

Agriculture et changement climatique : quelle analyse du scénario tendanciel en matière de lutte contre les GES ?

Les enseignements d'une recherche prospective sur le bassin de la Seine (1)

La question des impacts de l'agriculture sur le changement climatique est majoritairement abordée sous l'angle de la contribution du secteur aux gaz à effet de serre. La réponse alors proposée, dans une optique de réduction des émissions, c'est un scénario « standard » qui prône un modèle de développement agricole orienté vers toujours plus d'industrialisation mais dont les impacts, à d'autres échelles que l'exploitation agricole, ne sont pas nécessairement bénéfiques du point de vue de l'environnement. Illustration avec un exercice prospectif appliqué au bassin de la Seine.

*par Xavier Poux (2)
et Guillaume Olive (3)*

Une réponse standard en matière de lutte contre l'effet de serre en agriculture : des systèmes agricoles optimisés quant à leur écobilan

Le groupe de travail « agriculture, forêt et produits dérivés » qui, sous l'égide de la Mies, a pour charge de faire des propositions en matière de lutte contre l'effet de serre, a rendu récemment son rapport du « Plan climat 2003 » pour la section relative à l'agriculture et la forêt. Les lignes directrices de ce plan sont le développement de nouvelles cultures (énergies renouvelables) et de nouvelles pratiques (réglages des tracteurs et promotion des pratiques de travail simplifié du sol) pour améliorer le bilan « effet de serre » (4), et la maîtrise des impacts liés à l'activité

d'élevage (émissions de CH₄ et de N₂O) [1].

Ces recommandations s'inscrivent dans la continuité de toute une série de travaux qui posent essentiellement la question des impacts de l'agriculture sur le changement climatique sous l'angle de la contribution, positive ou négative, du secteur aux gaz à effet de serre (GES). Dans une optique de réduction des émissions, le référent implicite est celui des cycles de matières (carbone et méthane issus de l'élevage) qu'il s'agit de boucler et/ou d'optimiser à un niveau global, celui du système mondial.

Dans cette optique, trois voies - que l'on retrouve de manière centrale dans le plan climat - sont particulièrement explorées et mises en avant, qui constituent ce que nous appellerons dans la suite la réponse « standard » - ou scénario standard - au changement climatique en matière agricole :

- le développement des biocarburants, en tant qu'énergie renouvelable qui permet une substitution du carbone fossile par du carbone recyclé annuellement ;

- la séquestration du carbone dans les sols cultivés, *via* l'adoption de techniques de travail du sol adaptées (agriculture de conservation) ou la reforestation des terres [2], [3] ;

- en matière d'élevage, il s'agit d'améliorer le rapport entre la quantité de viande (ou de lait) produite et la quantité de méthane émise ou d'énergie consommée.

Si les impacts locaux et/ou transférés ne sont pas ignorés (par exemple, les problèmes de pollution des eaux qui peuvent résulter de la culture des biocarburants ou d'une concentration de l'élevage), ils sont identifiés sur un plan d'analyse secondaire au changement climatique. Le paradigme sous-jacent est alors celui de l'écobilan agricole qu'il s'agit d'optimiser, avec une compatibilité *a priori* forte avec un certain mode de développement de l'agricul-

ture efficace dans l'usage des intrants chimiques et énergétiques (*resource efficient*).

La démarche de prospective agricole menée au sein du projet Piren Seine débouche sur une problématique de remise en question de l'approche standard

L'optimisation standard ainsi proposée pour l'agriculture ne renvoie pas qu'à un volet technique. Elle met en œuvre une logique économique et politique qui tend vers un modèle de développement agricole gérant la réponse au changement climatique sous un angle « industriel », par le biais de systèmes de production spécialisés. Elle ne laisse ainsi que peu de place, y compris dans les programmes de recherche, aux systèmes de production moins optimisés et *a priori* moins efficaces - et, en particulier, les systèmes de polyculture élevage ou les systèmes ayant un moindre rendement par unité de surface -

qui peuvent pourtant avoir d'autres avantages environnementaux, mais ne sont pas présentés comme étant les plus adaptés pour répondre aux enjeux du changement climatique.

C'est la portée et la pertinence des réponses agricoles « standards » que nous avons voulu remettre en question en soulignant dans notre analyse certains thèmes non pris en compte dans les raisonnements les plus courants. Le présent article pose comme problématique l'intérêt de proposer un cadre d'analyse global contribuant à renouveler la manière de formuler la question de l'adaptation de l'agriculture au changement climatique. Un tel cadre intègre des facteurs économiques, organisationnels, structurels, sociaux et politiques dont il s'agit d'analyser les liens au climat. Nous verrons que l'occurrence de ce que nous appellerons le scénario agricole « standard » en matière de CC (biocarburants et simplification du travail du sol) n'est pas nécessairement le plus souhaitable d'un point de vue global. *A contrario*, nous défendrons l'idée selon laquelle un développement alternatif de l'agriculture, encore mal argumenté aujourd'hui dans les orientations de la Mies, semble plus prometteur avec la prise en compte

des impacts globaux de l'effet de serre.

Notre thèse s'appuie sur une démarche de prospective agricole engagée au sein du projet de recherche Piren Seine (*Programme interdisciplinaire de recherche sur l'environnement de la Seine*) dans le cadre du programme GICC (5). Ce projet, posant la date 2050 comme horizon d'analyse, nous a invité à élargir le cadre d'analyse des relations entre agriculture et CC, en prenant comme hypothèse que le climat ne serait qu'un déterminant parmi d'autres et que les niveaux des déterminants étaient multiples, la présence d'une culture dans le bassin de la Seine dépendant à la fois des conditions pédo-climatiques et des évolutions des cours mondiaux.

Dans un premier temps, nous présenterons le cadre méthodologique retenu pour la construction des scénarios agricoles et son articulation avec les enjeux du changement climatique dans le cadre du projet GICC-Piren Seine. Nous développerons ensuite le scénario de la réponse « standard » tel que nous l'avons décliné sur le bassin. Sur cette base, nous proposerons une analyse de ses tenants et aboutissants. La conclusion justifiera les enjeux relatifs à un élargissement de la problématique à l'interface agriculture et changement climatique.

Le projet de recherche GICC et la prospective agricole : quelle portée des évolutions de l'agriculture du bassin de la Seine vis-à-vis du changement climatique ?

Le projet de recherche et sa problématique : analyser les interactions entre agriculture et gestion de l'hydrosystème Seine

Le Piren Seine regroupe des chercheurs dans le but de comprendre, essentiellement grâce à la modélisation, le fonctionnement actuel de l'hydrosystème Seine (quantité et qualité de l'eau) et d'aider à orienter les décisions en matière d'aménagement et de gestion des eaux. Dans le projet de recherche « Influence du changement climatique sur le fonctionnement hydrologique et biogéochimique du bassin de la Seine », le Piren Seine s'interroge sur les états possibles de cet hydrosystème à l'horizon 2050, en fonction des impacts du changement climatique. Représentant le tiers de la pro-

duction agricole nationale (en valeur) et occupant la majorité de la surface du bassin, l'agriculture est une activité particulièrement importante pour la région, et surtout elle agit de manière conséquente sur les propriétés de l'hydrosystème, que ce soit par les rejets affectant la qualité de l'eau, les aménagements de l'espace, ou les aspects quantitatifs liés à l'utilisation des ressources en eau. Toute réflexion sur l'hydrosystème Seine se devait donc d'inclure un volet agricole.

