



**Ambassade de France à Washington  
Mission pour la Science et la Technologie**

4101 Reservoir Road, NW, Washington DC 20007

Tél. : +1 202 944 6249

Fax : +1 202 944 6219

Mail : [publications.mst@ambafrance-us.org](mailto:publications.mst@ambafrance-us.org)

URL : <http://www.ambafrance-us.org>

<b>Domaine :</b>	<b>Environnement - Agronomie</b>
<b>Document :</b>	<b>Rapport d'étude</b>
<b>Titre :</b>	<b>Les effets du changement climatique sur l'agriculture américaine</b>
<b>Auteur(s) :</b>	Rédacteur : <b>Lucas Guillet (stagiaire INA-PG)</b> Supervision : <b>Claire Notin, attachée-adjointe,</b> <b>Jean-Pierre Toutant, attaché pour la science et la technologie</b> (Consulat Général de Chicago) Révision et édition : <b>Philippe Jamet, attaché pour la science et la technologie, Elodie Pasco</b> attachée-adjointe (Ambassade de France, Washington)
<b>Date :</b>	
<b>Contact MST</b>	<b>Août 2007</b> <b>Jean-Pierre Toutant</b> <a href="mailto:Jean-Pierre.Toutant@diplomatie.gouv.fr">Jean-Pierre.Toutant@diplomatie.gouv.fr</a> <b>Philippe Jamet</b> <a href="mailto:Philippe.Jamet@diplomatie.gouv.fr">Philippe.Jamet@diplomatie.gouv.fr</a>
<b>Numéro :</b>	2007-03

<b>Mots-clefs</b>	<b>Agronomie, Agriculture, Environnement, Changement climatique</b>
<b>Résumé</b>	<p>En 2001, l'U.S. Global Change Research Program, le programme national d'encadrement des recherches dans le domaine du changement climatique, a publié le rapport d'évaluation des potentiels conséquences du changement climatique sur l'agriculture aux Etats-Unis. En se basant sur des modèles climatiques, des modèles de cultures et des modèles économiques, et en prenant en compte les possibilités d'adaptation des agriculteurs, le groupe d'expert avait conclu que ces changements climatiques et les niveaux de dioxyde de carbone atmosphérique du XXI<sup>e</sup> siècle ne représentaient pas de menace pour la production agricole américaine. Les effets, dans l'ensemble plutôt positifs, varieraient selon le type de culture et la région considérés, certains rendements augmenteraient sous l'effet d'un apport supplémentaire en CO<sub>2</sub> et en eau, tandis que d'autres rendements diminueraient du fait de températures trop élevées. Ce rapport n'a pas encore été actualisé mais la recherche continue notamment au sein de l'Agricultural Research Service du département de l'Agriculture. Le cycle du carbone, les émissions associées à l'agriculture, les modifications de comportements des écosystèmes agricoles et les modifications du cycle de l'eau sont les thèmes de recherche principaux. Aujourd'hui les experts ont beaucoup de réserves sur les prédictions du rapport de 2001. L'effet fertilisant du CO<sub>2</sub> est de plus en plus remis en cause, et un apport efficace en eau semble de plus en plus compromis pour de nombreuses régions. Les experts soulignent également le manque de prises en compte dans cette étude des événements climatiques extrêmes et des ravageurs et maladies.</p> <p>Ce rapport revient plus en détail sur les prédictions du rapport de 2001 et les travaux menés depuis à l'ARS. Les comptes rendus d'entretien avec des experts du domaine sont également mis en annexe.</p>

NB : Toutes nos publications sont disponibles auprès de l'Agence pour la Diffusion de l'Information Technologique (ADIT), 2, rue Brûlée, 67000 Strasbourg (<http://www.adit.fr>).

## Avertissement

De nombreux lecteurs potentiels ne trouveront pas le temps de lire ce document dans son intégralité. Nous leur suggérons de s'intéresser dans un premier temps à ce que nous avons appelé conclusion #1 (pages 26-27) et conclusion #2 (page 27-29) qui constituent de fait un résumé de l'ensemble.

## Table des matières

<b>1. Position du problème et hypothèses de travail</b> .....	<b>4</b>
1.1. La sensibilité climatique de l'agriculture .....	4
1.2. Méthodes et hypothèses de travail.....	5
1.2.1. Modèles climatiques de référence .....	5
1.2.2. Modèles de culture .....	7
1.2.3. Modèles économiques .....	8
1.3. L'agriculture comme contributeur du changement climatique .....	9
<b>2. Les conclusions du rapport d'évaluation de 2001</b> .....	<b>9</b>
2.1. Impacts du changement climatique sur les rendements .....	10
2.2. Influence de l'irrigation.....	13
2.3. Impacts économiques .....	14
2.4. Impacts sur les ressources naturelles et l'environnement .....	15
2.5. Impacts de la variabilité climatique.....	16
2.6. Limites des stratégies d'adaptation .....	17
<b>3. Recherches sur le changement climatique et l'agriculture à l'ARS</b> .....	<b>18</b>
3.1. Le rôle de l'ARS.....	18
3.1.1. Quatre axes prioritaires .....	19
3.1.2. Organisation des recherches .....	20
3.2. Description des axes de recherche.....	22
3.2.1. Recherches sur le cycle du carbone et sa séquestration .....	22
3.2.2. Recherches sur le suivi des gaz à effet de serre .....	23
3.2.3. Recherches sur les écosystèmes agricoles.....	23
3.2.4. Recherches sur les changements météorologiques et le cycle de l'eau, de l'échelle de l'exploitation à l'échelle régionale .....	24
3.2.5. Un effort d'intégration sans précédent .....	25
<b>Conclusion #1 : Les études préliminaires prévoient des impacts globalement positifs sur l'agriculture américaine.....</b>	<b>26</b>
Un gradient positif des impacts .....	26
2050 marque le passage de la face claire à la face sombre .....	27
<b>Conclusion #2 : beaucoup de réserves sur la fiabilité de ces prédictions</b> .....	<b>27</b>
L'effet fertilisant du CO <sub>2</sub> de plus en plus remis en cause .....	27
L'effet 'stomate' du CO <sub>2</sub> dépassé par le manque d'eau .....	27
Prise en compte des extrêmes climatiques .....	28
Prise en compte des ravageurs et maladies .....	29
Des projections optimistes basées sur la capacité d'adaptation des agriculteurs .....	29
Un gradient Nord-Sud recorrecté .....	29
<b>Annexe A : Synthèses régionales</b> .....	<b>32</b>

A.1. Région Sud-Est.....	32
A1.1. Particularismes .....	33
A1.2. Climat du 20 <sup>ème</sup> siècle.....	33
A1.3. Prévisions climatiques pour le 21 <sup>ème</sup> siècle .....	33
A1.4. Impacts potentiels du changement climatique sur l’agriculture .....	34
A1.5. Evolution des forêts.....	36
<b>A2 : Région Ouest.....</b>	<b>38</b>
A2.1. Climat du 20 <sup>ème</sup> siècle.....	39
A2.2. Prévisions climatiques pour le 21 <sup>ème</sup> siècle .....	39
A2.3. Impacts potentiels du changement climatique sur l’agriculture .....	39
A2.4. Impacts sur l’élevage .....	41
<b>A3 : Région Nord-Est.....</b>	<b>41</b>
A3.1. Climat du 20 <sup>ème</sup> siècle.....	42
A3.2. Prévisions climatiques pour le 21 <sup>ème</sup> siècle .....	42
A2.3. Impacts potentiels du changement climatique sur l’agriculture .....	42
<b>A4 : Région Midwest.....</b>	<b>43</b>
A4.1. Climat du 20 <sup>ème</sup> siècle.....	43
A4.2. Prévisions climatiques pour le 21 <sup>ème</sup> siècle .....	44
A4.3. Impacts potentiels du changement climatique sur l’agriculture .....	44
A4.4. Impacts sur l’élevage .....	45
A.4.5. Problèmes environnementaux .....	45
<b>A5. Grandes Plaines .....</b>	<b>46</b>
A5.2. Prévisions climatiques pour le 21 <sup>ème</sup> siècle .....	46
A5.3. Impact sur les sociétés agricoles.....	47
A5.4. Disponibilité en eau .....	47
A5.5. Impacts environnementaux.....	48
<b>Annexe B : Synthèses d’entretiens .....</b>	<b>49</b>
Limites de la modélisation climatique, une table ronde avec différents scientifiques du centre de recherche Atmosphérique et Océanographique de Madison .....	49
Les ravageurs : la menace sous-estimée par les Etats-Unis .....	54
Exemple d’une filière entièrement dépendante du changement climatique : la filière cerises du Michigan.....	58
Des textes officiels à la réalité du terrain : deux professeurs de l’université de Madison dans le Wisconsin éclaircissent la situation.....	64
Deux chercheurs présentent le programme de recherche LTER et des moyens innovants pour observer les écosystèmes.....	68
Interview d’un ancien directeur du Programme de recherche de l’ARS sur le changement climatique .....	70
Entretien avec le chef du projet FACE de l’université de l’Illinois à Urbana Champaign .....	74
Les mauvaises herbes menacent les espaces naturels américains : avis de l’expert Adam Davis de l’USDA.....	79
Le CO <sub>2</sub> augmente l’appétit des ravageurs : .....	80
Le National Resource Conservation Service, une agence chargée d’accompagner les agriculteurs dans leur adaptation face au changement climatique .....	82
Lorsque les observations dépassent les modélisations : entretien avec l’écologiste de Madison sur les impacts du changement climatique sur l’agriculture américaine.....	85
Bibliographie.....	88

## **1. Position du problème et hypothèses de travail**

Les Etats-Unis sont un producteur majeur de biens alimentaires et de fibres dans le monde. L'agriculture américaine représente plus de 25% des échanges mondiaux de blé, maïs, soja et coton [1]. Les terres cultivées occupent environ 210 millions d'hectares, soit 17% du territoire américain, auxquels il faut ajouter les prairies et les pâturages qui représentent plus de 300 millions d'hectares, soit 26% du territoire des Etats-Unis [2]. La valeur de la production agricole représente moins de 2% du produit intérieur brut américain, mais les produits agricoles constituent près de 5% de la valeur des exportations américaines.

### **1.1. La sensibilité climatique de l'agriculture**

Le changement climatique est susceptible de produire des impacts sur l'ensemble de la chaîne agricole, de la croissance végétale aux conditions de la compétition sur les marchés internationaux.

Les mécanismes principaux gouvernant l'impact du changement climatique sur l'agriculture sont : l'augmentation de la concentration de CO<sub>2</sub> atmosphérique, qui favorise généralement l'activité photosynthétique des plantes et donc les rendements, les changements de température et de précipitations, dont les effets peuvent être positifs ou négatifs. Les effets négatifs peuvent notamment résulter d'un développement végétatif plus rapide et de changements défavorables dans la teneur en eau et en nutriments du sol.

L'effet d'une augmentation de la concentration atmosphérique en CO<sub>2</sub> et des changements climatiques sur les rendements des cultures dépend d'abord des conditions locales. Par exemple, des températures printanières et estivales plus élevées seraient bénéfiques dans des régions aux latitudes septentrionales, puisque la saison végétative serait allongée. Mais, ces températures plus élevées pourraient aussi avoir des effets négatifs sur la maturation des cultures des régions méridionales, où températures estivales et stress hydrique limitaient déjà les rendements des cultures.

La réponse des systèmes agricoles au changement climatique dépend aussi des pratiques agricoles, de la disponibilité des ressources en eau et de l'utilisation des engrais.

La reconnaissance de ces divers facteurs de vulnérabilité et d'incertitude a incité l'administration américaine à établir un état des lieux des impacts du changement climatique sur l'agriculture. Ce travail, confié à un groupe d'universitaires, de chercheurs fédéraux et de représentants du ministère de l'agriculture, a contribué au Rapport d'Evaluation National sur le changement climatique réalisé par l'US Global Change Research Program.

## **1.2. Méthodes et hypothèses de travail**

L'approche utilisée pour évaluer les impacts du changement climatique sur l'agriculture s'est faite en deux étapes. La première étape a été de coupler les prévisions climatiques des modèles atmosphériques aux modélisations des systèmes de culture qui prennent en compte les effets du changement climatique, en particulier, l'augmentation du CO<sub>2</sub> atmosphérique. Les résultats des simulations sur la réponse des cultures ont été ensuite couplés à des modèles économiques afin de voir les conséquences des changements agricoles sur les exploitants et les consommateurs. Ces modèles incluent d'éventuelles stratégies d'adaptation, qui consistent par exemple à modifier le calendrier des travaux agricoles (semis, labour, récolte, etc) selon les variations saisonnières et à sélectionner les variétés de plantes les plus adaptées aux nouvelles conditions climatiques. D'autres stratégies d'adaptation comme le changement de type de cultures ou l'irrigation ont été considérées dans le modèle économique.

### **1.2.1. Modèles climatiques de référence**

Pour réaliser ce rapport, le groupe de travail s'est appuyé sur les prévisions climatiques de deux modèles, l'un développé par le Canadian Center for Climate Modelling and Analysis (partie du Service météorologique du Canada) et l'autre par le Hadley Centre for Climate Change (partie de l'office météorologique du Royaume-Uni).

Alors que les principes physiques à la base de ces modèles sont les mêmes, ceux-ci diffèrent dans la manière de modéliser les effets de processus climatiques majeurs. Ces deux modèles de référence proposent donc des vues différentes du changement climatique.

**En moyenne, sur le XXI<sup>e</sup> siècle, le modèle Canadien projette une augmentation plus importante des températures que le Modèle Hadley qui prévoit en revanche un climat bien plus humide que le modèle Canadien [1].**

Le réchauffement moyen qui est attendu aux Etats-Unis est plus important que la moyenne mondiale projetée sur le XXI<sup>e</sup> siècle. Selon le modèle Canadien, l'augmentation de température moyenne annuelle avoisinerait 5°C d'ici 2100 dans les régions du centre des Etats-Unis. Les caractéristiques des saisons laissent penser que les changements prévus se manifesteront davantage en hiver, notamment la nuit où les températures seront plus douces. Dans le Sud, de fortes augmentations de température sont attendues durant l'été.

Dans le scénario du modèle Hadley, l'Est des Etats-Unis connaîtrait des augmentations de température comprises entre 2 et 3°C d'ici 2100, alors que le reste du pays devrait connaître un réchauffement allant jusqu'à 4°C, en fonction des régions.

Dans le 4<sup>ème</sup> rapport d'évaluation de l'IPCC (2007), tout en exprimant des réserves quant à la fiabilité des projections des précipitations à l'échelle régionale, les scientifiques soulignent les effets potentiels du changement climatique sur l'agriculture. Pour le XXI<sup>e</sup> siècle, le modèle Canadien prévoit une augmentation des précipitations dans le Sud-Ouest et la Californie, tandis que l'Est des Montagnes Rocheuses et la moitié Sud des Etats-Unis recevraient moins de précipitations. Des baisses de la pluviométrie particulièrement importantes sont attendues dans la partie Est du Colorado, dans l'Ouest du Kansas, et sur un arc allant de la Louisiane à la Virginie. Les baisses des précipitations seront aussi marquées dans la région des Grandes Plaines pendant l'été, et à l'Est aux périodes hivernale et estivale. Il devrait aussi pleuvoir davantage dans l'Ouest et le Nord Ouest pendant l'hiver.

Figure 1 : Prévission de température sur les US selon les deux modèles  
(source *Climate Change Impacts on the United States USGCRP, 2000*)

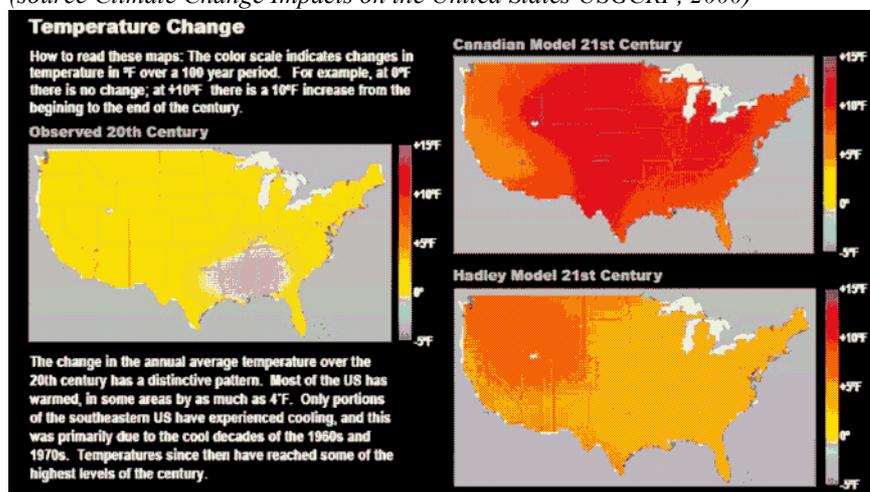
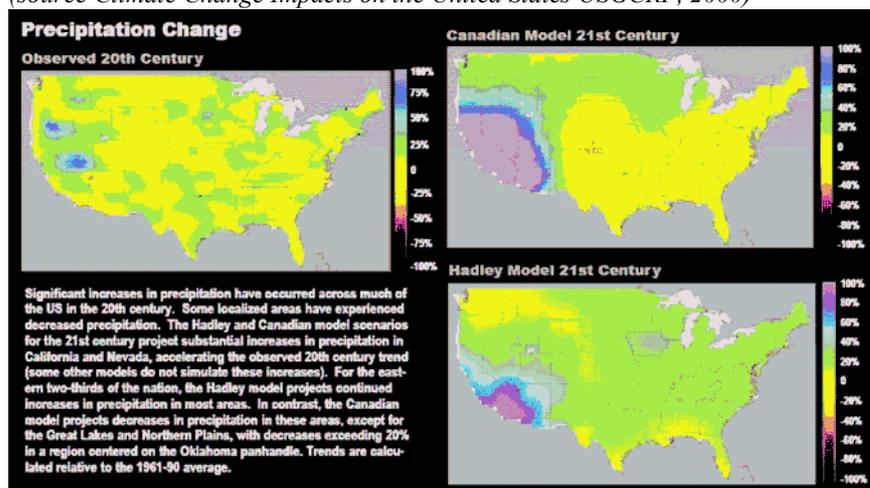


Figure 2 : Prévission de précipitations sur les US selon les deux modèles  
(source *Climate Change Impacts on the United States USGCRP, 2000*)



Dans le modèle Hadley, les augmentations des précipitations les plus importantes auront lieu dans le Sud-Ouest et dans le Sud de la Californie, les augmentations étant moins importantes que dans le modèle Canadien. Le modèle Hadley prévoit que l'ensemble des Etats-Unis sera plus humide, à l'exception de quelques zones limitées sur les côtes du Golfe du Mexique et dans le Nord-Ouest. Les précipitations devraient être plus fréquentes pendant l'été dans la moitié Est des Etats-Unis, le Sud de la Californie et une partie de l'Arizona et du Nevada. L'hiver devrait être plus pluvieux dans tous les Etats, à l'exception des Etats bordant le Golfe du Mexique, le Nord de l'Etat de Washington et l'Idaho.

### **1.2.2. Modèles de culture**

La série de modèles **DSSAT** a été employée pour simuler la réaction du blé, du maïs, de la pomme de terre, du soja, du sorgho, du riz et de la tomate. Le modèle **CENTURY** a été utilisé pour prévoir le développement des prairies et la production de paille. Enfin, le modèle de Ben Mechlia et Carrol [1bis] a été utilisé pour simuler la croissance des agrumes. Des simulations sur plus de 45 sites à travers les Etats-Unis ont été effectuées ; ces sites avaient été sélectionnés préalablement par l'USDA comme représentatifs des principales régions agricoles américaines.

Les modèles utilisés étaient les plus fiables de l'époque. Ils étaient utilisés par les professionnels du milieu agricole pour regarder la réaction des cultures sous les conditions climatiques observées. A l'exception du modèle CENTURY qui marche sur une base mensuelle, tous les autres modèles nécessitaient les caractéristiques climatiques journalières pour fonctionner. Les modèles climatiques ont donc fourni pour chaque jour du XXI<sup>e</sup> siècle l'ensoleillement, les minimum et maximum des températures et les précipitations pour calculer le développement phénologique des plantes, du semis jusqu'à la récolte, la croissance et l'activité photosynthétique, et les concentrations de carbone dans les graines. Tous les modèles disposaient d'une simulation pour le sol qui calculait les mouvements d'eau et d'azote en fonction des pratiques agricoles. Les simulations ont été faites dans deux situations :

- Cultures non irriguées
- Cultures irriguées de manière optimale

La fertilisation a été considérée comme optimale sur tous les sites. La concentration atmosphérique de carbone suivait l'évolution suivante :

- 350 ppm pour la base
- 445 ppm en 2030
- 660 ppm en 2090

Lors de cette étude, des modélisations de cultures ont été utilisées à tous les niveaux (local, régional et national) pour évaluer de manière systématique les impacts du climat sur les rendements et les différentes stratégies d'adaptation des systèmes agricoles

face aux changements potentiels. Les résultats des simulations dépendaient de deux hypothèses qui sont maintenant remises en cause :

- Le sol n'est pas limitant en nutriments,
- Les insectes, pathogènes et mauvaises herbes restent sous contrôle et ne compromettent pas le développement végétal et les rendements. Les effets du changement climatique sur le développement des ravageurs est uniquement pris en compte au travers de coûts accrus liés à la plus grande consommation de pesticides.

Une conséquence importante de ces hypothèses est que la réponse positive des cultures à une concentration élevée en dioxyde de carbone, qui explique entre 1/3 et 1/2 du gain de rendement prévu par les simulations, doit être considérée comme la limite maximale de croissance des cultures. Une autre limite vient s'ajouter à ces résultats. Le modèle est en effet incapable de prendre en compte les effets négatifs d'inondations mineures des cultures. Dans la mesure où le scénario considéré est relativement « humide », les réponses positives de l'étude portant sur les cultures non-irriguées, sous les deux scénarios (Hadley et Canadien), sont à priori surestimées.

### **1.2.3. Modèles économiques**

Ces changements ont été estimés à l'aide du modèle ASM (Agricultural Sector Model) couplé à un modèle de commerce international.

Le modèle ASM a été amélioré jusqu'en 1995 par Lambert *et al.* Conceptuellement, des courbes d'élasticité constante sont utilisées pour représenter la consommation domestique et les demandes d'exportations ainsi que l'offre domestique et les importations. ASM est conçu pour simuler les effets de plusieurs changements dans l'utilisation des ressources agricoles ou des ressources disponibles en fonction des prix agricoles, des quantités produites, de la satisfaction des consommateurs et des producteurs, des exportations, des importations et des transformations agro-alimentaires. En calculant ces effets, le modèle considère la production, la transformation, la consommation domestique, les importations, les exportations, et les bénéfices gagnés.

Le modèle distingue les biens primaires et secondaires : les biens primaires étant ceux directement produits par l'agriculteur et les biens secondaires, ceux qui résultent d'une transformation agro-alimentaire. Dans le modèle ASM, les Etats-Unis sont séparés en 63 sub-divisions géographiques caractérisées par des sols, des pratiques agricoles et des rendements spécifiques. La production agricole est obtenue en relevant les bilans régionaux des cultures et de l'élevage. Les coûts de transformation et de marketing des produits sont ensuite ajoutés.

Dans les résultats de base, les effets climatiques sur les cultures et l'élevage du reste du monde sont considérés comme neutres, ce qui voudrait dire qu'aucun changement climatique n'a été observé dans le reste du monde. Pour tester la sensibilité des résultats à cette hypothèse, trois scénarios différents des impacts climatiques sur l'agriculture dans

le reste du monde ont été utilisés. Ces scénarios ne sont pas aussi précis que les scénarios pris en compte pour les Etats-Unis, mais restent suffisants pour avoir un test satisfaisant de la sensibilité de l'économie américaine aux changements climatiques qui se passent dans le reste du monde.

### **1.3. L'agriculture comme contributeur du changement climatique**

L'agriculture joue un rôle dans les changements de la composition chimique de l'atmosphère. Historiquement, une grande partie du CO<sub>2</sub> atmosphérique a été émis lors de la déforestation des terres arables.

Des études de l'US Geological Survey ont montré que les sols de la région des Grandes Plaines ont perdu jusqu'à 64% du carbone qui les composaient à l'origine. Actuellement, les études estiment que l'agriculture contribue à 1/5 de l'augmentation des émissions annuelles de gaz d'origine anthropique [2].

Les principaux gaz émis par l'agriculture sont le CO<sub>2</sub> et le NO<sub>2</sub> représentant 50% et 70% des émissions humaines. Tout comme le CO<sub>2</sub>, la concentration de NO<sub>2</sub> atmosphérique a doublé en 200 ans. Le NO<sub>2</sub> est naturellement émis par les sols, mais le rythme d'émission a largement augmenté depuis le développement massif de la fertilisation azotée chimique ou organique, ou à travers la fixation de l'azote atmosphérique par les nodosités des légumineuses. Le NO<sub>2</sub> des sols agricoles représente environ l'équivalent de 25% de tous les gaz à effet de serre autre que le CO<sub>2</sub> émis par l'homme aux Etats-Unis [2].

## **2. Les conclusions du rapport d'évaluation de 2001**

L'étude de 2001 aboutit à une conclusion principale :

Il est fort probable que les changements climatiques et les niveaux de dioxyde de carbone atmosphérique, définis par les scénarios pris en compte par l'état des lieux de 2001, ne représenteront pas de menace sur la production agricole américaine du XXI<sup>e</sup> siècle [1].

Au niveau national, le rapport prévoit que la productivité de la plupart des cultures augmentera. Les cultures qui présentent généralement des effets positifs comprennent le coton, le maïs (production céréalière et ensilage), le soja, le sorgho, l'orge, la betterave à sucre, et les agrumes. Des effets positifs seraient également enregistrés sur la productivité des pâturages. Pour les autres cultures dont le blé, le riz, l'avoine, la paille, la canne à sucre, les pommes de terre, et les tomates, les projections sur les rendements restent plus variables avec des effets positifs et négatifs selon les cas.

Les régions agricoles des Etats-Unis ne sont pas touchées au même degré et de la même manière par les climats simulés dans les différents scénarios. La tendance générale indique plutôt que les régions du Nord seront favorisées par le changement climatique. Le « Midwest » (surtout dans la moitié Nord), l'Ouest, et le Pacifique Nord-Ouest montrent

des gains importants sur les rendements de la plupart des cultures pour la période 2030-2090 et selon les deux scénarios climatiques principaux (Hadley et Canadien).

Pour les autres régions, l'effet sur la production agricole diffère selon la période et le scénario climatique. Une baisse des rendements menace plusieurs endroits, en particulier le Sud et la région des Grandes Plaines où les précipitations sont censées diminuer et la température augmenter.

Au niveau national, les modélisations utilisées ont établi que les besoins en eau de l'agriculture irriguée baisseraient de 5 à 10 % environ en 2030 et de 30 à 40 % en 2090 sous les deux scénarios climatiques. Cette baisse de la consommation en eau serait en outre obtenue sans adaptation préalable de l'agriculture qui profiterait de l'augmentation des précipitations et du raccourcissement de la période végétative.

Le revenu des producteurs est menacé de baisser de plus de 13%, soit une perte estimée à 4,5 milliards de dollars (valeur de 2000), alors que les économies réalisées auprès des consommateurs sont censées atteindre entre 3 et 6 milliards de dollars. Cela ne représente en revanche qu'une baisse de 1% sur l'achat des produits alimentaires. Sous le scénario Hadley, le revenu des agriculteurs baisserait de 3 milliards de dollars (10%) alors que les consommateurs économiseraient entre 9 et 12 milliards de dollars (1%). La différence majeure dans les résultats de ces deux simulations repose sur le fait que, sous le modèle Hadley, les rendements prévus sont supérieurs à ceux prévus par le modèle Canadien. Il en résulte, que les prix agricoles baissent pour le modèle Hadley, où les rendements sont meilleurs.

