

# Simulation prospective des pertes nitriques dans l'hydrosystème Seine en 2050 : construction de scénarios macro-économiques de l'agriculture en images spatialisées des systèmes agraires du bassin de la Seine

Xavier Poux<sup>1</sup>, Géraldine Ducos<sup>1</sup>, Marc Benoît<sup>2</sup>, Céline Schott<sup>2</sup>, Catherine Mignolet<sup>2</sup>, Sophie Bonvallet<sup>3</sup>, Bruno Mary<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Asca 8 rue Legouvé 75010 Paris ; [xavier.poux@asca-net.com](mailto:xavier.poux@asca-net.com)

<sup>2</sup> INRA station SAD- 88500 MIRECOURT ; [benoit@mirecourt.inra.fr](mailto:benoit@mirecourt.inra.fr), [mignolet@mirecourt.inra.fr](mailto:mignolet@mirecourt.inra.fr), [schott@mirecourt.inra.fr](mailto:schott@mirecourt.inra.fr)

<sup>3</sup> INRA E&A Laon Unité de Laon-Reims-Mons, rue Fernand Christ, 02007 LAON Cedex, France ; [mary@laon.inra.fr](mailto:mary@laon.inra.fr)

## TABLE DES MATIÈRES

1.	Introduction.....	1
1.1.	Les scénarios agricoles sur le bassin de la Seine dans une perspective globale .....	1
1.2.	Présentation du document .....	2
2.	Présentation des enjeux méthodologiques de la spatialisation des scénarios agricoles .....	3
3.	Réalisation d'un zonage du bassin de la Seine .....	4
4.	Les systèmes de culture initiaux-situation 2000 : .....	7
5.	Les scénarios contrastés de systèmes de production agricoles en 2050.....	9
5.1.	Préalables méthodologiques.....	9
5.2.	Intérêts et enjeux d'une démarche basée sur les OTEX.....	10
5.3.	Description des scénarios agricoles .....	11
6.	La traduction en systèmes de culture possibles en 2050 : présentation du cadre d'analyse .....	36
7.	La simulation des rendements et des pertes nitriques sous différents scénarios climatiques.....	39
8.	Conclusions et perspectives : .....	41
9.	Bibliographie.....	42

## 1. Introduction

### 1.1. Les scénarios agricoles sur le bassin de la Seine dans une perspective globale

Le présent document présente l'avancement de la démarche prospective engagée dans le cadre du programme GICC, dans lequel le PIREN a la charge d'un projet spécifique. L'approche adoptée dans ce projet vise à décrire des évolutions possibles lourdes de l'agriculture à l'horizon 2050 et à les traduire en paramètres techniques précis permettant d'analyser et simuler (en ce qui concerne les flux de nitrates) l'impact du changement climatique sur l'hydrosystème Seine sur la qualité des eaux.

Une des hypothèses de cadrage du projet de recherche sur les impacts du changement climatique sur le bassin de la Seine est que le CC est un facteur d'évolution qui se combine à d'autres. Ce constat

s'applique en particulier à l'activité agricole, jugée comme particulièrement sensible quant à ses impacts sur la qualité de l'hydrosystème Seine dans son ensemble.

La première phase d'analyse relative à la construction de scénarios agricoles a consisté à décliner cette problématique d'évolution à long terme de l'agriculture en fonction de facteurs climatiques et non climatiques à une échelle globale, appréhendant le bassin de la Seine comme un sous-ensemble géographique d'un système plus large intégrant l'Europe et les relations internationales en particulier. Ce cadrage apparaissait justifié par le fait que l'agriculture du bassin est particulièrement ouverte sur les marchés européens et mondiaux et que son évolution dépend et dépendra fortement de celles qui conditionnent ces marchés.

L'approche retenue pour construire les scénarios de cadrage a consisté à croiser deux ordres de variables, (1) économiques (céréalisation et bioénergie (céréales et oléagineux), diversification,...) et (2) environnementales (agriculture raisonnée,...). Ces variables ont été resituées dans un cadre d'analyse plus large, distinguant des facteurs d'évolution agricoles et non agricoles et ceux dépendant du changement climatique ou non.

Le tableau suivant résume les germes de scénarios sélectionnés, au regard de leur pertinence pour les problématiques de gestion de l'hydrosystème :

*Tableau 1 : Les 6 scénarios retenus pour la prospective agricole du bassin de la Seine*

	Agriculture raisonnée	Agriculture de conservation	Infrastructures écologiques
Céréalisation et bioénergie (céréales et oléagineux)	Scénario 1	Scénario 2	
Diversification par les cultures industrielles	Scénario 3		Scénario 4
Agriculture biologique à grande échelle	Scénario 5		Scénario 6

Ces six scénarios ont été déclinés et décrits à l'échelle globale, considérant le bassin de la Seine comme une entité. Ils font ressortir des enjeux d'évolution contrastés en termes politiques, économiques et sociaux (Poux et Olive, 2003).

La phase suivante dans le projet de recherche consiste à décliner ces scénarios dans une perspective de spatialisation et de territorialisation : dans quelle mesure un scénario global de céréalisation se traduit-il de manière différenciée dans les différentes régions agricoles qui composent le bassin de la Seine ?

Deux hypothèses fortes ont été retenues pour ce travail prospectif : (i) l'état actuel du système agricole du bassin de la Seine construit des entités spatiales qui seront encore pertinentes en 2050, (ii) les macro-scénarios économiques pèsent du même ordre que les scénarios climatiques dans le choix des systèmes de culture (assolement, successions culturales, séquences techniques).

## **1.2. Présentation du document**

Le présent document traite de l'avancement des travaux dans le cadre de l'analyse prospective à long terme. Après une présentation du cadre méthodologique global et de la situation de l'agriculture en 2000, il développe particulièrement le « corps » du travail effectué en 2003, à savoir la déclinaison régionalisée des 6 scénarios agricoles dans les zones du bassin de la Seine en reprenant en grande partie le travail de (Ducos, 2003). C'est dans la section 5 du présent document que l'on trouvera ces résultats.

La manière dont ces résultats peuvent être utilisés par la suite font l'objet des sections 6 (traduction des hypothèses sur les systèmes de production en hypothèses sur les successions de cultures et les séquences techniques) et 7 (simulation des flux de nitrates). La conclusion présentera d'une manière synthétique les développements envisagés.

## 2. Présentation des enjeux méthodologiques de la spatialisation des scénarios agricoles

Cette traduction de scénarios agricoles en paramètres techniques (successions culturales, séquences techniques) devra se faire de manière "spatialisée", c'est-à-dire que le bassin de la Seine ne sera pas considéré comme une entité simple, mais en sous-ensembles homogènes d'un point de vue hydro-géologique et technico-économique en ce qui concerne l'agriculture.

La spatialisation des scénarios agricoles se base donc sur un zonage du bassin de la Seine, dans lequel chaque zone est décrite au temps T0 par un ensemble de descripteurs de son activité agricole. Il s'agit de l'"image de base" du bassin de la Seine à l'époque actuelle sur laquelle se baseront les différents scénarios et en modifieront les principaux paramètres à T+50 ans.

Ces descripteurs sont les suivants :

- Système de production (terre, capital, main-d'oeuvre...)
- Assolement et successions culturales
- Séquences techniques associées
- Caractéristiques climatiques et pédologiques actuelles.

Les différents facteurs influençant la qualité de l'hydrosystème Seine interagissent entre eux sous la forme d'un schéma dont les enjeux théoriques et méthodologiques sont fondamentaux, et qui peut être présenté comme suit :

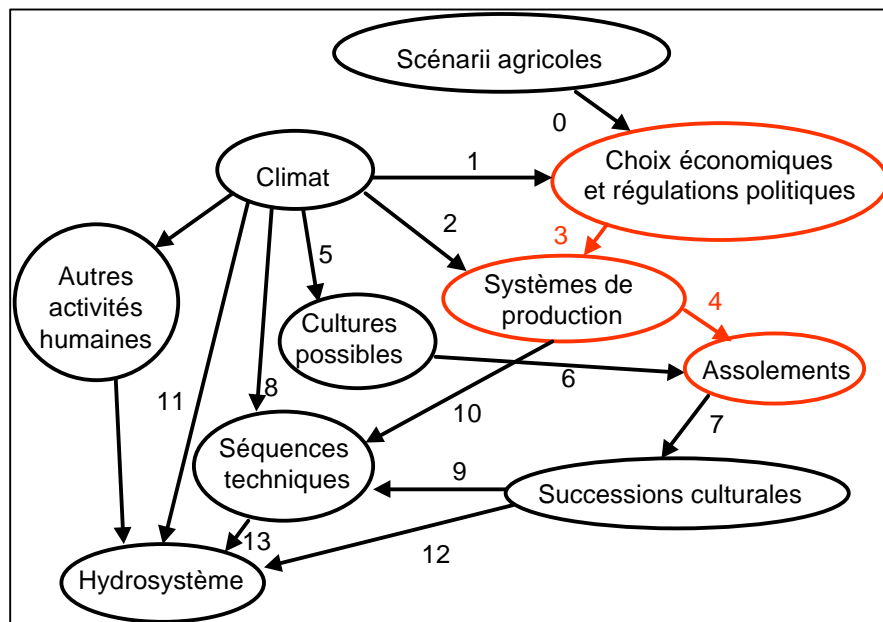


Figure 1 : Modèle général des relations entrant en jeu dans le cadre de la spatialisation de scénarios agricoles ( en rouge les éléments entièrement décrits par le travail réalisé en 2003)

Chacun des scénarios agricoles que nous présenteront plus loin se base essentiellement sur des hypothèses d'ordre macro-économique qui mettent en avant le rôle prépondérant des impulsions politiques européennes ou les grandes tendances du marché international (0). Le changement

climatique n'intervient qu'en second lieu pour valider la compatibilité de ces scénarios avec les différentes projections de changement climatique simulées (par ex., vérifier s'il est plausible de continuer à produire du maïs si les simulations montrent toutes de forts déficits hydriques en été).

Ces choix politiques et régulations économiques agiront à leur tour sur les systèmes de production (3), déclinés régionalement par zone, en agissant soit :

- sur les facteurs de production - terre, capital, travail, ressources génétiques... -, organisés et conduits en fonction d'un objectif économique,
- sur la combinaison de systèmes de cultures et/ou de systèmes d'élevage (dont la résultante est le système de production).

Ces systèmes de production sont fortement liés à la composante "assolement" qui peut être assimilée aux systèmes de cultures (4).

Les systèmes de production, associés aux contraintes du milieu, déterminent le plus souvent un type d'assolement caractéristique. Si les facteurs macro-économiques agissent sur un système de production et le font évoluer (comme un système bovin lait extensif évoluant vers un système polyculture-élevage, par ex.), on assistera à une transformation de l'assolement où la STH sera remplacée par des céréales...

Inversement, si les facteurs macro-économiques sont favorables à un type de culture dominant (comme le blé par ex.), cette importante sole en blé pourra déterminer des systèmes de production de type céréalier – si les caractéristiques structurelles et fonctionnelles des systèmes de production le permettent.

C'est à ce niveau qu'aura lieu la "traduction" des scénarios agricoles en fichiers techniques utilisables pour des modèles comme STICS. Car en terme de simulation de l'impact des scénarios sur la qualité de l'hydrosystème de la Seine, ce sont les successions culturales (déterminées par l'assolement (7)) et les séquences techniques (travail du sol, fertilisation, date de semis...) qui leur sont associées qui seront utilisées par les modèles.

Les séquences techniques seront, quant à elles, à la fois influencées par les scénarios macro-économiques (par le biais de l'orientation des système de production (10)) et par les scénarios climatiques (8). En effet, les travaux du sol par exemple peuvent être modifiés à la fois pour des raisons économiques (non-labour pour économiser du carburant) ou pour des raisons climatiques (décaler les dates de semis pour faciliter les travaux d'implantation).

### **3. Réalisation d'un zonage du bassin de la Seine**

Le bassin de la Seine ne peut être considéré comme un ensemble homogène en terme d'activité agricole. En effet, toutes les études précédentes (Mignolet et al., 2002) montrent une grande hétérogénéité des systèmes de production adoptés par les agriculteurs, se traduisant par des assolements également très variables selon les régions agricoles. Cette grande hétérogénéité résulte à la fois de choix économiques (proximité des marchés, IAA ou consommateurs), des orientations politiques (de la PAC, notamment) et également des contraintes du milieu.

Pour permettre une simulation fine de l'évolution des ressources en eau du bassin de la Seine en fonction du changement climatique, chaque scénario devra tenir compte de cette diversité régionale des pratiques agricoles. Il a donc été prévu de décliner les six scénarios prospectifs en se basant sur un découpage régional en zones considérées comme homogènes.

Pour réaliser ce découpage, nous nous sommes appuyés sur le maillage le plus pertinent pour l'étude des activités agricoles, à savoir le maillage en Petites Régions Agricoles (PRA). Pour regrouper ces PRA en grandes zones caractéristiques, nous avons choisi comme critères :

- le pourcentage de Surfaces Toujours en Herbe (STH), particulièrement déterminant sur les marges du bassin ;
- les successions de cultures dominantes (issues de l'enquête Ter Uti de 1992 à 1998).

Dans certains cas, la carte géologique et celle des OTEX (Orientations technico-économiques) dominantes étaient utilisées pour confirmer certains regroupements.

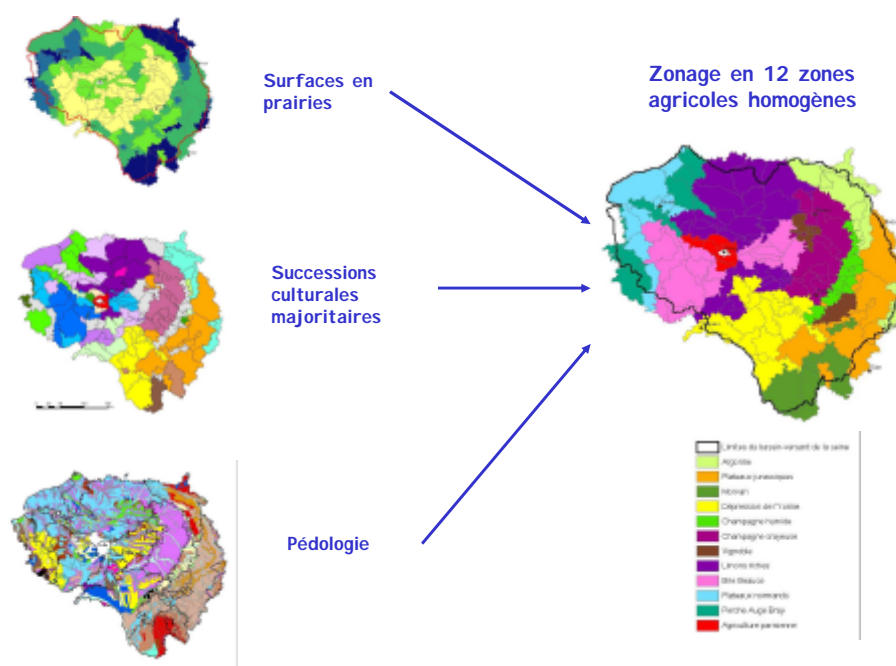


Figure 2 : la procédure de segmentation du bassin.

Le résultat final de cette opération aboutit à un découpage du bassin de la Seine en 12 zones caractéristiques :

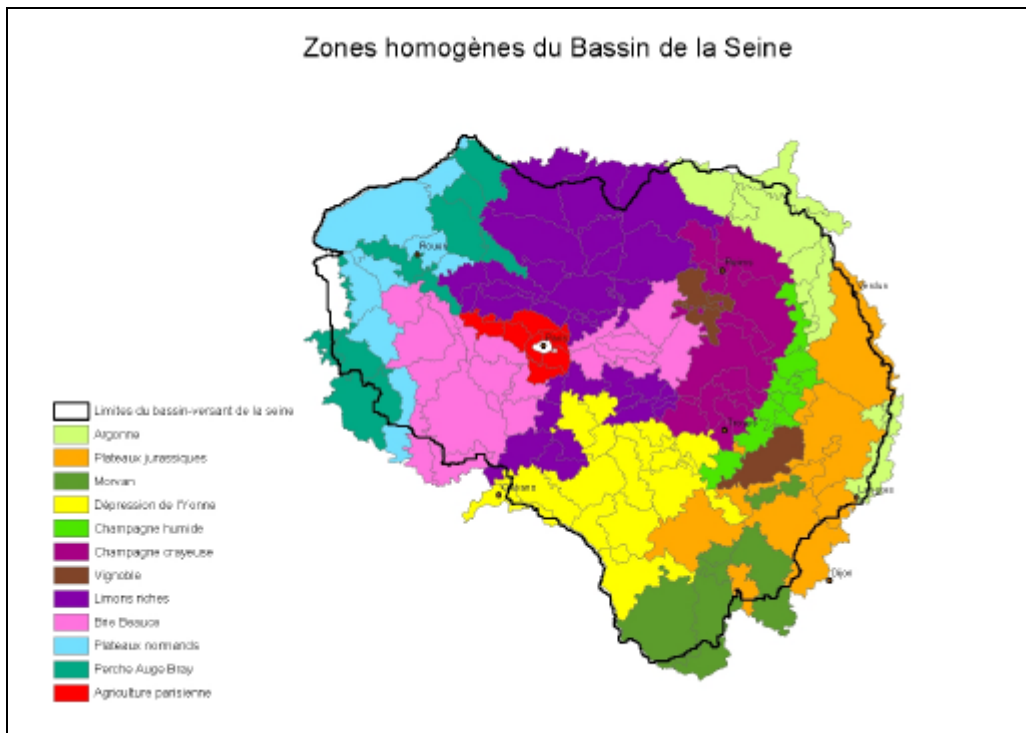


Figure3 : Segmentation du bassin en 12 zones pour la réalisation de la prospective

Pour nommer ces zones, nous nous sommes basés sur le nom des principales PRA situées dans cette zone (Argonne, Morvan, Champagne humide...), sur le nom d'ensembles géomorphologiques (Plateaux jurassiques, Dépression de l'Yonne,...), ou sur un type d'agriculture caractéristique (Vignoble, agriculture parisienne).