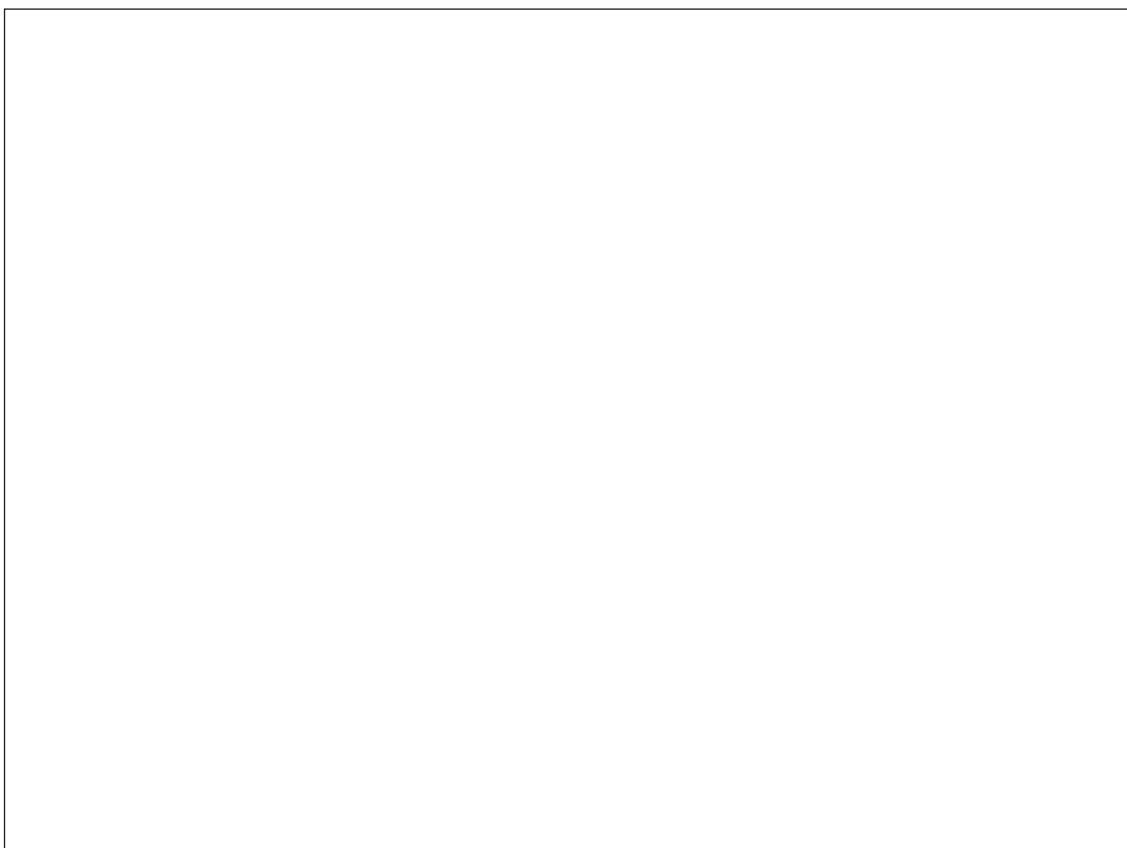
La problématique du projet Piren Seine renvoie aux impacts du changement climatique sur les diverses composantes de l'hydrosystème et sur les activités humaines menées sur le bassin. Il s'agit de comprendre en quoi le changement climatique peut être source de perturbations, notamment sur les activités agricoles, et modifier l'état actuel de l'hydrosystème. Cette interrogation vise à déterminer une plage de vulnérabilité de ce système Seine en examinant des scénarios climatiques contrastés, c'est-à-dire en quoi certaines évolutions induites par le climat vont pouvoir s'avérer finalement néfastes en termes de qualité de l'eau, voire de sa disponibilité (détérioration du bilan hydrique). La caractérisation des impacts du changement climatique permet, dans un deuxième temps, d'éclairer les

stratégies d'adaptation, à la manière dont notre société peut réagir à ces modifications climatiques, en essayant d'en réduire les impacts négatifs.

La place des scénarios agricoles et l'articulation avec les scénarios climatiques : quelle place relative du CC dans l'évolution de l'agriculture du bassin ?

Les objectifs définis par le projet Piren Seine-GICC ont logiquement influencé l'angle d'attaque du volet agricole. La question étant de proposer des images plausibles de ce que pourrait être l'agriculture du bassin de la Seine à l'horizon 2050, afin de préciser l'influence relative sur l'hydrosystème du CC et des choix de production effectués par les agriculteurs. Mais ces choix de production ne sont évidemment pas uniquement déterminés par le changement climatique.

Dans notre cadrage méthodologique [4], nous avons considéré les facteurs d'évolution de l'agriculture du bassin de la Seine dont la réalisation est indépendante de ces modifications climatiques, comme, par exemple, les modes de consommation alimentaire ou les « lois du marché ». Notre problématique implique de resituer la place du changement climatique parmi toutes les autres variables d'évolution, et de comprendre à quels niveaux et par quels méca-



Pierre Gléizes/REA

Avec la conduite des systèmes de production sous agriculture de conservation, les agriculteurs ne labourent plus leur champ que lorsque des conditions exceptionnelles l'imposent. Les pratiques de semis direct permettent de diminuer à la fois la durée des travaux au champ et les intrants énergétiques (carburants et engrais) si bien que les coûts de production à l'hectare diminuent et favorisent alors une gestion extensive des cultures.

nismes il peut façonner l'agriculture du bassin.

Face à ces interrogations qui exigent de construire une réflexion poussée sur un système aussi complexe que l'agriculture du bassin de la Seine, nous avons pris le parti d'une approche par la méthode prospective pour mettre au point les scénarios agricoles à l'horizon 2050. Cette méthode nous permet de présenter des scénarios de rupture afin de montrer des images du futur contrastées, dont un exemple sera développé ici.

Comment intégrer dans cette démarche prospective le changement climatique ? Comment matérialiser ses impacts potentiels ? Actuellement, les scénarios climatiques appelés modèles de circulation générale, sont les principales sources de données permettant d'éclairer cette question à long terme. La plupart de ceux-ci fournit des prévisions à un horizon lointain (2050 ou 2100 selon les modèles utilisés (6)), et des résultats découlant de la traduction régionale des modèles globaux. Suivant les scénarios anthropiques retenus et les modèles utilisés, les prévisions font alors état, à l'horizon 2050, d'une augmentation

des températures annuelles de 1,5 à 3 degrés C pour le bassin de la Seine et d'une variation de la pluviométrie annuelle de - 0,25 à 0,50 mm/j, les précipitations étant marquées par une forte variabilité saisonnière [5].

Nous défendons l'idée selon laquelle un développement alternatif de l'agriculture, encore mal argumenté aujourd'hui dans les orientations de la Mies, semble plus prometteur avec la prise en compte des impacts globaux de l'effet de serre.