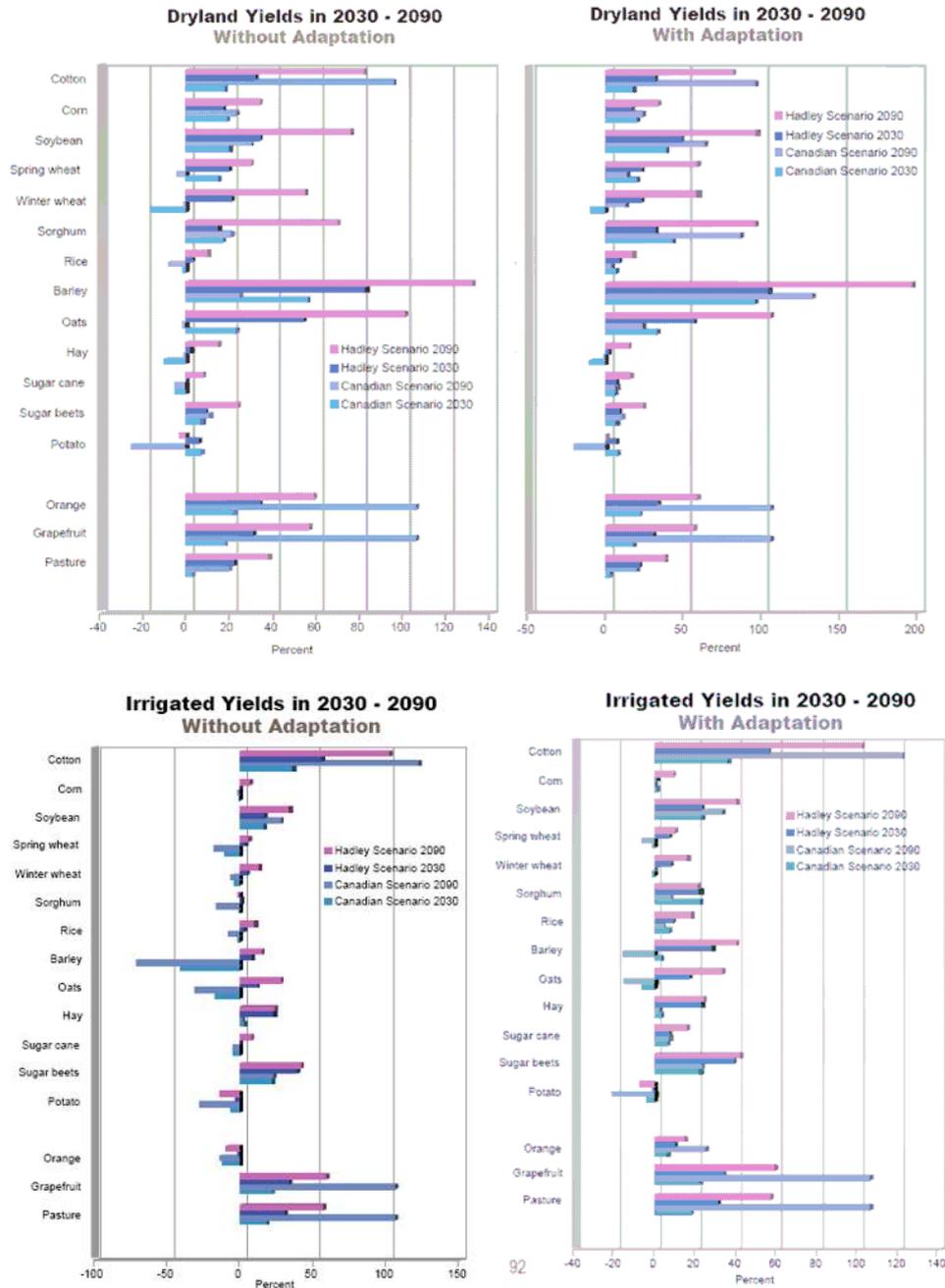
### **2.1. Impacts du changement climatique sur les rendements**

Les simulations prenaient en compte les pratiques agricoles habituelles de chaque site, avec en plus, différentes techniques d'adaptation. Par exemple, le semis a été simulé plus tôt dans les régions du Nord, et les variétés considérées étaient mieux adaptées aux conditions plus chaudes. En général, les semis précoces étaient envisagés pour les cultures de printemps pour éviter la chaleur et le stress hydrique des derniers mois de l'été, tout en bénéficiant des conditions plus chaudes du printemps. Des nouvelles variétés ont été testées pour les cultures d'hiver comme le blé afin de repousser l'arrivée à maturité pour bénéficier des périodes de croissance plus longues.

Les simulations sur les modèles ont montré que les cultures de blé, riz, orge, avoine, pomme de terre et la plupart des légumineuses répondaient favorablement à l'augmentation de CO <sub>2</sub> . Une fois la concentration initiale doublée, les rendements de ces cultures augmentent de 15 à 20% [1]. Les autres cultures parmi lesquelles on trouve le maïs, le sorgho, la canne à sucre et les plantes tropicales ont été moins sensibles à l'augmentation du CO <sub>2</sub> . Leurs rendements n'ont augmenté que de 5% avec le doublement de la concentration de CO <sub>2</sub> [1].
--

Les modélisations de cultures ont été utilisées à toutes les échelles (locale, régionale et nationale) pour simuler de manière concrète les impacts du changement climatique sur l'agriculture américaine

Figure 3 : Estimation de l'évolution des rendements de différentes cultures sur terres non-irriguées et irriguées, avec adaptation et sans adaptation  
*Climate Change Impacts on the U.S, 2001*



**Blé d'hiver :** même avec adaptation, les cultures non irriguées de blé perdent 9% du rendement en 2030 avec le modèle Canadien. Les adaptations permettent de compenser la baisse de productivité dans les plaines du Nord, mais pas dans le Sud où les pertes sont directement dues à la diminution des précipitations.

Avec le modèle Hadley, les rendements augmentent en moyenne de 23% pour la période 2030. La production de blé non irrigué augmente dans les deux scénarios climatiques pour la période 2090 avec jusqu'à 59% de gain pour le scénario Hadley.

La production de blé irrigué augmente sous les deux scénarios de 16% en moyenne d'ici la fin du XXI<sup>e</sup> siècle. Les adaptations expliquent en partie les augmentations de rendement prévues.

**Blé de printemps :** la production non irriguée de blé de printemps augmente sous les deux scénarios, avec ou sans stratégie d'adaptation. Le semis plus précoce et la sélection permettent d'améliorer les rendements en 2090, sous les deux scénarios, et jusqu'à plus de 59% sous le scénario Hadley.

Pour les cultures irriguées, les rendements baisseraient légèrement sous le scénario Canadien et augmenteraient légèrement sous le scénario Hadley.

**Maïs :** les cultures non irriguées de maïs ont des rendements croissants sous les deux scénarios qui prévoient des précipitations plus importantes sur la plupart des sites. La production augmenterait dans la « Corn Belt » de 15 à 40% d'ici la fin du XXI<sup>e</sup> siècle. Les gains de rendement seront encore plus importants au Nord de la région des Grandes Plaines et de la région des Lacs, où les températures plus chaudes favorisaient les cultures.

En ce qui concerne les cultures de maïs irriguées, le changement climatique ne semble pas avoir d'effet sur les rendements.

**Pomme de terre :** la production de pomme de terre baissera dans chaque site analysé. Une grande partie de la production basée au Nord des Etats-Unis est peu affectée par le changement climatique (faibles gains ou faibles pertes enregistrées selon les sites). Mais, en dehors de cette partie, la production chute jusqu'à 50% des niveaux actuels. Ce résultat négatif est expliqué par la faible efficacité des adaptations. En effet, l'augmentation des températures à l'automne et en hiver affecte négativement le développement des tubercules.

L'adaptation des dates de semis au changement climatique permet sur certains sites seulement de limiter les pertes.

**Agrumes :** Sous les deux scénarios, la production est largement favorisée par l'augmentation des températures. Les rendements augmenteront dans une fourchette de 60 à 100% alors que les besoins en eau diminueront. Les pertes de production dues au gelées tardives diminuent de 65% en 2030 et de 80% d'ici 2090.

**Soja :** la production de soja augmente sur la plupart des sites étudiés avec des gains compris entre 20 et 40% dans les zones principales de culture de soja. Les augmentations de rendement ont lieu dans les régions du Nord où les températures actuelles assez faibles limitent le développement de cette plante. Sous le scénario Canadien, les régions situées au Sud connaîtront d'importantes baisses de productivité. Ces pertes sont limitées par la sélection de variétés mieux adaptées aux futures conditions.

**Sorgho :** Les deux modèles climatiques prévoient des précipitations plus importantes sur les zones de culture du sorgho. En prenant en compte les adaptations, les rendements des

cultures non irriguées de sorgho augmentent sous les deux scénarios. La prévision de températures plus chaudes dans les régions du Nord renforce la tendance. À l'opposé, les cultures irriguées de sorgho sont touchées négativement par le changement climatique. Sans adaptation, le développement du sorgho irrigué, est affecté par l'augmentation des températures.

**Riz :** La production de riz augmente légèrement (de 1 à 10%) sous le scénario Hadley. Le scénario Canadien prévoit que la production de riz baisse de 10 à 20% par rapport aux niveaux actuels en Californie et dans la région du Delta du Mississippi.

**Tomate :** Sans adaptation, la production de tomates irriguées baisse sur presque tous les sites à cause des températures trop élevées. Quelques exceptions existent dans les régions les plus au Nord, où la production était limitée par les températures trop basses. Les réductions sont de l'ordre de 10 à 15% sous les conditions du modèle Canadien. Sous le modèle Hadley, les pertes sont estimées autour de 5%. Les stratégies d'adaptation seront relativement efficaces sous les deux scénarios.

## **2.2. Influence de l'irrigation**

*Culture non irriguées :* de manière générale, les rendements augmentent en 2030 et la tendance s'amplifie en 2090. En résumé, des résultats positifs ont été observés pour le coton, le maïs (grain et ensilage), le soja, le sorgho, l'orge, les betteraves à sucre, et les agrumes. En revanche, des résultats un peu plus partagés ont été trouvés pour le blé, le riz, l'avoine, le sorgho, le foin, la canne à sucre, et les pommes de terre, où en fonction des conditions, les rendements augmentaient ou baissaient [1].

*Cultures irriguées :* le changement climatique a souvent un impact plus négatif ou moins positif que pour les cultures non-irriguées, surtout lorsqu'il s'agit de céréales [1].

Cela reflète le fait que les scénarios climatiques s'appuient sur des hausses considérables des précipitations. Ces augmentations de précipitations n'améliorent pas les conditions des cultures irriguées qui, par définition, ne connaissent pas de stress hydrique. Les températures plus chaudes accélèrent la croissance du végétal et le développement des graines, ce qui donne au final des graines moins grosses. Pour les cultures non-irriguées, qui ne sont pas situées dans les mêmes régions que les cultures irriguées, les effets positifs des précipitations et de la concentration en CO<sub>2</sub> rééquilibrent l'impact négatif des températures élevées.

Le changement climatique n'affectera pas les régions américaines de la même manière. Globalement, le Midwest (surtout les régions du Nord), l'Ouest et le Nord-Ouest Pacifique subissent des effets positifs sous les deux scénarios, et les deux périodes de temps : 2030 et 2090 [1]. Les rendements dans les autres régions restent plus partagés en fonction des scénarios, de la période de temps considérée et des cultures. Par exemple, la région du Sud-Est connaît de larges bénéfices sous le scénario Hadley en 2030 et en 2090, alors que ces prévisions ont nettement revues à la baisse sous le scénario Canadien. La production d'agrumes est favorisée jusqu'en 2030 et chute dramatiquement en 2090.

Les cultures de soja non-irriguées perdent entre 10 et 30 % de rendement d'ici 2030 et plus de 80% en 2090. Enfin, les cultures de riz connaissent un ralentissement de l'ordre de 5-10% en 2030 et 2090.

Le changement climatique est aussi caractérisé par des impacts inégaux, même à l'intérieur des régions [3]. Ainsi, dans le Midwest, les parties Sud des Etats de l'Ohio, de l'Indiana et de l'Illinois connaissent des baisses de rendement de maïs et de faibles variations dans la production de blé et de soja. Alors que les Etats situés un peu plus au Nord (Wisconsin, Michigan) connaissent d'importants effets positifs, surtout pour les cultures de soja dont les rendements augmenteraient le plus.

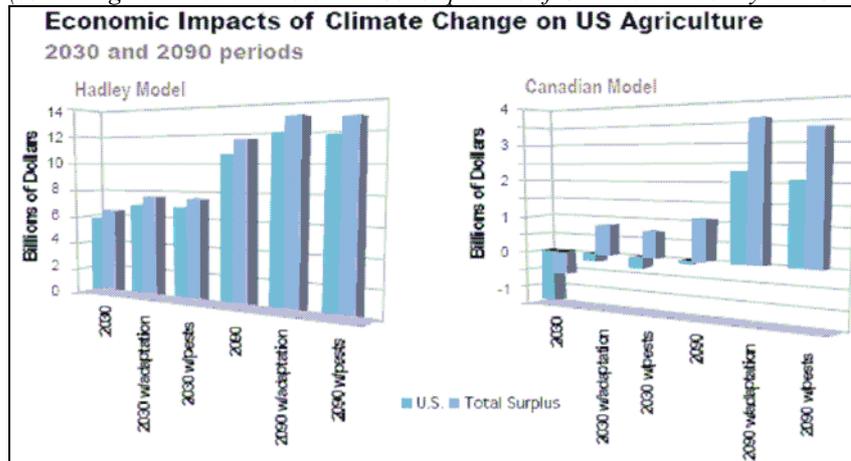
### **2.3. Impacts économiques**

La viabilité et la compétitivité des exploitations sont les principaux soucis des producteurs américains qui essaient de préserver leurs marges, alors que le prix des biens alimentaires a baissé de 2/3 en 50 ans. Parallèlement, la productivité agricole a augmenté de 1% par an en moyenne depuis 1950, ce qui a eu pour conséquence la chute à la fois des prix de vente et des coûts de production. Cette tendance maintient une forte pression sur les producteurs individuels pour continuer à augmenter la productivité de leur exploitation et à réduire les coûts de production. Le secteur agricole américain, fortement dépendant des politiques publiques américaines et de la conjoncture du marché mondial des subsistances, est particulièrement vulnérable aux changements de climat.

Les résultats pour les productions agricoles ont été combinés avec les impacts sur l'alimentation en eau, l'élevage, l'utilisation des pesticides, et les changements au niveau de la production internationale pour estimer les impacts sur l'économie américaine. Cela a permis aussi l'estimation des changements régionaux dans la production et l'utilisation des ressources naturelles en réponse aux impacts du changement climatique et de la nouvelle distribution des avantages comparatifs régionaux.

**Figure 4 : Climate Change Impacts on the U.S., 2001**

*(source Agriculture: The Potential Consequences of Climate Variability and Change, 2001)*



L'effet économique du changement climatique sur l'économie américaine est globalement positif reflétant les gains faits sur les rendements. Il y a cependant quelques exceptions à ce bilan positif sous le scénario Canadien, en 2030, surtout en l'absence d'adaptation [1].

Les importateurs de produits agricoles américains sont gagnants dans tous les cas, puisque quelque soit le scénario climatique envisagé, le prix des biens agricoles exportés baissera.

L'effet total (effet sur les producteurs, les consommateurs, et les importateurs de produits américains) est estimé entre 0,5 milliards de pertes à 12,5 milliards de dollars de bénéfices.

Selon différents scénarios des effets du changement climatique sur l'agriculture du reste du monde n'ont pas changé véritablement les impacts sur l'agriculture des Etats-Unis [1]. En réalité, les changements ont été répartis entre producteurs et consommateurs. Les pourcentages de distribution dépendent de l'effet sur le marché mondial. Une baisse des prix augmente la perte des producteurs et favorise les consommateurs. Une hausse des prix réduit la perte des producteurs et le bénéfice des consommateurs.

Les projections concernant la production de l'élevage et les prix sont plus partagées. L'augmentation des températures réduit directement la productivité, mais les gains au niveau des pâturages et de l'alimentation animale (prix agricoles à la baisse) compensent ces pertes. Les sommes des changements régionaux de production agricole sont positives pour chaque région en 2030 et 2090, sous les scénarios du modèle Hadley. Les mesures d'adaptations apportent de faibles gains supplémentaires. A l'inverse, les sommes des changements régionaux au niveau de la production agricole sont différentes sous le modèle Canadien pour les périodes 2030 et 2090. L'effet est d'abord positif pour la plupart des régions au Nord. Il est partagé pour les régions Nord des Grandes Plaines, et négatif pour les Appalaches, le Sud-Est, le delta du Mississippi, et le Sud de la région des Grandes Plaines. Si l'adaptation est très efficace dans ces zones, les productions cumulées des régions du Sud baissent en 2030 et 2090.

#### **2.4. Impacts sur les ressources naturelles et l'environnement**

La pression agricole sur le territoire et ses ressources s'affaiblit sous les deux scénarios climatiques au cours du XXI<sup>e</sup>. La surface des terres cultivées baisse de 5 à 10% alors que les prairies et les pâturages baissent de 10 à 15% [1].

La consommation de pâturage des ruminants baisse aussi sous les deux scénarios. Sous le modèle Canadien, une baisse de 10 % est attendue, alors que sous le modèle Hadley, cette consommation baisserait de 5 à 10%.

Sous les deux scénarios, la demande en eau de l'agriculture irriguée devrait baisser de 5 à 10% d'ici 2030 et de 30 à 40% d'ici 2090 [1]. Deux facteurs principaux expliquent ce résultat. Le premier est simplement une augmentation des précipitations dans certaines régions où l'agriculture est irriguée. Le deuxième est l'élévation des températures qui

accélère la période de croissance des végétaux et qui concentre donc dans le temps la consommation d'eau. Cette baisse de l'utilisation de l'eau permet de compenser les pertes d'eau plus importantes dues à l'activité d'évapotranspiration des plantes et d'évaporation du sol. En effet, ce phénomène s'amplifie pour « refroidir » les plantes exposées à des températures plus élevées.

La qualité des eaux superficielles est aussi une des préoccupations principales de l'administration américaine. Une simulation a été menée sur la Baie de Chesapeake afin d'anticiper les impacts du changement climatique sur les écoulements d'azote dans les eaux de surface. La Baie de Chesapeake est l'une des ressources naturelles les plus précieuses des Etats-Unis, mais a été sérieusement dégradée ces dernières années. L'érosion des sols et les effluents des élevages ont joué un rôle majeur dans la dégradation de la baie. Par exemple, sous les deux scénarios climatiques, les fuites d'azote venant des cultures de maïs augmenteront entre 17 et 31% par rapport au phénomène constaté aujourd'hui [1]. Mais ceci apparaît comme le sommet de l'iceberg puisque les modèles climatiques prennent mal en compte les extrêmes climatiques comme les inondations et les tempêtes qui entraînent le lessivage de grandes quantités de fertilisants, de pesticides et de fumier dans les eaux de surface (*entretien John FOLEY*).

Le changement climatique favorise l'expansion et le développement des ravageurs. Sous les deux scénarios, la plupart des cultures nécessiteront des traitements plus lourds et donc plus polluants. Les faibles connaissances sur le sujet prévoient au minimum, une augmentation des traitements phytosanitaires de 10 à 20% pour le maïs, de 5 à 15% pour les pommes de terre et de 2 à 5% pour le coton et le soja. Les résultats varient beaucoup pour le blé où, selon la région et le scénario climatique, les besoins peuvent aller de -15% à +15%.

Cette augmentation de l'utilisation des produits phytosanitaires ne garantit pas que les ravageurs seront contrôlés et surtout que l'environnement sera épargné [3]. Les ravageurs développent des résistances aux méthodes de contrôle actuelles, ce qui nécessite une évolution constante des techniques. Or, dans un contexte de baisse des prix agricoles, il n'est pas forcément évident que les compagnies investissent les sommes nécessaires à ces objectifs (*entretien Stephen LONG et William KIRK*).

Des estimations basiques prévoient que l'augmentation de l'utilisation des pesticides aura un impact très faible sur l'économie agricole. Ce qui est expliqué par la part minimale de ces produits dans les coûts de production. Enfin le rapport n'a pas pris en compte de pertes de production dues à l'action des ravageurs car il considère que les traitements des cultures seront 100% efficaces.

## **2.5. Impacts de la variabilité climatique**

Les impacts globalement neutres du changement climatique sur l'agriculture américaine risquent d'être sérieusement compromis par les changements de la variabilité et des extrêmes climatiques [1].
---

Les systèmes agricoles sont très vulnérables aux extrêmes climatiques dont les impacts varient selon la région, la nature et l'état des sols, les systèmes de production et beaucoup d'autres facteurs. Des changements dans le type de précipitation (pluie, neige, grêle), la durée, la fréquence et l'intensité, ajoutés aux changements des vents (tempête, tornade, cyclone) peuvent avoir des conséquences dramatiques sur l'agriculture. De fortes précipitations peuvent causer des phénomènes d'érosion, de mares, des ruissellements de lisier, de pesticides, d'engrais et d'autres produits chimiques qui aboutissent dans les eaux souterraines et superficielles. Alors que tous les phénomènes ne sont pas encore totalement compris, la seule certitude est la grande sensibilité des agro-écosystèmes aux extrêmes climatiques (*entretien John FOLEY*). Les coûts d'adaptation à de tels changements augmenteront si le climat change rapidement, même si des manifestations claires et précoces d'un changement rapide aideraient à anticiper les conséquences.

Une des sources principales de la variabilité du climat sur le continent américain est le phénomène El Nino/Southern Oscillation (ENSO).

## **2.6. Limites des stratégies d'adaptation**

Les adaptations (ajustement du calendrier agricole et choix des variétés) peuvent réellement contribuer à la limitation des impacts négatifs du changement climatique. C'est dans le Sud-Est que ces mesures d'adaptation vont être cruciales pour tenter de limiter les impacts du manque d'eau et des températures trop élevées [1].

Il est aussi important de sélectionner des variétés capables de bénéficier au maximum de l'effet fertilisant de la concentration élevée de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. Pour l'instant, trop peu de travaux de sélection ont été effectués pour mettre en valeur cette caractéristique. Mais, il est souvent difficile de travailler sur un seul gène à la fois, sans prendre en compte les interactions qu'il y a avec les autres gènes de la plante. Sélectionner les plantes en fonction de leur résistance au stress climatique est une pratique très courante, et l'expérience montre que les plantes les plus performantes en conditions normales, sont aussi les plus productives en condition de stress (*entretien Lisa AINSWORTH*). Ce qui explique pourquoi sélectionner des variétés pour des conditions climatiques spécifiques est généralement un échec.

Certaines adaptations au changement climatique et ses impacts peuvent avoir des effets secondaires négatifs [4]. Par exemple, l'utilisation plus intensive de pesticides pour prévenir l'action des ravageurs est une adaptation envisagée mais le risque d'infiltration de ces produits chimiques dans des prairies, des réserves d'eau souterraines ou des eaux de surface, peut menacer sérieusement l'alimentation en eau potable de la région.

Les technologies et les méthodes de gestion existent pour augmenter l'efficacité de l'irrigation, et pour limiter les problèmes de dégradation des sols. Mais, dans la plupart des cas, les incitations pour réduire les pratiques polluantes n'existent pas aux Etats-Unis. L'augmentation des précipitations en intensité et en fréquence signifie que certaines régions nécessiteront des systèmes de drainage extrêmement efficace pour éviter les inondations et la saturation en eau des sols [4].

Les grandes incertitudes des scénarios du changement climatique, les variations régionales des effets du climat, les interactions avec l'environnement, l'économie et les politiques agricoles laissent penser qu'il n'y a pas d'adaptation type. Les agriculteurs américains devront s'adapter à des changements de grande ampleur dont le changement climatique n'est qu'un facteur (*entretien John FOLEY*).

### **3. Recherches sur le changement climatique et l'agriculture à l'ARS**

Depuis la publication du rapport d'évaluation nationale des effets du changement climatique en 2000-2001, les résultats des projections n'ont pas été officiellement actualisés, malgré l'obligation de produire un nouveau rapport en 2004 (<http://www.gao.gov/new.items/d05338r.pdf>). Le Climate Change Science Program, fusion de l'US Global Change Research Program et de la Climate Change Research Initiative en 2002, doit produire une série de 21 rapports de synthèse et d'évaluation, dont un seul est finalisé. Un des rapports, portant sur l'agriculture et le changement climatique, devrait être disponible en décembre 2007.

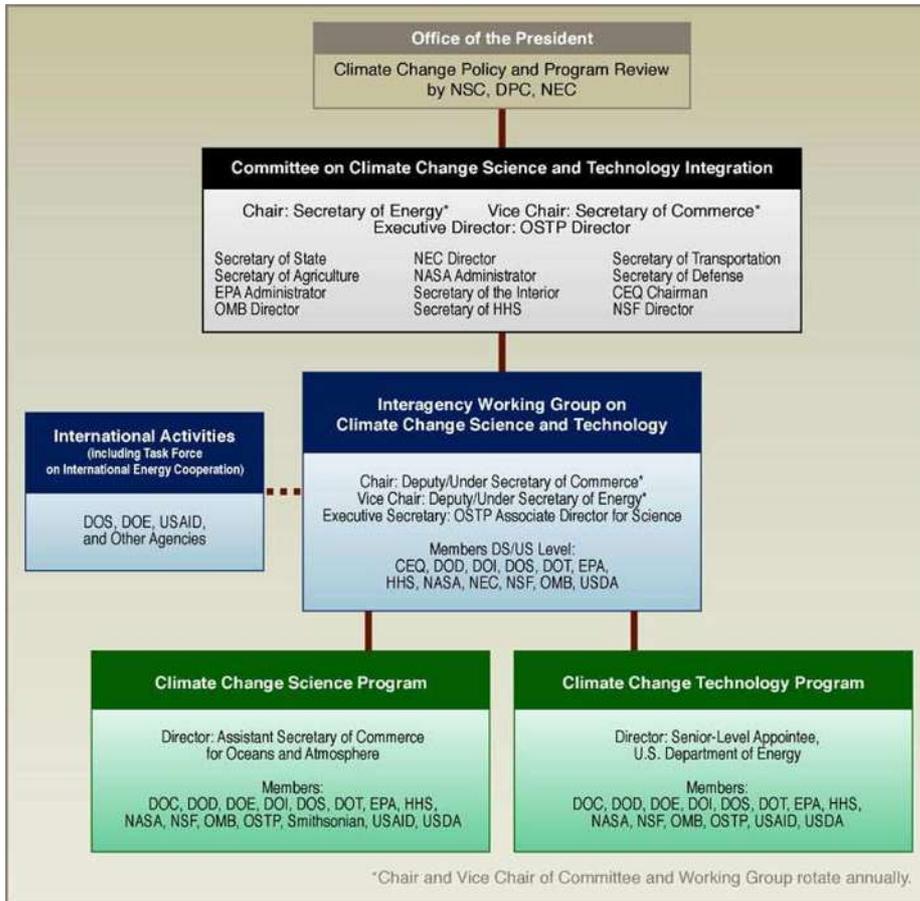
#### **3.1. Le rôle de l'ARS**

Les recherches sur les impacts du changement climatique sur l'agriculture se poursuivent néanmoins, notamment sous l'égide de l'Agricultural Research Service (Département de l'Agriculture). Nous en présentons quelques éléments dans ce chapitre.

L'A.R.S (Agriculture Research Service), service de recherche du département de l'agriculture américain (U.S.D.A), équivalent de l'INRA en France, conduit un plan stratégique national intitulé « Changement global » puisque l'agriculture est sensible aux changements environnementaux et qu'elle peut être l'une des sources d'émission des gaz à effet de serre, responsables du changement climatique. Il est clair depuis longtemps que des changements climatiques ponctuels à une échelle régionale, comme des sécheresses saisonnières ou des gelées tardives, sont les premières causes de variation des rendements agricoles, végétaux et animaux. L'A.R.S s'est donc fixé, dès 1990, la mission d'évaluer dans quelle mesure l'agriculture et les différents écosystèmes seront affectés par ces changements globaux qui interviendront sur une grande échelle de temps [5].

Le travail de l'A.R.S est coordonné par le « Climate Change Science Program », organisme créé spécifiquement pour encadrer les recherches dans tous les domaines concernant le changement climatique.

Figure : organisation des programmes de recherche et de technologie sur le changement climatique aux Etats-Unis  
(source : US Global Change Research Program)



### 3.1.1. Quatre axes prioritaires

Le programme national de l'USDA (plan d'action) s'intéresse plus particulièrement à quatre aspects du changement climatique [5].

- 1) Cycle du carbone et séquestration du carbone
- 2) Gaz traces
- 3) Impacts sur les écosystèmes agricoles
- 4) Changements météorologiques et cycle de l'eau, de l'échelle de l'exploitation à l'échelle régionale

Tous ces aspects peuvent sensiblement affecter le rendement agricole et ne sont pas abordés par d'autres organismes de recherche. D'autres changements environnementaux sont aussi pris en compte par ce programme de recherche comme la dégradation de la couche d'ozone qui est à l'origine de l'augmentation du rayonnement ultra-violet B, la baisse de la biodiversité et la déforestation. La dégradation des terres est aussi prise en compte comme un changement environnemental. Ces aspects du changement climatique, sont étudiés dans trois programmes spécialisés dans les systèmes de production :

- **Production animale et végétale**
- **Systèmes de production céréaliers**
- **Systèmes agricoles intégrés**

Et dans quatre programmes environnementaux nationaux :

- **Qualité de l'air**
- **Gestion et qualité de l'eau**
- **Gestion des sols**
- **Prairie, pâturage et fourrage**

### **3.1.2. Organisation des recherches**

Le premier congrès organisé par l'A.R.S pour traiter spécifiquement de la problématique du changement climatique a été tenu en 1999 à Baltimore et s'intitulait « Domaines d'études de la séquestration du carbone dans le cadre du programme national du changement climatique » (*Global Change Research Program Carbon Cycle Initiative*). Cette première rencontre a réuni une cinquantaine de personnes parmi lesquelles se trouvaient des producteurs, des représentants de l'industrie agro-alimentaire, des représentants d'ONG, des scientifiques des universités et de l'A.R.S. Les premières discussions ont été lancées sur les problèmes et opportunités de séquestrer du carbone. Le congrès suivant fut tenu à Denver 6 mois plus tard et rassemblait déjà plus de 120 personnes pour discuter des priorités de la recherche.

Les quatre domaines principaux cités précédemment avant ont ainsi été déterminés dans le but de répondre de façon globale et structurée à toutes les interrogations posées sur le thème changement climatique et agriculture. Quatre groupes de réflexion ont été nommés afin de définir et délimiter chaque thème de recherche et de formuler les questions sous-jacentes. Chaque thème a été divisé entre 3 et 8 parties pour répondre aux préoccupations des principaux acteurs concernés par les impacts du changement climatique dans le domaine agricole. Des groupes de travail comprenant aussi bien des chercheurs de l'ARS que des personnes extérieures ont été ensuite nommés pour faire le bilan des connaissances, des lacunes, et des objectifs concernant chaque partie. À partir de ces synthèses les responsables de l'ARS ont réparti dans les différents centres de l'A.R.S les programmes de recherche adéquats. Une matrice de la recherche sur le changement climatique a été créée et est utilisée pour identifier rapidement les besoins de recherche supplémentaire. À chaque programme de recherche a été affectée une équipe de recherche chargée en premier lieu de clarifier le déroulement des travaux.