C'est à partir de cet découpage que sera construite l'image de base du bassin de la Seine en 2000. Chacune de ces zones sera décrite par un ensemble d'indicateurs socio-économiques de son agriculture actuelle et par des pratiques culturelles moyennes que l'on pourra faire évoluer en fonction des différents scénarios.

Chacune de ces zones se caractérise comme suit :

- Argonne : Très forte proportion de surface en herbe (> 50%), successions de culture basées sur les céréales, le maïs ensilage et le colza. Les OTEX dominantes sont "bovin lait et viande" et "polyculture-élevage".
- Plateaux jurassiques : Forte prépondérance de succession "colza-blé-orge" , surfaces en prairies inférieures à 30 %. OTEX dominantes : "céréales et oléoprotéagineux" et "polyculture-élevage". Bonne concordance avec les plateaux de calcaires jurassiques.
- Morvan : Très forte proportion de surfaces en herbe (autour de 70%), OTEX dominante : "bovin viande". Bonne concordance avec le socle cristallin granitique du Morvan.
- Dépression de l'Yonne : Surfaces en prairies autour de 10%, successions de cultures triennales de type "colza-blé-orge" ou "tournesol-blé-orge" : l'OTEX dominante est "céréales et oléoprotéagineux".
- Champagne Humide : Surfaces en prairies autour de 20%, successions de cultures à base de colza, tournesol, pois, maïs. Forte présence du maïs en monoculture ou assolé.
- Champagne crayeuse : zone caractérisée par la prépondérance de successions à base de luzerne, pois, betterave. Surfaces en prairies presque inexistantes. OTEX dominantes : "Culture générale"

et "Céréales et oléoprotéagineux". Très bonne concordance avec le substrat crayeux de cette région.

- Vignoble : PRA caractérisée par une forte proportion de vigne dans l'assolement (16% en moyenne). Le reste de l'assolement est typique des PRA limitrophes.
- Limons riches : Moins de 10% de surfaces en prairies. Prépondérance de la betterave, associée ou non au pois ou à la pomme de terre. OTEX dominante : "Culture générale".
- Brie Beauce : Autour de 6% de surface en prairies. Prédominance du pois et du colza en tête de rotation et des céréales. OTEX dominante : "Céréales et oléoprotéagineux".
- Plateaux normands : Zone caractérisée par la coexistence de prairies (30% en moyenne) et de cultures industrielles (betterave, lin) et d'oléoprotéagineux (pois, colza).
- Perche, Auge, Bray : Cette zone discontinue est caractérisée par une forte proportion de prairies (autour de 50%) et des successions essentiellement basées sur le maïs ensilage. OTEX dominantes : "Bovins lait viande" et "polyculture-élevage".
- Agriculture parisienne : cette zone se distingue, du fait de sa proximité avec l'agglomération parisienne, par une forte proportion de l'assolement en légumes et potagers. On y trouve également des successions à base de maïs grain et de betterave.

#### **4. Les systèmes de culture initiaux-situation 2000 :**

Pour alimenter les modèles en séquences techniques caractérisant la période actuelle, nous avons eu recours à l'enquête SCEES 2001 « Pratiques culturales sur grandes cultures ». Cette enquête a été réalisée sur l'ensemble du territoire français selon un plan de sondage basé sur l'échantillonnage de points Teruti (autre enquête consistant à recenser chaque année l'occupation du sol sur un échantillon de points constant). Elle visait à reconstituer l'ensemble des pratiques culturales pour les parcelles de grandes cultures enquêtées.

Cette enquête nous a permis de constituer la base de données sur les pratiques agricoles actuelles des 12 zones du découpage GICC, en suivant la méthodologie suivante :

Pour chacune des 12 zones, nous avons calculé l'assolement moyen grâce aux données RGA 2000 et les successions majoritaires à l'aide des données Teruti 1992-1999. A partir des données de l'enquête SCEES, dont nous avons extrait les variables de séquences techniques nécessaires aux modèles (date de semis, de récolte, travaux du sol, fertilisation azotée, rendement, etc.), nous avons attribué aux 5881 parcelles enquêtées sur le bassin de la Seine une zone d'appartenance parmi les 12 zones GICC. Puis, pour chacune des variables techniques de culture par zone, nous avons extrait la modalité moyenne (pour le rendement, le nombre d'apport ou de la dose totale d'azote reçue par ex.) ou la plus fréquente (date de semis ou de récolte).

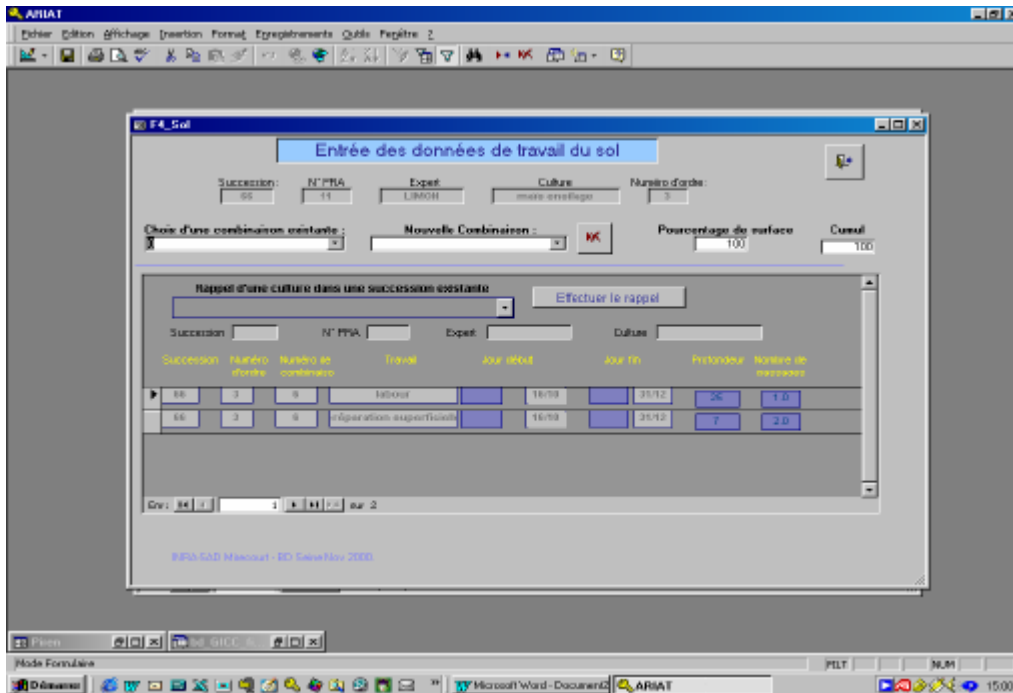


Figure 4 : Exemple de données saisies dans la base de données GICC montrant les systèmes de cultures actuels

L'ensemble de ces données a ensuite été saisi dans une base de données dont le modèle relationnel figure ci-dessous.

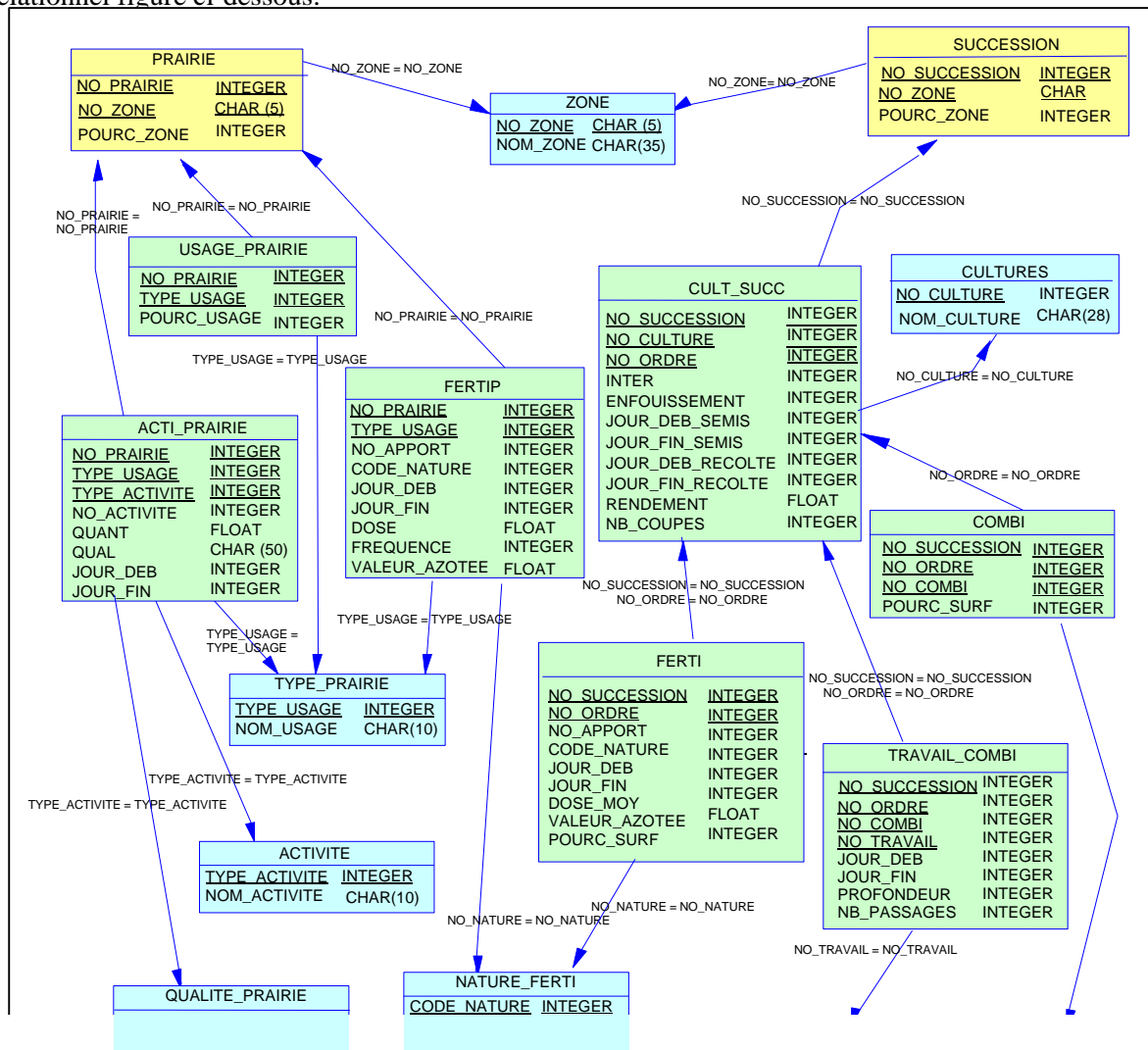




Figure 5 : Modèle physique de la base de données GICC

Cette base de données a été conçue de telle manière que les modélisateurs puissent facilement transformer ces données en fichiers « cultures » permettant d'alimenter STICS en paramètres techniques.

Une base de données similaire sera constituée pour les pratiques agricoles « 2050 » à partir des nouveaux jeux de données constitués à partir de l'évolution des systèmes de cultures sous influence des différents scénarios agricoles décrits précédemment.

## **5. Les scénarios contrastés de systèmes de production agricoles en 2050**

### **5.1. Préalables méthodologiques**

Une démarche prospective repose sur des jeux de conjectures permettant de caractériser et expliquer une situation future. Le diagramme ci-dessous illustre la démarche :

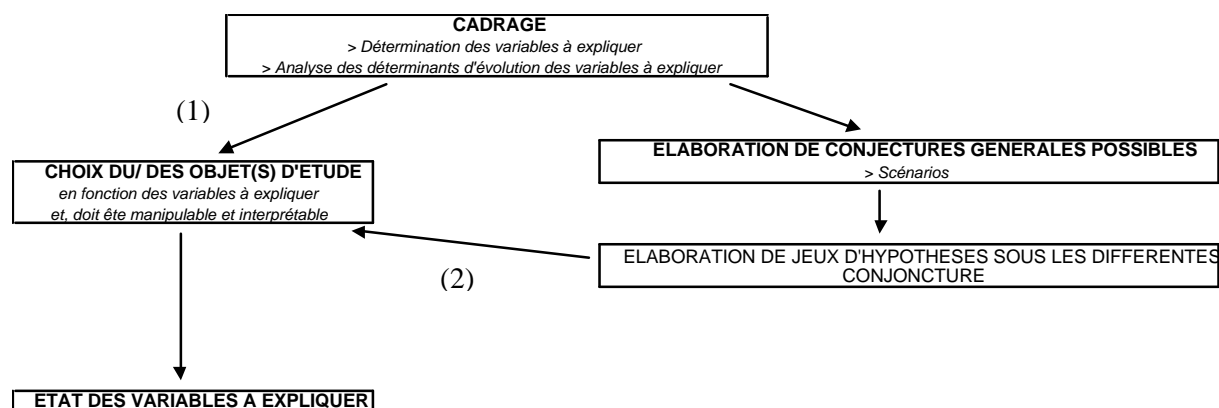


Figure 6 : Démarche prospective

(1) Les variables à expliquer sont identifiées en fonction de la problématique prospective. Pour la prospective réalisée ici, les variables à expliquer doivent répondre aux besoins du modèle de simulation STICS. Elles sont les suivantes (Olive, 2002) :

- les formes des systèmes de production
- les assolements
- les pratiques structurantes (irrigation, drainage, gestion de l'espace)
- les logiques technico-économiques de conduite des exploitations et des itinéraires techniques (extensification ou intensification)

Puis, un cadrage plus approfondie de la problématique permet d'extraire un ou plusieurs "objet(s) d'étude", c'est à dire une entité statistique qui intègre une conjoncture socio-politico-économique et à travers laquelle il est possible de caractériser les variables à expliquer. Ces objets seront alors choisis parce qu'ils peuvent être facilement interprétés et projetés dans une optique dynamique.

Ici, afin de pouvoir déduire les variables tout en prenant en compte le contexte général du bassin de la Seine, les objets d'étude sélectionnés sont les OTEX (Orientation Technico Economique de l'eXploitation).

(2) Par ailleurs, des jeux d'hypothèses sont construits à partir d'une conjecture générale préétablie (scénario de G.Olive), et ils sont appliqués aux objets afin de pouvoir en déduire l'état des variables à expliquer.

## 5.2. Intérêts et enjeux d'une démarche basée sur les OTEX

En combinant les interprétations des objets sélectionnés, il serait possible d'effectuer une régionalisation exhaustive des itinéraires techniques cultureux. Cependant, pour une question de temps, seule l'OTEX a été retenue. Ce choix est basé sur le fait que cette donnée statistique permet d'obtenir l'interprétation la plus large possible : l'OTEX donne d'une part des informations sur :

- la structure d'une exploitation agricole (SAU et UTA) qui est elle-même le produit du contexte socio-politico-économique du moment.
- l'assolement et le cheptel.

Et d'autre part, elle permet d'interpréter la logique technico-économique de la conduite de l'exploitation à travers la combinaison de ses ateliers. En effet, l'OTEX décrit la structure d'une exploitation agricole à partir de laquelle il est aussi possible d'expliciter la logique de combinaison des ateliers (voir POUX, 1989).

L'exemple suivant permet de suivre la démarche d'interprétation des OTEX présentes dans la zone des Plateaux normands du bassin de la Seine :

### EXEMPLE 1 :

Les données concernant les OTEX fournissent des informations sur la structure (SAU, UTA) de l'exploitation, l'assolement et le cheptel. Le tableau ci-dessous, montre le classement effectué afin de faire ressortir les différents ateliers :

OTEX	atelier animaux						atelier végétaux				
	nb bovins/UTA	nb VL/EA	nb VA/EA	% STH/SAU	% SFP/SAU	bovins/SFP	% céréales/TL	% OP/TL	% CI/TL	% MF/TL	%four/TL
grandes cultures	58	29	10	30%	46%	2,6	51%	9%	16%	15%	23%
céréales et oléa	16	38	2	10%	15%	1,5	60%	11%	23%	2%	6%
cultures généra	25	3	14	15%	19%	2,6	45%	22%	28%	3%	5%
bovins lait	57	0	4	48%	77%	2,5	40%	2%	3%	36%	56%
bovins lait-viané	68	35	9	45%	65%	2,8	50%	7%	7%	26%	36%

Tableau 2 : EXEMPLE 1.a

> La logique de combinaison des ateliers au sein de chaque OTEX est ensuite reconstituée sur la base d'un raisonnement technico-économique (allocation des facteurs de production par rapport à l'UTA).