Dans tous les cas, les modifications climatiques simulées ne semblent pas telles qu'elles remettent en cause les productions agricoles du bassin ou, ce qui revient au même, que l'on ne puisse pas aisément envisager des voies d'adaptation plausibles (par la recherche variétale, l'équipement ou la « maîtrise » artificielle du milieu comme le drainage ou l'irrigation). Les premières simulations agronomiques disponibles sur le bassin (7) confortent l'hypothèse que le changement climatique n'affecte que très peu les productions agricoles dans une région climatique somme toute parmi les plus « tamponnées » du globe, du moins au niveau de ses impacts directs [6].

Une fois cette hypothèse posée, il s'agit désormais de répertorier et classer les impacts du changement climatique, ce qui implique aussi de pouvoir les relier aux autres facteurs d'évolution qui, eux, sont indépendants du changement climatique.

Le cadre d'analyse et les scénarios construits : replacer l'agriculture du bassin dans un contexte d'évolution global

En effet, il ne s'agit pas ici de raisonner le changement climatique « toutes choses étant égales par ailleurs », mais en synergie avec des tendances et des évolutions qui se réaliseraient sans doute indépendamment du changement climatique.

Face à la diversité des impacts potentiels du changement climatique, leur classification et leur mise en relation avec les facteurs non climatiques paraissent indispensables pour pouvoir construire ultérieurement les scénarios d'évolution de l'agriculture du bassin de la Seine.

Tout d'abord, nous pouvons distinguer plusieurs niveaux d'analyse du changement climatique sur notre système agricole :

- le bassin de la Seine lui-même (à ce niveau local interviennent les modifications de rendements, de durée de cycle de culture, ou de calendriers de travail des agriculteurs),
- l'Europe (avec les évolutions de la Pac notamment), qui nous semble constituer un niveau intéressant du fait de son sens géographique et climatique propre et de sa cohérence politique,

- et enfin un niveau « monde » (avec, par exemple, la modification des échanges agricoles mondiaux *via* les différences de compétitivité induites par le changement climatique).

A cette classification géographique s'ajoute une distinction entre les facteurs d'origine agricole comme ceux cités précédemment et les facteurs non agricoles, que ce soit les inondations hivernales qui tendent à un déplacement de l'habitat sur les plateaux occupés par les terres agricoles ou la création d'un marché de droits d'émission de carbone.

C'est ainsi que, grâce à cette classification, les facteurs d'évolution non liés au changement climatique peuvent se greffer suivant les mêmes critères géographiques et agricoles ou non pour constituer alors une représentation structurée de la diversité des facteurs d'évolution. Cette grille d'analyse nous a ensuite permis de déterminer et d'articuler entre eux les facteurs structu-

rants d'évolution (ou regroupement de variables explicatives) de l'agriculture du bassin de la Seine, ceux-là mêmes dont la combinaison des différentes hypothèses a donné corps à nos scénarios d'évolution.

Après avoir analysé cette composante changement climatique, nous avons pu mener à bien notre démarche prospective, qui s'inscrit dans le cadre des scénarios contrastés normatifs. Nous sommes ainsi partis des images (c'est-à-dire les états possibles du système en 2050) et à partir de celles-ci, nous avons recréé les cheminements qui permettent de les atteindre. Ces images contrastées ont été sélectionnées en considérant deux critères : d'une part pour correspondre aux problématiques du Pirene Seine relativement aux enjeux liés à la gestion quantitative et à la qualité de l'eau, comme la pollution par les nitrates et les pesticides, et d'autre part, bien sûr, pour représenter des modes de fonctionnement de

l'agriculture qui pouvaient être envisageables dans le bassin de la Seine à l'horizon 2050, en lien partiel avec le CC.

Nos images ont alors été le résultat du croisement entre des scénarios agricoles et des modalités d'intervention environnementale, notre hypothèse étant que si l'intégration de contraintes environnementales sur la gestion des systèmes agricoles était inévitable à l'avenir, la marge d'incertitude résulterait davantage dans le niveau de ces pressions environnementales. Nous avons alors défini trois degrés d'intégration environnementale dans les systèmes agricoles : (1) l'agriculture raisonnée, (2) l'agriculture de conservation et (3) la mise en place d'infrastructures écologiques. Ces approches correspondent respectivement (1) à la limitation des apports en intrants à la parcelle selon une logique d'optimisation technique, (2) un ensemble de techniques visant à protéger le sol par une dimi-

	Agriculture raisonnée	Agriculture de conservation	Infrastructure écologique
Cultures de masse et bioénergie	Scénario 1 tendanciel : une production de masse exportée, mais raisonnée	Scénario 2 : Le scénario standard en matière de lutte contre l'ES	
Maintien d'une diversification	Scénario 3 : des agro-industries régionales dominantes		Scénario 4 : des agro-industries régionales, un certain partage du territoire
Agriculture biologique à grande échelle	Scénario 5 : une agriculture biologique industrielle		Scénario 6 : une agriculture biologique diversifiée

Les 6 scénarios agricoles retenus et leurs principaux éléments de définition.

nution des travaux du sol et permettant de stocker du carbone, et (3) des dispositifs d'aménagement de l'espace fondés sur une ingénierie environnementale.

Parmi les scénarios agricoles retenus, deux sont tendanciels, l'un aboutissant à une céréalisation du bassin avec oléoprotéagineux et autres cultures à basse intensité de main d'œuvre et de valeur ajoutée comme les biocarburants, l'autre à une diversification de l'agriculture avec un développement des cultures industrielles tout en maintenant céréales et élevage. Le troisième scénario retenu est un scénario de rupture, qui consiste à convertir une grande partie du bassin de la Seine à l'agriculture biologique.

Au terme de cet exercice, six scénarios ont été construits, le tableau en présente les éléments de définition principaux. Le scénario 2 recueille plus particulièrement notre attention ici. Il apparaît en effet comme proche de la réponse standard aux conséquences du changement climatique dans le bassin de la Seine, tel qu'évoquée dans l'introduction de ce document. Il correspond ainsi à une certaine manière de décliner les orientations qui découlent du Plan climat 2003 de la Mies [1]. Examinons alors précisément quel visage recouvrerait l'agriculture du bassin de la Seine

dans cette optique standard, en recourant à un récit fictif, mais plausible, qui nous projette à 2050.

L'image standard de l'agriculture sur le bassin de la Seine en 2050 : un bassin « céréalisé »

La description de l'image, reprise et légèrement adaptée du document [4] qui décrit l'ensemble des scénarios est la suivante.

Une agriculture dont le développement est déterminé par des accords internationaux

« Dans les grandes lignes, les dynamiques d'évolution des exploitations agricoles sont les mêmes qu'actuellement, bien que la demande environnementale des citoyens soit ici davantage affirmée qu'aujourd'hui et que le contexte international soit marqué par une coordination accrue au niveau mondial en vue des objectifs de durabilité fixés à l'échelle planétaire entre les gouvernements.

« Les grands bassins de production de céréales dans les pays du nord reçoivent la mis-

sion explicitement formulée par les Nations unies de participer au défi alimentaire qui attend la planète. Il s'agit d'assumer la demande alimentaire supplémentaire des pays en développement. Disposant d'avantages comparatifs importants liés à la qualité de ses sols et de son encadrement technico-économique, le bassin de la Seine se spécialise alors dans la production céréalière de masse destinée à l'exportation, puisque les débouchés existent pour les exploitations les plus performantes.