Tableau : Distribution des thèmes de recherche en fonction des sites de l'A.R.S :

<b>Etat</b>	<b>Ville</b>	<b>Cycle et séquestration du carbone</b>	<b>Suivi des gaz à effet de serre</b>	<b>Impacts sur les écosystèmes agricoles</b>	<b>Changements climatiques et hydriques</b>
AR	Booneville	<b>X</b>			
AL	Auburn	<b>X</b>	<b>X</b>		
AZ	Phoenix	<b>X</b>	<b>X</b>		

AZ	Tucson	<b>X</b>			<b>X</b>
CA	Fresno	<b>X</b>			
CA	Riverside	<b>X</b>			
CO	Akron	<b>X</b>			
CO	Ft. Collins	<b>X</b>	<b>X</b>		<b>X</b>
FL	Gainesville	<b>X</b>			
GA	Tifton	<b>X</b>			<b>X</b>
GA	Watkinsville	<b>X</b>			
IA	Ames	<b>X</b>	<b>X</b>		
ID	Boise				<b>X</b>
ID	Kimberly	<b>X</b>			
IL	Champaign	<b>X</b>			
IN	West Lafayette	<b>X</b>			
MD	Beltsville	<b>X</b>	<b>X</b>		<b>X</b>
ME	Orono	<b>X</b>			
MN	Morris	<b>X</b>	<b>X</b>		
MN	St. Paul	<b>X</b>			
MO	Columbia	<b>X</b>			
MS	Oxford	<b>X</b>			<b>X</b>
MS	Stoneville	<b>X</b>			
MT	Miles City	<b>X</b>			
MT	Sidney	<b>X</b>			
ND	Mandan	<b>X</b>			
NE	Lincoln	<b>X</b>	<b>X</b>		
NM	Jornada	<b>X</b>		<b>X</b>	
NM	Las Cruces				<b>X</b>
OH	Columbus	<b>X</b>			
OH	Coshocton	<b>X</b>			<b>X</b>
OK	El Reno	<b>X</b>			<b>X</b>
OK	Woodward	<b>X</b>			
OR	Corvallis	<b>X</b>			
OR	Pendleton	<b>X</b>			
PA	University Park	<b>X</b>		<b>X</b>	
SC	Florence	<b>X</b>	<b>X</b>		
SD	Brookings	<b>X</b>			

TX	Bushland	X	X		
TX	Temple	X		X	X
TX	Weslaco	X			
WA	Prosser	X			
WA	Pullman	X	X	X	
WV	Beaver	X			
WY	Cheyenne	X			

### **3.2. Description des axes de recherche**

#### ***3.2.1. Recherches sur le cycle du carbone et sa séquestration***

Le but de ces recherches est d'acquies les données pour comprendre de manière approfondie le rôle que joue actuellement et que pourra jouer l'agriculture dans le cycle général du carbone.

Suite aux pratiques agricoles traditionnelles (labour conventionnel, champs laissés sans couvert végétal après les récoltes) une grande partie des sols américains sont en déficit de carbone et représentent donc un réservoir potentiel significatif pour diminuer l'augmentation prévue de la concentration de carbone atmosphérique. L'A.R.S a montré que le passage du labour traditionnel à une pratique de labour réduit, voire de non-labour, permet de convertir les sols d'un statut d'émetteur de gaz à effet de serre au statut de potentiels réservoirs de carbone.

Des recherches récentes viennent en outre de confirmer le bilan encourageant du programme de protection de l'environnement mené sur tout le territoire américain (Conservation Reserve Program; <http://www.whitehouse.gov/omb/expectmore/summary/10003008.2005.html>). Ainsi, l'initiative de replanter plus de 17 millions d'hectares d'herbes sauvages (initialement présente sur presque tout le territoire américain) permet de séquestrer dans le sol plus de 500 kg de carbone supplémentaire par an par hectare [6].

L'ARS étudie également les interactions entre les pratiques agricoles favorisant la séquestration du carbone et les autres facteurs du sol agissant sur les rendements ou la profitabilité, tels la température, le niveau hydrique et le cycle des nutriments.

L'A.R.S cherche en priorité à comprendre la dynamique de la séquestration du carbone [5]. La quantité de carbone séquestré dans le sol est déterminée par la balance de deux processus :

- La production de matière organique par la végétation (photosynthèse)
- La décomposition de la matière organique (ou « respiration ») par les micro-organismes du sol

Les estimations indiquent que chaque année aux Etats-Unis, environ 1,3 milliard de tonnes de carbone est capté de l'atmosphère sous forme de CO<sub>2</sub> fixé par les plantes au

cours de leur activité photosynthétique (*Global Change Research Program Carbon Cycle Initiative*). Par ailleurs, une partie du carbone fixée par les cultures passe dans le sol, mais il reste encore impossible d'évaluer précisément la capacité des sols à stocker ce carbone : la durée pendant laquelle le carbone peut être stocké dans le sol, et la cadence à laquelle les stocks de carbone peuvent être constitués. Le débat porte actuellement sur la capacité des sols à stocker du carbone tout en gardant un rendement important [6]. Si 5-15 % de la production de plantes non comestibles cultivées sur le sol américain était stockée dans le sol sous forme de carbone organique, la séquestration annuelle de carbone pourrait atteindre 70 à 200 millions de tonnes (*Global Change Research Program Carbon Cycle Initiative*)! Ces chiffres représentent une quantité de carbone très significative, qui correspond au total du carbone émis par l'agriculture, voire plus.

L'administration américaine est donc persuadée que l'agriculture va jouer un rôle très important dans la lutte contre les effets du changement climatique.

### **3.2.2. Recherches sur le suivi des gaz à effet de serre**

Les recherches conduites dans les dernières années ont permis d'évaluer plus précisément la contribution de l'agriculture aux émissions de gaz à effet de serre. Ainsi le milieu agricole est maintenant conscient de l'importance du régime alimentaire des ruminants sur le dégagement de méthane [6]. Une partie de la recherche agronomique américaine s'intéresse donc à l'élaboration de plantes (pâturages ou fourrages) disposant des propriétés optimales pour la digestion des ruminants. Dans la gestion des déchets agricoles, la recherche a montré que le stockage à sec du fumier permettait de réduire considérablement le dégagement de méthane émis par le fumier humide [6]. Le problème actuel reste le coût de ce stockage et de la préparation du fumier déshydraté. L'A.R.S espère arriver rapidement à concilier les deux contraintes économique et environnementale.

Une meilleure utilisation des ressources naturelles est aussi l'une des priorités du programme de recherche. Par exemple, l'utilisation de légumineuses dont la principale propriété est de pouvoir fixer l'azote atmosphérique pour le rendre ensuite disponible dans le sol permettrait de réduire les apports d'azote inorganique et donc l'émission finale d'oxydes d'azote. Plusieurs modèles de cultures basés sur une gestion optimale de l'azote permettant de maintenir les rendements sont en cours d'expérimentation [5].

Enfin les efforts de recherche dans ce domaine se concentreront sur la synthèse et l'intégration des données afin d'évaluer de manière fiable et localisée les émissions de gaz provenant de l'agriculture.

### **3.2.3. Recherches sur les écosystèmes agricoles**

Une des rares certitudes concernant le changement climatique est l'augmentation de la concentration atmosphérique de CO<sub>2</sub>. L'ARS réalise en conséquence des études expérimentales pour étudier le comportement de différentes cultures sous une concentration croissante de CO<sub>2</sub> atmosphérique. Des effets positifs sont mis en évidence en milieux contrôlés [1]. Cependant, ils n'ont pas encore été validés en plein air et à grande échelle où entrent en jeu d'autres paramètres de la croissance végétale

(température plus élevée, concentration en ozone plus importante, rayonnement UV-B plus intense).

Les effets du changement climatique sur les ravageurs, les pathogènes et les mauvaises herbes sont encore l'objet de polémiques scientifiques puisque aucune étude majeure n'a encore été réalisée sur le sujet. Il faut dire que l'étude à l'air libre de tous les facteurs et de leurs interactions sous différentes contraintes n'est pas encore possible [5]. La recherche se concentre donc sur les différents moyens qui pourraient permettre de se rapprocher des conditions naturelles tout en pouvant distinguer l'impact de chaque facteur. Tout comme les autres domaines de recherche, l'évaluation des impacts du changement climatique sur l'agriculture passe d'abord par une modélisation des processus puis par une comparaison avec des expériences menées dans les champs. Le but est d'améliorer la fiabilité et la précision de ces simulations, afin d'anticiper les effets du changement climatique sur le rendement des cultures.

#### ***3.2.4. Recherches sur les changements météorologiques et le cycle de l'eau, de l'échelle de l'exploitation à l'échelle régionale***

Les principaux modèles climatiques (GCM : General Circulation Model) utilisés pour simuler l'impact de l'élévation de la concentration de CO<sub>2</sub> sur l'atmosphère prévoient que des changements dans le régime des précipitations accompagneront les augmentations de température. Les modèles montrent aussi que précipitations et températures ne changeront pas de manière uniforme sur les Etats-Unis mais de manière régionale. Ce qui veut dire que certaines régions peuvent être bénéficiaires alors que d'autres souffriront du changement climatique.

Des changements au niveau des caractéristiques saisonnières des précipitations, comme un décalage des pics de pluies, pourront aussi se révéler importants. Le réchauffement général qui résulte de ces changements climatiques peut avoir des conséquences très sérieuses sur les réserves en eau de régions comme la Californie, dont l'agriculture dépend presque totalement de l'irrigation. Les chutes de neige sont cruciales pour assurer la disponibilité de l'eau au moment où les cultures en ont le plus besoin, c'est à dire à partir du printemps et jusqu'à la récolte. La variabilité climatique et la récurrence des événements extrêmes peuvent aussi représenter une menace potentielle pour l'agriculture.

À cause de la nature spéculative du problème (plus les conditions climatiques sont variables, plus les risques de planter des cultures inadaptées sont grands), le cœur de la recherche se base sur la conception de modélisation permettant de mettre au point des outils d'aide à la décision fiables. D'un côté, la recherche travaille sur les modèles climatiques afin d'affiner l'échelle spatiale des prédictions, de l'autre côté, les scientifiques cherchent à extrapoler la modélisation des hétérogénéités régionales à des échelles plus importantes, le but final étant de développer des outils de prédiction plus fiables et plus précis.

### **3.2.5. Un effort d'intégration sans précédent**

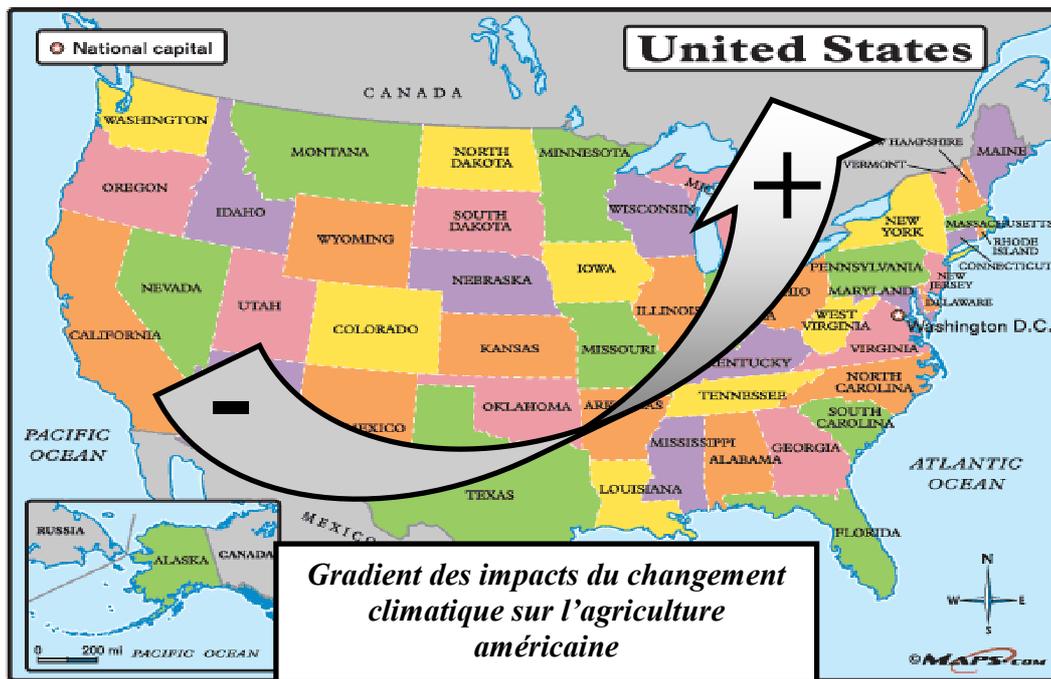
La nature multidisciplinaire des données et informations requises pour comprendre les causes et les impacts du changement climatique nécessite un effort d'analyse d'une envergure jamais atteinte jusqu'à présent. Les observations faites à différentes échelles doivent être intégrées dans les modélisations. Cette analyse multidisciplinaire du changement climatique est effectuée à différentes échelles allant des échantillons de terrains jusqu'aux relevés satellites, toutes les données étant intégrées dans les simulations. Tout ce travail de fond nécessite la mise en place d'un système de distribution et de partage d'information extrêmement complexe.

Dans la mesure du possible et conformément aux accords de partage de propriété intellectuelle, les scientifiques de l'ARS ainsi que les responsables de chaque programme de recherche contribuent au développement d'une base de données transversale sur le changement climatique. Toutes les informations sont regroupées, archivées, et accessibles sous les formats appropriés, notamment à travers les sites Internet des départements concernés. La problématique du changement climatique et son caractère global ouvrent une nouvelle voie de communication entre le gouvernement fédéral, les gouvernements locaux, les scientifiques et le public qui est tenu au courant des principales découvertes (*entretien Steve SHAFER*).

## Conclusion #1 : Les études préliminaires prévoient des impacts globalement positifs sur l'agriculture américaine

### Un gradient positif des impacts

L'agriculture américaine fait partie des secteurs privilégiés sur lesquels les analystes ont prévu un impact positif du réchauffement climatique. La délimitation géographique aussi bien que la durée de ces bénéfices restent cependant encore incertaines. Le consensus actuel estime que les effets suivront un gradient Nord-Sud qui restera positif tant que le réchauffement ne dépassera pas 2°C.



L'augmentation uniforme de la concentration en CO<sub>2</sub> sur l'ensemble du territoire favorisera la croissance des plantes de la même manière qu'un fertilisant. Les effets seront les plus bénéfiques pour les régions septentrionales et moins marquées pour les régions méridionales.

Les principales prédictions du changement climatique s'accordent sur une augmentation de la température et une répartition plus inégale des précipitations, qui seront globalement plus abondantes. Ces températures plus chaudes affecteront les cultures qui sont déjà au maximum de leur tolérance thermique. C'est pourquoi l'agriculture du Sud des Etats-Unis connaîtra probablement une baisse des rendements. D'un autre côté, des températures plus douces dans le Nord vont permettre d'allonger la période de croissance des plantes et donc d'étendre les cultures vers des régions qui étaient jusqu'alors trop froides. Si les agriculteurs de ces régions s'adaptent correctement à ces changements, il y a de grandes chances qu'ils en bénéficient.

*Les analystes ne cachent pas que ces prédictions peuvent être remises en cause par plusieurs facteurs négatifs, notamment les extrêmes climatiques. Par exemple, la*

*sécheresse de 2003 en Europe a largement contribué aux faibles rendements obtenus cette année là. Les scientifiques s'accordent pour dire que l'agriculture américaine va migrer vers le Nord.*

### **2050 marque le passage de la face claire à la face sombre**

Le consensus actuel explique qu'au cours des deux premiers degrés celcius de réchauffement (ou encore, pendant les cinquante prochaines années), les rendements de l'agriculture américaine vont augmenter. Mais, à mesure que la concentration en CO<sub>2</sub> augmentera dans l'atmosphère, et donc que la température augmentera, les caractéristiques du climat changeront et affecteront l'ensemble de l'agriculture américaine. La plupart des analystes pensent que ce tournant aura lieu vers 2050.

## **Conclusion #2 : beaucoup de réserves sur la fiabilité de ces prédictions**

### ***L'effet fertilisant du CO<sub>2</sub> de plus en plus remis en cause***

L'association de températures plus chaudes à l'effet fertilisant du carbone devrait théoriquement faire augmenter les rendements de l'agriculture américaine jusqu'en 2050. Les dernières études ont revu à la baisse l'augmentation qui serait de l'ordre de 13%. En effet, une concentration accrue de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère favorise normalement la croissance végétale, mais ce mécanisme semble en réalité limité selon le métabolisme (C3/C4). Il est aussi important de préciser que cet effet du CO<sub>2</sub> est accompagné d'un phénomène de dilution. Par exemple, cette fertilisation réduit la concentration en protéines pour le blé et le riz. La qualité est aussi altérée puisque le blé issu de cette fertilisation donne de moins bonnes farines.

Un troisième facteur après la température et le CO<sub>2</sub> agit aussi fortement sur les plantes : l'ozone. Les récentes recherches ont mis en évidence son caractère très destructeur sur les structures foliaires, même en très faible quantité (fort pouvoir oxydant). Puisque la combustion de sources d'énergie fossiles entraîne un dégagement simultané de CO<sub>2</sub> et d'O<sub>3</sub>, l'augmentation de dioxyde de carbone est accompagnée par celle de l'ozone, largement capable d'annuler l'effet fertilisant du CO<sub>2</sub>. L'effet de l'ozone devrait aussi augmenter les inégalités entre régions puisque ce gaz ne se répartit pas de manière uniforme dans l'atmosphère. Tous ces effets n'ont pas encore été pris en compte dans les études. Une recherche plus approfondie sur l'effet couplé du CO<sub>2</sub> et de l'O<sub>3</sub> est donc largement recommandée par la communauté scientifique.

*En résumé, la réponse des plantes au changement climatique n'est pas encore totalement connue, notamment l'effet de l'ozone, ainsi que les interactions des différents facteurs (Température, CO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>).*

### ***L'effet 'stomate' du CO<sub>2</sub> dépassé par le manque d'eau***

L'augmentation de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère favorise théoriquement une meilleure utilisation de l'eau en agissant sur la fermeture des stomates. Mais, si la consommation d'eau par plante ne devrait pas trop changer, l'effet fertilisant du CO<sub>2</sub> entraînant un développement plus important des plantes, la consommation totale en eau devrait suivre la même augmentation que les rendements. La majorité des experts interrogés considèrent

l'eau comme le facteur limitant du changement climatique, malgré les effets positifs du CO<sub>2</sub>. Mais il est pour l'instant techniquement impossible de tester l'effet simultané d'une augmentation de la température et de la concentration en CO<sub>2</sub> dans des espaces ouverts. Ces prédictions ne prennent donc pas en compte l'interaction entre ces deux facteurs.

La distribution de l'eau sur terre va être plus irrégulière à double titre. D'une part, les précipitations deviendront plus irrégulières et plus violentes. D'autre part, les réservoirs naturels sont en train de disparaître. Les régions qui disposaient dans le passé de larges quantités de neiges ou de glaciers vont connaître des fontes de plus en plus précoces en hiver. L'eau stockée dans les montagnes se déversera donc directement dans la mer, sans être absorbée par les terres. En conséquence, les débits des rivières seront insuffisants au printemps et en été, périodes où les cultures nécessitent le plus d'eau.

### ***Prise en compte des extrêmes climatiques***

Parce qu'ils sont difficilement prévisibles et très violents, les extrêmes climatiques sont les facteurs les plus dangereux pour l'agriculture. Il est très difficile de les étudier, et encore plus de s'y préparer, si bien que les prédictions favorables à court terme peuvent être rapidement remises en question.

Comme l'a montré la vague de chaleur de 2003 en Europe, les extrêmes climatiques affectent sérieusement l'agriculture. Plusieurs stades de la croissance végétale sont très sensibles aux températures. Il suffit d'une vague de gel ou de chaleur au mauvais moment pour altérer définitivement le développement de la plante.

Avec une variabilité climatique qui ne cesse de croître, les rendements peuvent chuter à chaque fois qu'une vague de chaleur arrive pendant les stades critiques de croissance. Au niveau des interprétations agricoles, l'augmentation de la moyenne des températures est un faux indicateur du changement climatique. Une série de vagues de chaleur suivie par une série de gels peuvent très bien donner une moyenne de températures normale alors que les plantes n'auront pas pu se développer.

La variabilité des précipitations est aussi en train de s'amplifier, ce qui pose exactement les mêmes problèmes que la variabilité des températures. A long terme, les changements des précipitations vont compliquer ce processus d'adaptation puisque certaines régions vont devenir trop sèches pour l'agriculture, alors que d'autres deviendront plus humides. Pour l'instant, il est impossible de savoir lesquelles. La prédiction des précipitations n'est fiable qu'à l'échelle mondiale et rend impossible l'étude des rendements agricoles qui nécessite une prédiction régionale et saisonnière des pluies. En réalité, même au niveau des Etats-Unis, les prédictions des précipitations restent très incertaines et empêchent toute anticipation de l'agriculture.

Enfin, ces extrêmes climatiques caractérisent aussi le dérèglement des saisons avec des automnes plus tardifs et des printemps plus précoces. Ces perturbations de « l'horloge biologique » peuvent avoir des conséquences dramatiques sur la synchronisation des différents écosystèmes, les insectes pollinisateurs pouvant par exemple se développer avant la période de floraison...

*Une seule certitude ressort de l'analyse des extrêmes climatiques, les Etats seront touchés de manière très inégale avec de grands vainqueurs et de grands perdants. Les disparités seront donc renforcées et compliqueront la répartition des biens alimentaires au sein des Etats, avec l'émergence de véritables « greniers à blé » d'un côté et d'Etats importateurs de l'autre.*

### **Prise en compte des ravageurs et maladies**

Au même titre que les extrêmes climatiques, les menaces de ravageurs et de maladies ont rarement été prises en compte dans les études. Le changement climatique a le même effet sur les parasites que sur les grandes cultures. L'augmentation des températures permet aussi à ces organismes d'étendre leurs habitats vers des régions plus au nord. A la différence près que ces organismes, souvent plus simples, colonisent les espaces très rapidement. Les espèces invasives risquent donc de s'étendre sur l'espace américain, d'augmenter la compétition avec les cultures, et de vulnérabiliser les écosystèmes en les simplifiant.

*Les principales études prévoient une augmentation de l'utilisation des pesticides de l'ordre de 20% pour les grandes cultures, voire plus pour les cultures fruitières. Certaines études prévoient des pertes considérables dues à ces ravageurs trop souvent sous-estimées par les scientifiques.*

### **Des projections optimistes basées sur la capacité d'adaptation des agriculteurs**

Les projections optimistes sur les rendements considèrent que le milieu agricole s'adaptera rapidement à ces changements. Les plantings des semis, des rotations et des récoltes devront être modifiés. Des variétés adaptées aux nouvelles conditions seront nécessaires. Les réseaux d'irrigation risquent d'être déplacés en fonction de la nouvelle répartition des pluies, certains agriculteurs devront s'installer dans des régions plus au nord. Mais tous ces changements interviennent sur un fond de variations climatiques annuelles qui masquent les vraies caractéristiques du changement aux agriculteurs. Si ces derniers s'adaptent mal ou trop lentement, les gains annoncés seront de moins en moins importants. Il faut bien garder à l'esprit que ces efforts d'adaptation peuvent paradoxalement diminuer les revenus agricoles en augmentant les rendements.

*Il n'est donc pas si évident que le milieu agricole cherchera absolument à s'adapter, ce qui remet sérieusement en cause les bénéfices annoncés.*

### **Un gradient Nord-Sud recorrecté**

La plupart des études réalisées sur le territoire américain et prenant en compte les extrêmes climatiques concluent aussi sur un gradient Nord-Sud, mais pas forcément positif. Ce gradient distingue par ailleurs les fruits (cultures pérennes) des grandes cultures (cultures annuelles). Finalement, en prenant en compte les facteurs négatifs écartés jusqu'à présent lors des études, on arrive aux projections suivantes :

Dans les régions du Nord, avec l'hypothèse que les agriculteurs se seront adaptés, les rendements de maïs devraient augmenter puisque les températures plus douces compenseront les pertes dues aux accidents climatiques. Dans les régions centrales et

méridionales, les températures seront trop chaudes et les accidents climatiques trop fréquents pour qu'il y ait des effets positifs. Les rendements de maïs ont donc de bonnes chances de baisser dans ces régions. Pour les cultures de soja et de blé, plus sensibles à l'effet fertilisant du dioxyde de carbone, le même gradient Nord-Sud est prédit mais avec des effets négatifs moins prononcés.

Le cas des cultures pérennes est plus compliqué pour plusieurs raisons. D'une part, ces cultures se maintiennent d'une année sur l'autre en accumulant les dégradations climatiques. D'autre part, toute relocalisation est très onéreuse puisque la plupart de ces cultures nécessitent au moins cinq années pour donner les premiers fruits. Toute adaptation génétique rencontre les mêmes problèmes que la délocalisation. La physiologie des arbres fruitiers est aussi extrêmement sensible et exigeante par rapport au climat. Une vernalisation insuffisante ou un gel printanier peuvent détruire l'ensemble de la production comme cela a été le cas en Californie en janvier 2007.

La première partie du XXI<sup>e</sup> siècle sera donc marquée par l'opportunité de profiter des bénéfices relatifs du changement climatique, l'adaptation de l'agriculture américaine étant une condition *sine qua non*. Après 2050, ou au-delà de 2°C de réchauffement, tous les bénéfices potentiels commenceront à disparaître. Au fil du changement climatique, ces impacts sur l'agriculture deviendront finalement négatifs sur tout le continent américain. L'augmentation des températures et de leur variabilité, l'augmentation des précipitations et de leur variabilité, les accidents climatiques plus fréquents et plus violents contribueront à réduire la fenêtre d'adaptation de cette agriculture, alors même que la population mondiale aura atteint 9 milliards d'habitants.

Les conclusions tirées en 2001 par le « US Global Change Research Program » après avoir évalué les impacts du changement climatique sur l'agriculture aux Etats-Unis (*Climate Change Impacts on the United States : the potential consequences of climate variability and change*), sont devenues de plus en plus incertaines en 2007. Ceci est principalement dû au fait que des facteurs très importants n'avaient pas été pris en compte, comme le risque des ravageurs et des extrêmes climatiques. L'agriculture aux Etats-Unis va connaître des difficultés croissantes pour garder les mêmes rendements. Dans un contexte d'ouverture des marchés et de mondialisation, il se peut que beaucoup de cultures, notamment les cultures fruitières et maraîchères, ne deviennent plus rentables sur le sol américain et soient délocalisées en Amérique Centrale.

L'étude de 2001 avait aussi sous-estimé les questions énergétiques qui vont considérablement favoriser la culture du maïs et des prairies. Steve Shafer, ancien directeur du programme national sur le changement climatique de l'ARS (Agricultural Research Service) et maintenant directeur de l'ARS du Midwest, est convaincu que le maïs va constituer la majorité des paysages agricoles américains d'ici 10 ans. L'impact du changement climatique sur l'agriculture sera donc probablement noyé par des contraintes plus importantes que représentent les débouchés économiques et énergétiques.

## **ANNEXES**

**Annexe A : Synthèses régionales**

**Annexe B : Synthèses d'entretiens**

## **Annexe A : Synthèses régionales**

Afin mieux caractériser les impacts sur les différents types de cultures et d'économie agricole, l'étude a divisé les Etats-Unis en 5 « méga » régions :

- Le Sud-Est,
- Le Nord-Est
- Les Grandes Plaines
- Le Midwest
- L'Ouest

### **A1 : Région Sud-Est**

Elle comprend 11 Etats complets (Alabama, Arkansas, Caroline du Nord, Caroline du Sud, Floride, Géorgie, Kentucky, Louisiane, Mississippi, Tennessee, Virginie) ainsi que les parties orientales de deux autres Etats (Oklahoma, Texas).

La « ceinture du soleil » du Sud-est des Etats-Unis est une région en pleine expansion démographique avec une augmentation de plus de 32% de la population entre 1970 et 1990. Toutefois, ce phénomène concerne essentiellement les Etats côtiers de la façade Atlantique dont le taux de croissance de la population entre 2000 et 2006 s'établissait au dessus de la moyenne nationale (+6,4). D'autres Etats de la région voient actuellement leur population stagner, voire régresser (Louisiane). Les comtés littoraux devraient voir leur population encore augmenter de 41% en moyenne entre 2000 et 2025.

Le nombre de fermes dans la région a chuté de 80% entre 1930 et 1997, au bénéfice de l'urbanisation [7]. Ceci n'empêche pas le Sud-Est de produire encore 1/4 des produits agricoles américains. Le Sud-Est est aussi devenu le principal producteur de bois des Etats-Unis. La région produit enfin une partie non-négligeable des poissons et volailles et du tabac du pays. Avant l'arrivée des Européens, le paysage était principalement composé de forêts, de prairies et de marais. En 1920, une grande partie des forêts avait été aménagée ou convertie en terrains agricoles.

Au cours des 150 dernières années, des changements importants ont eu lieu dans la répartition des cultures aux Etats-Unis. En 1849, le Sud produisait plus de maïs que le Midwest. La superficie de maïs était alors plus importante que celle du coton, qui s'est généralisée après la Guerre de Sécession et dans les années 1920 [8]. Il y a eu aussi d'importants changements dans les cultures de cette région. Par exemple, au cours des cinquante dernières années, le soja est passé du statut de simple culture de fourrage à la deuxième production agricole derrière le maïs. Alors que le soja et le riz remplaçaient le maïs et le coton, les agriculteurs plébiscitèrent ces nouvelles cultures. En effet, les sols étaient mieux adaptés, à l'image des terres drainées de l'Arkansas qui étaient bien plus productives en soja que les sols usés du Piedmont qui sont abandonnés par les producteurs de coton.

### **A1.1. Particularismes**

L'atout le plus important de l'agriculture du Sud-Est est le potentiel de production qui n'est pas encore exploité complètement. La surface qui peut être consacrée aux cultures est occupée de moitié par des forêts et des prairies [8]. Mais, si le Sud-Est peut augmenter ses surfaces de culture, les sols considérés ont une fertilité moyenne. Par ailleurs, les millions d'hectares de sols du Sud-Est sont modérément voire sévèrement érodés, le résultat d'une gestion trop poussée des cultures de maïs et de coton. Mais, si ces terres ne sont pas les meilleures, leur situation géographique est un atout. En effet, situées à proximité du Golfe du Mexique et de la Mer des Caraïbes, les terres agricoles du Sud-Est bénéficient de l'influence maritime positive. Ce qui explique pourquoi le Sud-Est dispose d'une saison de croissance en moyenne de 30 à 90 jours plus longue que dans la « Corn Belt » et les Grandes Plaines. Le Sud-Est a aussi d'énormes quantités d'eau à disposition sous forme de pluies, d'eaux de surface s'écoulant dans les rivières, et d'aquifères. La disponibilité de l'eau donne ainsi à cette région un avantage considérable, notamment la possibilité d'irriguer les cultures qui n'a pas encore été utilisée totalement.