OTEX	structure moyenne de l'exploitation			combinaison atelier animaux et végétaux	
	UTA/EA	SAU/EA	SAU/UTA	atelier animaux	atelier végétaux
grandes cultures et herbivores	2	90	49	lait = 30VL; viande = 10VA	45% SAU pour élevage dont 65% en STH 55% SAU en rotation : fourrage ((CI) + céréales
céréales et oléagineux	1	79	71	viande résiduel	15% SAU pour élevage dont 65% en STH 85% SAU en rotation : CI ((OP) + céréales
cultures générales	2	108	50	viande (14VA); lait résiduel	20% SAU pour élevage dont 75% en STH 80% SAU en rotation : CI /OP + céréales
bovins lait	2	47	29	lait = 35VL; viande = résiduel	>75% SAU pour élevage dont 65% en STH <15% SAU en rotation : fourrage + céréales (surtout fourrage)
bovins lait-viande	2	67	37	lait = 35VL; viande = 10VA	65% SAU pour élevage dont 70% en STH 35% SAU en rotation : fourrage ((CI ou OP) + céréales

Tableau 3 :EXEMPLE 1.b

> Cette reconstitution contribue à caractériser et interpréter la logique technico-économique des exploitations analysées (intensification ou diversification des productions...).

Nous avons donc ici, un outil statistique capable de fournir les données nécessaires à la caractérisation de certaines variables à expliquer, à savoir :

-la SAU :	}	Ces deux variables permettront aussi de déduire la conduite des ateliers au sein de l'OTEX : un atelier exigeant en main d'œuvre (maraîchage ou élevage bovin lait) aura un rapport SAU/UTA plus faible qu'un atelier plus exigeant en surface ou plus extensif (céréales ou élevage bovin viande) (voir les résultats).
-les UTA :		
-l'assolement :		
-le cheptel :		
-la logique technico-économique :		

Il est à noter que ces variables ont été choisies en fonction de la pertinence de l'analyse pour le chercheur.

Enfin, dans le cadre de cette étude, ces variables sont jugées comme suffisantes au regard des exigences du modèle STICS. Et les hypothèses d'évolution pourront alors être affectées à :

- 1°) la répartition des OTEX au sein du bassin
- 2°) la combinaison des ateliers déduits de chaque OTEX présentes dans une zone

### 5.3. Description des scénarios agricoles

Chaque scénario est mis en cohérence et croisés avec les hypothèses macroéconomiques de la production établies par G. Olive. Ces hypothèses seront répétées pour chaque scénario afin de pouvoir lire les résultats issus de la modélisation de la production agricole du bassin de la Seine.

### 5.3.1 Scénario 1

#### 1°) Description des systèmes agricoles

##### **a) Logique d'évolution**

###### >> A l'échelle mondiale

L'Europe est une vaste zone de libre-échange : les capitaux ne connaissent pas de frontières et les droits de douane sont supprimés. Les marchés sont alors très ouverts et concurrentiels et les régions agricoles sont contraintes à se spécialiser à l'échelle mondiale. En Europe, la filière betterave à sucre disparaît, concurrencée par la canne à sucre des pays CAP. De même que la viande bovine en provenance d'Amérique du Sud et des Etats-Unis défait toute concurrence.

Le pouvoir économique des IAA s'est considérablement accru, et ce sont les industries de transformation et de distribution qui établissent les normes de qualité pour l'alimentation et l'environnement.

L'Europe affronte un déclin démographique prononcé et l'agriculture européenne a du mal à s'adapter à ce manque de main d'œuvre.

Les OGM sont largement diffusés pour améliorer la compétitivité des producteurs.  
(G.Olive, 2002)

###### >> A l'échelle du bassin de la Seine

Le bassin de la Seine connaît les mêmes conjonctures que l'Europe.

Les conditions climatiques privilégient la région face à ces principaux concurrents. Les céréales constituent alors la grande majorité de l'assolement. Les cultures oléagineuses ne sont plus destinées qu'à la filière biocarburants, les protéines étant massivement importées en provenance des Etats-Unis.

L'élevage est en grande partie devenu hors-sol avec des animaux à cycle rapide afin de profiter des opportunités de marché.

La SAU du bassin diminue.  
(G.Olive, 2002)

##### **b) Description régionalisée**

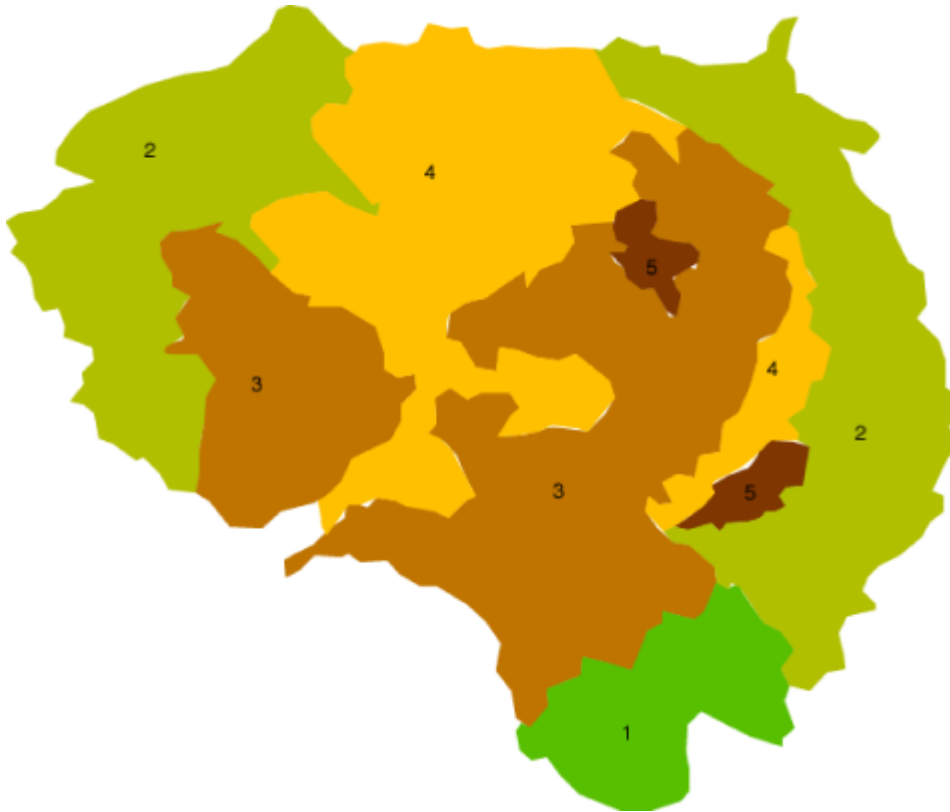
###### >> OTEX présents en 2050 et leur répartition dans le bassin

4 OTEX sont très présentes dans le bassin dont une seule (*Céréales et oléoprotéagineux*) couvre quasiment 80% de la SAU avec plus de 60% des exploitations du bassin. L'OTEX *Viticulture* a la particularité de compter de nombreuses exploitations (20%) pour une très faible surface (1%).

2050-1	nb expl	surface	% nb expl	% surface
Céréales et oléoprotéagineux	11 377	5 070 964	63%	79%
Bovins viande	1 228	441 180	7%	7%
Grandes cultures et granivores	1 765	793 236	10%	12%
Viticulture	3 704	74 073	20%	1%

Tableau 4 : Scénario 1 : OTEX principales du bassin

Une analyse plus détaillée de la répartition surfacique des OTEX à l'intérieur des 12 zones du bassin (voir annexe 1) conduit à distinguer 5 régions homogènes. Ces régions sont localisées dans la carte suivante :



Carte 1 : Scénario 1 : grandes régions agricoles

Ces régions se caractérisent par une ou un ensemble d’OTEX dont la surface globale est dominante :

- (1) Céréales et animaux (granivores ou bovins) : cette région est la plus diversifiée du bassin. Le système Céréales et oléoprotéagineux est dominant (de 48 à 70% de la SAU), mais des systèmes à atelier animal sont également significatifs >> *Céréales et oléoprotéagineux/ Bovins viandes/ Grandes cultures et granivores*
- (2) Céréales et bovins : la céréalisation est poussée dans cette région (de 73 à 90% de la SAU), alors que les systèmes à atelier animal (bovins) sont marginaux >> *Céréales et oléoprotéagineux/ Bovins viandes*
- (3) Céréales et granivores : la céréalisation est comparable à celle de la région ‘Céréales et bovins’ (80% de la SAU) et les systèmes à atelier animaux (granivores) sont marginaux >> *Céréales et oléoprotéagineux/ Grandes cultures et granivores*
- (4) Céréales : les systèmes de cette région sont exclusivement céréaliers >> *Céréales et oléoprotéagineux*
- (5) Viticulture : Le système Viticulture est dominant (58% de la SAU) >> *Viticulture/ Céréales et oléoprotéagineux*

On remarquera que toutes les régions identifiées déclinent une dominante céréalière. Une légère tendance à l’élevage se démarque cependant dans les régions extrêmes du bassin.

>> Combinaison des ateliers et état des variables à expliquer

La logique de ce scénario est de généraliser les grandes exploitations céréalières que l’on trouve aujourd’hui dans certaines zones du bassin sur l’ensemble du bassin.

**Structure des OTEX**

Les plus grandes SAU sont dans les OTEX *Céréales et oléo protéagineux* et *Grandes cultures et granivores* :de 400 à 700ha

On retrouve le clivage est-ouest avec les plus grandes exploitations à l'est du bassin. La main d'œuvre dépend du nombre d'ateliers sur l'exploitation (1 UTA en *Céréales et oléoprotéagineux* et 2 UTA en *Grandes cultures et granivores*).

### Assolement des OTEX

La STH ne figure que dans l'OTEX *Bovins viandes* à l'Est et à l'Ouest du bassin. Sur tout le bassin, les céréales représentent, lorsqu'elles ne sont pas remplacées par des betteraves, plus de 80% de la SAU des OTEX *Céréales et oléoprotéagineux* et *Grandes cultures et granivores*.

Les régions centrales et ouest montrent un certain pourcentage (20%) de leur assolement en betteraves à sucre.

### Cheptel des OTEX

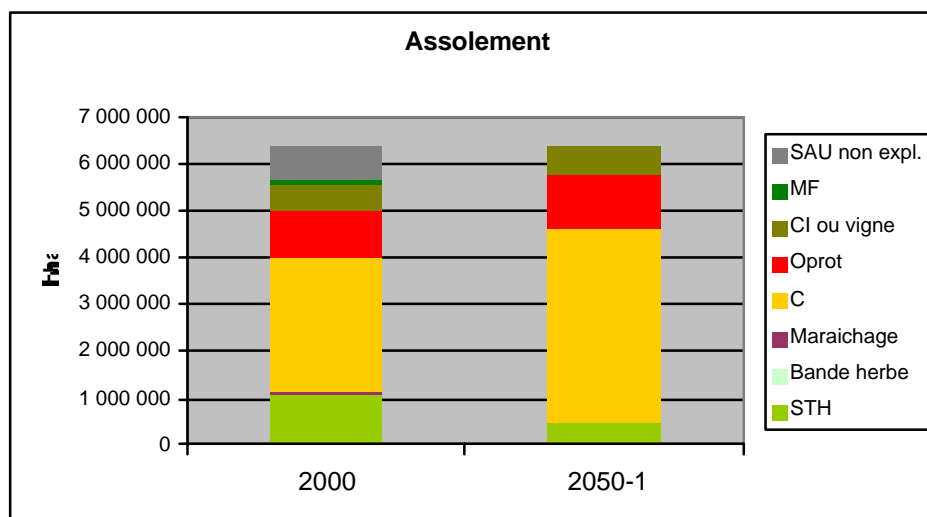
Les cheptels du système *Bovins viande* comptent entre 150 et 180 vaches allaitantes. Les plus gros sont à l'est du bassin.

Les élevages de volailles du système *Grandes cultures et granivores* produisent en moyenne 230 000 têtes par an à l'est comme à l'ouest. Cette production ne peut être dépassée dans le cadre des conditions fixées dans ce scénario (cahier des charge de l'agriculture raisonnée, voir annexe 4).

(détails des variables en annexe 2)

## **b) Description globale du bassin**

>> Assolement du bassin



Graphique 1 : Scénario 1 : assolement du bassin

On observe que le schéma général de l'assolement du bassin dans le scénario 1 conserve le même esprit que celui de 2000 : la surface cultivée en rotation céréales-oléoprotéagineux est majoritaire. La part de cet assolement a cependant pris encore plus d'importance en 2050.

Les cultures industrielles gardent une part constante de l'assolement, cependant, il ne s'agit pas des mêmes cultures : en 2050, les cultures destinées aux biocarburants ont supplanté les betteraves et les pommes de terre.

Quant à la STH, sa part a diminué de plus de la moitié.

Ces constats pourraient permettre de penser que les terres les plus fertiles du bassin se sont spécialisées en céréales, les terres de secondes classes en cultures industrielles à usage énergétique, et la dernière classe en élevage. Les terres de moins bonne qualité étant abandonnées à la friche et celles à proximité des villes laissées à l'urbanisation (l'évolution de la SAU de ce scénario est détaillée dans l'annexe 5).

## >> Cheptel du bassin

Effectifs (têtes)	2000	2050-1
Bovins	2 665 776	316869
BL	446 419	0
BV	420 404	109118
Porcins	724 540	0
Volailles	7 730 676	405994263
Ovins	625 201	0

Tableau 5 : Scénario 1 : effectif des animaux du bassin

Le cheptel bovin diminue fortement en 2050, seules les vaches allaitantes ont su résister mais leur effectif est quatre fois moins important qu'en 2000.

La production de volailles est pratiquement multipliée par 70 ! Ce point sera analysé plus bas et dans la partie discussion.

### 2°) *Productions du bassin*

#### **a) Logique des hypothèses macroéconomiques de la production**

##### >> La production végétale

> Evolutions de premier rang:

La spécialisation extrême du bassin dans la production de céréales engendre une forte augmentation des volumes. D'autre part, l'équilibre agronomique des sols ne pouvant être maintenu que par l'association des céréales avec les oléoprotéagineux, leur production augmente en parallèle. Cependant, le colza trouvant des débouchés intéressants dans les biocarburants, il supplante le pois, d'autant plus que ce dernier ne trouve plus de marché en Europe (l'Europe choisit les protéines les moins chères: le soja des USA). Ainsi, la production de colza augmente significativement.

> Evolutions de second rang :

Les biocarburants deviennent un secteur important dans le bassin. La production de colza et de betterave sucrière augmente.

Les autres cultures industrielles sont laissées aux pays ayant des avantages comparatifs.

Le maraîchage est aussi laissé aux pays ou régions ayant développé cette spécialisation.

Enfin, la spécialisation du bassin a conduit à une très forte baisse de la STH.

##### >> La production animale

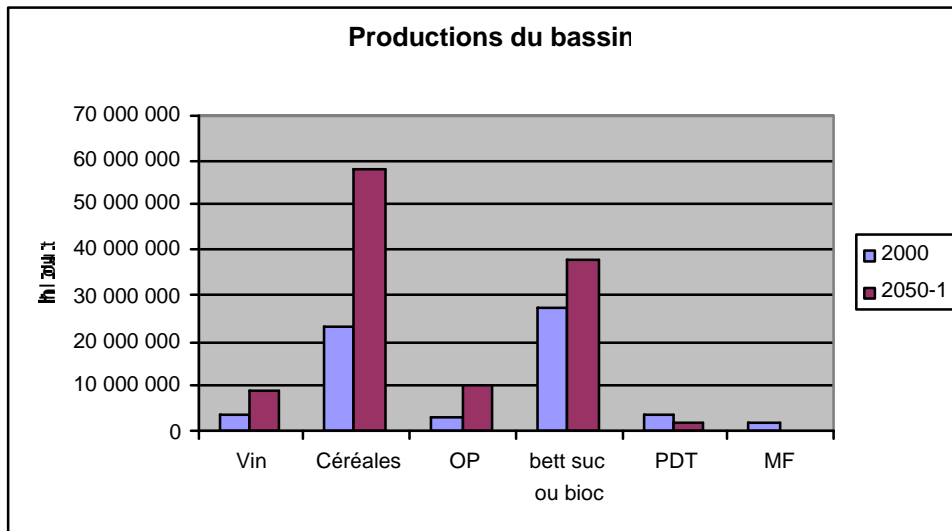
L'élevage bovin classique qui nécessite une certaine surface herbagère est en forte baisse. Ce scénario pousse à l'extrême une logique de spécialisation de l'élevage laitier dans le Grand Ouest (Bretagne). Le cheptel laitier du bassin de la Seine disparaît donc et seules les zones dont la production céréalière est très peu rentable voient se développer une spécialisation dans l'élevage allaitant extensif. Or, le système de 'ranching' n'étant pas très productif, le cheptel bovin allaitant reste résiduel à l'échelle du bassin.