« Les exploitations du bassin de la Seine se sont progressivement converties à l'agriculture de conservation des sols : il fallait s'adapter aux nouvelles normes environnementales pour pouvoir continuer à exporter. Cette conversion n'a pas été sans difficulté et il a fallu affronter l'inertie de certains responsables d'organisations professionnelles agricoles selon lesquels ces techniques ne comportaient pas d'avantages pour les agriculteurs du bassin de la Seine. En effet, ces derniers reprochaient aux nouvelles pratiques de ne pas garantir une amélioration des rendements et d'induire un effort d'apprentissage supplémentaire pour les agriculteurs. Ils auraient préféré répondre aux attentes environnementales de la société par des méthodes moins radicales et

qui impliquaient moins de changements pour les agriculteurs et leurs modes de travail et d'équipements. Ainsi, ils soutenaient plutôt un recours à l'agriculture raisonnée, qui aurait apporté une réponse technique d'optimisation de systèmes de production existants. Mais les incitations financières de l'UE et le renforcement de l'accompagnement des producteurs par les organismes techniques ont calmé ces craintes.

Un mouvement de spécialisation vers une production de masse, facteur de sensibilité économique et environnementale

« Le bassin de la Seine voit la disparition du modèle d'agriculture familiale s'opérer totalement. Les exploitations céréalières deviennent de grandes entités industrielles qui ont recours à des prestataires de service car ceux-ci maîtrisent mieux la conduite des cultures sous agriculture de conservation du fait des nombreuses connaissances techniques qu'il faut posséder. Seules des entreprises de travaux agricoles peuvent investir

dans ce grand effort de formation agricole et ce, malgré les initiatives européennes pour vulgariser ces techniques auprès des agriculteurs individuels. » « La suppression des droits de douane agricoles aux frontières de l'UE a réduit la diversité des cultures dans le bassin de la Seine : la betterave sucrière

n'a pas résisté à la concurrence de la canne à sucre qui s'impose comme la seule plante sucrière dans le monde. Les autres cultures industrielles ont quasiment toutes disparu car les IAA se sont délocalisées vers les Peco, du fait d'une main d'œuvre moins chère et d'une bonne diffusion des nouvelles techniques agricoles dans ces pays.

La faible valeur ajoutée dégagée par hectare et la productivité accrue du travail tendent vers une augmentation de la surface des exploitations.

Le nombre d'exploitations bovines laitières présentes aux marges du bassin a diminué car elles se sont regroupées dans le Grand Ouest, formant avec les IAA un impressionnant pôle agro-industriel. Quant aux exploitations bovines viande encore présentes aux marges du bassin en 2000, elles se sont soit transformées en hors sol,

soit ont dû s'extensifier radicalement. En effet, face aux importations de viande des Peco et de l'Amérique (à la fois Etats-Unis et Argentine) il faut, soit privilégier le positionnement sur un créneau de qualité moyenne et intensifier la production, soit diminuer drastiquement la charge à l'hectare et compter une surface fourragère permanente importante afin de se démarquer commercialement et obtenir une image de qualité auprès du consommateur européen et bénéficier en plus des primes séquestration de carbone versées par l'UE suite à ses engagements post-Kyoto.

« Les élevages industriels de volailles se sont multipliés sur le bassin de la Seine et la progression la plus importante s'est opérée dans la partie normande, du fait d'infrastructures favorables. En effet, les ports du Havre et de Rouen jouent un rôle stratégique : les productions céréalières du bassin de la Seine y convergent en vue de leur exportation par cargo vers l'Afrique du Nord et le Moyen Orient et les protéines végétales indispensables à ces élevages y sont importées depuis les Etats-Unis. La Normandie se trouve ainsi idéalement située pour développer une telle industrie dépendante des apports extérieurs. Des contrats sont signés entre ces élevages hors sol et les céréaliers des

alentours pour que les déjections animales soient épanchées. En synergie avec la réglementation européenne, il s'agit d'une démarche volontaire des deux parties s'appuyant sur des bénéfices réciproques.

Vers une gestion extensive des cultures, ambiguë en termes d'impact phytosanitaire

« Les techniques de l'agriculture de conservation permettent de stocker du carbone dans les sols selon une moyenne européenne de 0,3 tonne de carbone, soit 1,1 tonne de CO₂, par hectare et pour une durée comprise entre 30 et 100 ans, le temps d'atteindre l'état d'équilibre du sol [3], [6].

La prime que l'UE accorde à la tonne de carbone enfouie constitue, en fait, une prime à la surface et peut être considérée comme une incitation à l'agrandissement. Néanmoins cette tendance est limitée par le montant de cette rémunération : dans le cas où la tonne de carbone enfouie serait payée 100 euros, la prime reçue par l'agriculteur par hectare et par an ne s'élèverait alors qu'à 30 euros. Elle n'est donc pas suffisante pour constituer à elle seule un facteur déterminant de modification des assolements. Ce sont en fait les régions marginales où la culture des

céréales est peu rentable qui sont converties en forêts ou aménagées en prairies permanentes. Ce sont en effet les deux changements d'occupation du sol qui permettent de séquestrer le plus de carbone par hectare, avec des chiffres approchant la tonne. De plus, les prairies offrent des pâturages pour les bovins et les forêts permettent de dégager un revenu complémentaire avec la vente de bois, encouragée dans le cadre du programme européen bioénergie qui favorise les énergies renouvelables. Les régions concernées sont principalement le sud-est du bassin de la Seine (Morvan).

« La conduite des systèmes de production sous agriculture de conservation est sensiblement différente de celle qui prévaut en agriculture conventionnelle : les agriculteurs ne labourent désormais plus leur champ que lorsque des conditions exceptionnelles l'imposent, comme dans le cas d'une population d'adventices qui devient réellement problématique avec les traitements disponibles, ou si des pluies importantes ont creusé de trop

grosses rigoles dans le champ. Un labour tous les cinq à dix ans ne provoque qu'une faible diminution du stock de carbone dans le sol et ne remet pas en cause la stratégie d'enfouissement. La couverture permanente du sol protège les sols de l'érosion, donc de la perte de matière organique, et le retour des résidus de récolte à la terre constitue un engrais vert, si bien que non seulement les apports en engrais sont réduits mais, en plus, leur efficacité est augmentée car ils sont moins lessivés.

« Les pratiques de semis direct permettent de diminuer à la fois la durée des travaux au champ et les intrants énergétiques (carburants et engrais)

Le bassin de la Seine verrait la disparition du modèle d'agriculture familiale. Les exploitations céréalières deviendraient de grandes entités industrielles qui auraient recours à des prestataires de service car ceux-ci maîtrisent mieux la conduite des cultures sous agriculture de conservation du fait des nombreuses connaissances techniques qu'il faut posséder.

si bien que les coûts de production à l'hectare diminuent et favorisent alors une gestion extensive des cultures. Le besoin de main d'œuvre est moindre grâce à ces techniques culturales simplifiées et à un matériel qui a évolué pour répondre efficacement à ce nouveau contexte technique. Mais ces pratiques se sont accompagnées d'aménagements et de restructurations parcellaires significatives.