Le climat assez doux du Sud-Est et les précipitations fréquentes prédisposent la région à des problèmes de ravageurs plus importants que partout ailleurs aux Etats-Unis (*William KIRK*). Les ravageurs peuvent en effet faire baisser le rendement et augmenter les coûts de production des cultures. Une autre conséquence de la présence importante de ravageurs dans cette région a été l'utilisation intensive de pesticides. Bien que cette région ne représente que 14% des terres cultivées, elle consomme 43% des insecticides et des 23% des herbicides utilisés par les fermiers américains [8].

### **A1.2. Climat du 20<sup>ème</sup> siècle**

Les températures du Sud-Est des Etats-Unis ont connu plusieurs évolutions ces cent dernières années, avec une période chaude entre 1920 et 1940, suivie d'une période froide dans les années 1970. Depuis, les températures se sont remises à augmenter pour atteindre en 1990 les niveaux de 1940 [7].

Les précipitations annuelles ont montré de fortes augmentations (20-30% voire plus) au cours du XX<sup>e</sup> siècle dans les Etats du Mississippi, de l'Arkansas, de la Caroline du Sud, du Tennessee, de l'Alabama. Dans le reste de la région, les changements ont été moins marqués. Les taux d'humidité déjà élevés ont augmenté de 10% dans l'ensemble de la région entre 1910 et 1997 [9].

### **A1.3. Prévisions climatiques pour le 21<sup>ème</sup> siècle**

Les deux modèles s'accordent à dire que cette région connaîtra un réchauffement d'ici 2090, mais s'opposent sur la rapidité avec laquelle ces changements s'opéreront. Le modèle Canadien prévoit que le Sud-Est connaîtra une forte augmentation des températures, ce qui entraînera une baisse de la rétention de l'eau dans les sols due à une

évapotranspiration plus importante. Le modèle Hadley prévoit un réchauffement moins significatif avec une augmentation importante des précipitations d'ici 2100 (environ 20% avec des différences entre les régions). Les deux modèles prévoient que la chaleur sera plus dure à supporter, surtout avec l'humidité ambiante qui sera plus élevée [10].

Les deux modèles climatiques, Hadley et Canadien, prévoient une augmentation des températures estivales. La productivité des pins et des arbres feuillus sera altérée par l'augmentation de la température à l'est des Etats-Unis. Les activités de sylviculture ont donc de fortes chances d'être déplacées plus au Nord [11]. Les arbres feuillus paraissent plus adaptés que les conifères à une augmentation de CO<sub>2</sub> atmosphérique, dans les limites d'un réchauffement raisonnable. Les modèles physiologiques de la productivité des forêts et des écosystèmes prévoient que sans adaptation, la productivité des pins dans l'est des Etats-Unis baissera de 11% d'ici 2040 et 8% d'ici 2100. Ces modèles prévoient une augmentation de la productivité des forêts de feuillus dans la région de 25% d'ici 2090.

Sous le modèle Hadley, les types de cultures de la région seront principalement définis par des facteurs non-climatiques jusqu'en 2100. La rentabilité des productions agricoles et la pression démographique dessineront l'agriculture du Sud-Est des Etats-Unis. L'urbanisation continuera d'empiéter sur les forêts et les terres agricoles [12]. Les grandes cultures seront tout de même de plus en plus remplacées par des forêts. Un scénario climatique plus extrême affecterait sérieusement la productivité agricole, un déplacement géographique des cultures et des forêts serait alors attendu. L'espace serait dans ce cas-là directement influencé par le changement climatique.

#### ***A1.4. Impacts potentiels du changement climatique sur l'agriculture***

Deux familles de simulations de cultures : CROPGRO (pour le soja et les noix) et CERES (pour le maïs, le blé, le riz, et le sorgho) dans le modèle DSSAT ont été utilisées pour simuler les productions agricoles (irriguées et non-irriguées) en utilisant les pratiques agricoles appliquées dans chaque état du Sud-Est. Le scénario Hadley a été choisi pour cette analyse puisque c'était le plus fiable dans les prédictions des événements de l'ENSO.

Les changements de températures simulés pour les cultures non-irriguées suggèrent que les rendements sont sensibles à l'augmentation de la concentration atmosphérique de CO<sub>2</sub>, et qu'ils répondent en fonction du type de culture et de la localisation. Le rendement des cultures non-irriguées baisse en revanche le long des côtes du Golfe entre 1 et 10% à cause du stress hydrique. Par ailleurs, les températures plus élevées augmentent la demande en eau des autres secteurs, ce qui amplifie ce phénomène.

Dans cette simulation, le rendement des cultures de maïs non-irriguées augmente entre 1 et 30% dans la plaine le long de la côte, mais baisse jusqu'à 10% en Louisiane et dans la majeure partie du Mississippi, de l'Arkansas et du Kentucky. Les rendements de sorgho augmentent de 1 à 30% dans les états de l'Alabama, de Géorgie, de la Caroline du Sud et du Nord où les précipitations saisonnières augmentent de 5 à 15%. Les rendements de

sorgho préalablement stimulés par l'irrigation baissent en revanche de 4 à 7%, même dans les localités où les rendements en conditions non irriguées augmentent le plus. Cela est expliqué principalement par le raccourcissement du cycle de croissance.

Les simulations sur les cultures de soja et de noix prévoient que les rendements augmenteront entre 1 et 30% principalement dans la plaine le long des côtes et le « mid-south » et plus de 30% dans une partie de la Caroline du Nord et de la Caroline du Sud. Les rendements augmentent aussi dans les zones de l'Arkansas et du Mississippi où les rendements non-irrigués de maïs et de sorgho diminuent. Les rendements des cultures de soja irriguées augmentent de 1 à 10% sur presque toute la région, y compris les zones où les rendements des cultures non-irriguées baissent. Les modèles ont simulé une baisse de 30% dans les rendements des cultures non-irriguées de noix dans le Delta et sur la côte, mais quand l'irrigation est ajoutée dans les mêmes zones, les rendements augmentent de 30%. Si les changements climatiques arrivent progressivement au cours des 25-45 prochaines années, les agriculteurs seraient en mesure d'augmenter progressivement l'irrigation, dont le coût augmentera aussi.

Ces projections suggèrent que les exploitants du Sud du Delta et des côtes du Golfe devraient arrêter la culture non irriguée de noix, qui devient plus rentable dans d'autres parties de la région.

Les simulations concernant le blé d'hiver indiquent des augmentations de rendement dans presque toutes les régions à l'exception du Sud du Delta et d'une partie de l'Arkansas.

Les rendements des cultures irriguées suivent la même tendance que les cultures non-irriguées. La demande d'irrigation dans le Delta augmente entre 20 et 50% puisque les précipitations baissent et l'évaporation augmente à cause de l'élévation des températures. Sur la même période, les rendements des cultures irriguées baisseront. Dans plusieurs parties de l'Arkansas et de la Louisiane, où les cultures irriguées de riz dominent, le modèle simule de 1 à 10% de perte de rendement d'ici 2030 et de 3 à 39% de gains d'ici 2090. Une des principales menaces sur le riz repose sur l'augmentation du coût de l'irrigation.

La partie Sud du delta du Mississippi devrait connaître les effets les plus néfastes du changement climatique sur l'agriculture, avec des effets limités dans le Nord [9]. En 2030 et 2090, les rendements, revenus agricoles, et la disponibilité en eau baisseront considérablement, surtout en Louisiane, et en Arkansas. Ce schéma contraste beaucoup avec la côte Atlantique qui devrait être largement bénéficiaire, spécialement dans le tiers Nord. Les seules cultures de cette zone connaissant un impact négatif se situeraient plutôt vers la côte du Golfe du Mexique. Le reste de la région qui s'étend du centre de la Géorgie jusqu'au Nord de la Californie devrait avoir des conditions favorables à l'amélioration des rendements agricoles, mais seulement si les pratiques agricoles ont été préalablement adaptées.

Les simulations de la consommation d'eau des cultures montrent une région contrastée entre le Nord et le Sud. Les experts prévoient que la partie Sud du Sud-Est des Etats-Unis

devrait avoir un besoin croissant en eau alors que la partie Nord devrait limiter son utilisation de l'irrigation.

Les conditions pédoclimatiques hétérogènes dans la région du Sud-est ajoutées à la grande diversité des cultures et des pratiques agricoles rendent le travail de généralisation des impacts du changement climatique sur l'agriculture du Sud-Est très difficile. Selon l'USDA, la région du Sud-Est reste cependant une des régions américaines où les impacts du changement climatique sur les cultures peuvent être profitables.

### **A1.5. Evolution des forêts**

En 1860, environ 43% de la superficie totale du Sud-Est était recensé comme terre agricole, les fermes gardant la majorité de leur terrain en forêt dans lesquels les bêtes allaient pâturer. Dans les années 20 l'expansion démographique de la région accéléra la conversion des bois en terres agricoles. Mais des changements considérables après 1920 ont entraîné l'abandon d'une partie des terres agricoles. Par exemple, le « *boll wiving infestation* » perturba fortement la culture de coton dans la région. Les terres abandonnées ont soit été replantées avec des arbres, soit laissées à l'abandon. À partir des années 60, la pression urbaine et l'introduction des cultures de soja reprurent du terrain sur les forêts.

Les prévisions basées sur le modèle Hadley indiquent une augmentation globale de 12% de la productivité des forêts d'ici 2100, mais avec des différences importantes entre les arbres feuillus et les conifères [11]. Les plantations de pins du Sud connaîtront une augmentation de 11% en productivité d'ici 2040 et de 8% d'ici 2100. Les forêts de feuillus et les forêts mixtes feuillus/conifères (qui représentent 64% de la surface totale des forêts) connaîtront probablement une augmentation de 22% d'ici 2040 et de 24% d'ici 2100. Cette différence serait encore plus importante sous le scénario plus sec du modèle Canadien. Ce constat implique des conséquences importantes pour la région puisque les pins constituent plus des 2/3 de l'industrie forestière du Sud-est et la moitié des conifères des Etats-Unis. Les simulations ont donc pris en compte un changement de la productivité vers le Nord, mais n'ont pas pris en compte les changements au niveau des gestions forestières, qui peuvent améliorer les résultats.

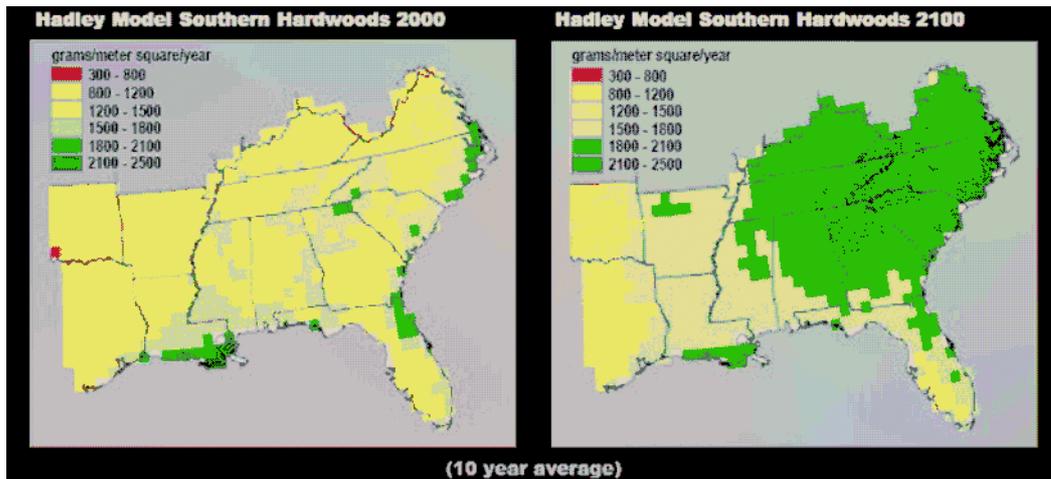
Des risques d'incendie seront aussi probablement à craindre puisque les modélisations des écosystèmes suggèrent que ces risques augmenteront de 25 à 50%, surtout dans les forêts de pins du Sud, qui seront remplacées par des pins de « savane » et des herbes sauvages, seuls végétaux se développant facilement dans des conditions de stress hydrique accrues.

Le principal facteur expliquant le gain moins important des pins par rapport aux arbres feuillus vient du fait que les pins ont une demande hydrique annuelle plus importante. Même si l'augmentation de la concentration atmosphérique de CO<sub>2</sub> limite l'évapotranspiration du végétal, les plantations de pins du Sud-est seront limitées par les pertes en eau dues aux températures plus élevées.

L'impact du changement climatique sur les potentiels ravageurs (insectes et maladies) de ces forêts reste inconnu. Entre 1960 et 1990, les coléoptères des pins du Sud des Etats-Unis ont causé plus de 900 millions de dollars de dommage dans les forêts de pins. L'adoucissement des températures hivernales va favoriser la survie des larves qui se développeront dès le printemps, au lieu de migrer du Sud. Par ailleurs, l'élévation des températures permettra aussi à ces insectes de produire plusieurs générations en une seule saison. Alors que les premières recherches ont démontré que les sécheresses bénignes stimulent la production de résine des pins et limitent de ce fait l'invasion des coléoptères, des sécheresses plus importantes inhiberaient cette production, rendant ainsi les pins très vulnérables à ces insectes.

Même si les forêts et l'agriculture dominent les paysages de cette région, l'impact du changement climatique n'est qu'un facteur parmi d'autres influençant l'aménagement du territoire au cours du XXI<sup>e</sup> siècle [11]. Pour l'instant l'urbanisation et quelques autres activités représentent une faible couverture du territoire, mais augmentent progressivement. Ces dernières années, la superficie de forêts remplacée par des habitations a été regagnée sur des terres agricoles en friches. Cette dernière tendance a eu pour effet de stabiliser la superficie des forêts au détriment des espaces agricoles. Sans prendre en compte les potentiels impacts du changement climatique, la superficie des forêts devrait rester stable au final jusqu'en 2040. Mais les changements au niveau des différents Etats seront bien plus visibles. L'urbanisation de la Caroline du Nord et de la région Piedmont de la Géorgie devrait continuer à s'étendre, intensifiant par la même occasion le recul des terres agricoles et des forêts. Mais à l'échelle régionale, les pertes de forêts seront probablement compensées par les nouvelles plantations d'arbres sur les terrains agricoles en friche du delta du Mississippi. Les impacts du changement climatique peuvent en revanche changer ces prévisions. En effet, si les adaptations des pratiques agricoles se révèlent efficaces, il est fort probable que l'agriculture présentera plus d'avantages que la sylviculture dans plusieurs parties du Sud-Est. Sous le scénario Hadley, très peu de changement sont attendus jusqu'en 2040, à l'exception de migrations de certaines forêts plus au Nord. Mais, si les conditions climatiques se révèlent moins favorables que dans ce scénario, il est probable que les impacts du changement climatique entraîneront des changements plus importants, dus notamment aux pertes plus importantes dans le secteur agricole et forestier.

Figure 1 : Comparaison de la production nette des feuillus en 2100  
(*extrait de USGCRP National Assessment, 2001*)



De manière générale, la productivité biologique des forêts du Sud-est sera stimulée par l'effet fertilisant du CO<sub>2</sub>, tant que les baisses de précipitations, ou les élévations de températures limitant la disponibilité de l'eau ne contrebalanceront pas totalement l'effet positif du carbone. Pour l'instant les simulations actuelles ont permis d'anticiper quelques stratégies d'adaptation comme le déplacement des forêts vers le Nord où la productivité sera plus importante. Les acteurs de cette région envisagent aussi d'utiliser des variétés d'arbres mieux adaptées aux nouvelles conditions climatiques (une meilleure utilisation de l'eau de l'eau par exemple). La connaissance sur le rôle précis des incendies, des tornades, des sécheresses et des autres accidents climatiques est primordiale pour développer des stratégies de gestion des forêts permettant de maintenir le niveau de productivité actuelle. Si le climat devient plus sec que prévu, une stratégie très stricte de gestion des incendies sera nécessaire pour éviter des désastres naturels majeurs.

Enfin, les plans de séquestration du carbone pourront aussi jouer un rôle important dans la future gestion de ces forêts.

## **A2 : Région Ouest**

Cette région comprend les 6 Etats suivants : Arizona, Californie, Colorado, Nevada, Nouveau-Mexique et Utah.

L'Ouest des Etats-Unis est caractérisé par un climat variable, une topographie et des écosystèmes très variés, une population de plus en plus importante, et une économie en pleine croissance. Depuis 1950, la population a été multipliée par quatre et se concentre principalement dans les zones urbaines. Cette région a subi une transition d'une économie principalement agricole à une économie de services. Les nombreux parcs nationaux de cette région attirent des millions de touristes chaque année. Les secteurs économiques de cette région se révèlent cependant plus sensibles au climat que la moyenne américaine. En effet, l'agriculture, l'extraction des mines, le bâtiment et le tourisme dépendent fortement du climat et représentent plus de 1/8 de l'économie de la région.

Le développement et de la croissance de la population amènent la région à faire face à différents stress parmi lesquels, les incendies et la pollution atmosphérique. Mais le plus grand défi de cette région paraît être celui des ressources en eaux, fortement surexploitées. La compétition pour l'eau entre l'agriculture, les zones urbaines et l'industrie sera une cause de tension croissante. Le changement climatique risque d'intensifier ces stress [13].

La valeur totale des productions agricoles de l'Ouest des Etats-Unis a été estimée en 1997 à 35,6 milliards de dollars ([http://www.nass.usda.gov/census/census02/volume1/us/st99\\_2\\_001\\_001.pdf](http://www.nass.usda.gov/census/census02/volume1/us/st99_2_001_001.pdf)). Environ 2/3 de la production agricole de cette région vient des cultures, le tiers restant venant de l'élevage. Les fruits, les noix et les légumes représentent environ 2/3 de la valeur produite par les cultures. L'Ouest des Etats-Unis représente seulement 17% de la production agricole totale américaine, mais 3/5 de la production de fruits et noix, la moitié des légumes, et presque 3/4 de la production laitière. La Californie totalise par ailleurs 90% de la production viticole des Etats-Unis.

### **A2.1. Climat du 20<sup>ème</sup> siècle**

Au cours du XX<sup>e</sup> siècle, les températures ont augmenté entre 2 à 3 °C dans la région [13]. En moyenne, la région est devenue plus humide, avec des zones connaissant plus de 50% d'augmentation de précipitations. Ce n'est pas vrai partout ; l'Arizona, par exemple, connu des sécheresses plus marquées et de 1951 à 1996, la durée de la saison des neiges s'est raccourcie de 16 jours en Californie et dans le Nevada.

### **A2.2. Prévisions climatiques pour le 21<sup>ème</sup> siècle**

Pendant le XXI<sup>e</sup> siècle, les températures devraient augmenter encore plus rapidement que ce qui a été observé jusqu'à présent. Les modèles anticipent une augmentation de 2 à 3°C d'ici 2030 et de 3 à 5 °C en 2090 [13]. Les deux modèles climatiques (Canadien et Hadley) prévoient une augmentation des précipitations plus marquées en hiver et pour la Californie en 2030 et 2090. Cependant les Rocheuses devraient devenir plus sèches, et le modèle Canadien prévoit que la région sera plus sèche d'ici 2030. D'autres changements sont possibles, mais de manière générale, l'Ouest des Etats-Unis devrait devenir plus sec au cours de ce siècle. Sous les deux scénarios climatiques, le ruissellement devrait doubler en Californie d'ici 2090. Pour l'instant, les simulations se sont basées sur un modèle plus sec et plus chaud.

### **A2.3. Impacts potentiels du changement climatique sur l'agriculture**

Les températures hivernales plus douces devraient probablement allonger la période de croissance végétale. Ceci pourrait conduire à un déplacement des cultures vers le Nord, en supposant que les terres adéquates et les infrastructures nécessaires soient présentes

[14]. Enfin, il est possible que les cultures les plus vulnérables aux gelées cultivées actuellement dans l'« Imperial Valley » de Californie soient déplacées vers la « Central Valley ».

A l'inverse, il est possible que les cultures plus dépendantes du froid hivernal comme le blé d'hiver ou les pommes de terre soient limités à des zones situées au Nord (même si d'autres variétés de blé peuvent être cultivées). Le déplacement des cultures pérennes comme les vignes, les arbres fruitiers, est beaucoup plus compliqué que pour les cultures annuelles. En effet, les cultures pérennes peuvent prendre plusieurs années (jusqu'à dix ans) pour devenir fertiles. En plus, les températures plus élevées peuvent inhiber la croissance des fruits nécessitant la vernalisation pendant l'hiver. Il est aussi fort probable que les températures plus élevées augmentent les risques d'invasion des ravageurs (insectes, pathogènes) qui entraînent des pertes de production considérables.

Les changements dans la saisonnalité des précipitations peuvent causer quelques problèmes [14]. Les vignes peuvent ainsi connaître des pertes importantes si les pluies s'intensifient à l'approche des vendanges. Des pluies hors saison peuvent provoquer le pourrissement des raisins et ainsi ruiner la récolte. Des températures plus douces et une humidité plus importante augmentent les risques de maladies. Cependant, les températures plus chaudes depuis 1951 dans la Sonoma Valley et la Napa Valley, dues principalement à l'adoucissement des nuits, ont amélioré la qualité et le rendement des vignes. Les rendements des cultures de coton peuvent aussi être réduits par des pluies à des stades critiques de leur croissance.

Si le climat était plus chaud et plus sec, l'agriculture serait sérieusement menacée. Il est fort probable que la quantité d'eau disponible diminue de manière considérable au cours du XXI<sup>e</sup> siècle. De ce fait, l'agriculture de l'Ouest peut se retrouver dans une situation où, d'un côté les besoins en eau augmentent et de l'autre, l'eau disponible diminue. Si l'irrigation utilise de l'eau supplémentaire, il y aura une augmentation de la salinité des rivières et des sols.

Une des stratégies pour s'adapter aux effets du changement climatique serait de maintenir et d'augmenter la diversité des cultures puisque la diversité augmente les chances d'adaptation d'une variété aux futures conditions climatiques. Par exemple, 1998 a été une très bonne année pour les cultures d'artichauts, alors que les oranges ont été dévastées par les gelées successives qui ont frappées cette année là (il est arrivé la même chose en janvier 2007 en Californie). Les agriculteurs devraient aussi commencer dès maintenant à planter des variétés de vergers nécessitant des vernalisations moins froides en anticipation de l'adoucissement des températures hivernales. Sélectionner des variétés capables de tirer avantage de la concentration atmosphérique de CO<sub>2</sub> plus importante est aussi une adaptation envisageable.

Il y a des possibilités importantes de réduire l'utilisation actuelle et future de l'eau en introduisant des technologies moins consommatrices d'eau et des pratiques agricoles favorisant la rétention d'eau dans le sol. L'agriculture peut passer de cultures grandes consommatrices d'eau comme les pâturages, la luzerne, le coton, et le riz irrigués à des

cultures moins consommatrices d'eau comme le soja, le blé et l'orge. Les cultures dans des milieux désertiques, fortement dépendantes de l'irrigation devront probablement être arrêtées. Les nouvelles méthodes d'irrigation comme la micro-irrigation (goutte-à-goutte) peuvent réduire l'utilisation d'eau. Enfin les cultures plantées de manière plus tôt permettraient de bénéficier des premières fontes de neige.

#### **A2.4. Impacts sur l'élevage**

L'élevage est assez sensible à la variabilité climatique. En Arizona, le cheptel a été réduit de plus de 80 000 têtes pendant la sécheresse de 1994 à 1996, mais une augmentation des précipitations au Nouveau Mexique pendant la même période a permis d'augmenter le cheptel de plus de 100 000 têtes [14].

Il est possible qu'une augmentation des températures et de la précipitation favorise la production de fourrage et la mise en pâture des bêtes plus tôt dans la saison.

Un climat plus chaud et plus humide peut poser quelques problèmes pour la production laitière. Si les hivers deviennent plus humides, il est fort probable que les bêtes vont souffrir. Dans le comté de Chino de Californie qui produit plus de 25% du lait de l'état, quelques 6500 bêtes sont décédées pendant les conditions d'El Nino de 1998. Les vaches et les veaux étaient recouverts de boue et affaiblis par le froid, succombant à des infections bactériennes qui se sont développées dans la boue. Cependant, si les conditions deviennent plus humides, la végétation sera plus dense et limitera la boue en hiver.

L'élevage est très sensible aux sécheresses. Si le climat devient plus sec, la productivité de la végétation, l'alimentation en eau, et la fertilité des prairies seront réduites. De plus, les températures plus élevées créent un terrain plus favorable pour les maladies des veaux. L'impact économique de ce changement serait considérable dans toute la région.

#### **A3 : Région Nord-Est**

Cette région comprend les 12 Etats suivants : Connecticut, Delaware, Maine, Maryland, Massachusetts, New Hampshire, New Jersey, New York, Pennsylvanie, Rhode Island, Vermont, Virginie de l'Ouest

Le Nord-Est est caractérisé par des côtes très étendues, des hydrosystèmes très développés et un paysage varié dans lesquels le climat et ses manifestations physiques sont les variables principales. Le Nord-Est comprend l'agriculture non-irriguée la plus productive du pays (Lancaster, PA) ainsi que le plus grand estuaire du territoire. Cette région est occupée principalement par une végétation maîtrisée par l'homme, dont la plus grande partie est composée de fermes et de forêts clairsemées [8]. La majorité de la population est concentrée le long des côtes et dans la région du Piedmont, où elle se regroupe dans les grandes agglomérations. Les activités économiques de la région vont de l'agriculture, aux exploitations des ressources naturelles (forêts, pêche, mines) jusqu'à l'industrie, largement dépendant de la communication et des transports. Le tourisme, et la production de biens industriels sont aussi des activités importantes de la région.

### **A3.1. Climat du 20<sup>ème</sup> siècle**

Le Nord-Est a connu plusieurs désastres naturels comme des inondations, des sécheresses, des vagues de chaleur et des tornades [8]. Les températures ont augmenté de 2°C au cours des 100 dernières années, de la baie de Chesapeake jusqu'au Maine. Les précipitations ont aussi fortement augmenté, puisqu'elles ont été environ 20% plus fréquentes qu'au début du XX<sup>e</sup> siècle. Les extrêmes climatiques semblent augmenter aussi alors que les zones de sécheresse perdent du terrain. La durée entre le premier jour et le dernier jour de neige s'est allongée de 7 jours ces 50 dernières années.

### **A3.2. Prévisions climatiques pour le 21<sup>ème</sup> siècle**

En comparaison avec les autres régions des Etats-Unis, le Nord-Est devrait connaître les augmentations de températures les plus faibles. Les températures minimales hivernales devraient changer le plus pour augmenter entre 2-3°C et 5°C d'ici 2100, avec des maxima le long des côtes [8]. Les températures les plus chaudes (qu'elles soient hivernales ou estivales) ne devraient pas sensiblement augmenter, mais encore une fois, les changements les plus importants concerneront les températures hivernales. En ce qui concerne les précipitations, les modèles prévoient une augmentation de l'ordre de 25% d'ici 2100 pour toute la région, mais il est fort probable que les conséquences de ces changements se révèlent minimales. La variabilité des précipitations dans le Nord-Est devrait augmenter. Les modèles prévoient des scénarios divergents en ce qui concerne les changements en fréquence et en intensité des accidents climatiques.

### **A2.3. Impacts potentiels du changement climatique sur l'agriculture**

L'agriculture du Nord-Est des Etats-Unis représente une fraction relativement faible et en diminution de cette région. La plupart des études indiquent que l'agriculture du Nord-Est serait relativement robuste par rapport aux probables changements climatiques.

Ceci n'empêche pas l'administration américaine d'envisager quelques remaniements dans les types de cultures actuellement produites dans la région. En effet, la capacité de changer les variétés cultivées en utilisant les avantages des plantes hybrides permet de limiter considérablement la vulnérabilité des cultures. Dans le Nord-Est, le facteur apparemment le plus important pour l'agriculture reste le prix des commodités résultant des impacts du changement climatique dans les autres régions que le Nord-Est. Quelques cultures septentrionales et petites exploitations familiales ne sont cependant pas concernées par ces conclusions.

Les agriculteurs du Nord-Est des Etats-Unis contribuent de manière significative à la production américaine de produits laitiers, et de cultures à forte valeur ajoutée comme les pommes, le raisin, les pommes de terre, le maïs doux, les oignons, la laitue, et le sirop d'érable. Par ailleurs, les fermes familiales jouent un rôle capital dans l'aménagement et l'économie rurale de ce territoire. Elles répondent aussi à une forte demande de produits

agricoles frais et de qualité supérieure. Ces fermes seront particulièrement sensibles aux impacts du changement climatique, notamment à cause du coût des adaptations qui seront nécessaires. Par exemple, la filière lait du Nord-Est est déjà fragile; la production de lait est optimale à des températures assez basses, ce qui imposera des installations de ventilation assez onéreuses dans les stabulations.

Malgré ces incertitudes, il est fort probable que l'agriculture du Nord-Est des Etats-Unis résistera au changement climatique, et en profitera même plus que d'autres régions du continent. Cependant, les coûts d'adaptation peuvent être démesurés par rapport au caractère familial des exploitations et à la relative fragilité de l'agriculture de cette région [8].