L'élevage hors sol et à cycle rapide s'est par contre développé: c'est un système très efficace et peu cher car le coût de l'alimentation est très bas. La viande produite trouve de plus un marché élargi avec la tendance à l'allègement du régime alimentaire. Cependant, ce phénomène ne touche que les volailles puisque le porc exige une main d'œuvre plus importante.

Les ovins ont disparu du bassin.

#### **b) Les résultats modélisés obtenus**

L'histogramme suivant permet de comparer les principales productions végétales du bassin de la Seine de l'année 2000 à celle du scénario 1 :



Graphique 2 : Scénario 1 : productions du bassin

Si l'on considère qu'une augmentation significative (au moins doublée) de la production correspond à une spécialisation et à une augmentation du rendement, le scénario 1 a donc créé une spécialisation en céréales, colza et en vin. Les autres cultures n'ayant pas d'attraits économiques par rapport à ces trois cultures.

On peut par ailleurs noter que, dans ce scénario, la production de betteraves est uniquement destinée aux biocarburants, renvoyant à une hypothèse de spécialisation dans cette filière.

(voir la section description du cheptel du bassin pour avoir des informations concernant la production animale)



### 5.3.2 Scénario 2

#### 1°) Description des systèmes agricoles

##### **a) Logique d'évolution**

###### >> A l'échelle mondiale

L'Europe évolue selon un mode de développement semblable au scénario 'Policy Reform' du Global Scenario Group : les institutions européennes visent à atteindre une plus grande équité sociale et une meilleure protection de l'environnement. La coopération internationale parvient à restreindre l'accès au marché mondial aux seuls produits agricoles cultivés par des méthodes d'agriculture de conservation. Le niveau de vie des pays du Sud s'étant amélioré, la demande mondiale en produits agricoles augmente.

Les barrières douanières sont supprimées dans l'Union Européenne, et la concurrence avec les Etats Unis devient plus vive qui ont augmenté leurs surfaces cultivées en céréales (les prix étant plus élevés).

Les pratiques de l'agriculture de conservation (semis-direct en particulier) permettent de diminuer les coûts de production à l'hectare et le besoin de main d'œuvre. Les OGM sont, par ailleurs, largement diffusés.

(G.Olive, 2002)

###### >> A l'échelle du bassin de la Seine

Le bassin connaît les mêmes variantes que le scénario 1 : le bassin se spécialise dans la production céréalière de masse destinée à l'exportation.

Les exploitations se sont converties progressivement à une agriculture de conservation.

L'élevage de volailles s'est aussi fortement développé et en particulier près des zones portuaires.

La SAU du bassin diminue, et les terres agricoles ne sont plus alors destinées que pour la production alimentaire.

(G.Olive, 2002)

##### **b) Description régionalisée**

###### >> OTEX présents en 2050 et leur répartition dans le bassin de la Seine

5 OTEX sont présentes dans le bassin : ce sont les mêmes que dans le scénario 1, et, pour des raisons de maîtrise de la production dans le Grand Ouest, le système *Bovins lait* vient s'ajouter.

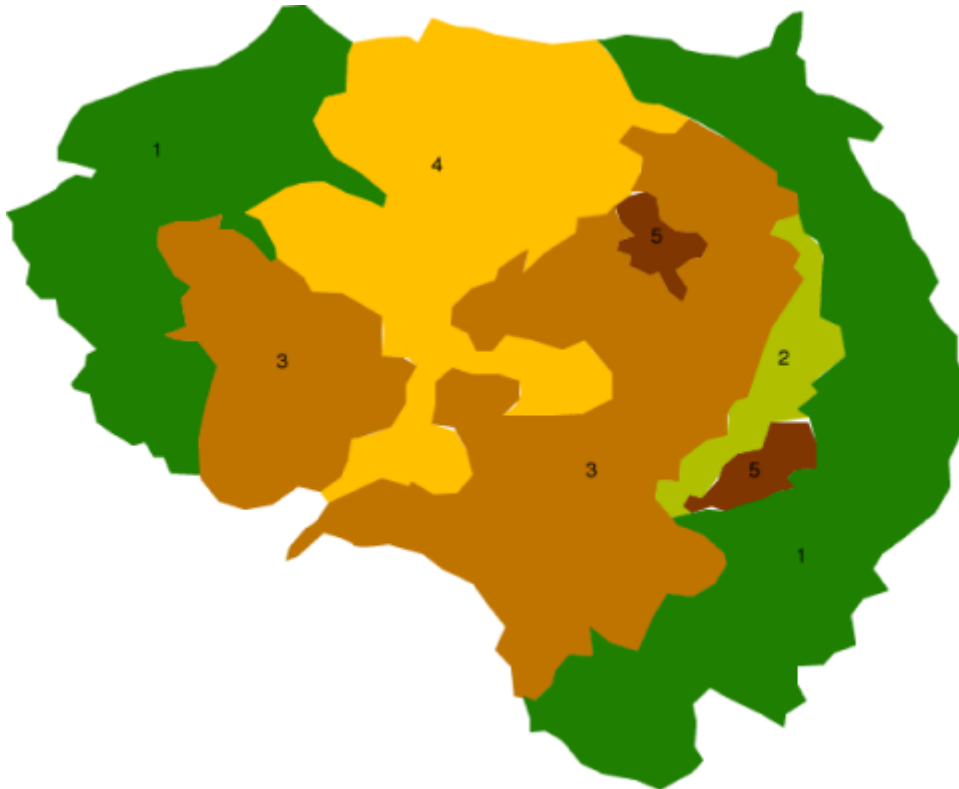
2050-2	nb expl	surface	% nb expl	% surface
Céréales et oléoprotéagineux	9 775	4 283 699	51%	67%
Bovins viande	2 494	895 497	13%	14%
Bovins lait	1 999	352 315	10%	6%
Grandes cultures et granivores	1 749	764 997	9%	12%
Viticulture	370	74 073	17%	1%

Tableau 6 : Scénario 2 : OTEX principales du bassin

Le système *Céréales et oléoprotéagineux* garde toujours une part importante de la SAU (67%), mais elle est déjà plus faible que dans le scénario 1.

Les OTEX d'élevages bovins commencent à prendre une certaine importance dans l'assolement du bassin : 20% de la SAU.

Ce scénario regroupe les zones en 5 régions agricoles homogènes :



Carte 2 : Scénario 2 : grandes régions agricoles du bassin

Ces régions se caractérisent par une ou un ensemble d'OTEX dont la surface globale est dominante :

- (1) Mixte : région la plus diversifiée du bassin, les systèmes céréaliers peuvent avoir une surface importante (29 à 60% de la SAU), mais celle des systèmes avec atelier animal restent comparable >> *Céréales et oléoprotéagineux/ Bovins viandes/ Bovins lait/ Grandes cultures et granivores*
- (2) Céréales et bovins : les systèmes céréaliers sont dominants (80% de la SAU) mais les systèmes à atelier animal (bovins) conservent une part significative de la SAU >> *Céréales et oléoprotéagineux/ Bovins lait*
- (3) Céréales et granivores : Les systèmes céréaliers sont dominants (67 à 80% de la SAU) mais les systèmes à atelier animal (granivores) conservent une part significative de la SAU >> *Céréales et oléoprotéagineux/ Grandes cultures et granivores*
- (4) Céréales : les systèmes céréaliers occupent la totalité de la surface agricole >> *Céréales et oléoprotéagineux*
- (5) Viticulture : le système Viticulture est dominant (58% de la SAU) >> *Viticulture/ Céréales et oléoprotéagineux*

La carte nous montre un certain redéploiement des systèmes avec ateliers animal.

>> Combinaison des ateliers et état des variables à expliquer

#### **Structure des OTEX**

Comme dans le scénario 1, les plus grandes SAU sont dans les OTEX *Céréales et oléoprotéagineux* et *Grandes cultures et granivores* : de 400 à 700ha.

Les plus petites, hormis les OTEX *Viticulture*, sont les exploitations *Bovins lait* : 160 à 200ha.

Le clivage est-ouest est repris pour toutes les OTEX.

La main d'œuvre suit la même logique que dans le scénario 1 : 1 UTA par atelier.

#### **Assolement des OTEX**

Toutes les OTEX ont intégré des bandes enherbées ou autres infrastructures écologiques sur 10% de leur assolement.

La STH est uniquement présente dans les OTEX bovins. Dans le cas du système *Bovins lait* bien que la productivité herbagère soit moins bonne à l'ouest, les surfaces y sont moins importantes qu'à l'est car l'alimentation des animaux se fait essentiellement à partir de céréales.

Le couple céréales-oléoprotéagineux est toujours largement présent dans le bassin et garde, à la bande enherbée près, les mêmes parts de l'assolement à l'est comme à l'ouest.

Les betteraves ont disparu de l'assolement des régions centrales du bassin.

### Cheptel des OTEX

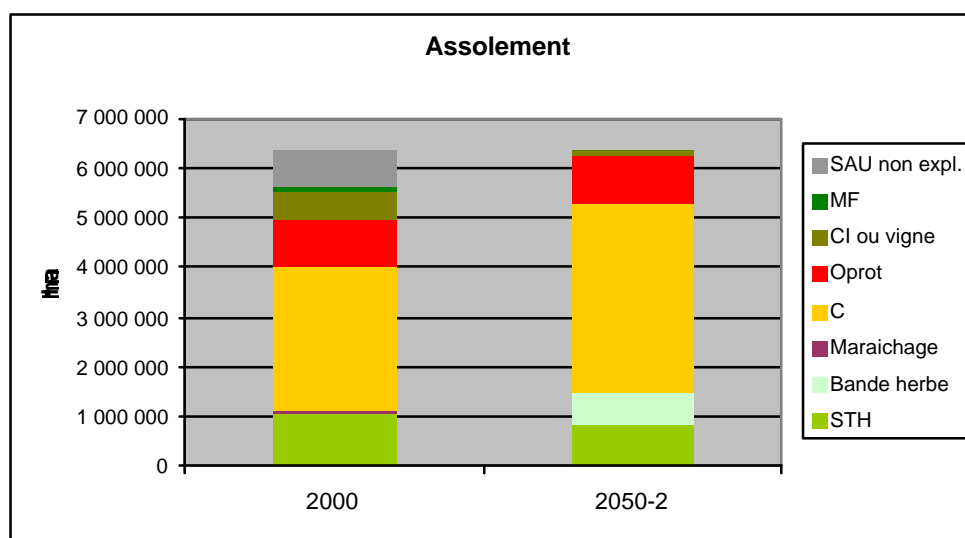
Les cheptels bovins et de volailles présentent les mêmes caractéristiques que le scénario 1.

Les élevages laitiers comptent 100 vaches laitières à l'est comme à l'ouest.

(détails des variables en annexe 2)

### c) Description globale du bassin

>> Assolement du bassin



Graphique 3 : Scénario 2 : assolement du bassin

Le schéma général de l'assolement du bassin est similaire à celui de l'année 2000, à savoir que la majeure partie de la SAU est cultivée en céréales et oléoprotéagineux. Comme dans le premier scénario, ce type de rotation s'est développé en 2050.

Des changements significatifs apparaissent cependant : la surface herbagère principale s'est accrue en 2050, alors que celle en cultures industrielles a disparue. L'hypothèse est que la SAU du bassin a pris deux orientations : les terres les plus faciles à mécaniser se sont spécialisées dans les céréales, et les autres dans l'élevage.

>> Cheptel du bassin

Effectifs (têtes)	2000	2050-2
Bovins	2 665 776	1 086 454
BL	446 419	199 935
BV	420 404	418 267
Porcins	724 540	0
Volailles	7 730 676	402 358 200
Ovins	625 201	0

Tableau 7 : Scénario 2 : effectifs des animaux du bassin

Le cheptel bovin diminue fortement mais moins que dans le premier scénario. Le cheptel bovin viande se maintient relativement bien, alors que celui en bovins lait est deux fois moins important.

La production de volailles connaît les mêmes envolées que précédemment.

## 2°) Productions du bassin

### **a) Logique des hypothèses macroéconomiques de la production**

#### **>> La production végétale**

En général, on retrouve les mêmes évolutions que dans le scénario 1, en particulier les évolutions de premier rang. Les particularités de ce scénario sont les suivantes :

- les cultures industrielles ont quasiment disparu du bassin.
- la production de biocarburants a de même fortement diminué. En effet, les mesures de stockage de carbone concernent essentiellement la mise en place de bandes enherbées, l'extensification des élevages, et la reconversion des surfaces peu rentables en forêts ou zones humides. De plus, la pression d l'urbanisation faisant augmenter le prix du foncier, les cultures à usages alimentaires sont plus rentables.

#### **>> La production animale**

On retrouve également les tendances générales du scénario 1.

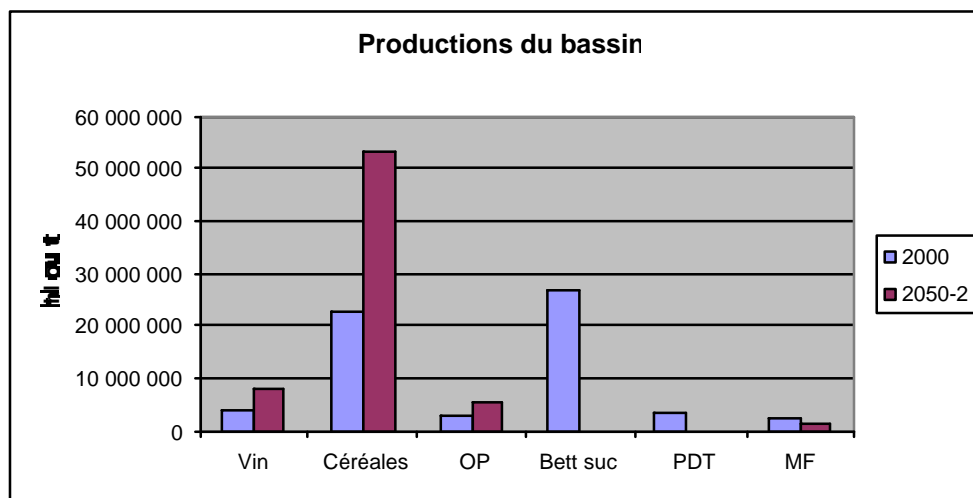
Cependant, les mesures de stockage de carbone favorisent un redéploiement de l'élevage sur le bassin au niveau des zones herbagères bénéficiant de la prime Carbone :

- des élevages bovins laitiers se concentrent dans les zones à forte STH
- les élevages bovins allaitants s'extensifient dans les zones herbagères
- les ovins suivent la même tendance que les bovins allaitants

Les effectifs de ces élevages restent cependant résiduels.

L'élevage hors sol connaît la même évolution que dans le scénario 1.

### **b) Les résultats modélisés obtenus**



Graphique 4 : Scénario 2 : productions du bassin

Ces résultats montrent une spécialisation qui concerne les mêmes cultures que dans le scénario 1 (céréales, colza et vin), mais ici, les cultures destinées à la production de biocarburant disparaissent (betterave et colza). En effet, une part de l'assolement étant consacrée aux infrastructures écologiques, la diminution de la surface effectivement productive conduit à ne privilégier que les cultures présentant des avantages économiques (les cultures non alimentaires n'atteignent pas les prix des cultures destinées à l'alimentation).

### 5.3.3 Scénario 3

#### 1°) Description des systèmes agricoles

##### **a) Logique d'évolution**

###### >> A l'échelle mondiale

L'Europe politique affirme bien plus son existence. Des organes de régulation se mettent en place et de grandes aires de marchés agricoles sont définies au niveau mondial dont l'objectif est d'être le plus autonome d'un point de vue alimentaire. C'est ainsi que le filière betterave sucrière voit son importance renforcée par l'établissement de droits de douane sur la canne à sucre. Des aides sont accordées aux agriculteurs qui se diversifient. L'importance prise par les cultures industrielles nécessite une main d'œuvre plus nombreuse : les coûts de production ont donc augmenté.

###### >> A l'échelle du bassin de la Seine

Dans ce scénario, le bassin de la Seine tire son épingle du jeu car il met en valeur ses atouts naturels (diversité des terroirs).

Les élevages sont très présents et sont menés industriellement sans pour autant être conduits en hors sol. L'élevage laitier s'intensifie (disparition des quotas laitiers) et la viande ne trouve pas de débouchés à la consommation, l'élevage allaitant extensif est alors relancé.

Les régions qui ne disposent pas d'un avantage comparatif déterminant sur les cultures à forte valeur ajoutée s'orientent vers les productions de masse avec des cultures céréalières, ou oléoprotéagineuses.