« L'utilisation des herbicides avec les pratiques de semis direct est augmentée car l'absence de labour entraîne des risques de prolifération des adventices. Les cultures OGM s'introduisent alors sur le territoire européen car elles présentent une réponse intéressante à la gestion des pesticides. Cette adoption de l'agriculture de conservation en Europe a d'ailleurs vivement été poussée par le *lobbying* des grands groupes d'agrochimie détenteurs des brevets sur les cultures OGM résistantes aux pesticides. En effet, des cultures OGM résistantes aux herbicides totaux type glyphosate peuvent être menées par des systèmes sans labour. L'application de ces produits va éliminer tous les adventices sans endommager les plantes cultivées ; les risques de fuite vers les eaux sont réduits mais restent complexes à apprécier.

« La superficie d'oléagineux augmente dans le bassin de la Seine, afin de compléter les rotations des exploitations de grandes cultures. Cette disposition est nécessaire avec le semis direct pour limiter les risques de maladies des céréales. Mais la réduction des variétés utilisées (les plus rentables) et la simplification des itinéraires techniques réduisent les marges de manœuvre et une lutte phytosanitaire adaptée reste nécessaire.

Les implications économiques, politiques et environnementales du scénario standard

Un scénario tendanciel en ce qui concerne les hypothèses macro-économiques

Ce scénario illustre que l'occurrence des options techniques qui le fondent - développement des biocarburants, travail du sol simplifié - s'inscrit dans un contexte économique, social et politique particulier. Ce contexte est, dans les grandes lignes, celui qui découle d'un scénario tendanciel en ce qui concerne (1) les orientations du progrès technologique en agriculture, de la spécialisation céréalière de l'Europe en général et du Bassin parisien en particulier [8] que l'on peut associer à une forme d'industrialisation de l'agriculture européenne [9] [10] et (2) le mode de régulation économique, combinant une certaine forme de libéralisme (un positionnement sur les mar-

chés mondiaux selon des avantages compétitifs) et incitation politique (dans la promotion des biocarburants par exemple). Pour reprendre les travaux du *Global Scenario Group*, qui font office de scénarios de référence dans les travaux de l'IPCC [11], [12], le contexte du scénario standard sur le bassin de la Seine développé ci-dessus est globalement celui d'un développement conventionnel, assorti des réformes environnementales et sociales envisageables sans remettre en cause les fondamentaux socio-économiques actuels. Pour reprendre les labels du *Global Scenario Group*, il s'agit de

Le contexte du scénario standard sur le bassin de la Seine développé ci-dessus est globalement celui d'un développement conventionnel, assorti des réformes environnementales et sociales envisageables sans remettre en cause les fondamentaux socio-économiques actuels.

la variante des « réformes politiques » dans la famille de scénarios des « mondes conventionnels » (8).

Certes, dans le principe, le développement des biocarburants et des techniques de l'agriculture de conservation pourrait s'opérer dans un autre contexte. Mais il n'en demeure pas moins que les hypothèses socio-économiques et politiques prises dans le scénario standard apparaissent comme particulièrement plausibles et cohérentes avec les options techniques considérées.

**Des impacts
environnementaux indirects
mais potentiellement
significatifs**

En lui-même et à lui seul, le contexte socio-économique du scénario standard n'est pas un enjeu environnemental direct pour le bassin de la Seine, qu'il s'agisse du changement climatique ou de la gestion de l'hydrosystème. En première analyse, le processus de céréalisation et d'industrialisation de l'agriculture n'est ni bon ni mauvais pour la gestion de l'hydrosystème (beaucoup dépend de sa mise en œuvre) et, tel

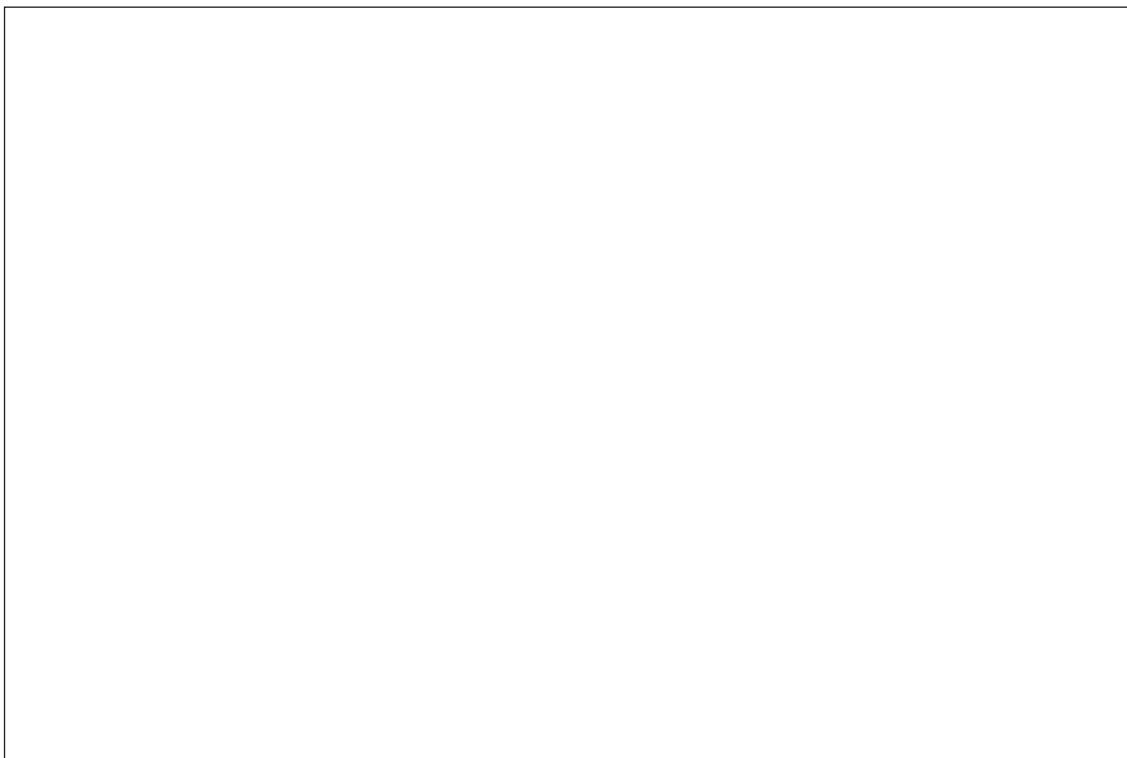
qu'il est décrit dans le scénario, il est sans doute favorable à l'effet de serre dans la mesure où il repose sur des pratiques qui réduisent les émissions de GES par rapport au scénario tendanciel d'évolution de l'agriculture du bassin.

**À l'échelle du bassin de la
Seine : un scénario ambigu
pour l'hydrosystème**

Le point de vue que nous voudrions défendre ici est que ce contexte a des impacts environnementaux potentiels indirects, qui s'expriment à l'échelle du

bassin de la Seine et au-delà. La logique économique sous-jacente du scénario est que la production de bio-carburants n'est environnementalement et économiquement efficace que si les rendements sont élevés relativement aux coûts de production [12], ce qui est la tendance observée dans le bassin de la Seine depuis 50 ans. Ceci conduit à développer des filières de colza diester et de blé qui s'apparentent à des matières premières brutes, à faible valeur ajoutée.