Il est aussi important de signaler d'autres problèmes pouvant aggraver les impacts du changement climatique dans cette région. La délimitation des communautés, des municipalités et des comtés ainsi que l'organisation des institutions dans cette région sont complexes et peuvent limiter la capacité de réaction de la région aux impacts potentiels [8]. Par exemple, le réseau des bassins versants, des aquifères, les besoins des grandes agglomérations, avec à chaque fois une législation différente, limitent considérablement l'organisation d'un plan global de gestion des sécheresses.

La capacité de l'agriculture du Nord-Est à s'adapter au changement climatique reposera donc sur la manière dont ces institutions identifieront et jugeront de l'importance de chaque domaine, y compris l'agriculture.

#### **A4 : Région Midwest**

Cette région comprend les 8 Etats suivants : Illinois, Indiana, Iowa, Michigan, Minnesota, Missouri, Ohio, Wisconsin,

Le Midwest est caractérisé par son agriculture, son industrie et ses forêts. Les Grands Lacs forment la plus grande réserve d'eau douce du monde, servant de base de loisirs mais aussi de réseau de transport fluvial, qui permet d'accéder à l'Océan Atlantique grâce au Fleuve Saint-Laurent et à ses aménagements. La région comprend les eaux en amont du fleuve Mississippi et la plus grande partie du fleuve Ohio, deux voies d'eaux essentielles pour le transport jusqu'au Golfe du Mexique. Le Midwest est une région agricole très importante pour les Etats-Unis, produisant la majeure partie du maïs et du soja du pays. Cette région a aussi d'importantes métropoles comme Chicago et Détroit. Les zones à plus forte densité d'habitation se situent le long des grands lacs et des fleuves. Les « NorthWoods » représentent de vastes espaces de forêts à proximité des voies d'eau, fournissant ainsi un moyen de transport très pratique.

##### **A4.1. Climat du 20<sup>ème</sup> siècle**

Au cours du XX<sup>e</sup> siècle, la partie septentrionale du Midwest, y compris le Nord de la région des Grands Lacs, s'est réchauffée de presque 2°C, alors que la partie au Sud, le long de la rivière Ohio, s'est refroidie de 0,5°C.

Les précipitations annuelles ont augmenté de 20% en moyenne, mais cette eau supplémentaire est en majeure partie associée à des pluies torrentielles

#### **A4.2. Prévisions climatiques pour le 21<sup>ème</sup> siècle**

Pendant le XXI<sup>e</sup> siècle, il y a de fortes probabilités que les températures continuent à augmenter, et ceci de manière plus rapide que ce qui a été observé jusqu'à présent. Le Midwest devrait se réchauffer entre 3 à 5°C d'ici 2090 [8].

Les précipitations devraient aussi continuer d'augmenter de l'ordre de 10 à 30% sur toute la région. Une augmentation de la fréquence et de l'intensité des extrêmes climatiques est aussi attendue par les différents modèles.

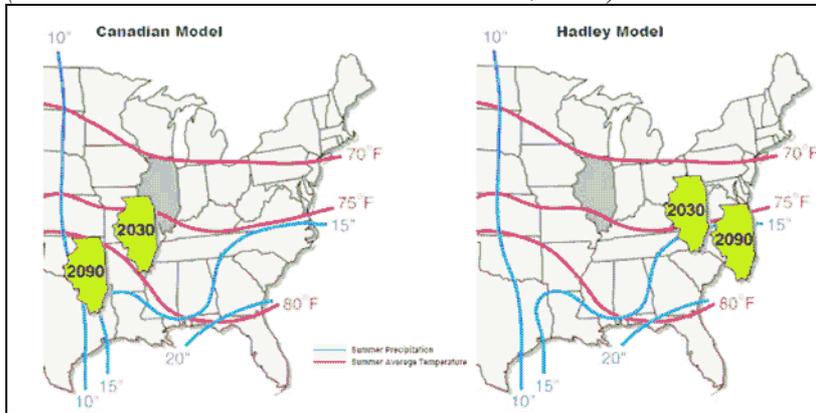
#### **A4.3. Impacts potentiels du changement climatique sur l'agriculture**

L'agriculture joue un rôle extrêmement important pour cette région, les Etats-Unis, et le monde entier. Elle a prouvé sa capacité d'adaptation aux changements climatiques de la saison de croissance, et sera probablement capable de s'adapter au changement climatique du XXI<sup>e</sup> siècle (*entretien Steve SHAFER*). L'allongement de la période de croissance permet d'envisager l'introduction de deux cultures consécutives au lieu d'une seule pendant la même période. L'effet fertilisant de l'augmentation atmosphérique du CO<sub>2</sub> favorisera la croissance végétale et donc les rendements. Les améliorations les plus importantes sont attendues au Nord du Midwest, où le rendement des cultures est actuellement limité par les températures assez basses. Cependant, les rendements ne vont pas augmenter dans toutes les régions. Par exemple, au Sud de l'Indiana et de l'Illinois, les rendements de maïs risquent de baisser de 10 à 20

Sous les différents scénarios du changement climatique, un allongement de la saison de croissance végétale favorisera la production agricole. Même si seulement 4% des fermes de la région Nord des Grands Lacs disposent d'installations d'irrigation, toutes les fermes devraient bénéficier des avantages d'une période de croissance plus longue en installant un dispositif d'irrigation. Pour l'instant, les sols et les pratiques agricoles sont plus adaptés aux variétés actuellement cultivées que celles situées plus au Sud, mais le réchauffement climatique repousse progressivement les limites de l'utilisation des différentes variétés. Selon le modèle Hadley, les conditions agricoles en été seront proches des conditions actuelles de Virginie en 2030 et de la Caroline du Nord d'ici 2090. A l'inverse, le climat plus sec prévu par le modèle Canadien annonce un climat similaire à celui que connaît actuellement le Missouri ou l'Arkansas en 2030 et un climat s'approchant du Texas ou de l'Oklahoma d'ici 2090 pour les périodes estivales. Les simulations prévoient que la « Corn Belt » connaîtra une augmentation des rendements due en particulier à la fertilisation du CO<sub>2</sub> et aux températures moins froides [8]. Le

modèle Hadley simule un réchauffement des températures les plus basses de l'ordre de 3°C d'ici la fin du XXI<sup>e</sup> siècle.

Figure 2 : Simulation de translation de climat selon les deux modèles  
(extrait de USGCRP National Assessment, 2001)



#### A4.4. Impacts sur l'élevage

Pour les élevages, la limitation des températures extrêmement basses réduira la mortalité des bêtes pendant l'hiver. En revanche, des températures plus chaudes en été augmenteront le stress dû à la chaleur et la mortalité estivale du cheptel.

La production laitière est aussi directement affectée par la température. Par exemple, la fourchette de températures acceptables par les ruminants se situe entre 4 et 24°C. Les ruminants sont très sensibles aux vagues de chaleur et à une humidité importante. Alors que le climat se réchauffe, il est nécessaire d'envisager de nouveaux systèmes de refroidissement et de ventilation des stabulations. Il n'est pas certain que l'adoucissement des températures les plus froides compense les pertes dues aux chaleurs trop grandes.

Les types de plantes, y compris les cultures, qui se trouvent dans le Midwest sont partagées entre un métabolisme de photosynthèse en C<sub>3</sub> et en C<sub>4</sub> (cycle utilisant 3 ou 4 atomes de carbone). Les plantes en C<sub>4</sub> comprennent le maïs, des plantes à climat chaud, ainsi que des espèces invasives pérennes et annuelles. Les plantes en C<sub>3</sub>, qui dominent dans le Nord du Midwest, sont représentées par le blé et les herbes ray-grass qui se développent particulièrement bien dans des zones avec des saisons de croissance plus fraîches. Les études sur la réponse du couvert végétal du Midwest sous les futures conditions climatiques montrent que les plantes pérennes C<sub>3</sub> seront remplacées par les plantes pérennes en C<sub>4</sub> [9]. Ce changement paraît déterminé principalement par l'augmentation des températures. Ce changement de végétation posera problème à l'agriculture actuelle qui sera contrainte de s'adapter.

#### A.4.5. Problèmes environnementaux

L'agriculture a largement contribué à la pollution des lacs et des rivières de la région qui s'est traduite par une bio-accumulation de fertilisants et de pesticides dans les poissons. L'utilisation de pesticides va probablement augmenter si les plantes dominantes deviennent les plantes en C<sub>4</sub>. Les priorités entre rendements agricoles et qualité de l'eau seront plus difficiles à établir.

La partie Nord du Midwest a une combinaison unique de sol et de climat qui permet une croissance abondante de conifères. Les températures plus chaudes et l'augmentation de l'évaporation vont probablement réduire la surface de ces forêts boréales et les rendre plus vulnérables aux ravageurs (maladies et insectes) [15]. La partie Sud de ces forêts boréales sera le lieu de transition avec la forêt tempérée, qui en revanche sera en compétition avec les autres types d'occupation du territoire (agriculture, habitations). Au cours du XXI<sup>e</sup>, les stress environnementaux seront plus importants pour les conifères et les arbres feuillus qui deviendront plus vulnérables aux maladies et aux insectes [15].

## **A5. Grandes Plaines**

Cette région comprend les 8 Etats suivants : Dakota du Nord, Dakota du Sud, Kansas, Nebraska, Wyoming, ainsi que la plus grande partie du Montana, de l'Oklahoma et du Texas, et l'est du Colorado et du Nouveau Mexique.

La région des Grandes Plaines produit la part la plus importante des céréales, de la viande et des fibres des Etats-Unis. Par ailleurs, cette région est aussi un lieu de loisirs, d'espaces naturels et de ressources en eau. Les sols, riches en matière organique, permettent de mieux retenir l'eau, d'être plus fertiles et de mieux stocker le carbone.

### *A5.1. Climat du 20<sup>ème</sup> siècle*

Au cours du XX<sup>e</sup> siècle, les températures du Nord et du centre des Grandes Plaines ont augmenté de 1°C à 3°C dans certaines zones. Mais aucune tendance ne s'est véritablement dégagée sur cette région. Sur ces 100 dernières années, les précipitations annuelles ont baissé de 10% dans les Rocheuses. Le Texas a connu des précipitations beaucoup plus fortes.

### ***A5.2. Prévisions climatiques pour le 21<sup>ème</sup> siècle***

Les températures devraient continuer à monter dans l'ensemble de la région, avec des pics dans le Nord et l'Ouest des Grandes Plaines. Sur le plan des saisons, les températures devraient surtout se réchauffer en hiver et au printemps. Une tendance à la baisse des précipitations est attendue dans les Rocheuses alors que les autres zones de cette région devraient connaître des augmentations. L'intensité des précipitations augmentera dans les Grandes Plaines, ce qui pourra créer des problèmes d'inondations rurales et urbaines. L'érosion des sols serait aussi favorisée par ce phénomène.

### **A5.3. Impact sur les sociétés agricoles**

La communauté rurale, déjà affaiblie par le déclin de sa population et des bases économiques, est dépendante de l'avantage comparatif de ses produits agricoles dans le marché national et international. Le changement climatique pourrait apporter des difficultés supplémentaires et frapper de manière inégale les exploitants des Grandes Plaines.

Les acteurs concernés misent sur un regroupement des exploitations pour s'adapter au changement climatique en restant compétitifs (*entretien William KIRK*).

### **A5.4. Disponibilité en eau**

L'agriculture est le premier consommateur d'eau dans la région des Grandes Plaines avec plus de 40% de l'eau totale utilisée. Les eaux superficielles alimentent principalement les Etats du Montana, du North Dakota et du Wyoming alors que le Nebraska puise essentiellement dans les réserves souterraines.

L'irrigation a permis de diversifier l'agriculture dans la région des Grandes Plaines, mais le manque d'eau dans le sol risque d'affecter sérieusement le rendement des cultures et des prairies [16]. Sous le modèle Canadien, la consommation d'eau pour les cultures pérennes comme la luzerne augmentera de 50% d'ici 2090. Cependant, l'augmentation des précipitations pendant la saison de croissance permet de maintenir la consommation d'eau actuelle pour les cultures de maïs. Suivant les changements climatiques, les deux types de cultures, irriguée ou non, peuvent être menacées par l'appauvrissement des ressources hydriques de la région.

La saisonnalité des précipitations est aussi un facteur important dans les modes d'utilisation de l'eau. L'agriculture irriguée le long des montagnes Rocheuses est plus dépendante de l'eau issue de la fonte des neiges que des précipitations printanières.

L'agriculture non irriguée de l'est des Grandes Plaines est moins dépendante de la fonte des neiges et plus dépendante des pluies printanières. L'écosystème hydrique a été largement aménagé dans cette région avec de nombreux barrages, déviations de rivière, canaux fluviaux.

Le partage des réserves hydriques est le principal défi de la région des Grandes Plaines. De plus en plus d'arrangements sont trouvés entre les villes et le milieu agricole qui font preuve depuis quelques années de bonne volonté pour gérer conjointement les réseaux. La gestion des eaux superficielles et souterraines est devenue la priorité numéro 1 de cette région. La généralisation de nouveaux mécanismes d'allocation de la ressource comme le « Water Banking » pourrait permettre d'arbitrer entre les divers usages.

#### ***A5.5. Impacts environnementaux***

L'augmentation potentielle des sécheresses et/ou de l'intensité des orages peut sérieusement affecter la qualité de l'eau. Les produits chimiques des fertilisants, herbicides, pesticides, fumiers, et sel, ne sont pas retenus et réduisent la qualité de l'eau de surface et souterraine. Beaucoup de villes dans la région des Grandes Plaines atteignent difficilement les critères de potabilité de l'eau.

## Annexe B : Synthèses d'entretiens

### **Limites de la modélisation climatique, une table ronde avec différents scientifiques du centre de recherche Atmosphérique et Océanographique de Madison**

Table ronde avec le groupe AOS (Atmospheric and Oceanic Sciences) de l'université de Madison sur le thème du réchauffement climatique, des modèles et de la prédiction des impacts

#### **Zhengyu Liu (ZL):**

Professeur, Ph.D. MIT

Directeur du Centre de recherche climatique, de dynamique climatique, de modélisation des systèmes terrestres et d'océanographie

#### **Eric DeWeaver (EW):**

Professeur associé, Ph.D. University of Maryland  
dynamiques climatiques

#### **Galen McKinley (GK):**

Professeur associé, Ph.D. MIT

Océanographie, cycles bio-chimiques marins

#### **David Lorenz (DL):**

Post Doc AOS



#### Prédictions globales et locales, deux approches différentes:

ZL pense que le **réchauffement climatique n'est plus contestable sur les tendances générales, comme l'augmentation des températures**. Il émet cependant des réserves lorsqu'il s'agit de considérer des événements tels que Katrina comme des conséquences directes du réchauffement climatique.

A l'échelle mondiale, tout le monde est d'accord pour dire que l'incertitude des prédictions baisse sensiblement, presque assez pour ne plus avoir recours aux différents scénarios mais seulement à une seule prédiction. EW explique cependant que l'opinion publique peut avoir l'impression que la recherche n'avance pas car les questions posées deviennent de plus en plus complexes. **Maintenant que les tendances générales sont connues, les regards se tournent vers la répartition spatiale et temporelle des précipitations et la manière dont les extrêmes climatiques (tornades, sécheresses,...) vont évoluer. Ce qui est bien plus complexe que d'estimer de simples tendances.**

Le « **Center for Climatic Research** » (C.C.R), dont ZL est le directeur, ne collecte pas de données mais les analyse. Tous ont affirmé qu'il est possible aujourd'hui d'avoir accès à n'importe quel type de données climatiques. Généralement, ce sont des organismes nationaux qui collectent les données. Il gardent les résultats quelques années avant de les mettre en ligne sur Internet.

### Surveillance automatisée des mers et des océans:

GK a beaucoup travaillé sur la contribution des océans au phénomène du changement climatique. L'étude la plus importante jamais réalisée sur les océans a commencé dans les années 90 sous le nom de « World Ocean Circulation Experimentation ». Il s'agissait de faire des mesures de paramètres marins à différentes profondeurs partout dans le monde. Tous les dix ans, une opération de grande ampleur est lancée pour revenir sur des zones spécifiques et noter les évolutions des températures, des concentrations en CO<sub>2</sub> et O<sub>2</sub>: 4 ou 5 dans le Pacifique, 2 ou 3 dans l'Atlantique, 1 ou 2 dans l'océan Indien. Un autre projet a commencé il y a cinq ans et utilise des robots autonomes, c'est le projet **ARGO** (<http://www.argo.ucsd.edu/>). Plus de 3000 stations flottantes dérivent en ce moment dans tous les océans et effectuent de manière continue des prélèvements (T°C, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>) qu'ils envoient par satellite. Ces robots plongent pendant dix jours jusqu'à 2000 mètres de profondeur avant de remonter pour se recharger et envoyer leurs données.

### **Les systèmes terrestres sont difficiles à étudier**

ZL pense qu'en matière de surveillance et de connaissance, l'atmosphère est le sujet le plus facile à étudier et donc le mieux connu. Ensuite, les océans sont un peu durs à étudier mais commencent à être de mieux en mieux compris. **Enfin, les systèmes terrestres sont les plus difficiles à surveiller et donc les moins connus. Cela vient du fait qu'ils sont très hétérogènes.** Les prélèvements d'un sol donné ont une faible représentativité spatiale.

### Couplage de modèles, étude des océans et cycle du carbone:

Les modèles couplés océan-atmosphère permettent aujourd'hui d'estimer la quantité de CO<sub>2</sub> émise dans l'atmosphère et quel pourcentage provient des continents et des océans. **On arrive à estimer assez précisément combien de CO<sub>2</sub> les océans absorbent en moyenne (entre 1.8 et 2.10<sup>12</sup> kilogramme/an), ce qui reste trop imprécis pour évaluer les variations d'une année sur l'autre.** Certains mécanismes restent encore incompris dans le cycle du CO<sub>2</sub> dans les océans aussi bien dans le domaine physique que biochimique. **Il est donc pour le moment impossible de prédire à quel rythme les océans vont continuer à absorber du CO<sub>2</sub> dans les 50 prochaines années.** Mais, la recherche avance activement dans ce domaine. Depuis une dizaine d'années on comprend de mieux en mieux l'incertitude sur la connaissance des phénomènes étudiés. Cela permet de préciser les résultats et, à long terme, de faire baisser la barre d'incertitude.

### Stratégie de l'IPCC basée sur les scénarios :

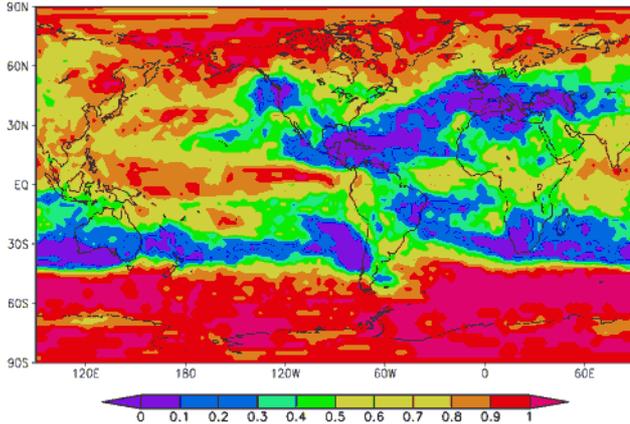
L'IPCC a sélectionné une vingtaine de modèles climatiques, appelés **GCM (General Circulation Model)** dans le monde entier. Ces modèles ont été mis à l'œuvre sur plusieurs scénarios sans tenir en compte du degré de probabilité de chacun. Chaque scénario suppose un développement particulier de l'économie, de l'industrie (émissions de CO<sub>2</sub>), de la science et de la population. Les scénarios les plus utilisés étant les séries A et B. Ainsi, l'IPCC a permis d'approcher de façon exhaustive les conséquences potentielles du réchauffement climatique. Chaque GCM a fonctionné avec les données de chacun des scénarios pour établir les prédictions du climat dans les 100 prochaines années. Les résultats ont été recoupés pour chaque scénario et c'est ainsi qu'en 2001

l'IPCC a pu dévoiler avec une certaine fiabilité les prédictions de température pour chaque scénario. Les autres paramètres climatiques comme les précipitations ou les accidents climatiques étaient à l'époque trop complexes pour être anticipés.

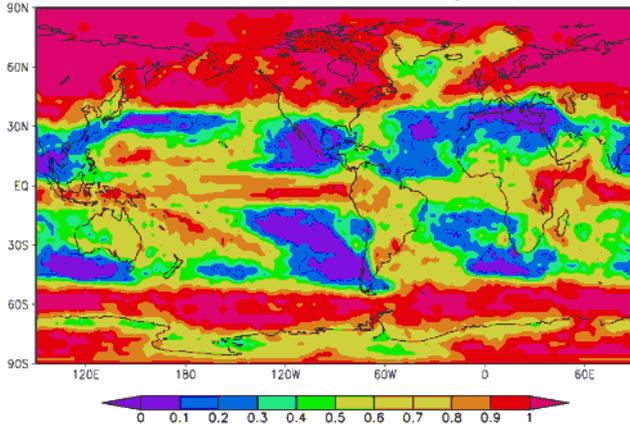
Modèles et précipitation :

Projected change in Precipitation (IPCC models)

fraction of models with increasing P (June–Aug.)



fraction of models with increasing P (Dec.–Feb)



*15 modèles ont été utilisés pour tirer ces deux cartes représentant l'évolution des précipitations pour l'été et l'hiver 2100. Les couleurs qui tendent vers 1 indiquent que tous les modèles ont convergés vers une augmentation des précipitations. Les couleurs qui tendent vers 0 marquent une convergence des modèles pour une augmentation de l'assèchement. Les couleurs autour de 0.5 marquent une incertitude quant à l'évolution des précipitations (les modèles divergent). Ces cartes n'indiquent pas de combien les régions vont être plus sèches ou plus humides, mais juste si elles vont l'être ou non.*

**On constate que les Etats-Unis sont principalement dans la zone d'incertitude (vert)**

**La principale différence entre le rapport de l'IPCC de 2001 et celui qui va être publié pendant l'été 2007 concerne les prédictions sur les précipitations.** Le prochain rapport de l'IPCC délivre les projections de l'évolution des précipitations suivant les saisons : été ou hiver. Les modèles ont réussi à être suffisamment bien calibrés pour sortir des tendances cohérentes sur le cycle de l'eau. On peut d'ailleurs observer sur cette carte que la projection de l'évolution des précipitations sur les Etats-Unis reste encore très incertaine (marquée majoritairement de vert). ZL et EW ont précisé que cette carte ne prédit pas obligatoirement ce qui va se passer.

Modèles et extrêmes climatiques :

Modéliser les extrêmes climatiques est un exercice très complexe car les événements arrivent assez rarement. Ce sont des phénomènes sur lesquels les scientifiques ont peu de données, puisque la collecte se fait de manière mensuelle, au mieux hebdomadaire mais

assez rarement journalière alors qu'il faudrait presque des données horaires pour analyser la formation de tornades. Mais le traitement statistique se révèle assez puissant puisqu'en utilisant les distributions normales on peut avoir une idée des moyennes et des maxima d'apparition de ces événements. Le seul problème reste le manque de données qui ne permet pas de donner aux prédictions statistiques une fiabilité nécessaire pour les intégrer dans des modèles. La marge de progression est donc importante pour les prochaines années puisque de plus en plus de données sont rassemblées et des ordinateurs de plus en plus puissants sont utilisés. ZL n'exclut pas la possibilité de pouvoir prédire les extrêmes climatiques dans un futur proche.

**Conclusion : la puissance informatique toujours plus importante va aussi permettre d'augmenter la précision des prédictions de tendances, que ce soit des températures ou des extrêmes climatiques.**

Progrès entre le 3<sup>ème</sup> et le 4<sup>ème</sup> rapport d'évaluation de l'IPCC 2001-2007 :

Il n'y pas eu de nouveauté sur l'imminence du réchauffement climatique. Rien n'a changé depuis un siècle puisqu'en 1904, on prédisait déjà que la température allait augmenter de 4°C. **Aujourd'hui, les prédictions de l'IPCC sont confirmées puisque la température moyenne de la terre risque d'augmenter entre 1,4 et 5°C d'ici 2100.** Les grandes tendances n'ont donc pas changé.

**La prochaine étape** (5<sup>ème</sup> rapport en 2012) **consiste à réduire les incertitudes au niveau de l'effet du CO<sub>2</sub>.** En premier lieu il s'agit d'affiner les différents scénarios d'émission de CO<sub>2</sub> afin de trouver le plus probable..

Les modèles ne sont pas faits pour prendre en compte les catastrophes naturelles :

La fiabilité des modèles sera toujours remise en cause puisqu'ils ne sont pas conçus pour prendre en compte des événements brusques. EW prend l'exemple de la couche de glace recouvrant le Groenland. La plupart des scientifiques pensent que cette couche va fondre progressivement mais d'autres avancent la théorie que la chaleur du sol crée une semelle de fonte qui entraînerait la séparation en deux du glacier et son effondrement dans la mer. En conséquence le niveau de la mer augmenterait presque du jour au lendemain de 10 à 15 m. Aucun modèle ne prend en compte la possibilité de ce désastre. **Il n'y a pas de place pour des catastrophes dans les modèles !** GK ajoute un exemple en parlant des énormes quantités de méthane retenues dans les profondeurs des océans et qui pourraient être libérées soudainement. La température de l'eau augmente progressivement et rend ce méthane plus instable, mais d'un autre côté, la fonte des glaciers élève le niveau de la mer qui exerce plus de pression et stabilise le liquide. GK pense que **les modèles de troisième génération prendront en compte ce genre de d'évènement.** Un dernier exemple est celui de la fonte des glaciers qui est plus rapide que prévue car un certain nombre de mécanismes soit trop difficiles à modéliser sont soit tout simplement inconnus. **Le**

Plusieurs projets parviennent à modéliser la formation et l'évolution des tornades, ou l'effondrement des glaciers, mais intégrer ces modèles aux GCM dépasse encore les capacités scientifiques actuelles. Ces paramètres seront probablement intégrés dans le rapport de l'I.P.C.C en 2020.

Réserves des scientifiques sur la « dramatisation médiatique » du réchauffement climatique :

Tous regrettent qu'on appelle le réchauffement climatique : « le plus grand challenge que l'humanité n'a jamais connu ». On est sûr de rien et les risques d'une guerre nucléaire mondiale sont peut-être plus importants. Il se peut que la mer ne monte que de 1 mètre au lieu des 20 prévus, il se peut aussi que les glaciers mettent bien plus longtemps à fondre... **La seule certitude est que le réchauffement climatique est bien présent mais personne ne sait comment il va se manifester ni quels seront ses impacts puisque cela dépend de comment les hommes s'y seront préparés.**

Conclusion :

**Enfinement ce n'est peut être pas sur la modélisation en elle-même qu'il faut se concentrer mais plutôt sur la compréhension des phénomènes. On sera toujours capable de créer des algorithmes, mais le cœur de tout modèle repose sur la compréhension des processus modélisés. Comprendre ce qui se passe reste la clé de toutes les interrogations. Les modélisations ne sont que des outils intermédiaires permettant de tirer des résultats, quand bien même tout processus n'est pas compris intégralement.**

## **Les ravageurs : la menace sous-estimée par les Etats-Unis**

William Kirk (WK): Département de Pathologies des plantes, spécialiste des pathologies de pommes de terre.  
(<http://www.potatodiseases.org/index.html>)

WK est spécialisé dans les traitements phytosanitaires des légumes, il fait de la recherche appliquée et travaille directement avec les producteurs et des groupes comme « Michigan Potato Industry Commision », « Soy Bean Grower Association », « Sugar Beat Advancement Commitee » ainsi que l'U.S.D.A et le « National Potatoo Council ».

Le Michigan, le Minnesota et Wisconsin sont de gros producteurs de pommes de terre. Ils ont représenté en 2006 15% de la production totale des USA (21,7 millions de tonnes)

### Des épidémies de plus en plus fréquentes :

Aucun des groupes mentionnés ci-dessus ne prend en compte les risques du changement climatique et tous se concentrent sur les problèmes quotidiens ou à court terme. Mais WK explique que **les mentalités ont changé légèrement depuis la répétition d'une épidémie assez sérieuse dans le secteur des pommes de terre depuis une dizaine d'années**. Dans les années 90, une version mutée du « *potato late blight* » qui avait sévi aux Etats-Unis et en Europe au XIX siècle est réapparue aux Etats-Unis. Ce pathogène, probablement originaire du Mexique, a d'abord contaminé l'Europe en 1977 en apparaissant en Suisse. Il s'est ensuite propagé aux U.S dans les années 90. Ce pathogène attaque les tubercules une fois récoltés et fait preuve d'une bonne résistance aux basses températures puisqu'il peut survivre jusqu'à 5 jours à -5°C. Le Nord des Etats-Unis et le Sud du Canada ont des sols qui atteignent fréquemment -10°C sur 30 cm de profondeur pendant l'hiver. Mais ces températures sont de moins en moins fréquentes, ce qui a dû probablement favoriser les vagues d'épidémies.

### Des pathogènes résistants à l'hiver :

**WK pense que ce phénomène est dû à l'augmentation des températures hivernales. Cette élévation permet à certains pathogènes de résister à l'hiver et donc de se propager très rapidement une fois le beau temps revenu.** Les pathogènes attaquent donc très tôt dans la saison et les producteurs doivent s'adapter à ce nouveau régime. **Si certains pathogènes résistent à présent, cela suppose que des insectes résistent eux aussi.** Les insectes étant des vecteurs de maladies, il se peut qu'ils réinfectent à leur tour les cultures de manière plus précoce.

### Localisations géographiques et pratiques culturelles influencent les impacts du changement climatique :

**Les types de cultures, leur localisation et le moment de leur mise en culture sont les paramètres qui définissent leur sensibilité au changement climatique.** Par exemple, des pommes de terre sont cultivées en Floride pendant l'hiver. Elles sont plantées en décembre et récoltées en mars, ce qui limite les risques d'infection presque autant que dans les régions du Nord où les pommes de terre sont récoltées au printemps. William

précise d'ailleurs que les conditions hivernales en Floride risquent de se détériorer. Le changement climatique n'est pas seulement caractérisé par une augmentation des moyennes des températures mais aussi par une augmentation de la fréquence des événements extrêmes.