Le foncier dans cette région devient très cher et représente un enjeu pour la régionalisation des activités agricoles.  
(G.Olive, 2002)

##### **b) Description régionalisée**

###### >> OTEX présents en 2050 et leur répartition dans le bassin de la Seine

Les OTEX se diversifient : on compte ici 7 systèmes présents dans le bassin. On retrouve les mêmes que dans les scénarios précédents, et les OTEX *Cultures générales* et *Grandes cultures et herbivores* viennent s'introduire.

2050-3	nb expl	surface	% nb expl	% surface
Céréales et oléoprotéagineux	3 192	1 538 152	13%	24%
Bovins lait	1 576	291 441	7%	5%
Bovins viande	1 730	631 657	7%	10%
Grandes cultures et herbivores	7 383	1 570 302	31%	25%
Grandes cultures et granivores	731	324 282	3%	5%
Cultures générales	5 516	1 934 188	23%	30%
Viticulture	3 704	74 073	16%	1%

Tableau 8 : Scénario 3 : OTEX principales du bassin

La répartition de la SAU diffère des scénarios précédents : ici, elle est divisée à parts environ égales entre les OTEX *Cultures générales*, *Grandes cultures et herbivores* et *Céréales et oléoprotéagineux*. Ces systèmes se caractérisent par un atelier végétal 'grandes cultures', et l'on peut prendre comme hypothèse qu'ils représentent au moins 60% (30% + 24% + une part des 25%) de la SAU du bassin.

Pareillement, on peut prendre comme hypothèse que les OTEX d'élevages bovins (*Grandes cultures et herbivores* y compris) occupent au moins 20% (5% + 10% + une part de 25%) de la surface agricole.

On peut noter par ailleurs que le nombre d'exploitations en système *Grandes cultures et herbivores* est relativement important pour la surface occupée.

L'analyse plus détaillée de la répartition de ces OTEX au sein de chaque zone du bassin conduit à distinguer 5 régions agricoles homogènes :



Carte 3 : Scénario 3 : grandes régions agricoles du bassin

Ces régions se caractérisent par une ou un ensemble d'OTEX dont la surface globale est dominante :

- (1) **Bovins** : Les systèmes bovins occupent une surface dominante de cette région (env. 70% de la SAU) >> *Bovins viandes/ Bovins lait/ Grandes cultures et herbivores/ Céréales et oléoprotéagineux*
- (2) **Mixte** : région la plus diversifiée du bassin. On trouve autant de systèmes à atelier végétal qu'animal >> *Céréales et oléoprotéagineux/ Grandes cultures et herbivores/ Cultures générales/ Bovins viandes/ Bovins lait/ Grandes cultures et herbivores*
- (3) **Grandes cultures à dominante industrielle** : Les systèmes de grandes cultures, et particulièrement de cultures industrielles, sont très présents dans cette région >> *Cultures générales/ Grandes cultures et herbivores/ Céréales et oléoprotéagineux*
- (4) **Grandes cultures à dominante céréalière** : comme dans la région précédente, les systèmes de grandes cultures, et particulièrement en cultures céréalières, sont très présents >> *Céréales et oléoprotéagineux/ Grandes cultures et herbivores/ Bovins viandes*

(5) Viticulture : le système Viticulture est dominant (58% de la SAU) >> *Viticulture/ Céréales et oléoprotéagineux/ Cultures générales*

On constate une diversification nette des systèmes de production sur l'ensemble du bassin

>> Combinaison des ateliers et état des variables à expliquer

### Structure des OTEX

On retrouve les plus grandes SAU dans les OTEX *Céréales et oléoprotéagineux* et *Grandes cultures et granivores* : de 400 à 700ha.

Les plus petites sont les exploitations *Bovins lait* (160 à 200ha) et *Cultures générales* lorsqu'elles sont à proximité de Paris (100ha).

Dans ce scénario, le clivage est-ouest est toujours visible, mais il n'est pas plus fort que celui de la proximité de Paris : le système *Cultures générales* passe par exemple de 600 ha dans l'est du bassin à 100ha en périphérie de la capitale.

La main d'œuvre suit toujours la même logique, cependant, elle prend en compte le surplus de travail dans les cultures industrielles, les progrès techniques ne pouvant faciliter le travail comme pour les grandes cultures.

### Assolement des OTEX

La STH est uniquement présente dans les OTEX bovins. Contrairement au scénario précédent, l'alimentation des bovins laitiers se fait à partir d'herbage à l'est comme à l'ouest, et la part de la STH sur l'assolement est donc plus forte à l'ouest (faible productivité herbagère).

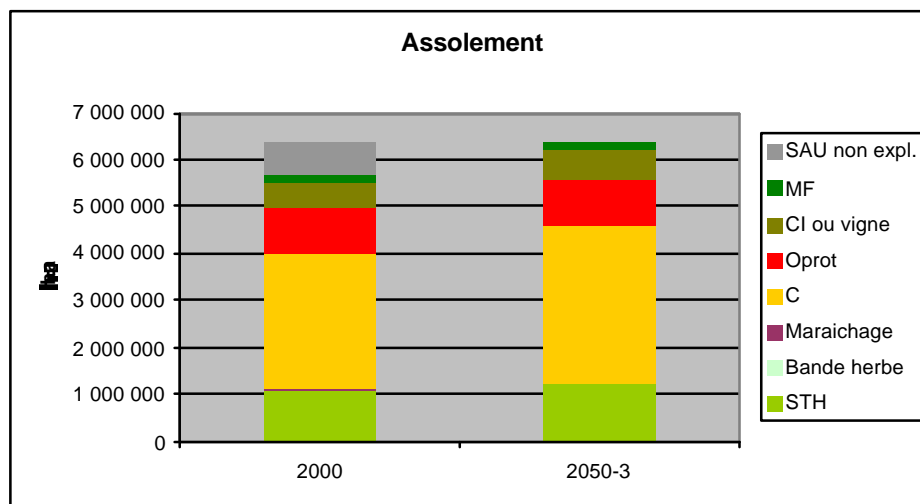
Le couple céréales-oléoprotéagineux tient toujours une surface significative et relativement stable à l'est comme à l'ouest dans l'assolement des exploitations du bassin. Mais, il doit cependant laisser sa place aux cultures industrielles (betteraves, pommes de terre) plus on se rapproche de la région parisienne (jusqu'à 100%).

### Cheptel des OTEX

Le cheptel a les mêmes caractéristiques que dans les scénarios précédents.

## c) Description globale du bassin

>> Assolement du bassin



Graphique 5 : Scénario 3 : assolement du bassin

L'assolement ressemble beaucoup à celui de l'année 2000 : chaque culture garde à peu de choses près les mêmes proportions.

La diversification des systèmes végétaux ne s'est donc pas développée par rapport à 2000 : le scénario d'une agriculture protégée donne les mêmes assolements qu'en l'an 2000.

#### >> Cheptel du bassin

Effectifs (têtes)	2000	2050-3
Bovins	2 665 776	1 706 471
BL	446 419	895 927
BV	420 404	293 281
Porcins	724 540	4 204 574
Volailles	7 730 676	126 137 200
Ovins	625 201	0

Tableau 9 : Scénario 3 : effectif des animaux du bassin

Le cheptel a par contre évolué vers une certaine diversification :

-L'élevage bovin est toujours moins important qu'en 2000, mais il reste plus fort que dans les scénarios précédents (hypothèse de rerépartition inter-régionale de la production). C'est le cheptel bovin lait qui a l'effectif majoritaire.

-Les granivores ne sont plus uniquement représentés par les volailles mais aussi par les porcins qui se sont largement installés.

Ce redéploiement de l'élevage dans le bassin correspond à une hypothèse d'autonomie macro-régionale à l'échelle européenne qui est de plus favorisée par la diversité des territoires agricoles.

#### 2°) *Productions du bassin*

##### **a) Logique des hypothèses macroéconomiques de la production**

###### >> La production végétale

> Evolutions de premier rang:

La diversification des productions conduit à une hausse significative de la production de cultures industrielles (betteraves sucrières et pomme de terre).

Le vieillissement de la population et l'allègement du régime alimentaire font que la production maraîchère se développe aussi nettement.

> Evolutions de second rang:

Le territoire agricole est partagé entre les cultures industrielles et les grandes cultures. Ces dernières évoluent en creux par rapport aux cultures industrielles, leur production s'est cependant pas mal développée car les progrès techniques restent un facteur déterminant.

La STH est toujours marquée par une forte baisse mais elle reste inférieure à celle des scénarios précédents. En effet, la diversification de l'agriculture européenne permet aux élevages de se développer dans le bassin, mais l'intensification de la conduite d'élevage réduit les surfaces herbagères (!! Alors que le hors sol est interdit par l'Europe).

###### >> La production animale

Dans ce scénario, l'élevage bovin se déploie sur le bassin:

-les élevages bretons se désengorgent pour aller vers le bassin parisien, alors que la conduite s'y est fortement intensifiée. On constate donc, une hausse de la production laitière dans le bassin parisien.

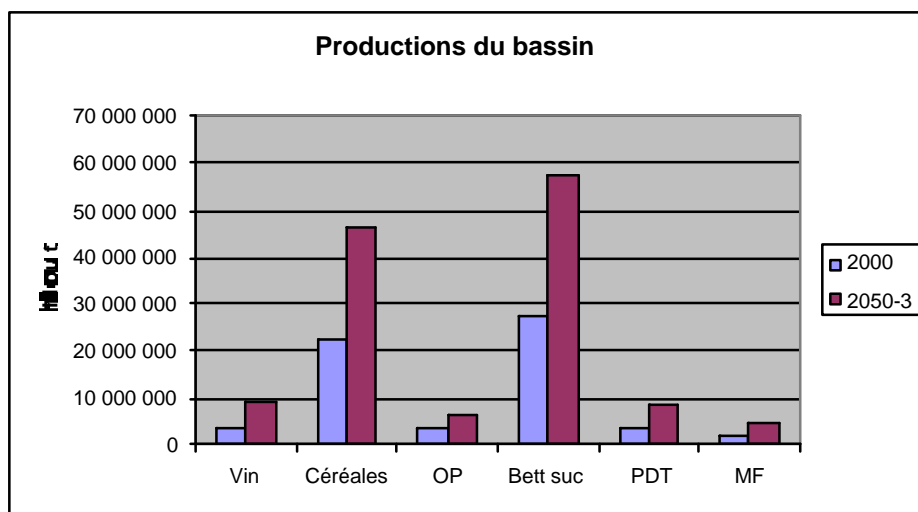
-les vaches issues de la production laitière ne présentent pas d'assez bonnes qualités bouchères (élevage trop intensif), les élevages allaitants extensifs répondent alors à une demande en viande de bonne qualité. On voit l'effectif de bovins viandes augmenter dans le bassin.

Les élevages granivores connaissent la même évolution que dans les scénarios précédents. On trouve aussi des élevages porcins car la main d'œuvre est plus disponible.



Les ovins disparaissent car sa viande est peu appréciée avec le régime alimentaire d'une population vieillissante.

## **b) Les résultats modélisés obtenus**



Graphique 6 : Scénario 3 : productions du bassin

Ici, si l'on garde le même raisonnement que dans les scénarios précédents, on peut conclure que le scénario 3 a créé une spécialisation en céréales, betteraves sucrières, pommes de terre et en vin.

La diversification des assolements sur l'ensemble du bassin se traduit donc logiquement au niveau des productions.

### **5.3.4 Scénario 4**

#### *1°) Description des systèmes agricoles*

##### **a) Logique d'évolution**

##### **>> A l'échelle mondiale**

Tout comme dans le scénario 3, les pays font part d'une grande coordination et des mesures internationales ont mises en place : des droits de douane pour les produits agricoles sont mis en place, et des grandes aires géographiques destinées à être autosuffisantes d'un point de vue alimentaire sont constituées.

La combinaison de la recherche d'une politique économique et d'impératifs environnementaux se traduit par une éco-conditionnalité locale et européenne se concrétisant par des mesures de gestion de l'espace. L'agriculture n'est plus considérée comme une activité systématiquement multifonctionnelle : l'aménagement de l'espace ne se réalise donc pas toujours par l'agriculture.

(G.Olive, 2002)

##### **>> A l'échelle du bassin de la Seine**

Les systèmes agraires ne diffèrent pas vraiment du scénario 3, l'aménagement du territoire ne concernant pas directement l'agriculture.

La vente à la ferme à proximité de la région parisienne devient cependant un fait marquant de ce scénario.

D'autre part, les mesures environnementales de désintensification des exploitations laitières du Grand Ouest permettent un certain redéploiement d'élevage laitier dans le bassin parisien.

(G.Olive, 2002)

## **b) Description régionalisée**

### **>> OTEX présents en 2050 et leur répartition dans le bassin de la Seine**

On retrouve les mêmes OTEX que dans le scénario 3 et les conclusions sont aussi applicables ici :

2050-4	nb expl	surface	% nb expl	% surface
Céréales et oléoprotéagineux	2 723	1 307 271	12%	21%
Bovins lait	1 092	294 167	5%	5%
Bovins viande	2 515	905 640	11%	14%
Grandes cultures et herbivores	7 383	1 570 302	32%	25%
Grandes cultures et granivores	644	281 381	3%	4%
Cultures générales	5 154	1 934 188	23%	30%
Viticulture	3 333	74 073	15%	1%

Tableau 10 : Scénario 4 : OTEX principales du bassin

La répartition de ces OTEX au sein du bassin est comparable à celle du scénario 3 (voir carte du scénario 3). L'annexe 2 permet d'avoir plus de détails afin de différencier ces deux scénarios.

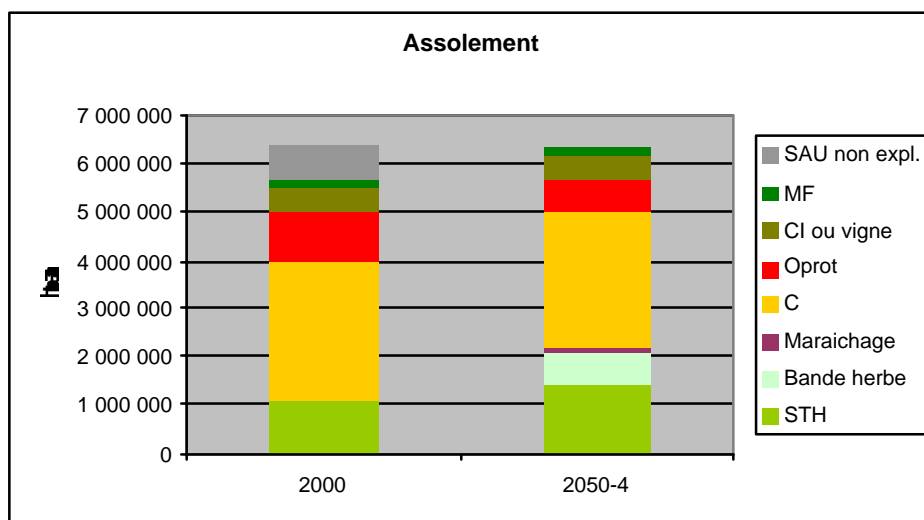
### **>> Combinaison des ateliers et état des variables à expliquer**

Les variables ont les mêmes caractéristiques que dans le scénario 3. Ce sont les mesures environnementales et de gestion territoriale qui introduisent une différence par rapport à la surface mise en bandes enherbées ou autres infrastructures écologiques. Ces mesures se réalisent sur 10% de l'assolement des exploitations agricoles.

Aussi, l'OTEX *Cultures générales* favorise ici les cultures maraîchères à proximité de Paris plutôt que les pommes de terre.

## **c) Description globale du bassin**

### **>> Assolement du bassin**



Graphique 7 : Scénario 4 : assolement du bassin

L'introduction des infrastructures écologiques occupent donc 10% de la SAU du bassin. Puis, tout comme dans le scénario 3, nous retrouvons un assolement très similaire à celui de l'année 2000. Seule la surface en maraîchage marque une relative différence.

Les conclusions sont donc les mêmes que précédemment.

>> Cheptel du bassin

Effectifs (têtes)	2000	2050-4
Bovins	2 665 776	1670179
BL	446 419	641112
BV	420 404	422605
Porcins	724 540	3704769
Volailles	7 730 676	111143100
Ovins	625 201	0

Tableau 11 : Scénario 4 : effectif des animaux du bassin

On retrouve les mêmes remarques que dans le scénario précédent.

2°) *La production du bassin*

**a) Logique des hypothèses macroéconomiques de la production**

>> La production végétale

Les évolutions sont très similaires à celles du scénario 3, essentiellement celles du premier rang. Seule la production de cultures industrielles se simplifie et les pommes de terre ne sont plus produites dans le bassin (remplacées par les légumes de plein champs).

Les évolutions de second rang diffèrent légèrement car la vente de légumes à la ferme s'est développée, mais les volumes restent les mêmes.