Une des questions centrales est alors celle de la spécificité des productions agricoles énergé-



Bob Krist/Corbis

À l'instar de scénarios développés au Danemark, certains des scénarios envisagés par le projet Piren prennent comme hypothèse le développement de l'agriculture biologique à l'échelle du bassin. Sur un plan technique, ils jouent davantage que le scénario standard la carte d'une production herbagère qui se substitue aux céréales pour l'alimentation animale, mais aussi la diversification des rotations culturales.

tiques par rapport aux autres productions, à usages alimentaire et industriel. Il semble cohérent de considérer que, globalement, le scénario standard signifie que la zone se spécialise sur une production de biomasse sur un nombre restreint de cultures, dont une partie croissante ira aux biocarburants, une autre à l'alimentation animale, comme c'est le cas actuellement pour 60 % des céréales européennes et une fraction limitée pour l'alimentation humaine (meunerie). Autrement dit, la production de biocarburants n'est, dans ce scénario, qu'un des débouchés industriels parmi d'autres d'une biomasse agricole. *A contrario*, il semble peu plausible d'envisager un scénario qui combinerait un développement des biocarburants à une moindre industrialisation de l'alimentation animale. Si l'on se réfère aux dynamiques en cours depuis 50 ans dans le bassin, cette logique économique s'est accompagnée d'un processus d'agrandissement continu des exploitations, pour compenser la baisse tendancielle des prix

qui affecte la production de matières premières. Pour des raisons de maîtrise technique, cet agrandissement s'accompagne d'une standardisation et d'une simplification des modes de production agricoles conduisant à une spécialisation des exploitations sur un nombre restreint de cultures. Certes, certaines hypothèses du scénario « standard » décrit ci-dessus changent la problématique de maîtrise des itinéraires techniques qui découlent de l'agriculture de conservation, mais elles ne garantissent pas, qu'à terme, une logique d'intensification ne continue de se mettre en œuvre (9). L'exemple du *Middle West* des Etats-Unis - dans lequel beaucoup de traits du scénario standard sont présents - montre aujourd'hui le caractère ambivalent en termes environnementaux d'un tel scénario. Si l'on considère en outre les impacts environnementaux qui découlent d'un aménagement de l'espace homogénéisé, les hypothèses sur une bonne gestion de l'hydrosystème, au niveau local, sont ainsi loin d'être levées dans un tel scénario.

Aux risques agricoles qui découlent d'une spécialisation régionale poussée, s'en combinent d'autres du registre de la gestion des risques et notamment ceux de régulation des flux hydrologiques. Les pratiques de travail du sol simplifié peuvent-elles compenser les effets liés aux aménagements parcellaires et au recul des zones tampons naturelles que sont les prairies ?

Plus encore, on peut poser la question de la pertinence d'un tel scénario face aux aléas climatiques dont la fréquence ne manquera pas de croître dans les décennies à venir. Aux risques agricoles qui découlent d'une spécialisation régionale poussée (stress hydrique ou excès d'eau, maladies), s'en combinent d'autres du registre de la gestion des risques et notamment ceux de régulation des flux hydrologiques. Les pratiques de travail du sol simplifié peuvent-elles compenser les effets liés aux aménagements parcellaires (drainage, augmentation de la taille des parcelles) et au recul des zones tampons naturelles que sont les prairies ?

**À l'échelle globale :
une contradiction en matière de lutte contre les GES**

Mais on peut élargir ici l'analyse en considérant d'autres niveaux d'impacts environnementaux. Le premier point découle du processus d'industrialisation de l'agriculture associé au scénario standard. La production accrue de céréales compétitives, dans la logique « biomasse » décrite ci-dessus, renforce les filières animales granivores (porcs, volailles, certains bovins engraisés) au détriment des

filières herbivores (bovins et ovins principalement). Si l'on considère que cette problématique concerne aujourd'hui les 75 % de la surface agricole utile européenne consacrés à l'alimentation des animaux (prairies, fourrages et cultures incorporées dans les aliments industriels), ce constat a des impacts environnementaux très significatifs. Un grand nombre de problèmes écologiques peuvent lui être associés et qui sont les deux facettes d'un même processus : d'un côté la régression des surfaces en herbe dont les multiples rôles écologiques sont reconnus (avec dans certains cas déprise), de l'autre la concentration des productions dans des bassins compétitifs [14]. En termes d'effet de serre, ce processus a également des impacts directs qui découlent fondamentalement de la substitution de surfaces en herbe ne consommant pas (ou très peu) d'énergie fossile par des surfaces cultivées qui, elles, en consomment par les intrants et les machines qu'elles requièrent.

La spécialisation spatiale de l'agriculture induit toute une série d'échanges coûteux en énergie : entre zones primaires et secondaires d'une part et entre les zones de production et celles de consommation d'autre part. Les gains d'efficacité énergétique dans la phase de production agricole, qui découlent de la spécialisation par grands bassins de production, peuvent alors être plus que perdus lors de la phase de transport.

Le deuxième point est associé à la spécialisation spatiale qui découle de l'industrialisation de l'agriculture. On peut alors distinguer pour l'analyse trois types de zones : celles dévolues à la production primaire de matières premières végétales (le bassin de la Seine, en premier lieu, dans ce scénario standard, mais aussi le Brésil, la Thaïlande), celles consacrées à la production secondaire animale (la Bretagne et les régions situées sur les axes de transport), consommant les produits issus des premières zones, celles qui « sortent du jeu », avec de multiples options (de la marginalisation à l'invention d'un développement alternatif dynamique). Cette spécialisation induit toute une série d'échanges coûteux en énergie : entre zones primaires et secondaires d'une part et entre les zones de production et celles de consommation (urbains) d'autre part. Les gains d'efficacité énergétique dans la phase de production agricole, qui découlent de la spécialisation par grands bassins de production, peuvent alors être plus que perdus lors de la phase de

transport, d'autant plus si cette spécialisation s'accompagne d'échanges accrus au niveau mondial pour réguler les systèmes de production sur un plan économique.

Conclusion : élargir les cadres d'analyse pour renouveler les options d'intégration de lutte contre l'effet de serre en agriculture

Élargir les référentiels de comparaison

L'analyse développée ici vise à faire ressortir en quoi les options techniques qui fondent le « scénario standard » en matière de lutte contre l'effet de serre ne peuvent être isolées de leur contexte économique, social et politique. Plus particulièrement, elle pointe en quoi le scénario standard en matière de lutte contre l'effet de serre, tel qu'il ressort en particulier des préconisations du groupe de travail de la Mies, est cohérent avec la conservation de nombreux modes de régulation - technologiques, économiques

et socio-politiques - de l'agriculture actuellement constatés.

À cet égard, le scénario standard est une variante d'un scénario tendanciel de l'agriculture européenne, allant vers davantage d'industrialisation dans la production agricole elle-même (spécialisation et maîtrise technologique) et dans ses usages.