**En Floride, WK pense que les températures hivernales vont baisser, et que cette tendance sera renforcée par le refroidissement du Golf Stream.**

Les prédictions affirment qu'il fera plus chaud dans le Michigan, mais WK traduit cela en expliquant que « plus chaud dans le Michigan » signifie sûrement plus chaud dans la partie Sud du Michigan et des températures et précipitations plus sévères et répétitives au Nord. Le Nord du Michigan connaît par exemple des successions de jours de pluie de plus en plus longues.

Des récoltes de plus en plus difficiles :

**Le résultat de tous ces changements se manifeste par une accumulation des problèmes et des phénomènes jamais observés auparavant.** Cette année dans le Michigan, le maïs destiné à la production de carburants a été infecté tardivement par une maladie ne touchant jusqu'alors que le maïs destiné à l'alimentation humaine aux stades de développement précoces. Le vecteur a été identifié assez rapidement sous la forme de coléoptères qui ont transmis cette maladie d'une culture à l'autre. Le problème est que cette fois-ci, la maladie a touché les plantes plus tardivement, à des stades de développement très sensibles.

Décalage temporel des différents phénomènes et prévisions climatiques :

Le moment où maladies et ravageurs atteignent un pic de développement est crucial pour estimer les conséquences. Si les pathogènes se développent à un stade précoce du cycle végétal, les dommages seront moins importants que s'ils se développent lors du bourgeonnement. Le réchauffement climatique a tendance à perturber tous les paramètres si bien qu'il est très difficile de savoir ce qui va se passer. **Les cycles des pathogènes, vecteurs et plantes ont tendance à se décaler dans le temps, ce qui complique la mise en place de protocoles efficaces pour éliminer les parasites. Mais, de façon générale l'agriculture américaine dispose d'outils suffisants pour traiter n'importe quel virus ou maladie. La question est plutôt économique, il s'agit de déterminer le seuil de dépense acceptable pour traiter les cultures.**

Seuls les agriculteurs supportent les conséquences du changement climatique :

La plupart des agriculteurs ont des contrats avec les entreprises agro-alimentaires qui leur achètent une quantité avec une certaine qualité. **La plupart des contrats ne prennent pas en compte les aléas naturels et chaque producteur doit trouver un juste équilibre entre les moyens qu'il utilise et le rendement qu'il obtient.** Depuis quelques temps les conditions de récolte se dégradent (maladies, intempéries,...) mais les contrats restent les mêmes, si bien que la marge du producteur diminue progressivement. Les agriculteurs sont, pour l'instant, les seuls à devoir supporter le coup du changement climatique.

Une agriculture trop dépendante de l'industrie chimique :

WK pense que l'agriculture américaine dépend déjà trop de l'utilisation de produits chimiques. **Dans la mesure où les conditions de production vont se dégrader et le prix des intrants va augmenter, le seuil de rentabilité de l'activité agricole sera rapidement atteint.** Les producteurs de légumes gagnent en moyenne de 4000 à 5 000 \$ par hectare, mais utilisent déjà plus de 3 000\$ d'intrants/ha, ce qui réduit leur bénéfice à 1 500\$/ha dans le meilleur des cas. Le même scénario se passe pour le maïs, les producteurs gagnent en moyenne 500\$/ha mais utilisent 200\$ d'intrants. **A chaque fois qu'une nouvelle maladie apparaît, le traitement coûte environ 60\$/ha. Il suffit que deux parasites différents apparaissent en même temps et le bénéfice d'un producteur de maïs baisse d'un tiers.** Le changement climatique qui favorise l'apparition de nouveaux parasites peut avoir des conséquences économiques importantes. Dans certains cas, les producteurs ne font pas plus de 5% de marge.

Une agriculture influencée par les débouchés énergétiques :

**Le débouché énergétique va considérablement changer l'agriculture américaine dans les 30 années à venir même si elle va continuer à produire des biens alimentaires.** Le processus agro-alimentaire devient plus efficace. En Floride par exemple, la surface destinée aux pommes de terre diminue : elle est passée en 10 ans de 45 000 hectares à 10 000 hectares, sans déstabiliser l'approvisionnement. Des progrès importants ont eu lieu dans les moyens de conservation (chambres froides, transports réfrigérés, etc.). Mais ces progrès restent très consommateurs d'énergie et peuvent être remis en cause dans quelques années si la crise énergétique devient trop grave.

La recherche agronomique américaine est prête :

La production de nouvelles semences se concentre plus sur la résistance aux pathogènes et moins sur les rendements. **La recherche agronomique s'est donc préparée pour faire face aux possibles impacts du réchauffement climatique.** Au niveau des pommes de terre, WK dispose déjà de variétés résistantes aux principaux pathogènes, mais le rendement et la qualité sont moins bons, si bien que les coopératives refusent encore pour l'instant de les utiliser.

**Les plantes à forte valeur ajoutée seront les plus touchées par le changement climatique.** Les plantes sensibles aux impacts du changement climatique sont celles qui sont sensibles à des gammes étendues de parasites. **Les légumes seront donc les plus touchés.** Les fruits, très sensibles aux températures, seront aussi touchés de manière importante. **Les grandes cultures seront moins touchées mais subiront tout de même des pertes.**

Plus de traitements à un coût plus élevé :

**Il y a 12 ans, on appliquait en moyenne deux traitements sur les cultures de pommes de terre alors qu'aujourd'hui on en est à 18.** En ce moment, la tendance est à la baisse car les produits sont de plus en plus efficaces et les prédictions meilleures, ce qui devrait faire redescendre à 12 applications dans les prochaines années. Selon WK, 18 applications étaient le maximum supportable par les agriculteurs dont **les contrats avec les entreprises agro-alimentaires ne prennent pas en compte les difficultés croissantes pour atteindre les mêmes critères.** Les conséquences sont immédiates, en 1994, il y avait 400 producteurs de pommes de terre, aujourd'hui il n'y en plus que

40. Les grandes compagnies comme Walmart ne changent pas leur position et gardent des contrats à 100\$/tonne, même si le coût de production atteint 200\$/tonne. Les contrats n'ont pas été réévalués. La plupart des producteurs de pommes de terre se reconvertissent dans le soja, les pommes de terre sont importées du Canada.

Au niveau des betteraves sucrières, il se passe la même chose. **Il y a 3 ans à peine on n'appliquait qu'un seul fongicide alors qu'aujourd'hui WK ne connaît pas d'agriculteur qui utilise moins de 2 traitements.** La production des betteraves est donc concurrencée par la production de l'Amérique Centrale.

Ecart entre producteurs et consommateurs :

**WK fait aussi le constat que la demande des consommateurs s'éloigne de plus en plus de la réalité de l'agriculture.** Ils veulent des produits calibrés, de qualité et cultivés avec moins de pesticides, mais ne sont pas conscients que pour maintenir ces critères les agriculteurs utilisent en moyenne deux traitements phytosanitaires aujourd'hui pour un seul il y quelques années. **WK pense qu'une crise agricole est à craindre d'ici quelques années parce que consommateurs et producteurs seront complètement déphasés.**

Des conditions jamais expérimentées :

WK prédit que **les conditions géographiques du Michigan seront toutes nouvelles** car, pour la première fois, **les sols de la région des Grands Lacs vont connaître un climat moins froid en hiver, moins chaud en été et globalement plus humide.** On ne peut donc pas parler de translation de situation géographique du Sud vers le Nord, comme le fait de manière schématique l'« Union of Concerned Scientists ». Les changements climatiques les plus significatifs sur les U.S vont être des hivers moins froid au Nord mais plus froid au Sud.

***Exemple d'une filière entièrement dépendante du changement climatique : la filière cerises du Michigan***

**Pileus Group (Michigan State University)** : Le but du groupe Pileus est de fournir des informations climatiques exploitables pour les acteurs de la filière cerise. (<http://www.pileus.msu.edu/>)

**Julie Winkler(JW)** : Professeur de Géographie à Michigan State University, Julie Winkler est chargée en particulier de développer les scénarios climatiques en les rendant plus précis et en estimant de manière plus fiable les incertitudes.

**Jeffrey Andresen (JA)** : Professeur associé au département de climatologie de Michigan State University. Dr. Andresen est le co-directeur (avec Julie Winkler) du projet Pileus. JA supervise aussi l'analyse des données climatiques du Michigan afin de développer les outils d'aide à la décision pour les agriculteurs.



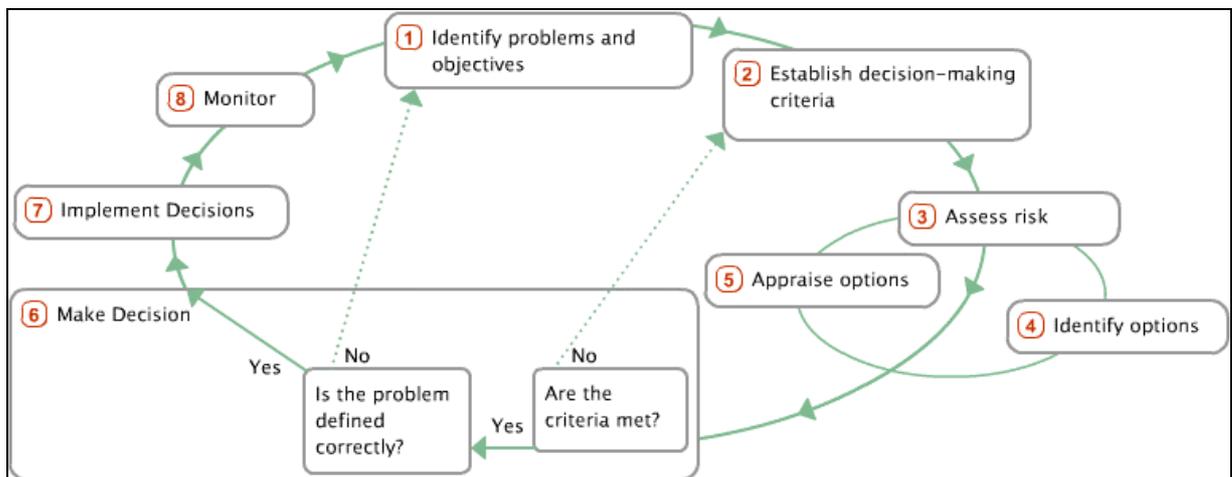
**Le groupe Pileus, une initiative pour aider les agriculteurs à s'adapter au changement climatique**

Le groupe Pileus s'est construit en trois étapes. Il fit d'abord partie de l'« **American National Assessment** », où il était censé collecter des données sur la filière de cerises de la région des Grands Lacs. Mais JA pense que cette initiative a été trop ambitieuse, car elle voulait prendre en compte trop de paramètres alors que c'était la première fois qu'on se livrait à un tel inventaire. Le résultat fut que les analyses régionales étaient peu poussées, seules des tendances générales ont été décrites. Parallèlement, le groupe Pileus fut chargé de la rédaction du **Great Lake Assessment (GLA)** en 1998, 2000 et 2002. Il est financé de manière continue par l'EPA depuis 2002.

Selon ces deux scientifiques, l'USDA lancerait une opération de grande envergure dans le Midwest pour évaluer les émissions de gaz à effet de serre issues des activités agricoles. Cette initiative s'inscrirait dans le développement du Chicago Climate Exchange et des crédits d'émissions vendus par l'agriculture.

JA a été frappé par le rapport Stern qui lui semble très inquiétant pour l'avenir. Il pense que la mentalité américaine n'est pas encore totalement sensible à la réalité du changement climatique et à l'urgence de la situation, mais il reconnaît qu'elle change. Une des premières missions du Pileus groupe fut d'auditer les secteurs susceptibles d'être touchés par le réchauffement climatique afin de connaître leurs inquiétudes concernant ce phénomène ainsi que leurs suggestions. Les résultats de cette enquête furent utilisés pour cibler la recherche vers des points essentiels.

## Méthodologie du groupe Pileus



### Etude du décalage des phénomènes naturels dans les saisons :

Au niveau des climats, JW explique que suite à cette démarche, elle s'est intéressée plus particulièrement à l'évolution des degrés-jour et sur le décalage des saisons par rapport à la physiologie des cerisiers. Elle s'est intéressée à déterminer à quel moment et quel stade de développement (degrés-jour cumulés) les gelées printanières affectaient les cultures pérennes. Pour cette étude, le « National Assessment » de 2001 s'est appuyé sur les deux modèles climatiques les plus fiables pour les Etats-Unis : le modèle canadien et celui du centre Hadley. **Le résultat est assez confus puisque les deux modèles apportent des réponses très contrastées à la question de savoir si dans le futur les gelées printanières affecteront ou favoriseront les plantes pérennes.** Le premier modèle ne prévoit pas de changement, alors que le deuxième prévoit que les vergers arriveront plus rapidement à maturité et donc seront plus exposés aux gelées.

### De 2002 à 2006, les grandes tendances du changement climatique ont été confirmées :

Les deux scientifiques expliquent qu'il y a eu peu de rapports publiés entre 2002 et 2006, car un premier cycle d'études venait d'être réalisé. Les rapports sont souvent les résumés de toutes les études faites pendant une période donnée. Il va falloir alors attendre jusqu'en 2007 pour pouvoir à nouveau refaire une synthèse de toutes les études faites entre 2002 et 2006. **Globalement, rien de contradictoire n'a été trouvé entre 2002 et 2006, les grandes tendances sont confirmées, les détails sont précisés.** Pour la région des Grands Lacs, les deux modèles s'opposent sur la prédiction de l'humidité, mais même dans le cas le plus humide (modèle du centre Hadley), l'effet fertilisant du CO<sub>2</sub> améliore les rendements agricoles. **Mais ces prédictions n'ont pas pris en compte les risques de maladies et de parasites ni même l'état des sols.** JA assure que dans ce cas, les prédictions ont une faible fiabilité. Il insiste aussi sur le fait que **l'adaptation à ces changements climatiques ne peut pas se faire en décalant l'agriculture vers le Nord.** Tout d'abord parce que ce n'est pas si simple que cela sur le plan agricole : les variétés cultivées ne sont pas forcément adaptées à la nouvelle combinaison sol+climat. Ensuite, ces propositions n'ont pas pris en compte le fait que les infrastructures de la chaîne agroalimentaire ne peuvent pas se délocaliser rapidement et que, sans ce maillon, il est

inutile de vouloir cultiver de nouveaux terrains puisque aucune entreprise à proximité n'achèterait la production. Mais, de manière globale, les prédictions restent positives ou optimistes sur les impacts du réchauffement climatique dans la région des Grands Lacs.

**Ce qui n'est pas le cas plus au Sud, où la région des Grandes Plaines est menacée par un climat plus sec. La question de l'accessibilité à l'eau est dans ce cas un véritable problème.**

Pourquoi s'être spécialisé sur l'industrie des cerises dans une région agricole aussi diversifiée que le Michigan ?

Le groupe Pileus s'est intéressé aux cultures de cerises pour deux raisons. La production de cerises est tout d'abord une activité à haute valeur ajoutée, qui nécessite de lourds investissements à long terme (Plantation de vergers). Cette filière nécessite donc des garanties à la mesure des enjeux. Ensuite, la filière des cerises dans le Michigan présente la particularité d'être entièrement intégrée dans cet Etat, ce qui offrait la possibilité à **Pileus d'étudier les impacts du changement climatique à l'échelle d'une filière entière**. Pileus étudie donc tous les aspects des effets du réchauffement climatique. **La filière cerise du Michigan est utilisée comme modèle d'étude d'un secteur sensible au changement climatique.**

La troisième étape de l'évolution du groupe Pileus est marquée par une approche beaucoup plus économique du problème du changement climatique. **JA explique que le climat n'intervient qu'en tant que deuxième facteur après le contexte économique qui a le dernier le mot sur ce secteur. Le climat peut être le plus favorable ou défavorable possible, ce n'est pas lui qui décidera si la filière cerise doit subsister ou pas.** La concurrence internationale, mais aussi la pression de l'étalement urbain sont deux paramètres qui fragilisent la production de cerises dans le Michigan. Actuellement, les prix sont bas et la demande peu développée, si bien que les exploitants perdent de l'argent. La filière de cerises est dans une période noire depuis quelques années. **L'impact du changement climatique n'est donc qu'une pièce d'un puzzle très compliqué.**

Outils d'aide à la décision :

JA souligne une des priorités de l'EPA qui finance les organismes développant des outils d'aide à la décision pour prendre en compte le changement climatique. **La première réponse au changement climatique dans le Michigan est donc la mise à disposition d'outils pour gérer le risque.** Afin d'aider les producteurs et les transformateurs de cerises, le groupe Pileus a mis au point un logiciel de prédiction des rendements en fonction de la date et de la localisation. Cet outil accessible sur Internet est censé apporter un support scientifique aux décisions prises par toute personne ayant des intérêts dans la filière cerise. **JA est conscient que ce logiciel est assez peu précis et n'apporte pas de réponse concrète mais, il permet de diminuer les incertitudes et d'orienter les choix.** Dans leur approche, ils cherchent à cerner complètement les incertitudes plutôt qu'essayer de les réduire puisque leurs résultats ne sont jamais blancs ou noirs.

Prise en compte des facteurs difficilement prévisibles :

L'approche utilisée pour développer ce logiciel consiste à extrapoler les tendances du passé en prenant en compte les potentiels changements du futur. **Le modèle assure donc des résultats inscrits dans la continuité du passé, mais serait incapable de prendre en compte des évènements accidentels** comme par exemple le risque de gelées printanières en Europe Centrale qui détruiraient la majeure partie de la production locale et déstabiliseraient le marché mondial.

Pileus commence à travailler sur ces évènements brusques. **Le réchauffement des températures simplifie quelques fois leur travail puisque maintenant les hivers sont rarement très froids et ne causent plus de gel sur les cerisiers.** Mais le décalage des saisons augmente la vulnérabilité des bourgeons au début du printemps. En ce qui concerne les maladies et parasites, le groupe Pileus a lancé il y a peu de temps une recherche sur un champignon pathogène à l'origine du « cherry leaf spot » qui est la maladie principale dans la production de cerises du Michigan. Ce champignon est favorisé par le changement climatique. Les températures plus élevées sont à l'origine d'évaporations plus importantes et donc d'un taux élevé d'humidité dans l'air. Le phénomène de rosée est de ce fait amplifié, ce qui favorise le développement de ce pathogène sur les cerises. **Les données climatiques des trente dernières années confirment clairement un phénomène de rosée plus prononcé,** mais JA regrette le manque de données des traitements fongicides utilisés dans la région. Il pense en effet, que les quantités utilisées ont augmenté de manière notable mais n'a aucun moyen de le vérifier. Il ajoute que même s'il avait accès à ces informations, il serait impossible d'évaluer la pression que ce pathogène exerce sur la production puisque la nature même des fongicides a changé. Finalement, les deux chercheurs **rappellent que l'augmentation de l'humidité est l'une des principales manifestations du changement climatique dans le Michigan, mais ils n'ont pas eu le temps d'explorer tous les scénarios liés à ce paramètre.**

**Un problème plus récent mais assez inquiétant est celui du développement d'un parasite dont le cycle composé de plusieurs stades est très sensible à la température.** Normalement, seules les deux premières générations sont présentes dans les vergers, les deux stades suivants se développant plus au Sud. Mais depuis quelques années, avec des températures moins froides, les œufs de la troisième génération se développent dans la région des Grands Lacs et même les individus du quatrième stade sont observés dans les cerisiers. Les producteurs doivent donc appliquer des traitements adaptés aux quatre générations.

**Ces récentes explosions de parasites remettent en question la production de cerises. Les outils pour combattre ces ravageurs sont disponibles, mais leur coût dans un contexte de concurrence internationale devient le facteur limitant. JW précise qu'en plus de la question financière, la question stratégique pose aussi problème. A quel moment faut-il appliquer ces traitements dans la mesure où les saisons et les cycles de développement n'arrêtent pas de se décaler les uns par rapport aux autres ?**

### Prévisions du groupe Pileus

Le groupe Pileus est encore en train d'analyser les projections qu'ils ont établies mais de manière générale les rendements ne baissent pas de manière significative même si la production peut être touchée par des pics de chaleur ou des gelées. Le logiciel de Pileus rend des prédictions basées sur des tranches de 10 années, par exemple de 2040 à 2049, de 2050 à 2059, etc... **Il n'est donc pas assez précis pour prédire des variations annuelles dans le contexte économique, ni les accidents climatiques, mais seulement des tendances sur 10 ans. Cette imprécision reste assez handicapante car une moyenne sur 10 ans peut être positive alors que les variations d'année en année ont été telles que la filière n'aurait pas pu tenir.** Le groupe travaille en ce moment sur des modèles pouvant donner des variations bisannuelles voire annuelles, mais il reste encore beaucoup de travaux à faire avant de produire des résultats fiables.

#### Problème économique des légumes et fruits :

**Pour répondre à la demande des consommateurs qui veulent consommer des fruits et légumes tout au long de l'année les grandes multinationales de fruits et légumes ont investi ces dernières années dans des productions tropicales situées principalement en Amérique du Sud.** Des infrastructures énormes, dans un climat très favorable où les réglementations environnementales sont quasi inexistantes, concourent à établir des prix très bas et à concurrencer sérieusement les productions américaines et européennes. L'Amérique Centrale sera aussi touchée par le réchauffement climatique, mais les conditions seront toujours beaucoup plus favorables qu'aux Etats-Unis. **JA pense que le contexte économique va littéralement oblitérer les effets du changement climatique sur l'industrie de la cerise dans le Michigan.** Pour illustrer sa crainte, il prend l'exemple du secteur de la pomme qui a été complètement transformé lorsque la Chine a décidé qu'elle allait se mettre à produire des pommes. Aujourd'hui, la Chine inonde le marché mondial avec ses produits à base de pomme, ce qui a considérablement changé l'industrie de la pomme aux US. JA pense que le même scénario va se passer avec l'Amérique Centrale et les US sur le marché de la cerise. Globalement, l'agriculture américaine diminue pour laisser place à l'urbanisation. **L'étalement urbain, le manque d'eau, la concurrence internationale sont des facteurs qui contribuent à faire perdre l'avantage comparatif de l'agriculture aux US.** Beaucoup de surfaces agricoles aux U.S ne sont plus économiquement viables parce que les conditions de culture sont trop dures, les terrains trop chers, les ressources naturelles insuffisantes. **JA prévoit donc une intensification de la tendance à remplacer les terres agricoles soit par des logements soit par la végétation naturelle.** Dans le Michigan, beaucoup d'exploitants devront se diversifier vers des activités non agricoles pour tenir économiquement. **JA précise cependant que les grandes cultures de céréales subsisteront puisque les US arrivent à les produire pour un coût aussi bas que partout dans le monde. Mais il n'y a plus trop d'intérêt économique à garder les autres types de production.**

**JA relativise cependant la prépondérance de l'effet économique sur l'effet climatique dans la mesure où le changement climatique va toucher la terre entière de manière inégale, c'est-à-dire que tous les types d'agriculture vont changer dans le monde entier, soit pour limiter des dommages ou soit pour profiter des avantages.** Il est donc très difficile de savoir comment les systèmes économiques vont réagir face à ce changement global.

Impact du débouché énergétique :

Les seules cultures faciles à produire aux US sont les grandes cultures (maïs, soja), le contexte énergétique international appelle à trouver des sources d'énergies alternatives. Cela tend à suggérer à JA que **le futur de l'agriculture américaine se trouve dans le maïs/soja**. Il renforce cette impression en témoignant que **le plus grand changement qu'il ait vu dans l'agriculture américaine a été conduit par les débouchés énergétiques de l'éthanol**. Des usines à éthanol fleurissent partout dans le Midwest et même plus globalement dans tous les U.S. Dans deux ans ces usines fonctionneront à plein régime, ce qui constituera une demande de 1 milliard de tonnes de maïs par an alors que la production annuelle de l'Iowa est pour l'instant de 500 millions de tonnes partagées entre alimentation animale et éthanol. **L'agriculture doit changer pour pouvoir satisfaire cette demande. JA admet cependant que cette solution n'est pas durable, mais il y a tellement d'argent en jeu que la communauté agricole s'y précipite au pas de course.**

Réaction des agriculteurs du Michigan par rapport au changement climatique :

**Les deux chercheurs reconnaissent que les agriculteurs du Michigan sont plus concernés par le réchauffement climatique qu'ils ne l'auraient imaginé.** De manière générale, les producteurs de cerise sont assez ouverts pour comprendre ce qui se passe et essayer de s'adapter au mieux. De plus en plus coopèrent de manière intensive avec le groupe Pileus pour améliorer le logiciel. Ils recherchent des réponses pour pouvoir être capables de prendre de bonnes options pour l'avenir.

Problème démographique du secteur agricole :

**Jeffrey rappelle que la proportion de personnes âgées dans le secteur agricole ne cesse d'augmenter alors que les jeunes se font de moins en moins nombreux.** Ce qui contribue encore à affaiblir la capacité de l'agriculture à faire face aux effets du réchauffement climatique. Dans le Michigan, l'âge moyen de l'agriculteur est 65 ans. Jeffrey relève ici le problème du savoir-faire agricole. **S'il n'y a que des premières générations d'agriculteurs, qui aura l'expérience suffisante pour réagir face aux changements ?**

***Des textes officiels à la réalité du terrain : deux professeurs de l'université de Madison dans le Wisconsin éclairent la situation***

Jesse, Edward V(JE): *Professeur, Agriculture et Economie Agricole*

**Domaines de recherche:** *politiques agricoles, particulièrement la filière lait et les problématiques économiques des coopératives.*

Lutte contre le réchauffement climatique: des rapports officiels bien loin de la réalité

**Les agriculteurs du Wisconsin ne sont pas du tout préoccupés par les problèmes de réchauffement climatique.** Il n'y a aucune initiative du gouvernement pour limiter les émissions de GES au niveau de l'agriculture. Il n'y a pas d'études réalisées sur le sujet. **Les mesures environnementales ne s'appliquent qu'à travers des obligations fixées par l'USDA et n'ont pas de rapport direct avec le réchauffement climatique.** Les « Ex-Siting-Rules » servent à réglementer le taux de nitrate en planifiant les épandages. Chaque exploitation de plus de 1000 têtes doit présenter un programme de gestion du fumier pour éviter des infiltrations de nitrate dans le sol, ou d'eutrophisation des sols (environ 700 fermes concernées dans le Wisconsin). Dans le Wisconsin, quelques entreprises commencent à collecter le fumier pour le traiter dans des fermenteurs et produire du biogaz. Cependant l'opération ne paraît pas encore très rentable.

Des agriculteurs préoccupés par des problèmes plus urgents que le réchauffement climatique :

Pour l'instant les effets du réchauffement climatique sur l'agriculture ne sont pas pris en compte dans les plans de culture. **Il y a d'autres priorités, d'autres paramètres à améliorer avant de s'attaquer à ce problème qui reste encore très flou. L'agriculture paraît donc avoir un train de retard sur les préoccupations de l'opinion publique. Alors qu'elle peine à résoudre de manière définitive les taux de nitrate trop élevés dans les nappes phréatiques, l'opinion publique lui demande maintenant de surveiller ses émissions de gaz à effet de serre et de stocker le carbone dans le sol.**

Il y a en plus le problème des aides financières qui ne sont pas du tout adaptées aux besoins réels. Le résultat est le même depuis toujours, les quelques grands propriétaires terriens (des compagnies le plus souvent) s'enrichissent énormément alors que les autres disparaissent. **EJ croit dans l'avenir des « green paies » et du rôle que peut jouer l'agriculture dans le maintien d'un environnement sain. La principale difficulté sera de trouver un système économique équitable et durable qui permettra d'évaluer le service associé à chaque pratique environnementale.**

Cox, Thomas L (TC): *Professeur, Agriculture et Economie Agricole*

**Domaines de recherche:** *Analyse inter-régionale des politiques agricoles (filiale lait).*

TC est peu investi dans le réchauffement climatique car il pense que ce n'est qu'une mode passagère. Beaucoup de personnes ont l'impression qu'il y a beaucoup d'argent à se faire et se lancent sans réfléchir dans ce nouveau marché. Le gouvernement Fédéral et l'USDA ont débloqué énormément d'argent pour étudier le rôle que peut jouer l'agriculture contre le changement climatique. Les recherches de TC portent sur l'élaboration d'outils de gestion permettant à l'agriculteur d'avoir une activité rentable et durable si possible.

#### Solution globale : système de « green paies »

L'agriculture est une activité très rentable qui n'a pas été reconnue à sa juste valeur et a été sous payée par rapport à ses actions pour l'environnement. **L'agriculture doit être reconnue et rétribuée pour sa multifonctionnalité :**

- Stockage du carbone dans le sol
- Protection et maintien de l'environnement
- Production de biens alimentaires

Il pense que l'agriculture va s'adapter progressivement et fonde beaucoup d'espoirs sur le « Carbon Market » de Chicago dans lequel la « Wisconsin Farm Union » essaie de rentrer. Cela permettrait de trouver des débouchés supplémentaires dans la « digestion des effluents bovins » dans la mesure où le Wisconsin est un important Etat producteur de lait (environ 700 fermes de plus de 1000 têtes).

#### Les mentalités agricoles : un frein à l'adaptation du monde agricole :

Il y a un grand débat sur la mise en place d'un système de rétribution de « green paies ». **La première étape serait de savoir comment évaluer ces pratiques « écologiques » et ensuite de savoir si, en termes de gestion des terres, seules les améliorations par rapport à l'existant seront rétribuées.** La question posée est la suivante : est-ce que l'agriculteur qui mène depuis 20 ans une agriculture « durable », va être rétribué pour ses anciens services à la communauté ? Ou bien est-ce seulement celui qui va changer ses pratiques sous les incitations fiscales ?

Changer les habitudes est très difficile. On sait de manière désormais scientifique, que le non-labour est une pratique environnementale, économique et productive. Malgré cela, les agriculteurs du Wisconsin traînent des pieds pour l'appliquer.