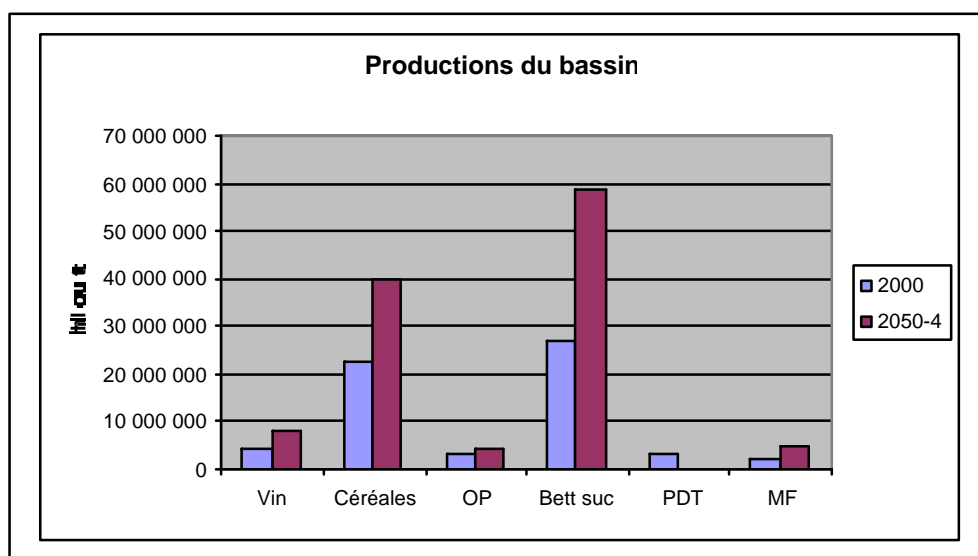
La STH suit également la même tendance mais dans une moindre mesure car le développement d'aménités de loisir (comme l'équitation ou les élevages alternatifs) permet de conserver certaines régions herbagères.

>> La production animale

La production animale suit la même tendance que dans le scénario 3.

Tout comme la production végétale, la vente à la ferme s'étant développée, les circuits de distribution sont modifiés mais les volumes restent les mêmes.

**b) Les résultats modélisés obtenus**



Graphique 8 : Scénario 4 : productions du bassin

Les productions observées dans ce scénario révèlent les mêmes remarques émises pour le scénario 2 : la diminution de la surface effectivement productive entraîne une spécialisation plus radicale. Seules les cultures ayant de bons résultats économiques sont conservées. Ainsi, on peut expliquer la disparition de la pomme de terre.

Les conclusions sont ensuite similaires à celles du scénario 3.

### 5.3.5 Scénario 5

#### 1°) Description des systèmes agricoles

##### **a) Logique d'évolution**

###### **>> A l'échelle mondiale**

L'Union Européenne s'est engagée dans la voie d'une dérèglementation des marchés : il s'en est suivi un démantèlement quasi complet des barrières douanières et les marchés mondiaux agricoles servent de référence. Très peu de pays du Sud arrivent à se développer et l'Europe recentre ses échanges avec les pays riches. Les échanges agricoles sont cependant insignifiant au regard du passé car le protectionnisme sur les produits sensibles est désormais accepté pour des raisons identitaires et sécuritaires. Le choix des productions agricoles dans l'Union Européenne dépend alors uniquement des priorités qu'elle se fixe car elle ne subit qu'une concurrence internationale limitée.

Ainsi, les européens font la promotion d'une agriculture qui ne présente aucun risque pour la santé humaine et qui préserve la qualité des ressources. Le consensus s'opère alors autour de la mise en place d'une agriculture biologique dont les IAA vont largement contribuer.

Les conditions de cette conduite dite 'biologique' sont qu'il est interdit d'avoir recours à des pesticides, les doses d'engrais étant cependant autorisées afin de maintenir un certain niveau de productivité. Les OGM sont aussi acceptés dans un souci d'amélioration des rendements, or, il faut noter que ces rendements restent néanmoins inférieurs à ceux d'une agriculture conventionnelle.

###### **>> A l'échelle du bassin de la Seine**

La vision de l'agriculture biologique dans ce scénario est donc différente de celle d'une agriculture biologique actuelle : les exploitations sont gérées industriellement, le machinisme est très développé.

Les systèmes développés sont très diversifiés même si les céréales dominent. Le maraîchage connaît un grand déploiement.

La consommation s'étant dirigée vers les viandes blanches, les élevages bovins allaitants ne sont plus très nombreux d'autant plus que les élevages laitiers qui sont devenus extensifs fournissent une viande de bonne qualité.

Les terres agricoles devenant très rares, les surfaces sont uniquement destinées à la production alimentaire.

(G.Olive, 2002)

##### **b) Description régionalisée**

###### **>> OTEX présents en 2050 et leur répartition dans le bassin de la Seine**

A la différence des scénarios précédents, qui conservaient les systèmes de production existants en 2000 et les faisaient évoluer en fonction des logiques d'hypothèses établies pour chacun de ces scénarios, ici, il s'agit de concevoir des systèmes de production qui souscrivent aux exigences de l'agriculture biologique. Ils auront la particularité d'avoir une grande diversité de cultures par rapport aux systèmes conventionnels :

L'OTEX *Grandes cultures* est plus ou moins une adaptation du système *Polycultures* : la surface en céréales et cultures industrielles reste prépondérante, mais la part en oléoprotéagineux et

essentiellement en protéagineux (légumineuses) a pris une importance significative pour des raisons d'équilibre agronomique des sols.

L'OTEX *Légumes de plein champs* est une évolution du système *Cultures générales* vers les cultures maraîchères essentiellement.

On ne dénombre que 5 OTEX sur le bassin mais cela n'est pas représentatif de la diversité de l'agriculture. En effet, plus de 40% de la SAU est consacrée à des systèmes mixtes (animal et végétal) et le reste est occupé par des OTEX végétales dont la diversité culturelle est plus marquée que celles des scénarios précédents.

2050-5	nb expl	surface	% nb expl	% surface
Elevage polyculture	10 828	2 038 861	28%	32%
Grandes cultures et granivores	1 842	552 750	5%	9%
Grandes cultures	19 304	3 373 505	51%	53%
Légumes plein champs	2 320	338 957	6%	5%
Viticulture	3 704	74 073	10%	1%

Tableau 12 : Scénario 5 : OTEX principales du bassin

On remarquera que l'OTEX *Grandes cultures* est présente sur plus de 50% de la SAU et qu'elle compte plus de la moitié des exploitations du bassin.

En détaillant l'analyse de la répartition des OTEX au sein de chaque zone du bassin, il est possible de distinguer 5 régions homogènes :



Carte 4 : Scénario 5 : grandes régions agricoles du bassin

Chaque région est caractérisée par un ensemble d'OTEX dont la surface globale et dominante :

- (1) Elevage polyculture : région dans laquelle le système *Elevage polyculture* représente 100% de la SAU.
- (2) Elevage polyculture et granivores : Les systèmes *Elevage polyculture* et *Grandes cultures et granivores* se partagent également la surface de cette région.

- (3) Grandes cultures et Elevage polyculture : Les systèmes *Grandes cultures* et *Elevage Polyculture* se partagent également la surface de cette région.
- (4) Grandes cultures, granivores et légumes : cette région est uniquement composée de systèmes de grandes cultures > *Grandes cultures/ Grandes cultures et granivore/ Légumes plein champs*.
- (5) Viticulture : le système *Viticulture* est dominant.

Les systèmes de production du bassin de la Seine ont profondément évolué. On observe une image de l'agriculture qui se démarque des précédentes.

#### >> Combinaison des ateliers et état des variables à expliquer

##### **Structure des OTEX**

Les plus grandes SAU sont dans les OTEX *Grandes cultures* et *Grandes cultures et granivores* jusqu'à 300ha.

Les plus petites, sont les exploitations *Légumes plein champs* : de 50 à 150ha.

Dans ce scénario, la proximité de Paris se fait fortement ressentir sur la taille de l'exploitation : le système *Grandes cultures* peut passer de 300ha dans l'est à 50ha dans la région parisienne.

Le clivage est-ouest est resté cependant un facteur de surface significatif.

Malgré la mécanisation des travaux agricoles, la main d'œuvre en agriculture biologique ne peut être aussi efficace qu'en conventionnel. Dans la plupart des systèmes, une UTA est alors nécessaire en plus de la main d'œuvre conventionnelle.

##### **Assolement des OTEX**

La STH est uniquement présente dans les OTEX *Elevage polyculture* et elle représente plus de 50% de la SAU. La part de la STH est toujours plus forte à l'ouest.

Les oléoprotéagineux ont supplanté les céréales, en effet, ils font partie de tous les assolements (hormis celui de *Viticulture*), et atteignent fréquemment 50% des cultures pratiquées. Les céréales ne prennent une part importante (mais ne dépasse jamais les 50%) de la SAU dans les systèmes de grandes cultures.

Les cultures industrielles, qui peuvent être associées à des cultures maraîchères dans les régions proches de Paris, représentent une part qui devient significative dans l'assolement des systèmes végétaux. Elles sont cultivées un peu partout dans le bassin.

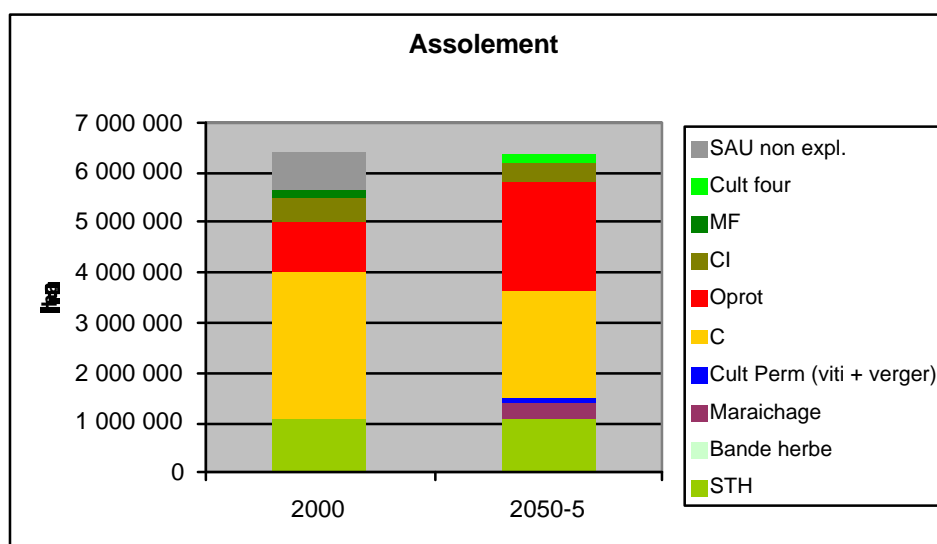
##### **Cheptel des OTEX**

L'OTEX *Elevage polyculture* élève exclusivement des vaches laitières de race mixte pour une bonne valorisation bouchère. Le troupeau est de la même taille que dans les autres OTEX : 100 vaches laitières (la production laitière est moins importante).

Le cheptel de volailles du système *Grande culture et granivores* vise ici à fournir un maximum d'azote pour les cultures de l'exploitation. Un élevage ne peut dépasser une production de 196 000 volailles par an dans les conditions exigées dans le cahier des charges de l'agriculture biologique telle que définie dans ce scénario (voir annexe 4).

#### **c) Description globale du bassin**

##### >> Assolement du bassin



Graphique 9 : Scénario 5 : assolement du bassin

Le schéma général de l'assolement du bassin en 2050 est bien différent de celui de l'année 2000, on peut distinguer :

- des cultures majoritaires dont la surface est comparable : la STH, les oléoprotéagineux et les céréales ;
- des cultures minoritaires : le maraîchage, les cultures industrielles, les cultures fourragères et les cultures permanentes.

L'équilibre agronomique des assolements ne pouvant être assuré que par l'introduction de protéagineux ou de STH, les rotations ont été adaptées à ces exigences. Par conséquent, on obtient un système de production végétal marquant une rupture par rapport aux scénarios précédents.

#### >> Cheptel du bassin

Effectifs (têtes)	2000	2050-5
Bovins	2 665 776	1 353 547
BL	446 419	1 082 837
BV	420 404	0
Porcins	724 540	0
Volailles	7 730 676	2 395 249 13
Ovins	625 201	0

Tableau 13 : Scénario 5 : effectif des animaux du bassin

Contrairement aux cultures, le cheptel s'est simplifié : on ne trouve plus que des bovins laitiers, dont les effectifs ont plus que doublé, et des volailles.

Les élevages de volailles produisent ici deux fois plus que dans les scénarios précédents.

## 2°) Productions du bassin

### **a) Logique des hypothèses macroéconomiques de la production**

#### >> La production végétale

> Evolutions de premier rang:

Les céréales demeurent les cultures dominantes car les terres du bassin parisien s'avèrent bien adaptées à la conduite biologique des céréales. Ces cultures sont donc systématiquement

accompagnées de légumineuses (pois) afin de contribuer aux besoins azotés. Ainsi, la production de céréales et pois augmente en même temps.

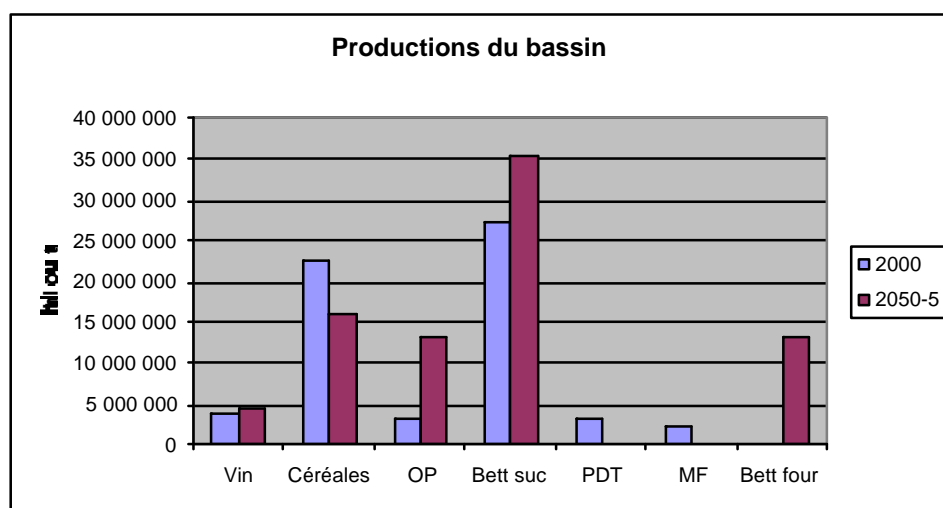
La production maraîchère augmente significativement (et donc la surface) car la consommation de légumes prend un part importante dans le régime alimentaire en excluant les viandes et plus particulièrement les viandes rouges.

> Evolutions de second rang:

Les cultures industrielles ne sont plus destinées à la production de biocarburants (par soucis d'économie des terres agricoles). La betterave sucrière bénéficie de la fermeture du marché européen et voit sa production se doubler (par rapport à 2000). Alors que la pomme de terre bénéficie de nouveaux débouchés : les édulcorants de synthèse par l'essor des produits allégés en sucre, et sa production se développe aussi.

Les systèmes extensifs ayant disparu, seule l'OTEX 'Polyculture élevage' dispose de STH. Bien que cette OTEX occupe un large territoire du bassin, elle ne peut que difficilement assurer le maintien de la STH. On peut donc observer une légère baisse de la STH au niveau du bassin.

## **b) Les résultats modélisés obtenus**



Graphique 10 : Scénario 5 : productions du bassin

Les rendements sont ici comparables à ceux de l'année 2000 (hypothèses), ce sont donc des évolutions d'assolement qui influencent la production totale du bassin.

Les conclusions relatives à l'assolement du bassin s'appliquent donc aussi pour la production.

### **5.3.6 Scénario 6**

#### *1°) Description des systèmes agricoles*

##### **a) Logique d'évolution**

###### **>> A l'échelle mondiale**

L'Union européenne maintient une préférence communautaire forte dans un monde où l'idée de régulation des échanges agricoles internationaux a été acceptée.

La demande sociétale est avant tout locale et est représentative d'une population parisienne à hauts revenus. Les habitudes alimentaires évoluent : les produits carnés diminuent au profit des légumes, et les produits lactés connaissent un vif succès. Un sentiment nostalgique et d'admiration se développe par rapport aux agriculteurs, de nombreux citadins viennent vivre à la campagne. Ceci



induit une augmentation du prix du foncier agricole et un retour de main d'œuvre vers l'agriculture. L'agriculture biologique devient la pratique la plus répandue pour ne pas dire l'unique pratique agricole.

Comparé au scénario précédent, les cultures OGM deviennent incompatibles avec le développement de l'agriculture biologique, de même que le recours aux intrants de synthèses. La recherche variétale tient une place importante dans la stratégie de la meilleure productivité. (G.Olive, 2002)

#### >> A l'échelle du bassin de la Seine

Des conditions de productions plus strictes que dans le scénario précédent sont adoptées dans des cahiers des charges de l'agriculture biologique. La fertilisation des cultures doit être assurée par les assolements de légumineuses, du compost certifié ou les déjections animales. La complémentarité culture/ élevage est donc encouragée. Cette conversion préserve néanmoins les importantes différences régionales liées aux conditions pédoclimatiques et économiques.