Qu'un tel scénario standard, qui promeut des cultures énergétiques réduisant certains impacts sur les sols, le bilan énergétique et l'émission de GES et, de manière plus controversée, sur la ressource en eau, soit préférable à un autre scénario tendanciel qui ne serait optimisé en rien sur ces critères est une évidence. Mais il faut alors veiller à ce qu'il ne déplace pas les impacts environnementaux : soit à d'autres échelles en restant dans une problématique de changement climatique, soit vers d'autres thèmes (eau, biodiversité, paysages...).

Ce constat est relativement bien identifié en ce qui concerne la réduction des impacts sur la qualité de l'eau par les cultures énergétiques. Déjà, le rapport Lévy, en 1993, pointait du doigt

que le développement des biocarburants ne devait pas se faire

L'analyse développée ici vise à faire ressortir en quoi les options techniques qui fondent le " scénario standard " en matière de lutte contre l'effet de serre ne peuvent être isolées de leur contexte économique, social et politique. Plus particulièrement, elle pointe en quoi le scénario standard en matière de lutte contre l'effet de serre est cohérent avec la conservation de nombreux modes de régulation de l'agriculture actuellement constatés.

au détriment de la qualité des eaux. La prise en compte des impacts sur la biodiversité, les paysages ou la gestion des risques naturels nous semble moins développée, sans doute parce qu'elle incite à intégrer une dimension de gestion écologique de l'espace agricole qui « cadre » mal avec une approche en termes de flux à la parcelle, dominante dans les analyses énergétiques ou de flux de polluants [14].

Prévenir les irréversibilités

Mais l'exercice développé ici permet de pointer une autre caractéristique importante du « scénario standard » : son caractère probablement peu réversible et auto-réalisateur si certaines variables politiques et économiques ne sont pas prises en compte. Dans le sens où le scénario standard encourage une production de cultures développées pour leur biomasse et à destination industrielle, il renforce des tendances lourdes en matière de dévelop-

pement agricole. Si l'on retient comme hypothèse que le développement des cultures énergétiques va logiquement de pair avec celui des cultures destinées à l'alimentation du bétail (ne serait-ce que par la valorisation des tourteaux de colza, par exemple), alors il conduit à davantage d'élevage industriel et, corrélativement, moins d'élevage extensif. Cette évolution peut être estimée comme difficilement réversible si l'on considère l'ensemble des comportements des agriculteurs, des opérateurs économiques et des consommateurs qu'elle conforte. Les systèmes d'accompagnement technique et politique, de collecte, de transformation et de transport qu'elle suppose ont une telle cohérence qu'ils ont tendance à s'auto-renforcer en limitant la capacité d'émergence de modes de production alternatifs. Cette hypothèse se trouve sans doute confortée par la cohérence du scénario standard avec celui d'une intégration accrue d'espaces agricoles spécialisés dans le marché mondial, en premier lieu pour les échanges de produits de première nécessité (céréales et viandes). Cette perspective résonne alors fortement avec le scénario de « libéralisation » du *Global Scenario Group* cité plus haut qui, dans les modèles de simulation du changement climatique, conduit par ailleurs aux hypothèses les plus

pessimistes [12]. Que l'agriculture du bassin de la Seine se spécialise davantage dans les cultures « biomasse » pour lutter contre l'effet de serre, du fait d'une situation agro-climatique sans doute relativement favorable par rapport à d'autres zones du globe, est une option qui mérite d'être soigneusement pesée quant à sa signification macro-économique.

Proposer des scénarios alternatifs

Cette prise en compte de l'ensemble des niveaux d'analyse du changement climatique nous a incités, dans le cadre du projet Piren Seine, à envisager d'autres scénarios. Ces scénarios sont à la fois plus cohérents (1) avec les scénarios de développement du GSG qui réduisent les impacts en matière de GES et (2) avec une intégration d'une diversité de thèmes environnementaux à l'échelle du bassin de la Seine. Nous ne développerons pas ici ces scénarios alternatifs, faute de place, mais nous ferons valoir que, dans les grandes lignes, ils reposent sur une recherche d'autonomie

accrue des systèmes de production passant par une diversification et une complémentarité des productions. À l'instar de scénarios développés au Danemark [16], ces scénarios prennent comme hypothèse le développement de l'agriculture biologique à l'échelle du bassin. Sur un plan technique, ils jouent davantage que le scénario standard présenté ci-dessus la carte d'une production herbagère qui se substitue aux céréales pour l'alimentation animale, mais aussi la diversification des rotations culturales (part des légumineuses). Si la production de biocarburants n'est pas retenue dans les scénarios – car ces derniers sont peu cohérents avec le développement des filières industrielles de masse – certains atouts énergétiques peuvent être pointés (limitation des engrais de synthèse et des phytosanitaires (10) sans parler des avantages comparatifs des prairies évoqués plus haut). Ces scénarios reposent sur les principes suivants :

- les cultures biologiques ont potentiellement un impact GES à l'hectare moindre que l'agriculture conventionnelle et simi-

laire ramené à la tonne produite [17]. Le bilan de l'élevage biologique dépend de la balance entre la production de méthane accrue, la consommation de CO₂ quasi nulle pour la production herbagère et une capacité de stockage de carbone dans les sols plus importante ;

- l'intérêt de principe d'une approche intégrée pour une série de thèmes environnementaux, eau et biodiversité en particulier. Par ailleurs, la diversité des productions et des modes d'occupation des sols apparaît comme un facteur favorable à l'adaptation aux aléas climatiques évoqués dans le scénario standard ;
- enfin, une recherche d'autonomie alimentaire plus grande à l'échelle européenne, davantage compatible avec les scénarios qui réduisent les émissions de GES du GSG.

Renforcer les cadres d'évaluation globaux et multi-critères

Au stade de notre recherche, ces scénarios alternatifs doivent être évalués de manière plus fine et plus formalisée quant à leurs impacts environnementaux. Dans le cadre du Piren Seine, il n'est pas prévu d'analyse énergétique et l'on s'en tiendra ici aux postulats de principe que nous venons d'évoquer. Par contre, l'analyse

des impacts sur l'hydrosystème (notamment *via* les bilans de nutriments et les risques de fuite dans les nappes) font l'objet de travaux en cours impliquant différentes équipes de l'Inra, dont on verra dans quelle mesure ils confirment ou non les hypothèses que nous avons avancées ici quant aux avantages relatifs des différents scénarios.

Mais sans préjuger des résultats des recherches qui permettraient de mieux comparer les scénarios sur la Seine, l'analyse entreprise ici nous incite à mieux analyser les tenants et les aboutissants du « scénario standard » et mieux explorer les stratégies plus systémiques [18], [19] en les intégrant dans un cadre d'analyse global. Cette diversification des approches à développer à l'interface agriculture et changement climatique reprend des idées forces développées par Rötter et van der Geijn [20] : « [en matière de changement climatique], la surprise est la règle, qu'il s'agisse des projections climatiques que l'on peut faire ou des potentiels d'adaptation pour l'agriculture. Cela

requiert une grande adaptation dans la capacité de s'adapter aux changements. En plus du

Il faut une approche globale, intégrant les problématiques techniques à la parcelle dans un cadre plus large, en considérant que la diversité agricole n'est pas qu'un fait technique, mais aussi un projet politique et social. Le caractère global du changement climatique renforce encore davantage cette assertion, valable pour tous les thèmes environnementaux, mais avec une portée particulière pour le sujet qui nous intéresse ici.

fait de formuler des politiques agricoles qui contribuent à diminuer la demande énergétique, il faut aussi concevoir des politiques qui réduisent la vulnérabilité aux risques pédo-climatiques. Davantage de diversification pourrait alors jouer un rôle central » (11). Les mêmes auteurs précisent leur pensée en en

citant un autre : « Cela signifie qu'il faut éviter une rationalisation de l'agriculture en vue d'une maximisation de la production, qui passerait par une concentration excessive d'une seule production dans un nombre restreint de zones, ou par une spécialisation régionale autour d'une culture dominante... typiquement le type de pratiques qui augmentent les risques d'occurrence de toute une série de désastres » [21].