#### Nécessités économiques à court terme :

Autre mauvaise caractéristique de l'agriculture : aujourd'hui, il est essentiel de voir à long terme, mais **d'un point de vue économique, personne ne peut soutenir une activité agricole visant le long terme.** Les agriculteurs préfèrent pousser les sols à fond, quitte à les dégrader irréversiblement plutôt que de les gérer de manière durable. **En d'autres termes, si l'agriculteur réfléchit « long terme », il est économiquement non viable.** C'est donc aux politiques de trouver les mesures fiscales incitatives pour les agriculteurs adoptent des pratiques « durables ».

#### Biocarburant, une solution non durable :

**TC pense que le débouché « Bio-ethanol » ou « Switch Grass » va être tout au plus effectif pendant une quinzaine d'années parce que les cultures vont être utilisées au**

**maximum.** Il faut être réaliste et ne se lancer que dans des projets faisables et durables!  
**Les agriculteurs du Wisconsin ne suivent pas de déontologie particulière. Ils suivent le business et n'accordent pas trop d'importance à leur rôle dans la société, à savoir : grenier de la planète et jardiniers de l'environnement.**

Une société américaine basée sur le maïs, l'illusion d'une solution durable :

L'agriculture américaine présente l'énorme handicap d'être complètement congestionnée par le système d'aides fédérales. 20 milliards de dollars sont alloués annuellement aux agriculteurs, mais la répartition est peu efficace. C'est la même situation en Europe. Les pratiques culturales sont entièrement déterminées par les incitations fiscales. **En ce moment, les US sont dans la période « Corn ». Le marché alimentaire est largement tourné vers le maïs. Tout est fait pour pousser l'agriculteur à cultiver du maïs.** Il en résulte que la plupart des produits de grande consommation sont à base de maïs (glucose) et contribuent à la vague d'obésité qui s'est installée aux US. **Cela est dû au lobbying de 4 ou 5 compagnies très influentes qui font tout pour maintenir les aides à la production du maïs.** Récemment, ces lobbies ont été renforcés par le débouché du « Corn-based-ethanol ». L'Etat subventionne à hauteur de 30 000 dollars chaque station service fournissant du carburant à base d'éthanol (E85). Mais ce marché du biocarburant a peu de chance de marcher plus de dix ans. **En ce moment, le gouvernement américain pense avoir la solution mais ce système est valable uniquement parce que le maïs est bon marché car subventionné.** Avec toutes les subventions, le coût total de production d'un gallon d'E85 revient à 1\$65. Une usine de production d'E85 à 60 millions de dollars est rentabilisée en 5 ans. Le maïs est une plante surprenante dans sa capacité à utiliser les ressources du sol (minéraux et eau). Il génère une biomasse très importante et aujourd'hui sa croissance est entièrement maîtrisée avec l'association de pesticides. Les agriculteurs ont donc tendance à abandonner la rotation traditionnelle maïs/soja pour ne faire que du maïs, ce qui peut avoir des conséquences dramatiques pour plusieurs raisons. D'une part les agents pathogènes se spécialisent et contournent les pesticides utilisés, et d'autre part le maïs appauvrit le sol de toutes ses ressources organiques et minérales. Le marché de l'E85 nécessitera bientôt plus de 3 millions d'hectares de maïs en plus. La question est alors se savoir où trouver tout ce maïs :

- des terres mises en jachère (peu probable car se fait dans le cadre d'un programme)
- de la spécialisation dans la culture de maïs par la plupart des agriculteurs. **Ce système pourra tenir à peu près 25 ans, avant que les sols soient entièrement lessivés puisque les cultures de maïs protègent peu les sols en hiver.**

Perspectives :

Le « farm bill » va bientôt être renouvelé et les aides devraient être redistribuées plus équitablement. Des mesures simples et concrètes devraient aussi être mises en place comme une alimentation bovine plus riche en herbe. **La priorité du prochain « farm bill » est de mettre en place les conditions les plus favorables pour le développement des « agri-food services », à savoir, des petites filières locales sans intermédiaires.**

- **Participation indirecte de l'agriculture**

Dans les 15 prochaines années l'Agriculture ne participera pas de manière directe à la limitation des effets du changement climatique. **Son action sera indirecte, mais les buts peuvent être convergents.** Par exemple, les agriculteurs sont actuellement soucieux de mieux intégrer leur exploitation pour limiter les intrants. Ce qui a pour effet global de limiter les émissions de gaz à effet de serre et la pollution chimique du sol. **Les nouveaux débouchés se trouvent dans les produits labellisés à l'image de ce qui se développe en France avec les AOC et les terroirs.** Les agriculteurs travaillent en association avec les distributeurs pour développer des critères de bonne gestion du territoire et établir de nouvelles filières qualité.

- **Durable=rentable**

**TC insiste sur le fait que l'agriculture joue déjà un rôle dans la limitation des effets du réchauffement climatique par son caractère multifonctionnel.** Il ne reste plus qu'à trouver les moyens de monétariser ces services jusqu'alors écartés du cycle économique. **Cette reconnaissance économique viendra naturellement. Les grands distributeurs devront répondre aux nouvelles exigences des consommateurs qui se tournent peu à peu vers l'environnemental.** Wal Mart par exemple s'est déjà lancé dans ce marché en distribuant des produits bio. Cela contribue aussi à sensibiliser la population qui fait ses courses dans ce genre d'établissement. **Peu à peu les acteurs économiques vont se rendre compte que « durable » est compatible avec « rentable ».** Une autre tendance est celle du « triple bottom line » ([http://en.wikipedia.org/wiki/Triple\\_bottom\\_line](http://en.wikipedia.org/wiki/Triple_bottom_line)), qui prend en compte les trois facteurs : « People, Planet, Profit ». Le **TBL** est fait pour démocratiser l'idée que tout le monde y gagne si des normes environnementales sont appliquées.

## **Deux chercheurs présentent le programme de recherche LTER et des moyens innovants pour observer les écosystèmes**

Stuart Gage (SG) : *Ecologie des insectes et des paysages, modélisation des écosystèmes*



David Skole (DS) : *Etudie les évolutions du couvert végétal à l'aide des relevés satellites de la NASA.*



La concentration de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère augmente moins vite que ne le prédisent les modèles. Les scientifiques pensent donc à l'existence de « puits de carbone » encore non identifiés et directement reliés aux pratiques culturales.

Ils travaillent à l'IGPB et leur poste est financé par la NASA. En Europe, ils travaillent en collaboration avec le CNES.

Les scientifiques travaillent maintenant sur les différentes manières de stocker du carbone en vue de nouveaux marchés. Ils mettent actuellement en place des protocoles fiables pour mesurer les émissions.

Un de leurs projets est de développer des plantations d'arbres au Sahel pour stocker du carbone et permettre au paysan local d'en tirer une compensation. **Ce type de services s'appellerait « services écologiques ».**

Les forêts tropicales ont tendance à diminuer alors que les forêts tempérées augmentent. De manière globale, la forêt et la biodiversité diminuent. Le Michigan a été entièrement recouvert par des forêts et constituait au XIX siècle un véritable réservoir de carbone, avant d'être aménagé et converti à l'agriculture. Le reboisement en vue de créer des puits de carbone pose le problème de ces nouveaux écosystèmes. **Les écosystèmes ont tendance à se simplifier de plus en plus, ce qui favorise l'installation d'espèces invasives.**

**Le dilemme est le suivant : faut-il privilégier le stockage de carbone ou la biodiversité ?** A priori, la biodiversité paraît plus menacée puisqu'il n'existe aucun protocole du type Kyoto pour mesurer et protéger la biodiversité. Il y a juste une convention.

### **Estimation de la biomasse mais pas de la biodiversité**

SG se penche particulièrement sur ce problème. Avec des techniques de télédétection il est possible d'**estimer la biomasse, mais pas la biodiversité**. **La nouvelle idée serait alors d'utiliser la signature sonore des écosystèmes pour évaluer leur qualité.** Chaque espèce présente des caractéristiques acoustiques spécifiques. Les sons entre le sol et la canopée sont très riches et peuvent être exploités. Si tous les bruits ne sont pas discernables ou captables, la connaissance des écosystèmes est suffisante aujourd'hui pour déduire la présence d'une espèce à partir d'une autre.

### ***Le suivi des écosystèmes agricoles au sein du programme LTER (Long Term Ecological Research)***

La NSF a étendu son programme LTER (<http://www.lternet.edu/>) aux écosystèmes agricoles voici une quinzaine d'années. MSU est l'une des stations d'observation. Ce programme consiste à suivre les complexes d'insectes qui permettent ensuite d'évaluer la biodiversité. Les résultats sont relativement intuitifs : plus les systèmes de culture sont diversifiés, plus la biodiversité est riche.

Cependant la tendance observée a été celle de la simplification et de la spécialisation des systèmes de culture. La monoculture est plus rentable qu'un système de polyculture qui ne permet pas de produire à faible coût.

Ce programme a pour but de comprendre l'agriculture du futur en prenant en compte les biotechnologies, l'agro-écologie et la biodiversité. A ce titre, l'INRA se penche sur l'éventualité d'un monde agricole à deux visages (*entretien Bernard SEGUIN*):

- agriculture productiviste
- agriculture écologique (séquestration de carbone)

Développer ce deuxième type d'agriculture paraît être un gros défi pour les USA qui ont une culture et un secteur agro-alimentaire fortement tournés vers la production de masse. Les chercheurs agricoles pensent à importer le concept de « terroirs » aux USA. Les agriculteurs seraient apparemment très intéressés par ce nouveau débouché qui pourrait leur permettre de garder leur typicité.

### ***Pressions économiques sur l'agriculture du Michigan***

Les professeurs de MSU s'inquiètent aussi des conflits d'usage entre l'agriculture et le reste de l'économie. Les villes s'étendent de plus en plus sur les côtes du lac Michigan et l'empreinte humaine s'accroît par la même occasion. Pour l'instant le Michigan a réussi à préserver une agriculture diversifiée, mais les terres agricoles étant beaucoup moins chères que les terres habitables, la pression urbaine reste très présente et menace les exploitations qui ne sont pas très compétitives. Les modèles de prévision prennent en compte ces différences de prix du foncier dans la gestion du territoire. Il n'y a pas de plan global de gestion du territoire.

### **Interview d'un ancien directeur du Programme de recherche de l'ARS sur le changement climatique**

Steve SHAFER (SS) : Titulaire d'un Ph.D en pathologie végétale, il a travaillé 14 ans en laboratoire avant de rejoindre l'administration en 1987. De 2000 à 2005, Steve fut le directeur du programme national de l'ARS (Agricultural Research Service) sur le changement climatique. Il est aujourd'hui directeur de l'ARS du Midwest.



#### Historique et vision du programme de l'ARS sur le réchauffement climatique :

Le programme de l'ARS sur le changement climatique a débuté dans les années 90. Le programme a été initialement mis en place par le Congrès américain qui demanda aux principales agences concernées de se pencher sur la question du changement climatique. Les fonds ayant tardé à arriver, la réaction commune à toutes les agences américaines dont l'ARS, fut de trouver dans les études déjà en cours des centres d'intérêt en relation avec le changement climatique. Les financements ont été en réalité très faibles et chaque agence a voulu continuer le programme en recevant des financements de diverses sources.

Le programme actuel traite en particulier les impacts du changement climatique sur l'agriculture et les mêmes 4 principaux thèmes d'étude ont été conservés :

- Cycle et séquestration du carbone
- Gaz à effet de serre
- Impacts sur les agro écosystèmes
- Gestion de l'eau de la ferme à la région

En 2007, deux programmes nationaux de l'ARS sont fusionnés : Changement Climatique et Qualité de l'air. Le programme sur la qualité de l'air comprend 4 thèmes traitant des impacts de l'agriculture sur l'air :

- Emission de particules
- Emission de protoxyde d'azote
- Emission de mauvaises odeurs
- Impacts de l'ozone

#### Une approche transversale insuffisante : ravageurs et interactions, deux facteurs à risque :

Les problématiques posées étaient extrêmement larges puisqu'il s'agissait de connaître l'effet d'une augmentation de la température, de la concentration en CO<sub>2</sub> et en O<sub>3</sub>. **Steve regrette que peu d'études transversales aux différents thèmes aient été financées, alors que c'est justement là que repose une des clés du changement climatique. Par exemple, il faut connaître les implications du réchauffement climatique sur la santé animale et les ravageurs.** Le changement climatique peut affecter bactéries, insectes et virus qui contaminent ensuite les animaux sauvages puis les animaux domestiques. Pour l'instant, ces potentiels mécanismes sont méconnus. A l'ARS, un seul scientifique se penche actuellement sur la question. Il est basé à Beltsville et étudie les populations de parasites des rennes en Alaska. **Les deux Pôles seront les plus affectés par le changement climatique. Il est important que des scientifiques les étudient pour anticiper l'arrivée du changement climatique dans les autres régions.** SS craint que le

changement climatique n'ouvre de nouvelles voies de transmission massive de maladies aux animaux domestiques. **Des bactéries présentes seulement sur les côtes américaines peuvent être balayées par de puissants ouragans à l'intérieur des terres, dans des écosystèmes complètement étrangers.**

SS est aussi inquiet de la potentielle explosion de mauvaises herbes. Ce problème ne se limite pas à la dimension économique (il faudra augmenter les intrants), car des phénomènes d'emballement sont à redouter. Il prend l'exemple d'une variété particulièrement invasive appelée « *canada thistle* ». Cette plante est actuellement l'une des plus menaçante pour l'agriculture américaine et de nombreuses études essaient actuellement de trouver les moyens de limiter son expansion. Alors même qu'il est difficile de contrôler cette plante, de récentes études viennent de montrer que l'élévation de la concentration en CO<sub>2</sub> favorise son expansion en accélérant le développement racinaire. Or, les seuls herbicides efficaces contre cette plante agissent sur les racines. Si celles-ci se développent plus rapidement, le « *canada thistle* » pourra éventuellement devenir résistant. Un autre exemple est celui du « *ragweed* » qui produit plus de pollens (facteur allergène) lorsque la concentration en CO<sub>2</sub> augmente. **Le changement climatique peut avoir des conséquences imprévisibles sur la santé humaine.**

Il reste à s'attaquer à des questions plus pointues comme la prise en compte des différents facteurs agissant sur la réponse des végétaux. Il s'agit d'élaborer des protocoles permettant d'étudier l'influence simultanée de la température, du CO<sub>2</sub>, d'O<sub>3</sub> et de l'écosystème général en même temps. Tel est l'objectif des projets FACE (Free Air Concentration Experiments).

Projets FACE : les seules expérimentations concrètes

**Ces essais constituent la partie la plus concrète des recherches de l'ARS sur le changement climatique.** Chaque projet est financé en grande partie par des acteurs locaux. Par exemple, à Urbana Champaign, le projet FACE a reçu d'importants financements des producteurs de soja du Midwest qui sont directement concernés par l'effet de l'augmentation du CO<sub>2</sub>. Mais le financement s'arrête en 2009 et les investisseurs ne semblent pas intéressés pour prolonger l'étude puisqu'ils connaissent maintenant les grandes lignes des effets du réchauffement climatique. **Selon SS, ce comportement reflète parfaitement la tendance actuelle de la recherche américaine sur le sujet et constitue une erreur lourde de conséquences pour l'agriculture américaine. En effet, il est persuadé que le changement climatique ne posera pas de problème sur les relations intuitives comme la réponse des cultures aux futures conditions climatiques. L'agriculture américaine sera touchée par des processus qui vont bien au-delà de l'impact général du changement climatique. Il estime que le réchauffement climatique aura des impacts violents non pas au niveau des moyennes mais des extrêmes.**

Des agriculteurs encore peu préoccupés par un phénomène encore incertain :

**Pour l'instant, les agriculteurs ne sont pas réellement préoccupés par le problème du changement climatique.** Les problèmes quotidiens représentent une grande partie de leurs préoccupations et les empêchent de regarder à plus long terme. Mais depuis quelque

temps ils avouent constater de plus en plus fréquemment des signes du réchauffement climatique, que ce soit au niveau des tendances que des accidents météorologiques. Il y a actuellement un débat entre ceux qui pensent que les caractéristiques principales du réchauffement climatique sont désormais claires et que les imprévus ne changeront que les détails. D'autres sont persuadés que le manque de connaissance sur les interactions ne permet pas de connaître les impacts finaux du réchauffement climatique.

#### Un impact du changement climatique positif pour l'agriculture américaine :

Prédire les impacts du réchauffement climatique sur l'agriculture aux Etats-Unis est un challenge extrêmement relevé puisque cela couvre un nombre de domaines très important : l'aspect chimico-climatologique, physico-climatologique, l'aspect biologique et toutes les interactions entre plantes, animaux, économie... Le « US Global Change Research Program » a rédigé un rapport en 2001 appelé *Climate Change Impacts on the United States : the potential consequences of climate variability and change*. Ce rapport très intéressant n'a pas été remis à jour depuis. Des résultats importants ont été publiés pendant cette période mais les grandes lignes du rapport restent valables. **Le changement climatique va favoriser le rendement total de l'agriculture américaine mais sera réparti de manière très inégale au sein des Etats avec de grands vainqueurs et de grands perdants.**

#### Prédiction d'ici 2050 : énergie, énergie, énergie... :

**Steve est convaincu que jusqu'en 2050 les questions énergétiques façonneront l'agriculture américaine, aussi bien au niveau des systèmes de culture que de la politique agricole.** Les Etats-Unis produisent actuellement environ 11 milliards de boisseaux (« bushels ») de maïs, soit à peu près 275 millions de tonnes. La quantité utilisée dans les énergies est déjà égale au volume d'exportation, soit un cinquième de la production totale. Les experts dont SS estiment que le potentiel de cette plante est énorme et que la recherche va rapidement améliorer les variétés pour augmenter les rendements. Alors qu'aujourd'hui le rendement moyen tourne autour de 150 bushels/acre soit un peu moins de 10 tonnes/hect, le rendement attendu dans quelques années pourrait approcher les 300 bushels. SS pense que dans quelques décennies, les variétés de plantes aussi bien que la machinerie agricole auront complètement changé.

#### SS est assez sceptique sur la place que l'environnement occupera dans l'agriculture américaine d'ici 2050 :

L'agriculture américaine est trop spécialisée pour s'adapter à des changements soudains. Les fenêtres de conditions auxquelles sont adaptés les systèmes de culture sont très petites. Cependant, les agriculteurs américains sont de véritables « businessmen ». Ils sont très souples, et peuvent adapter rapidement les systèmes de culture pour suivre le « business ». SS soutient l'initiative du CCX mais reste assez sceptique sur les perspectives d'évolution des « services environnementaux ». La séquestration du carbone, même si elle est « cotée » au **Chicago Climate Exchange**, ne sera jamais la principale activité d'un agriculteur. En revanche, cela pourra représenter à terme une source de revenus non négligeable.

#### Les grandes lignes du programme de l'ARS sur le changement climatique :

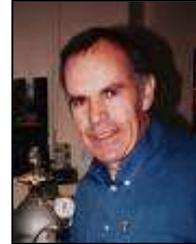
Principales recherches menées par l'ARS sur le changement climatique :

- **Beltsville, Massachussets**, regroupe le plus grand nombre de projets et notamment un service de modélisation des réponses des plantes au changement climatique, des recherches sur les espèces invasives et des études sur le cycle de l'eau.
- **La Caroline du Nord** concentre les études sur l'ozone troposphérique et les pluies acides.
- **Gainesville, en Floride** est spécialisé dans la réponse physiologique des plantes à l'augmentation de la température et de la concentration en CO<sub>2</sub>. Des études importantes sur le pollen y sont notamment menées.
- **Elba, dans l'Alabama** se penche plus sur la réponse des racines et des micro-organismes à l'augmentation de température et de CO<sub>2</sub>
- **Templa, dans le Texas**, est un centre où est testée la réponse des plantes aux augmentations graduelles de concentration en CO<sub>2</sub>. Des installations permettent d'injecter du CO<sub>2</sub> dans le sol.
- **Phoenix, dans l'Arizona**, abrite l'un des projets FACE les plus anciens.
- **Boise, dans l'Idaho**, travaille sur le cycle de la neige et le cycle des eaux de fonte. **L'Ouest du Mississipi** se penche sur les flux de carbone dans les prairies et mesure les échanges de gaz.

**Entretien avec le chef du projet FACE de l'université de l'Illinois à Urbana  
Champaign**

Stephen P. Long (SL) :

Directeur du « Soy FACE project » de UIUC



Le « Soy FACE project » a commencé à UIUC dans les années 90. Mais les expériences sont relativement limitées puisqu'elles sont menées sur des cercles de 30 mètres de diamètre. **Statistiquement, les résultats ne sont donc pas très puissants mais le fait qu'ils indiquent tous la même tendance renforce la conclusion que l'effet fertilisant du CO<sub>2</sub> est environ deux fois moins important que prévu pour les plantes en C<sub>3</sub> et quasiment nul pour les plantes en C<sub>4</sub>. Il faudrait cependant beaucoup d'autres études FACE pour pouvoir affirmer ce phénomène.**

Le projet FACE est financé par l'Etat de l'Illinois et des groupes de producteurs de soja soucieux des potentiels impacts du changement climatique sur les cultures. Mais ces financements ne durent que jusqu'à 2007. Le projet FACE de UIUC n'est donc pas assuré d'être reconduit, et son avenir repose plutôt sur des considérations politiques. **SL pense que la recherche sur le changement climatique est en train de changer de direction pour suivre les nouvelles priorités du gouvernement fédéral. En d'autres termes, la recherche s'est focalisée dans un premier temps sur les impacts du réchauffement climatique sur l'agriculture. Maintenant que ces impacts sont connus dans leurs grandes lignes les différents acteurs se tournent maintenant sur les futurs débouchés de l'agriculture : l'énergie.**

Autres projets de recherche FACE connus de SL :

Il existe un projet FACE sur le blé en Arizona, un projet au Japon sur le riz et d'autres projets sur le coton et le soja. Tous ces projets ont obtenu des résultats à la baisse par rapport aux chiffres de la littérature. Mais, l'envergure de chaque expérience n'est pas suffisante pour confirmer les résultats si bien que **l'on ne peut pas affirmer que l'effet fertilisant du CO<sub>2</sub> soit moins important que prévu.** Cette expérience en condition réelle est pourtant fondamentale afin de prédire les impacts du réchauffement climatique. **Pour confirmer la réaction des cultures de soja, il faudrait monter une expérience dans d'autres Etats des US comme le Minnesota et en Europe.** Tester complètement chaque culture nécessiterait au moins une dizaine de stations établies dans le monde entier. **Selon SL, il serait important de mener une expérience FACE dans des zones tropicales, plus sensibles aux effets du changement climatique et plus exposées.**

Adaptation à long terme des plantes à l'effet du CO<sub>2</sub> ? :

**Les cultures exposées depuis 5 ans à des concentrations de CO<sub>2</sub> plus élevées n'ont plus montré de gain de rendement.** Est-ce simplement un cas particulier non significatif ou est-ce le signe d'une adaptation à ces conditions ? Les deux hypothèses sont encore en piste, mais **la plupart des scientifiques du projet pensent que cela vient des nouvelles interactions microbiologiques du sol.** Ils savent que le sol réagit à cette forte

concentration de CO<sub>2</sub> et que les communautés de micro-organismes sont en train de changer, mais ne savent pas si cela peut influencer à ce point l'activité photosynthétique. Ils attendent d'analyser les données collectées en 2006 pour voir si l'effet fertilisant du CO<sub>2</sub> redevient efficace. **Ces expériences ont été menées sans apport de fertilisant, ce qui implique que la réponse des cultures de soja normales peut être différente.**

Evolution du « Soy Face project » de UIUC :

SL rappelle les deux résultats majeurs obtenus cette année :

- **L'effet fertilisant du CO<sub>2</sub> est moins important que prévu**

Pourcentage de croissance gagné sous l'effet de concentration élevée de CO<sub>2</sub> (moyenne)

Source	Riz	Blé	Soja	Maïs
Anciennes études	15%	26%	25%	23%
Résultats FACE	12%	13%	14%	0%

- **Après une certaine période (5ans), cet effet fertilisant disparaît**

Les scientifiques du projet travaillent donc à la mise en place de nouvelles expériences permettant d'éclairer les récentes découvertes. Dans le but de trouver de nouveaux financements, ils essaieront parallèlement de sélectionner les variétés les plus adaptées à ces nouvelles conditions. **Cela fait deux ans qu'ils étudient l'expression génétique des plantes sous une forte concentration de CO<sub>2</sub>, ils espèrent d'ici l'année prochaine avoir isolé certains gènes sensibles à ces changements pour les modifier génétiquement.**

Quand l'agriculture devra-t-elle changer ses semences pour s'adapter aux effets du réchauffement climatique ?

**Il reste encore beaucoup d'incertitudes sur les modalités d'adaptation des cultures de soja.** Par exemple, on a observé qu'une concentration élevée de CO<sub>2</sub> retardait la **période de maturation de 2 à 7 jours**. La date de maturation est critique puisque la fin de la saison de développement est marquée par des gelées tardives qui peuvent être très destructives. Les agriculteurs doivent toujours veiller à ce que les graines de soja soient mures avant l'arrivée de ces gelées. **SoyFACE cherche donc à réduire les périodes de croissance pour éviter d'exposer les cultures aux vagues de froid.** De 1960 à aujourd'hui, la concentration de CO<sub>2</sub> est passée de 310 ppm à 380 ppm. **On soupçonne que les cultures de soja ont déjà un ou deux jours de retard.** Malheureusement, ce phénomène n'a pas été vérifié puisque peu de données sont disponibles et que les variétés évoluant aussi, il est difficile de dissocier les effets.

**Les expériences FACE ne prennent pas en compte l'effet de températures plus élevées**, ce qui peut biaiser les résultats puisque la température et le CO<sub>2</sub> ont des effets antagonistes. **La température accélère la période de croissance avec une augmentation des degrés-jour, alors que le CO<sub>2</sub> allonge la croissance.** Le résultat final dépend du type de plante mais pas de sa situation géographique: **le cycle du blé s'accélère alors que celui du soja a tendance à s'étaler.**

Plantes en C<sub>4</sub> sensibles en condition de stress :

Les plantes en C<sub>4</sub> ne devraient pas être sensibles à l'effet fertilisant du CO<sub>2</sub>. Du moins, les expériences FACE ont toutes convergées vers des chiffres proches de zéro. Cependant, ces plantes devraient théoriquement se développer beaucoup mieux dans des conditions de sécheresse avec une concentration élevée de CO<sub>2</sub>. **Le carbone semble donc avoir un effet sur le maïs et le sorgho dans l'utilisation de l'eau en condition de stress hydrique. Le FACE project de UIUC essaie de vérifier ces résultats.**

#### Quand l'agriculture sera-t-elle réellement touchée ?

Selon SL, la concentration plus élevée de carbone touche déjà les cultures. Les agriculteurs paraissent assez sensibles à ces changements. Par exemple, lors des journées agronomiques, plus de 1000 agriculteurs se rendent à UIUC et beaucoup d'entre eux s'intéressent au projet SoyFACE. Ces liens étroits entre agriculture et recherche permettent aux agriculteurs d'être sensibilisés aux dernières découvertes. **En moyenne, les agriculteurs changent de semences tous les 5 ans, ce qui constitue le pas de temps des éventuelles adaptations.**

#### Recherche de nouvelles semences :

La recherche de nouvelles semences est généralement issue de la coopération entre université et compagnie privée, les deux s'associant pour tester à différentes échelles une variété avant de la mettre sur le marché. Généralement, les universités effectuent une sélection basique mais très étendue en testant sur des petites surfaces un grand nombre de variétés. Les compagnies prennent le relais sur les variétés sélectionnées par les universités pour pratiquer une sélection beaucoup plus minutieuse, sur des surfaces beaucoup plus importantes. **Pour le moment, les semences de soja présentes sur le marché ne sont pas issues d'adaptations directes au changement climatique, mais il se peut que les semences se soient adaptées involontairement à une concentration plus élevée de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère.** Plus de 20 variétés de soja ont été testées par le projet FACE depuis sa création, il est donc possible que les compagnies aient utilisé une des variétés sélectionnées lors de cette première étape pour développer les semences actuellement disponibles.

#### Effet néfaste de l'ozone troposphérique :

Le projet FACE étudie aussi l'effet d'une concentration plus élevée en ozone. **L'ozone est un oxydant très puissant qui détériore les plantes.** L'IPCC prédit que la concentration d'ozone va augmenter en Asie, en Arabie et dans les Indes. **Dans l'Illinois et plus généralement dans l'ensemble des Etats-Unis, l'ozone ne sera pas assez important pour détériorer les plantes mais il sera suffisant pour diminuer l'activité photosynthétique.** Le « Soy FACE project » étudie donc les effets antagonistes entre CO<sub>2</sub> et O<sub>3</sub>. Le CO<sub>2</sub> augmente de manière uniforme sur toute l'atmosphère alors que la concentration d'ozone varie beaucoup plus localement mais reste assez bien prédictible. Jusqu'à présent, les plantes en C<sub>4</sub> se sont montrées moins sensibles aux effets de l'ozone puisqu'elles ouvrent moins leurs stomates pour capter du carbone et donc reçoivent moins d'ozone. **Le soja se révèle très sensible à l'effet négatif de l'ozone.** SL est persuadé qu'un pourcentage non négligeable de soja est perdu dans le Midwest à cause de l'augmentation de la concentration d'ozone dans l'atmosphère. Le riz et le blé ont une sensibilité intermédiaire à l'ozone mais se trouvent dans des endroits où les

concentrations seront plus fortes (Asie, Japon,...). **Malheureusement, les études sur l'ozone peinent à avoir des financements fédéraux dans la mesure où ce problème se pose à long terme et que les politiques s'intéressent plus aux problèmes plus urgents.**

#### 2003, année déclic :

En 2003, Urbana Champaign a connu une concentration particulièrement basse d'ozone (20% plus faible que la normale) 48 ppm d'ozone au lieu de 56. Les rendements ont été bien meilleurs, ce qui les a poussé à lancer une expérience approfondie sur l'effet de l'ozone. Ils ont comparé les rendements de soja cultivés sous concentration normale d'O<sub>3</sub> (56 ppm) et concentration 23% plus élevée (69 ppm). **Le résultat montre qu'une augmentation de 23% dans la concentration en ozone, entraîne une diminution de 20% dans les rendements.** Les agriculteurs ne sont pas particulièrement sensibles à cette perte puisqu'elle se traduit en fait par une stagnation des rendements. Les agriculteurs observent donc que leurs efforts ne paient pas, mais ne relient pas cela aux conditions atmosphériques. Stephen pense que le Midwest est déjà touché par les effets du réchauffement climatique et risque de l'être encore plus. **La concentration d'ozone devrait augmenter de 0.5 ppm par an jusqu'en 2020. SL explique que le Midwest est touché de manière croissante par l'ozone selon un gradient Ouest-Est. Par exemple, le Nebraska aura les impacts les moins importants, alors que L'Indiana et l'Ohio seront les plus touchés, L'Illinois étant au milieu de ce gradient.**

SL constate que les associations d'agriculteurs commencent tout juste à s'intéresser à l'effet de l'ozone, ce qui explique la difficulté actuelle de trouver des financements. Il regrette que des organismes fédéraux comme l'ARS ou l'USDA n'informent pas les agriculteurs sur ces problèmes.