La SAU du bassin arrive à se maintenir. (G.Olive, 2002)

#### **b) Description régionalisée**

##### >> OTEX présents en 2050 et leur répartition dans le bassin de la Seine

On retrouve les mêmes systèmes que dans le scénario 5. Cependant, ici, l'OTEX *Légumes plein champ* s'est dotée d'un atelier granivore, car dans ce scénario, tous les systèmes tendent vers la mixité.

Le système *Herbivore* constitue la sixième OTEX de ce scénario.

2050-6	nb expl	surface	% nb expl	% surface
Elevage polyculture	19 109	3 799 020	53%	60%
Herbivores	959	383 485	3%	6%
Grandes cultures et granivores	2 416	823 549	7%	13%
Légumes plein champs et granivor	6 688	334 419	19%	5%
Grandes cultures	2 722	960 857	8%	15%
Viticulture	3 841	76 817	11%	1%

Tableau 14 : Scénario 6 : OTEX principales du bassin

L'OTEX *Elevage polyculture* est le système le plus répandu de ce scénario à la fois pour la surface (60%) que par le nombre d'exploitations agricoles (53%).

Ce sont ensuite les OTEX de grandes cultures qui prennent la seconde place de l'assolement (un peu moins de 30%).

Ces OTEX se répartissent dans 4 régions homogènes dans lesquelles les OTEX dominantes, toujours par rapport à leur surface, sont :

- (1) Elevage polyculture et herbivores : le système *Elevage polyculture* est dominant (73 à 90% de la SAU) et le système *Herbivore* complète la SAU de la région.
- (2) Elevage polyculture et granivores : comme pour la région précédente, le système *Elevage polyculture* est dominant (57 à 80% de la SAU) et les systèmes *Grandes cultures et granivores* essentiellement et *Herbivores* complètent la SAU de la région.
- (3) Divers : cette région est également partagée entre les systèmes *Grandes cultures et granivores*, *Elevage polyculture* et *Légumes plein champs et granivores*.
- (4) Viticulture : le système *Viticulture* est dominant.

Ce scénario est encore différent du précédent : il est le seul qui montre une plus grande diversité des systèmes dans les régions centrales du bassin.



Carte 5 : Scénario 6 : grandes régions agricoles du bassin

>> Combinaison des ateliers et état des variables à expliquer

**Structure**

Les plus grandes SAU se retrouvent dans les OTEX *Herbivores* et *Grandes cultures* : de 300 à 400.

Les plus petites sont dans l'OTEX *Légumes plein champs et granivores* : 50ha

Les clivages de surface ne sont plus vraiment marqués car c'est essentiellement la main d'œuvre qui limite l'étendue de l'exploitation. Une exploitation se structurant autour d'une main d'œuvre comparable à celle du scénario 5.

**Assolement**

La STH prend une part importante des systèmes avec ateliers bovins (au moins 50%).

Les systèmes granivores misent sur les oléoprotéagineux pour le maintien de l'équilibre agronomique de leurs sols.

Les céréales ne prennent qu'une certaine importance dans les OTEX de grandes cultures (50% de la SAU).

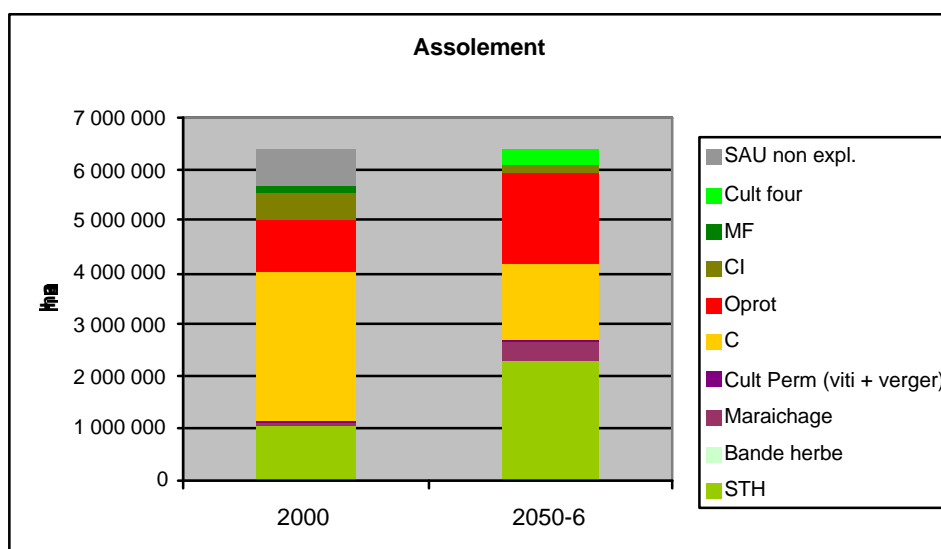
Les cultures industrielles ont disparues de la plupart des OTEX, si ce n'est *Grandes cultures et granivores*.

**Cheptel**

L'effectif des troupeaux est calculé de façon à ce qu'ils puissent fournir les apports nécessaires à l'atelier végétal. Ainsi, les OTEX avec animaux ont des cheptels plus importants que dans le scénario 5.

**c) Description globale du bassin**

>> Assolement du bassin



Graphique 11 : Scénario 6 : assolement du bassin

On observe un assolement qui se démarque des précédents. La principale variante est la STH qui est la double du scénario précédent. Cette évolution s'est faite aux dépens essentiellement du couple céréales-oléoprotéagineux.

#### >> Cheptel du bassin

Effectifs (têtes)	2000	2050-6
Bovins	2 665 776	2 175 351
BL	446 419	1 528 685
BV	420 404	132 247
Porcins	724 540	4 013 022
Volailles	7 730 676	8 844 500
Ovins	625 201	588 391

Tableau 15 : Scénario 6 : effectif des animaux du bassin

Le cheptel bovin est comparable à celui de l'année 2000, il est cependant quasiment uniquement constitué de troupeaux laitiers.

L'effectif des granivores devient difficilement imaginable : les volailles ont encore doublé par rapport au scénario 5, et les porcins ont explosé. L'ampleur de ce cheptel représente des enjeux de taille par rapport aux exigences de l'agriculture biologique. Ce point sera discuté en dernière partie de ce mémoire.

Enfin, les ovins parviennent à ce maintenir aux effectifs de ceux de 2000 grâce à la production laitière destinée à l'élaboration des fromages.

## 2°) Productions du bassin

### a) Logique des hypothèses macroéconomiques de la production

#### >> La production végétale

Les évolutions suivent à peu de choses près celles du scénario 5. La production maraîchère est cependant supérieure car la promotion des marchés de proximité incite les agriculteurs à produire des légumes.

Tout comme dans le scénario précédent, la betterave sucrière bénéficie de la fermeture du marché européen et voit sa production augmenter. La pomme de terre en bénéficie aussi.

Grâce à la suppression de la prime au maïs, la STH devient plus attractive, et prend du terrain sur les cultures fourragères. De plus, le système 'polyculture élevage' et 'Herbivores' occupant une large part du territoire, la STH augmente significativement.

### >> La production animale

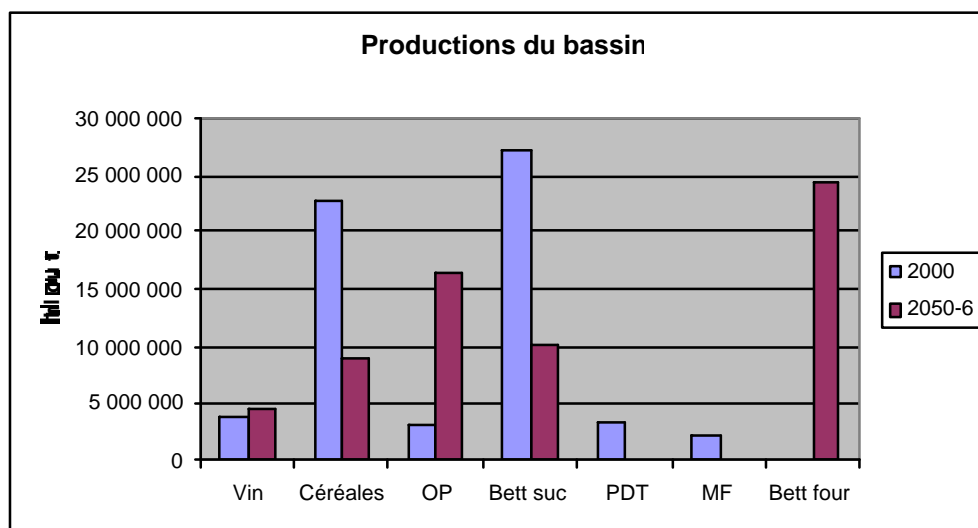
Les systèmes de production animal s'étant extensifiés, les vaches laitières sont à présent de race mixte afin de valoriser la viande en boucherie. Elles viennent remplacer les bovins allaitants dont seuls les élevages à très bonne qualité bouchères persistent.

La transformation laitière s'est beaucoup développée afin de répondre à une demande croissante, et en particulier de fromages ; le cheptel laitier bovin et ovin du bassin s'est alors agrandi.

L'apport d'intrants chimiques étant interdit, la bilan azoté doit être équilibré à partir de la production de l'élevage. Ainsi, les cheptels granivores augmentent rapidement et en particulier celui des volailles qui demeure l'élevage le plus efficace quant à la production d'azote. La demande en viande blanche est d'autre part aussi importante que dans le scénario 5.

Enfin, la demande en viande s'étant diversifiée, la viande de porc ainsi que la viande ovine gardent un certain niveau. Les cheptels restent résiduels mais ont augmenté par rapport à 2000.

### b) Les résultats modélisés obtenus



Graphique 12 : Scénario 6 : productions du bassin

Les hypothèses de rendement sont également similaires à ceux de l'année 2000, hormis les céréales qui sont légèrement moins productives dans le scénario 6.

Les conclusions relatives à l'assolement du bassin, sont donc aussi applicables aux productions.

## **6. La traduction en systèmes de culture possibles en 2050 : présentation du cadre d'analyse**

Les séquences techniques sont considérées comme influencées à la fois par les scénarios technico-économiques décrit ci-dessus (par le biais de l'orientation des systèmes de production) et par les scénarios climatiques. En effet, les travaux du sol par exemple peuvent être modifiés à la fois pour des raisons économiques (non-labour pour économiser du carburant) ou pour des raisons climatiques (décaler les dates de semis pour faciliter les travaux d'implantation).

Dans un premier temps, nous avons décliné les successions culturales et les séquences techniques de deux des scénarios présentés ci-dessus : le scénario 3, et le scénario 6.

Le travail se déroule en deux étapes :

- élaborer les successions qui seraient pratiquées par scénario et par grande région,
- pour chaque culture de la succession construire la séquence technique correspondante.

A ce stade, les systèmes de culture ( successions et séquences techniques) sont définis à partir des connaissances actuelles sur les retours de cultures sur elles-mêmes, sur les précocités, ... Une étape ultérieure consistera à valider cette première approche empirique en utilisant le modèle de culture STICS « en rétro-action » : il s'agira de simuler les développement des cultures sous les hypothèses climatiques retenues et de confirmer ou infirmer les premiers choix techniques réalisés. Cette deuxième étape se réalisera avec Nadine Brisson (INRA Avignon).

Pour illustrer cette démarche, les tableaux ci-dessous illustrent les successions construites pour deux scénarios (scénarios 3 et 6) et les séquences techniques du blé pour une succession culturale de chaque scénario.

*Tableau 16 : successions par grandes régions dans le scénario 3 ( STH : surface toujours en herbe, PT : prairies temporaires, Bett : betteraves sucrières, PdeT : pomme de terre)*

Scénario 3 : successions culturales		
Régions	Successions	%surface
Région 3 1	STH	50
	PT-blé-orge	30
	Maïs-blé	20
Région 3-2	Bett-blé	40
	Colza-blé-OH	30
	STH	20
	PdeT-blé-orge	10
Région 3-3	Bett-blé	80
	PT-blé	10
	PdeT-blé-orge	10
Région 3-4	Colza-blé-orge	40
	Maïs-blé	20
	Bett-blé	30
	STH	10
Région 3-5	Vigne	50
	Bett-blé-orge	50

Tableau 17 : successions par grandes régions dans le scénario 6 ( STH : surface toujours en herbe, PT : prairies temporaires, Bett : betteraves sucrières, PdeT : pomme de terre)

Scénario 6 : successions culturales		
Régions	Successions	%surface
Région 6 1	STH	80
	LLL-C-C-PT-PT-C	20
Région 6-2	STH	50
	LLL-C-C-PT-PT-C-C	50
Région 6-3	Bett-blé-OH	40
	Légumes-blé-OH	40
	STH	20
Région 6-4	Vigne	50
	Légumes-blé-OH	50

Ces successions sont ensuite mises en cohérence avec des séquences techniques, dont les deux tableaux suivants donnent des exemples.

Tableau 18 : séquence technique du blé, scénario3, région 3-2, succession Colza-Blé-Orge

Scénario 3 : séquence technique, exemple du blé, région 3-2, succession C-B-O		
Labour	15/07	Récolte du précédent plus précoce sous l'influence du CC ( ?)
Semis	15/10	Attente du retour de pluies
Fertilisation	Apport 1 : 1/02	100 unités
	Apport 2 : 1/03	150 unités
Récolte	01/07	Rendement : 95 qx/ha

Tableau 19 : séquence technique du blé, scénario6

région 6-2, succession Luzerne - luzerne - luzerne – céréales(blé) – céréales(orge) - prairie temporaire - prairie temporaire – céréales (blé) – céréales (orge)		
Labour	15/07	Récolte du précédent plus précoce sous l'influence du CC ( ?)
Semis	15/10	Attente du retour de pluies
Fertilisation	Apports de fientes de volailles : 1/03	70 unités
Récolte	01/07	Rendement : 50 qx/ha

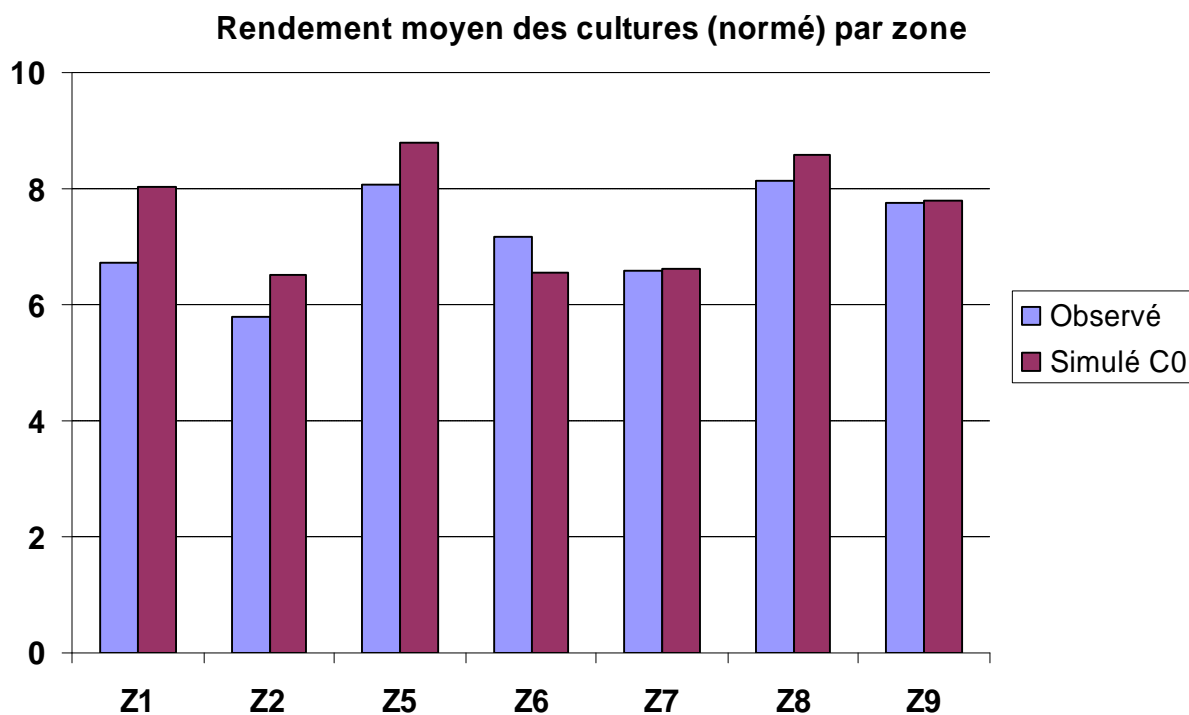
## 7. La simulation des rendements et des pertes nitriques sous différents scénarios climatiques

L'étude est réalisée sur les 12 grandes zones représentatives du Bassin de la Seine qui ont été définies précédemment (§3). Nous disposons dans chaque zone d'une typologie des successions culturales et des pratiques agricoles, établie sur la période 1970-2000. Nous avons sélectionné dans chaque zone les 3 systèmes de culture les plus représentés et les 3 situations pédologiques les plus fréquentes, sachant que ces combinaisons représentent toujours plus de 50% des systèmes de culture et plus de 50% des types de sols rencontrés par zone. La simulation est effectuée avec le modèle STICS (Brisson *et al.*, 2002, 2003). Elle porte sur ces 9 combinaisons, sur une échelle de temps de 40 ans. A ce jour la constitution des bases de données est achevée, mais les simulations n'ont été effectuées que dans 7 zones sur 12 (zones 1, 2, 5, 6, 7, 8, 9), et avec le scénario agricole "actuel". Les résultats de la simulation portent donc pour le moment seulement sur ces zones et ne considèrent pas encore les scénarios agricoles prospectifs.

