellulosiques, fondées sur la luzerne, le sorgho, le miscanthus ou les taillis à courte rotation, permettra une diversification des assolements. En attendant que ces filières se développent, on peut craindre d'assister à un accroissement des surfaces en céréales et oléagineux dans des régions déjà spécialisées.

En particulier, les sous-produits de la fabrication de biocarburant à partir de céréales et oléagineux, tels que les tourteaux de colza ou les drèches de céréales,

Conférence de presse • 27 février 2007

2- Carbone renouvelable et énergie verte

pourraient contribuer à faire disparaître du paysage agricole le pois protéagineux, qui occupe en partie le même créneau en alimentation animale. Le pois protéagineux possède en effet un grand intérêt agronomique et environnemental, de par sa capacité à fixer l'azote atmosphérique. La fabrication de l'engrais azoté coûtant de l'énergie fossile, la présence du pois dans la rotation permet d'améliorer le bilan énergétique et de réduire l'émission de gaz à effet de serre.

La mise au point des procédés de transformation de la lignocellulose en biocarburant, qui prendra quelques années, nous offre un délai qui devra être mis à profit pour intégrer les impacts écologiques des cultures énergétiques dans la planification des implantations industrielles. Par exemple, des usines de taille importante et spécialisées sur un seul produit généreront des monocultures dans leurs environs. La polyvalence des usines, leur taille, leur répartition géographique seront des paramètres essentiels de l'impact des biocarburants sur la biodiversité. Il faudra sans doute également veiller à ce que les petites forêts, qui abritent aujourd'hui des espèces végétales et animales, très diversifiées, ne soient pas remplacées, après exploitation de leur biomasse, par des forêts monospécifiques à forte vitesse de croissance.

A l'interface entre économie, agronomie et écologie, il y a donc une réflexion à mener pour organiser les bassins de production tout en préservant la biodiversité.

Organiser la coexistence des filières sur le territoire agricole

La diversification des usages non alimentaires pourrait entraîner la multiplication dans les paysages de variétés d'une même espèce, dédiées à des filières différentes. En effet, on parle aujourd'hui de sélection de variétés spécifiques pour la production énergétique. Cette cohabitation entraîne des risques de contamination des récoltes, soit par des fécondations croisées, soit par des repousses. Il y a aussi des risques de mélange lors de la collecte ou dans les silos.

Tout dépendra des seuils de contamination ou de mélange tolérés par les normes de qualité sanitaire et les marchés. Une fois ces seuils fixés, on pourra recourir à la modélisation pour calculer les distances nécessaires entre parcelles, définir les dates de semis pour décaler les floraisons entre champs voisins, ou les techniques pour maîtriser les repousses. Des modèles combinant spatialisation des systèmes de culture et simulation des échanges génétiques entre parcelles (et bordures) existent d'ores et déjà pour le colza et le maïs, et sont en cours de conception pour d'autres espèces.

Gérer les dynamiques territoriales

On voit que le développement des cultures pour la production de bio-carburants devrait marquer les territoires. L'INRA est très attentif à ces dynamiques territoriales, et à leur diversité, (i) pour identifier les sources potentielles de tensions et conflits, (ii) pour repérer les solutions innovantes concoctées localement et qui pourraient être utiles ailleurs, ou (iii) pour identifier les leviers que pourraient utiliser les pouvoirs publics en vue d'agir sur ces dynamiques dans le sens de l'intérêt général.

Parmi les exemples de dynamiques territoriales déjà à l'oeuvre, on voit émerger des collectifs réunissant des agriculteurs et souvent leurs voisins non-agriculteurs, organisés autour de la production locale d'énergie, pour le chauffage collectif ou le biocarburant. On voit aussi des collectivités locales promouvoir le développement des bio-ressources sur leur territoire, en valorisant de la biomasse, en utilisant des terrains contaminés par les métaux lourds pour les cultures non alimentaires.

Plus généralement, on a vu ces dernières années émerger des dispositifs collectifs pour la gestion des paysages incluant cultures, forêts, parcours et espaces interstitiels où agriculteurs et autres acteurs du territoire se concertent pour la ressource en eau ou la protection d'espèces (Fertimieux, SAGE, Natura2000...). Pourquoi pas pour l'accompagnement du développement des bio-ressources ?

Contact scientifique :

Jean-Marc Meynard

t : 01 30 81 54 59

meynard@grignon.inra.fr

centre de Versailles
Grignon

Département « Sciences
pour l'action et le
développement »