#### Une agriculture américaine conduite par les prix :

**L'évolution de l'agriculture est principalement dictée par les prix.** L'attrait des débouchés énergétiques va sûrement pousser beaucoup d'agriculteurs du Midwest à cultiver plus de maïs. **SL est convaincu que jusqu'à 2030, l'agriculture américaine sera le résultat d'adaptations économiques et non climatiques. Il se peut donc que le Midwest continue à produire du maïs alors que cette plante n'est plus adaptée à la région.**

#### Ethanol cellulosique : solution de l'agriculture du Midwest :

A partir du moment où l'on saura convertir efficacement la cellulose en éthanol, des plantes très diverses seront cultivées dans le Midwest et augmenteront la biodiversité. **Les agriculteurs sont prêts à arrêter le maïs pour ces nouvelles cultures à partir du moment où cela rapporte autant.** Certains cultivent déjà quelques acres de prairies natives par curiosité.

#### Parasites et ravageurs sont pris au sérieux :

SL redoute l'impact des parasites et ravageurs en relation avec l'augmentation de la tolérance aux températures. Ces organismes particulièrement destructeurs agissent de manière « stochastique ». Par exemple, la récolte de l'année dernière a été fortement touchée par un parasite du soja, alors que cette année celui-ci n'est pas réapparu. SL

explique que les parasites arrivent même à s'adapter aux rotations de culture en se développant à la fois sur le maïs et le soja. Récemment, le projet Soy FACE a mis en évidence que le « rootworm » (*Coleoptera : Chrysomelidae*) **se met à pondre deux fois plus lorsque la concentration de CO<sub>2</sub> augmente. Il n'y avait aucun moyen de prédire cette réaction autrement qu'en menant l'expérience en conditions réelles. Cela veut dire qu'on est encore loin de pouvoir prédire comment les écosystèmes vont réagir au changement climatique.**

SL, partisan du concret, critique l'approche de l'IPCC :

Selon SL, l'IPCC rassemble essentiellement des théoriciens qui ne se basent que sur des modèles mais n'ont aucune notion de la réalité des cultures. Ils remettent parfois en question les résultats d'expériences. **La modélisation des écosystèmes est complexe et l'incertitude des résultats est très importante. Aucun modèle n'aurait pu prédire une augmentation de la reproduction du « rootworm ». Seules les expériences réelles permettent de prendre en compte toutes les interactions.**

**Les mauvaises herbes menacent les espaces naturels américains : avis de l'expert Adam Davis de l'USDA**

Adam Davis (AD) : Ecologiste, département des mauvaises herbes, USDA-ARS  
Assistant Professeur, Agronomie, University of Illinois

Le réchauffement climatique favorise les mauvaises herbes :

Adam Davis travaille avec Lisa Ainsworth sur le projet SoyFACE pour voir l'effet d'une augmentation de la concentration en CO<sub>2</sub> sur l'écologie des mauvaises herbes. **Les premiers résultats mettent en évidence une meilleure croissance des mauvaises herbes et une augmentation de leur diversité.** Ainsi, les mauvaises herbes trouvées dans les cercles de SoyFACE sont plus grandes, plus nombreuses et plus diversifiées que sous des conditions normales. De plus, **une concentration élevée de CO<sub>2</sub> favorise la pollinisation et donc les facteurs allergènes.** La plante « *Giant ragweed* » est étudiée par AD et présente la même réaction que « *Poison Ivy* ».

Détruire les mauvaises herbes de manière durable et écologique :

**AD modélise les espèces invasives (ex. : *garlic mustard*) pour arriver à un meilleur contrôle biologique de chaque espèce et à un meilleur contrôle des agents biologiques utilisés (introduction d'insectes inoffensifs, plantes de recouvrement).** Ces modèles permettront aux responsables agricoles d'utiliser ces agents biologiques et d'utiliser une combinaison de produits ou juste un seul. Par exemple, il travaille sur des plantes de recouvrement du sol « *red clover* » pour limiter la propagation des mauvaises herbes lorsque les sols sont à nu. Il développe aussi des moyens mécaniques pour détruire les graines ou les germes des mauvaises herbes sans utiliser de produits chimiques. Les modèles sur lesquels il travaille sont assez limités puisqu'ils ne prennent en compte que les espèces invasives, sauvages et les herbicides.

Prudence sur l'utilisation de certaines plantes destinées aux biocarburants

Récemment, AD vient de publier un article dans Science préconisant des analyses de risque sur l'utilisation des espèces invasives pour les biocarburants. **Son étude met en évidence les caractéristiques communes entre les espèces invasives et les plantes à biomasse.** Par exemple, une croissance très élevée, une utilisation moindre de l'eau, une activité photosynthétique efficace et peu de ravageurs ou de virus menaçants, sont les critères demandés par les industriels. Ainsi, les nouvelles plantes utilisées risquent de se répandre de manière incontrôlée et de réduire considérablement la biodiversité.

Pronostic de l'effet du réchauffement climatique sur les espèces invasives :

Les récentes observations montrent déjà une présence plus importante d'espèces invasives, venant de Chine particulièrement. Ceci est expliqué en partie par le développement des moyens de transport et la mondialisation.

**Le CO<sub>2</sub> augmente l'appétit des ravageurs : explication de deux entomologistes d'Urbana Champaign**

Bridget O'Neil (BN) et Arthur Zangerl (AZ) : entomologistes, University of Illinois at Urbana Champaign

L'augmentation de la concentration en CO<sub>2</sub> stimule une espèce de coléoptères de l'Illinois :

Depuis le début du « SoyFACE project » les insectes et leur comportement ont été étudiés. Les chercheurs font l'inventaire des populations présentes sur les parcelles expérimentales et regardent s'il y a des corrélations avec les différents traitements appliqués. BN calcule les surfaces foliaires mangées par ces insectes en s'appuyant sur des photos de chaque feuille. Les résultats montrent que, **sous une concentration plus élevée en CO<sub>2</sub>, les communautés d'insectes deviennent de plus en plus importantes et donc de plus en plus nuisibles. L'augmentation de la concentration en CO<sub>2</sub> stimule aussi la longévité, la reproduction et le régime alimentaire des insectes.** Les coléoptères japonais (Japanese Beetle) mangent plus de feuilles, car celles-ci sont plus riches en amidon, dont la synthèse est stimulée par le CO<sub>2</sub>. Par contre, on n'explique pas encore pourquoi la reproduction et la longévité augmentent aussi.

Pas de facteur limitant à cette expansion :

**Les coléoptères japonais n'envahissent pas seulement les parcelles expérimentales mais aussi les cultures de soja où les producteurs de l'Illinois constatent de réels dommages. Ces booms de communautés d'insectes ne sont pas encore limités puisque les réserves trophiques sont loin d'être épuisées, il n'y a donc pas de compétition régulant les populations.** Le soja est une plante qui dispose de beaucoup de feuilles et qui, en plus, présente une grande tolérance à la perte de celles-ci.

Des parasites plus résistants mais pas de lien avec le changement climatique :

Jusqu'à maintenant, les parasites et ravageurs n'ont pas posé de problème particulier aux cultures de soja mais **certaines évolutions récentes indiquent un changement de tendance.** Depuis une dizaine d'années, la **Chrysomèle du maïs ou « corn root worm »**, **initialement présente dans les cultures de maïs, montre des signes d'adaptation aux cultures de soja utilisées en rotation avec le maïs.**

Depuis 2000 et pour la première fois de toute l'histoire de la culture du soja dans le Midwest, deux parasites commencent à nuire à la production. Les coccinelles sont là depuis le début mais ont beaucoup de prédateurs et n'atteindront jamais des proportions importantes. Les aphides du soja ont aussi des prédateurs, ce qui limite les possibilités de développement. **Les coléoptères japonais sont les seuls insectes à ne pas être menacés, leurs perspectives d'évolution sont donc très grandes, et avec les chrysomèles, ils constituent une menace importante pour les rendements.**

Un impact négligeable de l'augmentation des températures hivernales sur la survie des parasites :

**BN ne pense pas que l'augmentation des températures hivernales favorise le développement des parasites. Elle explique que la plupart d'entre eux survivent déjà à l'hiver.** « Des températures plus douces à cette période ne changeront rien, au contraire, cela peut même leur être moins favorable ». Par exemple, les larves des Coléoptères japonais survivent à l'hiver lorsqu'elles sont protégées par une couche de neige. Si les températures augmentent légèrement et que ce manteau neigeux disparaît, les larves sont exposées aux intempéries et donc plus vulnérables. Si les températures augmentent beaucoup, elles n'ont pas besoin de se protéger autant et cela accélère leur développement. Donc, seule une augmentation modérée de température est défavorable à ces larves. Les aphides passent l'hiver dans des haies. Un adoucissement des températures ne changerait donc pas grand chose.

Des effets contrôlables grâce aux pesticides :

**En résumé, à moins que l'Illinois ne connaisse les températures du Texas, le changement climatique ne favorisera pas de manière significative les parasites. Le seul changement possible dans les pratiques agricoles serait une utilisation un peu plus importante des pesticides. BN et AZ s'accordent à dire que le changement climatique n'augmente pas le risque d'invasion de parasites ou de ravageurs, mais l'ampleur de ces invasions.**

***Le National Resource Conservation Service, une agence chargée d'accompagner les agriculteurs dans leur adaptation face au changement climatique***

Thomas Ryterske (TR) : *Manager au NRCS, Kane-DuPage Soil & Water Conservation District*

Rôle du NRCS :

Le NRCS est une agence dépendant de l'USDA et chargée, à la suite du désastre du Dust Bowl (Black Sunday, 14 avril 1935) d'aider les agriculteurs à conserver leurs sols et d'autres ressources naturelles

- Introduction des techniques agricoles environnementales

TR accompagne les agriculteurs dans la gestion de leurs ressources naturelles. Il s'assure qu'ils comprennent les processus biochimiques et maîtrisent les nouvelles pratiques culturales pour limiter la dégradation des sols et la contamination des ressources en eau. Il n'y a pas si longtemps la majorité des agriculteurs laissaient la terre à nu pendant tout l'hiver avant de revenir au printemps pour la retravailler et effectuer le semis. Cette méthode leur demandait de labourer continuellement la terre, ce qui prenait beaucoup de temps, d'énergie, et surtout, dégradait les sols. Les agriculteurs ont progressivement changé leurs habitudes pour faire maintenant du non-labour ou semi-labour. Ils utilisent des semences adaptées au non-labour et laissent les résidus de maïs sur place pour régénérer la matière organique du sol. **En 2006, le non-labour a dépassé le labour conventionnel dans l'état de l'Illinois, en particulier pour le soja.**

- Suivi des pratiques agricoles

**Les agriculteurs utilisaient des pesticides et fertilisants sans aucun suivi alors qu'aujourd'hui, la plupart travaillent en collaboration avec le NRCS pour suivre l'état des sols (nutriments, pH,..) sur une base de 4 ans.** Ils suivent la résistance des mauvaises herbes aux traitements et essaient d'élaborer de nouvelles stratégies pour polluer le moins possible. Par exemple, si l'herbicide utilisé n'est plus efficace, ils changent le type de semence (résistance à autre herbicide) pour introduire un nouveau produit efficace. Le NRCS essaie aussi de faire comprendre aux exploitants que de garder des plantes de recouvrement permet d'alimenter les sols en matière organique, de retenir l'eau et de protéger les sols de l'érosion.

Des agriculteurs assez souples :

**Les agriculteurs se sont montrés assez souples dans le changement de leurs habitudes.** Les producteurs de maïs ont peut être eu un peu plus de mal car le maïs se plante assez tôt au printemps, dans des sols à température positive. En laissant les résidus de la culture précédente le sol est plus mou et humide et donc moins favorable à un semis précoce de maïs. Le plus souvent ils cultivent donc du maïs après le soja dont les résidus (moins épais que ceux du maïs) recouvrent le sol pendant l'hiver. Au printemps, ils travaillent légèrement le sol juste avant de planter le maïs. D'autres pratiquent un labour de précision en ne faisant que des lignes très fines dans lesquelles ils placent les graines, le reste du champ restant non labouré.

**Ces pratiques environnementales sont entièrement bénéfiques aux agriculteurs puisque cela améliore la qualité des sols et permet aux exploitants d'économiser des intrants, de l'énergie et du temps.**

Le NRCS n'est pas informé sur le changement climatique :

La seule activité directement liée au réchauffement climatique vient d'un programme mis en place avec les membres du CCX pour acheter des crédits d'émission aux exploitants pratiquant le labour. Mais ce programme est assez paradoxal puisqu'il ne peut pas rétribuer un exploitant qui pratique déjà ces nouvelles techniques.

National Resources Inventory (1997) :

Cet inventaire consiste à collecter des données (pH, humidité, nutriments, qualité du sol,...) sur toutes les terres agricoles américaines. Pour le comté Dupage, il y a eu plus de 700 échantillons collectés en 1997. La même opération a été recommencée six ans plus tard (2003) et des changements notables ont été remarqués. **Depuis 2003, le N.R.C.S ne pratique plus de prélèvements manuels car l'USDA utilise des satellites.**

Sensibilité des agriculteurs au changement climatique :

**Les agriculteurs croient à la stationnarité du climat : quelques années sont favorables, d'autres moins, mais la moyenne ne change pas.** Ces cycles empêchent les exploitants d'être sensibles aux changements climatiques. Les agriculteurs ne remarquent pas que la température moyenne a légèrement augmenté en ce qui concerne leur rendement. **Ils n'ont pas de données permettant de confirmer l'impact du changement climatique sur l'agriculture.**

Un écosystème affaibli par la spécialisation de l'agriculture :

**Il y a une vingtaine d'années, l'agriculture dans l'Illinois était encore diversifiée.** Les fermes pratiquaient la polyculture et avaient quelques animaux. **Cette diversité était à la base d'un écosystème résistant.** Les rotations de culture étaient longues puisque les agriculteurs cultivaient plus de 5 cultures différentes. Aujourd'hui, la plupart des fermes ne font que des céréales et ont considérablement affaibli l'écosystème environnant. **Economiquement, l'agriculture américaine ne peut pas se permettre de diversifier sa production à nouveau.** Si ce contexte se maintient et que l'agriculture du Midwest continue à se spécialiser dans le maïs/soja, TR pense que **les ravageurs et autres plantes invasives pourront véritablement affaiblir la production américaine. On peut déjà voir les effets dans l'Illinois. Les champs de maïs cultivés sans interruption, sont traités contre le chrysomèle du maïs depuis quelques années, et récemment, le parasite a commencé à se développer dans les champs de soja, qui eux, ne sont pas résistants.**

Futur de l'agriculture américaine :

TR pense que l'agriculture continuera à se spécialiser pour répondre aux besoins du marché. **Il y aura une course entre la recherche agronomique et l'adaptation des espèces invasives. Pour l'instant la recherche parvient à garder de l'avance sur les micro-organismes mais le changement climatique peut augmenter de manière non**

**négligeable la vitesse d'adaptation des parasites.** De manière globale, l'agriculture américaine apparaît assez flexible pour empêcher de grandes « contaminations ».

**Lorsque les observations dépassent les modélisations : entretien avec l'écologiste de Madison sur les impacts du changement climatique sur l'agriculture américaine**

Chris Kucharik (CK) : *Dr. Christopher Kucharik est un écologiste au centre de l'environnement et du développement durable de l'université Wisconsin Madison. Son travail consiste à intégrer observations de terrain et modélisations afin de mieux comprendre les impacts du changement climatique sur les agro-systèmes américains. Ses domaines de recherche s'étendent du cycle du carbone dans les prairies, à la gestion du nitrate, la qualité des eaux et l'impact des pratiques agricoles sur les rendements. Son travail est financé par le « Upper Midwest Regional Science Applications Center » (RESAC), par la NASA « Interdisciplinary Science » (IDS) et par le « National Institute for Global Environmental Change » (NIGEC, UC Davis).*



Pas assez d'études sur les données déjà collectées :

CK est assez déçu par la connaissance actuelle de l'impact du réchauffement climatique sur l'agriculture ainsi que par la tournure des récents travaux. Dans les années 90, d'énormes travaux ont été effectués sur l'observation et la prédiction de l'évolution de la planète suite à l'apparition des modèles GCM (General Circulation Model) utilisés par des organismes comme l'IPCC. Des quantités énormes de données ont été enregistrées pour alimenter ces modèles qui ont produit des milliers de projections. CKs regrette qu'il n'y ait pas eu assez de personnes qui soient revenues sur l'immense base de données enregistrées au cours du XX<sup>ème</sup> siècle pour essayer de déceler les effets du réchauffement climatique sur l'agriculture du Midwest.

Recherches de CK :

Ses recherches portent donc sur l'étude des données agricoles depuis 1950 pour comprendre les différentes interactions entre changement climatique, progrès agricoles, rendements, pratiques culturales, etc. Plus particulièrement :

- Contribution du changement climatique a contribué à l'évolution de l'agriculture. Par exemple, la date des semis est étroitement corrélée au climat, mais une récente étude montre que la tendance à planter plus tôt est à imputer à des progrès dans la sélection des graines.
- Contribution du changement climatique à l'évolution des rendements. Ici aussi, les rendements sont étroitement corrélés au climat mais il semble que leur augmentation sur les 50 dernières années résulter principalement des progrès agronomiques : fertilisation nitratée, nouvelles pratiques, biotechnologies, etc.

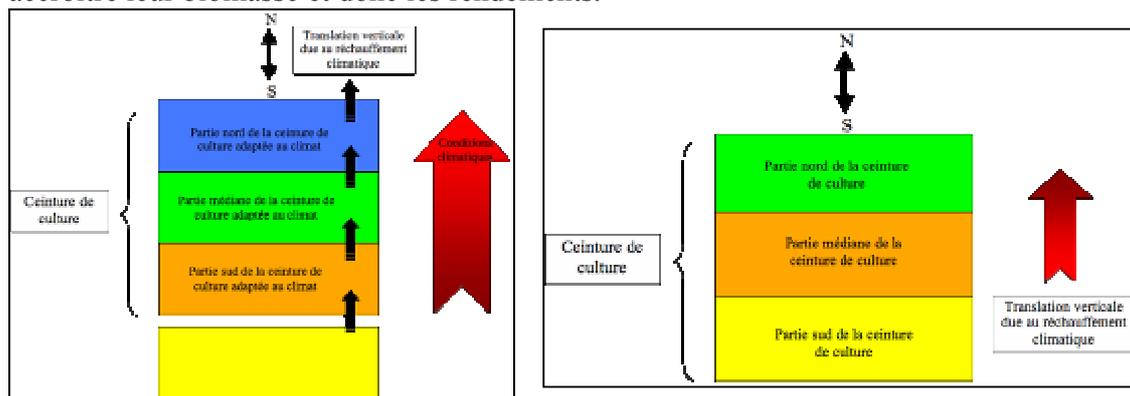
Réponses de l'agriculture au réchauffement climatique :

**Le changement climatique a eu un impact, positif ou négatif, mais son effet est difficile à discerner parmi ceux des autres facteurs.** Dans certaines régions, les progrès agricoles ont peut être été diminués par le réchauffement climatique. CK n'a pas encore publié ses recherches mais **il semble que la réponse au changement climatique sur les**

**50 dernières années soit très variable au sein même des Etats-Unis.** Les régions du Nord-est des Etats-Unis (Wisconsin, Minnesota, Michigan) semblent montrer une réponse positive aux effets du changement climatique (en ce qui concerne le maïs et le soja). Plus au Sud de la « Corn Belt » (Illinois, Nebraska, Missouri) il semble y avoir un effet inverse.

Un scénario explicatif : la translation verticale des climats et des cultures :

Dans des régions assez fraîches, par exemple le Wisconsin, l'évolution du climat rallonge la période de croissance et favorise les plantes (hybrides) cultivées à l'origine dans le Sud. En effet, ces cultures arrivent à maturité plus tard et profitent au maximum d'une période chaude plus longue. Il suffit donc à l'agriculteur de les déplacer vers le Nord pour avoir des plantes qui profitent au maximum des nouvelles conditions climatiques. Si on se situe un peu plus au Sud de la « Corn Belt », on cultive déjà ce type de plantes et il n'y a pas de plantes plus au Sud qui seraient adaptées à un climat avec des températures plus élevées ou une saison chaude plus longue. Avec des températures plus chaudes, les plantes se développent alors plus rapidement et atteignent aussi les différents stades physiologiques de manière précoce, ce qui leur laisse moins de temps pour utiliser l'énergie solaire et continuer l'activité photosynthétique. Elles ont moins de temps pour accroître leur biomasse et donc les rendements.



Les conditions favorables pour les cultures sont en général :

- Un printemps chaud et sec : permet à l'agriculteur de travailler dans les champs assez tôt, et favorise le développement de la plante au niveau des racines
- Un été frais et humide : ralentit le développement de la plante et lui permet de mieux résister aux stress grâce aux degrés-jours accumulés durant le printemps

Mais il ne faut pas oublier que les plantes sont programmées génétiquement pour être réactives à certaines températures ou degrés-jours accumulés. **Les changements dans la saisonnalité associés aux nouvelles pratiques culturelles peuvent désorienter l'agriculteur et favoriser une mauvaise gestion du calendrier.** Dans cette perspective CK reproche au milieu agricole dans le Nord des Etats-Unis d'associer trop rapidement réchauffement climatique et gain de récolte. Ce qui peut être tout à fait compatible, mais sous réserve d'adaptations efficaces.

#### Une évolution inquiétante de la saisonnalité :

Selon CK, le paramètre le plus important est **l'évolution de la saisonnalité par rapport aux pratiques culturales. Une année agricole ne comprend pas 365 jours mais entre 120 et 130. Ce qui se passe pendant cette période de temps est crucial pour le résultat des récoltes.** Le plus important est d'arriver à connaître l'évolution des températures pour chaque mois de la période de croissance (moyennes et extrêmes). Il faudrait aussi évaluer les risques de variation du climat d'une année sur l'autre. Car, dans un laps de temps aussi court, l'agriculture aurait en effet du mal à s'adapter.

Il pense qu'on connaît suffisamment bien la physiologie des plantes pour pouvoir anticiper leur réponse sous certaines conditions climatiques, mais regrette que l'on se repose trop sur les GCM plutôt que sur les tendances observées.

#### Différents facteurs contribuent à l'évolution de l'agriculture :

Il est très important de dissocier les contributions des différents facteurs au rendement final : pratiques culturales, calendrier, physiologie, rythme de développement ? Cette information est nécessaire pour prédire ce qui va se passer et calibrer les modèles.

- Ravageurs :

Une des grandes faiblesses des modèles est l'absence de prise en compte des facteurs difficilement prévisibles comme l'apparition de maladies ou parasites. Actuellement, aucun modèle internationalement reconnu ne les prend en compte. L'agriculture américaine applique tant de traitements sur les cultures qu'il est pratiquement impossible de trouver un seul insecte indésirable dans les cultures. **Pour l'instant, ces pesticides sont bon marchés mais que va-t-il se passer si les prix augmentent ?**

- Plus grande préoccupation : la gestion de l'eau :

La plus grande crainte reste au niveau de la gestion de l'eau, qui va être le facteur le plus limitant associé au réchauffement climatique. **Les régions du Nebraska, du Texas ou de l'Oklahoma font fonctionner leur agriculture par irrigation en utilisant un immense aquifère. L'irrigation a permis d'augmenter les rendements de 100% !** Mais ce fonctionnement n'est pas durable et si ces états devaient repasser à des pratiques sans irrigation, la production baisserait de manière catastrophique.

#### Priorités pour CK :

Dans la perspective d'un climat moins favorable à l'agriculture (stress hydrique, dérèglement climatique) **il est primordial de connaître les points faibles de toute la chaîne agro-alimentaire américaine.** 40% du maïs mondial vient des US où il est cultivé sur seulement 20% des terres arables mondiales. Cet exemple montre à quel point l'agriculture américaine est à la limite de l'effondrement tellement elle a été poussée. Si le réchauffement climatique provoque des désastres climatiques et surtout, si ces désastres s'étalent sur 2 ou 3 années successives, comment le monde va-t-il s'adapter pour continuer à nourrir les hommes ? Comment le marché mondial va-t-il s'organiser ?

## Bibliographie

- [1] Reilly, J., et al. 2001. *Agriculture: The Potential Consequences of Climate Variability and Change for the United States*, US National Assessment of the Potential Consequences of Climate Variability and Change, US Global Change Research Program, Cambridge University Press, New York, NY, 136 pp.  
<http://www.usgcrp.gov/usgcrp/Library/nationalassessment/Agriculture.pdf>
- [1bis] Ben Mechlia N. and Carroll, J.J. (1989) *Agroclimatic modeling for the simulation of phenology, yield and quality crop production*. Intl. J. Biometeorology (Springer) 33, 1432-1254
- [2] Follett, R.F., J.M. Kimble and R. Lal (2001) *The Potential of U.S. Grazing Lands to Sequester Carbon and Mitigate the Greenhouse Effect*, Lewis Publishers.
- [3] National Assessment Synthesis Team, *Climate Change Impacts on the United States: The Potential Consequences of Climate Variability and Change*, Report for the US Global Change Research Program, Cambridge University Press, Cambridge UK, 620pp., 2001. <http://www.usgcrp.gov/usgcrp/Library/nationalassessment/foundation.htm>
- [4] Easterling, William E, et al. 2004. *Coping with Global Climate Change: The Role of Adaptation in the United States*, Pew Center on Global Climate Change, 52 pp.  
<http://www.pewclimate.org/docUploads/Adaptation.pdf>
- [5] USDA Agricultural Research Service  
[http://ars.usda.gov/research/programs/programs.htm?np\\_code=204&docid=312&page=4](http://ars.usda.gov/research/programs/programs.htm?np_code=204&docid=312&page=4)
- [6] Lal, R. F., Follet, and J. M. Kimble, editors. 2002, *Agricultural practices and policies for carbon sequestration in soil*. CRC Press, Boca Raton, 536 pp.
- [7] Parmesan, C., and Galbraith, H. 2004. *Observed Impacts of Global Climate Change in the US*, Pew Center on Global Climate Change, 67 pp.  
[http://www.pewclimate.org/docUploads/final\\_ObsImpact.pdf](http://www.pewclimate.org/docUploads/final_ObsImpact.pdf)
- [8] Adams, R., et al. 1999. *A Review of Impacts to U.S. Agricultural Resources*, Pew Center on Global Climate Change, 39 pp.  
[http://www.pewclimate.org/docUploads/env\\_argiculture.pdf](http://www.pewclimate.org/docUploads/env_argiculture.pdf)
- [9] Smith, J., 2004. *A Synthesis of Potential Climate Change Impacts on the U.S.*, Pew Center on Global Climate Change, 56 pp.  
<http://www.pewclimate.org/docUploads/Pew-Synthesis.pdf>
- [10] *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. A Report of Working Group II of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC, Technical Summary, 56 pp. <http://www.ipcc.ch/pub/wg2TARtechsum.pdf>

- [11] Shugart, H., et al. 2003. *Forests & Global Climate Change*, Pew Center on Global Climate Change, 64 pp. <http://www.pewclimate.org/docUploads/forestry.pdf>
- [12] Cavagnaro, T., et al. 2006. *Climate Change: Challenges and Solutions for California Agricultural Landscapes*, Report from the California Climate Change Center, 115 pp. <http://www.energy.ca.gov/2005publications/CEC-500-2005-189/CEC-500-2005-189-SF.PDF>
- [13] Australian Government, Bureau of Meteorology, *The Greenhouse Effect and Climate Change*, <http://www.bom.gov.au/info/GreenhouseEffectAndClimateChange.pdf>
- [14] Baldocchi, D., and Wong, S., 2006. *An Assessment of the Impacts of Future CO<sub>2</sub> and Climate on Californian Agriculture*, Report from the California Climate Change Center, 40 pp. <http://www.energy.ca.gov/2005publications/CEC-500-2005-187/CEC-500-2005-187-SF.PDF>
- [15] Shaw, R., 2003. *Ecological Impacts of a Changing Climate*, PIER Environmental Area, 48 p. [http://www.energy.ca.gov/reports/2003-04-16\\_500-03-025FA-III.PDF](http://www.energy.ca.gov/reports/2003-04-16_500-03-025FA-III.PDF)
- [16] McCarl, B.A., R.M. Adams, and B. Hurd, 2004. *Global Climate Change and Its Impact on Agriculture*, in *Encyclopedia of Life Support Systems*, Edited by C. Chang and C. Huang, Institute of Economics Academia Sinica and UNESCO, Taipei, Taiwan. <http://agecon2.tamu.edu/people/faculty/mccarl-bruce/papers/879.pdf>