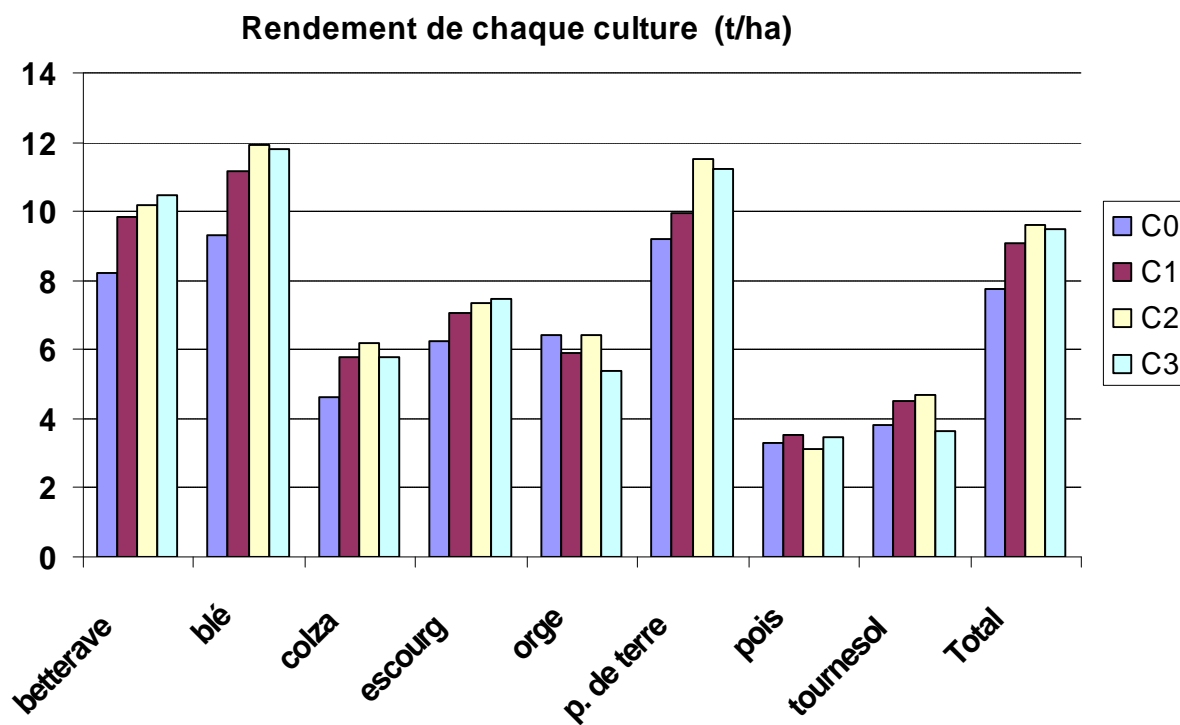
L'échelle de temps de la simulation est de 40 ans : soit avec le climat "actuel", soit avec un climat modifié tenant compte du changement climatique. Dans le cas du climat "actuel" (appelé C0) nous l'avons limité à 1990, en considérant que le climat de la période 1990-2000 était déjà affecté par le changement climatique. Nous avons utilisé en fait les données climatiques de la période 1970-1990, car les données antérieures n'étaient pas toutes disponibles (les données sont). Dans le cas du climat futur, nous avons utilisé les sorties de 3 scénarios climatiques : *Arpège Old* (scénario C1), *Arpège New A2* (scénario C2) et *Arpège New B2* (scénario C3). Le climat futur est obtenu en "ajoutant" au climat actuel les perturbations climatiques calculées avec ces scénarios (en fait les perturbations sont additives ou multiplicatives selon les paramètres climatiques). STICS prend en compte à la fois les variations des paramètres climatiques journaliers (température minimale, température maximale, pluviométrie, rayonnement global, évapotranspiration potentielle) et l'effet de l'augmentation de la teneur en CO<sub>2</sub> sur la photosynthèse.

Les résultats des simulations de STICS portent d'abord sur les rendements des cultures. La figure 1 montre les rendements moyens simulés et observés par zone de sol. Pour permettre la comparaison, les rendements des cultures ont été normalisés par rapport aux rendements des céréales. Le modèle reproduit assez bien les rendements "observés" (obtenus par les enquêtes) et leur variabilité entre les différentes zones. La culture de blé d'hiver, qui représente 43% de la surface agricole utile, est la mieux simulée par le modèle. Cependant, on observe des écarts importants pour certaines cultures : surestimation du rendement du colza d'hiver, sous-estimation du rendement du pois de printemps. Il faudra améliorer le paramétrage du modèle pour ces cultures.

Les conséquences des modifications climatiques sur la production agricole des différentes cultures sont données à la figure 2, pour les 3 scénarios climatiques étudiés. Ces scénarios varient dans l'intensité de la pluviométrie, du réchauffement et de la teneur attendue en CO<sub>2</sub>. Cependant, ils conduisent tous à simuler un accroissement de la production agricole pour la quasi totalité des cultures, à l'exception de l'orge de printemps et du pois protéagineux. Le modèle indique donc que l'accroissement de la demande climatique en eau (évapotranspiration potentielle) est plus que largement compensé par l'augmentation de la photosynthèse. Il faut souligner que le modèle prend en compte la réduction de conductance stomatique (et donc de l'évapotranspiration réelle) qui est associée à l'accroissement de la concentration en CO<sub>2</sub> de l'air. Cette augmentation de la production agricole est obtenue sans changement des pratiques agricoles (même niveau de fertilisation azotée, pas d'irrigation accrue).



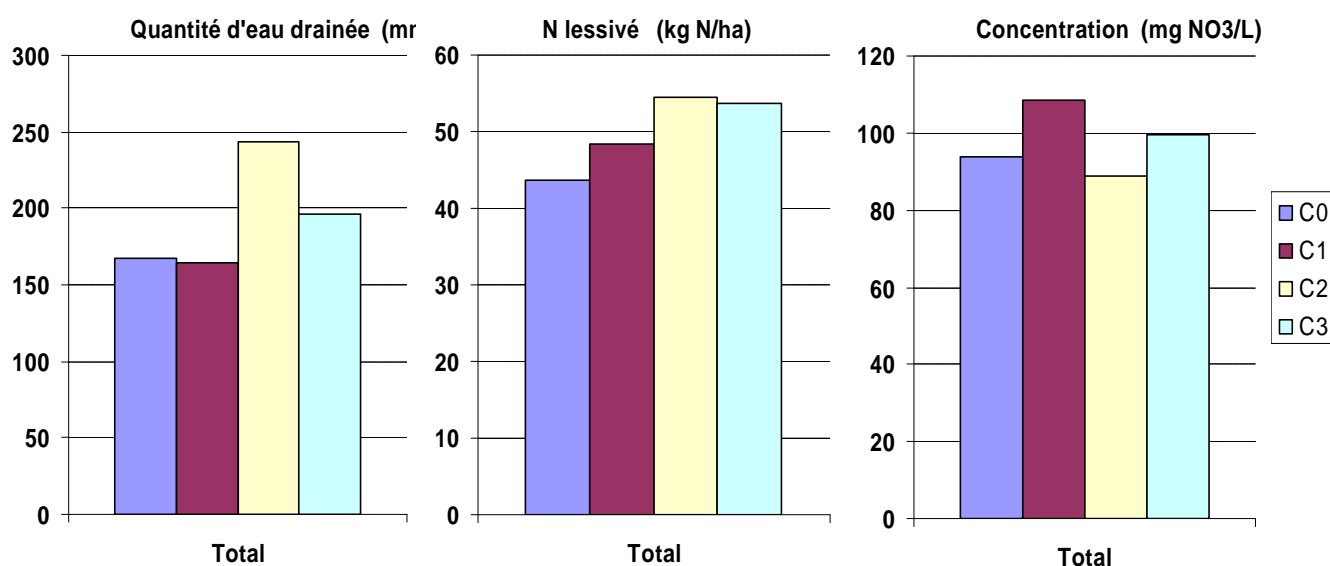
Graphique 18. Rendement moyen simulé et observé avec le climat actuel et les pratiques agricoles actuelles.



Graphique 19. Effet du changement climatique sur les rendements attendus des cultures, sans modification des pratiques agricoles. Climat actuel = C0 ; climats futurs = C1, C2, C3.



Le changement climatique a également une influence sensible mais modérée sur les flux d'eau et d'azote qui sortent de la zone racinaire et alimentent les aquifères ou les systèmes drainés (Figure 3). Les flux d'eau percolant ne sont pas modifiés par le scénario C1, mais augmentent dans les scénarios C2 et C3 pour lesquels la pluviométrie hivernale est nettement accrue: le drainage moyen passerait de 167 mm/an avec le climat actuel à 243 mm/an avec le scénario C2. Le lessivage de nitrate augmenterait parallèlement: de 43 kg N/ha/an (scénario C0) à 54 kg N/ha/an (scénario C2). La concentration moyenne de l'eau drainée varierait peu. Par contre cette concentration reste toujours élevée, nettement supérieure à la valeur critique de 50 mg/L. Pour diminuer cette concentration, il reste plus que jamais nécessaire d'introduire des pratiques agricoles améliorées: meilleure gestion des entrées d'azote (organique et minérale), introduction de cultures intermédiaires, etc...



Graphique 19. Effet du changement climatique sur les flux d'eau et d'azote sortant sous la zone racinaire : quantité d'eau drainée (mm/an), quantité d'azote lessivé (kg N/ha/an), concentration nitrique moyenne pondérée de l'eau drainée (mg NO<sub>3</sub>/L). Climat actuel = C0 ; climats futurs = C1, C2, C3.

## 8. Conclusions et perspectives :

Le travail réalisé en 2003 a contribué à construire l'ensemble du cadre d'analyse et des bases de données nécessaires :

- à la construction de scénarios technico-économiques agricoles spatialisés (cf. section 5) ;
- à leur traduction en successions et séquences techniques (cf. sections 4 et 6) ;
- à l'utilisation des deux points précédents dans des visées de simulation à l'aide du modèle STICS (cf. section 7).

En termes de simulation, les suites du travail pour les mois qui viennent portent sur :

- Un travail d'analyse supplémentaire sur les hypothèses technico-économiques, notamment en ce qui concerne la place de l'élevage dans les images spatialisées. Un complément d'analyse sur les conséquences de chaque scénario en termes de drainage et d'irrigation devra en outre être entrepris.

- La fin de l'écriture des systèmes de culture pour chaque scénario, et chaque zone identifiée. Ce point sera confronté à une simulation sous STICS des conditions de développement des

cultures pour les hypothèses climatiques. Cette confrontation permettra de consolider les hypothèses actuellement mobilisées, en intégrant de manière spécifique les influences réciproques du changement climatique et des scénarios de systèmes agraires. Actuellement, les analyses économiques et CC ont été menées en parallèle (en grande partie du fait des calendriers d'obtention des données). Les premiers résultats climatiques suggèrent que le climat n'est pas un déterminant de premier ordre dans l'évolution des systèmes de production, si l'on raisonne en termes de rendements. Néanmoins, une analyse plus fine reste à faire (une modification des séquences techniques est-elle nécessaire du fait des scénarios climatiques ?).

- A partir de ces données techniques, des données climatiques (scénarios A1, A2, B2), des caractéristiques des sols (considérées comme stables sur la période 2000- 2050), le modèle STICS sera mobilisé pour simuler les flux et concentrations nitriques émis par les systèmes de culture projetés.

Mais sur un plan plus général, une réflexion spécifique sera nécessaire sur la place même de l'exercice de prospective au sein du PIREN-Seine. Les résultats de la démarche ne s'évaluent pas uniquement sur leur capacité à générer des résultats techniques, mais aussi à les mettre en discussion dans une optique de gestion de l'hydrosystème à long terme. Plusieurs axes peuvent être envisagés dans cette perspective :

- Des croisements entre les scénarios agricoles et les scénarios « politiques » de référence du SRES qui seront utilisés par ailleurs dans le volet de prospective non agricole (quelle cohérence entre les évolutions de l'agriculture et celle du développement socio-économique du « reste de la société » ?)

- Une réflexion sur statut des enseignements. Par exemple, une sensibilité faible de l'agriculture au climat ne signifie pas une faible sensibilité de l'hydrosystème si l'on considère les *interactions* entre l'agriculture et les aléas climatiques. Ce n'est pas parce qu'aucun scénario climatique semble, a priori, être incompatible avec une céréalisation de l'ensemble du bassin qu'un tel scénario n'a pas de conséquence sur la gestion de l'hydrosystème (pollutions et flux hydrologiques en particulier). En outre, la question de la gestion des risques, mal prise en compte avec les outils de modélisation actuels, apparaît comme un thème d'analyse et de gestion particulièrement significatif.

## 9. Bibliographie

- Brisson N, Gary C, Justes E, Roche R, Mary B, Ripoche D, Zimmer D, Sierra J, Bertuzzi P, Burger P, Bussière F, Cabidoche YM, Cellier P, Debaeke P, Gaudillère JP, Hénault C, Maraux F, Seguin B, Sinoquet H (2003) An overview of the crop model STICS. *European Journal of Agronomy*, 18: 309-332.
- Brisson N, Ruget F, Gate P, Lorgeou J, Nicoulaud B, Tayot X, Plenet D, Jeuffroy MH, Bouthier A, Ripoche D, Mary B, Justes E (2002) STICS: a generic model for simulating crops and their water and nitrogen balance. II. Model validation for wheat and maize. *Agronomie*, 22: 69-92.
- Ducharme A, Beaudoin N, Benoit M, Billen G, Brisson N, Garnier J, Gomez E, Kieken H, Ledoux E, Mary B, Mermet L, Mignolet C, Olive G, Poux X, Schott C, Thery S, Viennot P (2002) Influence du changement climatique sur le fonctionnement hydrologique et biogéochimique du bassin de la Seine. Colloque "Regards Croisés sur les Changements Globaux", Novembre 2002, Arles, France.
- Ducos G. (2003) Prospective et changement climatique : six images des systèmes agricoles du bassin de la Seine en 2050. Mémoire de DEA EERN
- Gabrielle B, Mary B, Roche R, Smith P, Gosse G (2002) Simulation of carbon and nitrogen dynamics in arable soils: a comparison of approaches. *European Journal of Agronomy*, 18: 107-120.
- Gomez (E.), Mignolet (C.), Schott (C.), Brunstein (D.), Bornerand (C.), Ledoux (E.), Benoît (M.), Tournebize (J.), de Louvigny (N.), Ponsardin (G.), Mary (B.) "Dynamiques agricoles et transfert des nitrates : Modélisation intégrée du transfert des nitrates sur le bassin de la Seine". Rapport de synthèse du Programme PIREN-Seine 1998-2001. - Fév. 2002, UMR CNRS 7619 Sisyphe Jussieu, 52 p.

- Gomez E, Ledoux E, Viennot P, Mignolet C, Benoit M, Bornerand S, Schott C, Mary B, Billen G, Ducharne A, Brunstein D (2002) Un outil de modélisation intégrée du transfert des nitrates sur un système hydrologique: application au bassin de la Seine. *La Houille Blanche*, 37: 71-72.
- Justes E, Mary B (2003) N mineralization due to decomposition of catch crop residues in field conditions: measurement and simulation using STICS soil-crop model. 12th Nitrogen Workshop, Exeter (GB), septembre 2003, présentation orale.
- Mignolet (C.), Schott (C.), Mari (J.-F.) et Benoît (M.).- "Typologies des successions de cultures et des techniques culturales dans le bassin de la Seine".-Rapport intermédiaire du contrat PIREN-Seine.- Document de travail n°8- Fév. 2003.- 23 p.
- Olive O., (2002). Prospective et changement climatique : six scénarios pour l'agriculture du bassin de la Seine à l'horizon 2050, Mémoire de DEA, INA-PG, Paris, 113p.
- Poux X., (1989). Typologie des exploitations du plateau de Langres et du Chatillonnais, Thèse de Doctorat, INRA SAD, INA PG, Dijon, p 35-40.
- Poux X., Dubien I., (2002). Quelle prospective de l'agriculture de la Seine amont ? Trois scénarios sur le bassin de la Marne, Rapport de synthèse AScA, Paris, 49p + annexes
- Poux X., Olive G (2003) 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 Responsabilité en environnement, octobre 2003