La démarche à base de scénarios mise en œuvre sur le bassin de la Seine illustre à nos yeux la portée de cette analyse. Nous y ajouterons la nécessité d'une approche globale, intégrant les problématiques tech-

niques à la parcelle dans un cadre plus large, en considérant que la diversité agricole n'est pas qu'un fait technique, mais aussi un projet politique et social. Le caractère global du changement climatique renforce encore davantage cette assertion, valable pour tous les thèmes environnementaux, mais avec une portée particulière pour le sujet qui nous intéresse ici.

Notes

(1) Cet article n'aurait pas été possible sans le financement d'une recherche par le programme GICC du MEDD. Nous lui sommes ainsi redevables.

(2) ASca – chercheur associé RGTE. xavier.poux@online.fr

(3) Ingénieur INA-PG, DEA Economie de l'environnement et des ressources naturelles, guillaume_olive@hotmail.com

(4) ES dans la suite de l'article. Nous utiliserons également les abréviations courantes : GES - gaz à effet de serre - et CC - changement climatique.

(5) Pour plus de renseignements, voir : <http://www.sisyphes.jussieu.fr/internet/gicc/>

(6) Il s'agit, au moment où cet article a été conçu, des modèles Arpège de Météo-France et LMD-Z de l'Institut Pierre Simon Laplace. Nous tenons à citer les travaux d'Agnès Ducharme (UMR Sisyphe) sur la « traduction locale » des modèles climatiques généraux à l'échelle du bassin de la Seine.

(7) Modèle STICS utilisé par l'Inra de Laon, résultats non encore publiés.

(8) Pour plus de détails voir <http://www.gsg.org>

(9) Ne serait-ce que parce que le processus d'agrandissement généralisé induit une pression sur le foncier et, donc, généralement un endettement que l'agriculteur gèrera en adoptant des pratiques « d'assurance » sur ses cultures peu compatibles avec une extensification des itinéraires techniques.

(10) En 1993, Solagro sur la base des enquêtes du SCEES estimait que l'agriculture nationale consommait 6 700 ktep dont 3 200 sous forme de combustible (moteurs, chauffage...), 2 500 pour les engrais, 500 pour les produits phytosanitaires et 500 pour les moteurs électriques.

(11) Notre traduction, ainsi que pour la citation suivante.

Bibliographie

[1] Mies, 2003. - « Plan climat 2003 », Rapport du groupe consultatif « agriculture, forêt et produits dérivés »

[2] Inra, 2002. - « Stocker du carbone dans les sols agricoles de France ? », Rapport d'expertise au ministère de l'Ecologie et du Développement durable.

[3] Robert M., 2001. - « Soil Carbon Sequestration for Improved Land Management », Rapport FAO.

[4] Olive G., 2002. - « Prospective agricole et changement climatique : six scénarios pour l'agriculture du bassin de la Seine à l'horizon 2050 », mémoire de DEA EERN. 108 pages. (consultable sur <http://www.sisyphes.jussieu.fr/internet/gicc/rapports.html>)

[5] Ducharme A. et Déqué M., 2003. - « Le bassin de la Seine face au changement climatique : comparaison de

deux scénarios climatiques », rapport d'activité 2002 du programme Piren Seine.

(consultable sur <http://www.sisyphes.jussieu.fr/internet/gicc/rapports.html>). Au moment où nous écrivons cet article, les résultats doivent être réactualisés sur la base de données plus récentes.

[6] Parry M., Rosenzweig C. Iglesias A., Fischer G. et Livermore M., 1999. - « *Climate change and world food security : a nex assessment* », *Global environmental change*, vol 9, Suppl. 1, octobre, pp 551-567.

[7] *European Climate Change Programme*, 2003. - « *Can we meet our Kyoto targets ?* », *Second ECCP Progress report*, 78 pages.

[8] Eurostat, 1999. « *Agriculture, Environment, Rural Development: Facts and Figures - A Challenge for Agriculture* », *European Commission* (<http://europa.eu.int/comm/agriculture/envir/report/en/>).

[9] Blouet A., Pervanchon F., Pervanchon M., 2003 - « L'agriculture raisonnée. Limites et alternatives du modèle agricole dominant », *Futuribles* n° 283 (février 2003) pp. 27-42.

[10] Poux X., 2002. - « *Integration of biodiversity in the CAP reform - implications for research* », *NATO Advanced Research Workshop, Krakow*, 5-9 novembre 2002.

[11] Gallopin G., Hammond A., Raskin P., Swart R., 1997. - « *Branch Points : Global Scenarios and Human Choice* », *Stockholm Environment Institute, PoleStar Series Report* n° 7.

[12] Nakicenovic N. et Swart R. (eds), 2000. - « *Special report on Emission Scenarios* », *Cambridge University Press, Cambridge*, UK, 612 pages.

[13] Lévy R., 1993. - « Les biocarburants », rapport au gouvernement (connu sous le nom de « rapport Lévy »).

[14] Mollard A., Chatellier V., Codron J.-M., Dupraz P., Jacquet F., 2003. - « L'agriculture contre l'environne-

ment ? Diagnostic, solutions et perspectives économiques », *Responsabilité & Environnement*, n°30, avril 2003, pp 37-59.

[15] Mermet L., Poux X., 2000. - « Recherches et actions publiques à l'interface agriculture et biodiversité : comment déplacer le front du débat ? », *CE Inra*, octobre 2000, pp 43-56.

[16] Jørgensen, L.N., Jensen, P.K and Ørum, J.E., 1999. « *Consequences to Danish Agriculture if Partly or Total Phasing Out Pesticides* ». *Workshop on Cost-Benefit-Analysis of Crop Protection, Leipzig, September 8-9, 1999*.

[17] Risoud B., Bochu J.-L., 2002. « Bilan énergétique et émission de gaz à effet de serre à l'échelle de la ferme », *Alter Agri* n° 55, Septembre Octobre 2002.

[18] Solagro, 2003. « 12 propositions pour lutter contre le changement climatique dans le secteur de l'agriculture », contribution de Solagro au Plan climat 2003., 45 pages.

[19] Transrural Initiatives, 2003. « Comment l'agriculture maîtrise son énergie », *Dossier thématique*, 8 pages.

[20] Rötter R et Van de Geijn S.C., 1999. - « *Effects on plant growth, crop yield and livestock* », *Climatic Change* 43 : 651-681, 1999.

[21] Lamb HH, 1995. - « *Climate, history and the modern world* ». *Routledge, London, UK, Second edition*, 433 pp.