HAL
open science

Changement climatique et observations à long-terme en Unités Expérimentales : évolution des pratiques agricoles et des réponses physiologiques des couverts végétaux. Etude de faisabilité

Claudia de La Torre, Marc Benoît

To cite this version:

Claudia de La Torre, Marc Benoît. Changement climatique et observations à long-terme en Unités Expérimentales : évolution des pratiques agricoles et des réponses physiologiques des couverts végétaux. Etude de faisabilité. 2004. hal-02832606

HAL Id: hal-02832606

https://hal.inrae.fr/hal-02832606

Submitted on 7 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Changement climatique et observations à long-terme en Unités Expérimentales : évolution des pratiques agricoles et des réponses physiologiques des couverts végétaux.

[Etude de faisabilité]

Claudia De La Torre, Marc Benoit
INRA-SAD Station de Mirecourt
Avec la collaboration des UE Agroclim d'Avignon, de Colmar,
de Mirecourt, du Pin et de Toulouse-Auzeville,

Janvier 2004

Avertissement : l'objectif de cette synthèse est de fournir rapidement quelques éléments de méthodologie et d'analyse des données culturales recueillies dans le cadre de l'étude sur l'hypothèse d'une évolution des pratiques influencée par le changement climatique.
2003 sera une première année de test de la faisabilité des méthodes et de l'accessibilité aux données pour une telle étude.

Sommaire

1. Introduction
2. Rappel bibliographique : les enjeux du changement climatique
3. Méthodologie
    a. Localisation et présentation des sites retenus
    b. Choix des cultures et des variables retenues
    c. Traitement des données
4. Evolution des variables agricoles par culture
    a. Maïs
    b. Blé
    c. Orge
    d. Tournesol
    e. Betterave
    f. Prairies
5. Bilan : les grandes tendances observées
    a. Evolution de la date de semis
    b. Evolution de la date de fauche des prairies
    c. Evolution de la durée des cycles de culture
6. Variables agroclimatiques : le cas de Mirecourt
    a. Précipitations
    b. Températures
    c. Gelées
    d. Incidences du climat sur les tendances agronomiques observées
    e. Prise en compte du climat par les chefs de culture
7. Conclusions et propositions

Références bibliographiques

Remerciements

Cette étude a été possible grâce à la participation de :

- ***INRA UE de Mirecourt :***
  Marc Benoit (directeur)
  Claude Bazard (chef de culture)
  Jean-Louis Fiorelli (données météo)
  Jean-Marie Trommenschlager (informatique)
  Pierre-Yves Bernard (statistisque)
  Gilles Rouyer (photo)

- ***INRA UE de Colmar :***
  Christian Maginieau (directeur)
  Paul-André Schmit (chef de culture)

- ***INRA UE du Pin :***
  Emile Daburon (directeur)
  Benoit Blanchet (chef de culture)
  Jean-Rémi Pecatte (données météo)
  Daniel Leconte (données précocité prairies)

- ***INRA UE d'Auzeville :***
  Jean-Marie Nolot (directeur)
  Denis Baudet (gestionnaire de base de données)

- ***INRA UE Agroclim d'Avignon***
  Bernard Seguin (directeur)
  Bernard Baculat (données météo)

- ***GEVES*** *(www.geves.fr)*
  Gilles Malatier (données maïs Colmar)
  Jacques Soyer (données blé Colmar)
  Roland Alry (données prairies)

- ***ARVALIS*** *(www.arvalisinstitutduvegetal.fr)*
  Alain Besnard (données variétales prairies)
  Josiane Lorgeou (données variétales maïs)
  Marie-Hélène Bernicot (données variétales céréales)

1. Introduction

Depuis quelques années, l'analyse des changements climatiques au cours du vingtième siècle est devenue l'une des préoccupations majeures de la communauté scientifique internationale.

Pour évaluer l'impact des gaz à effet de serre (GES) sur le climat[1], les modèles numériques de simulation constituent à ce jour le seul outil de réflexion sur le futur, et les difficultés rencontrées dans leur élaboration et leur usage traduisent la complexité du milieu naturel. La comparaison entre les observations récentes et les résultats des modèles montre que le réchauffement climatique est inévitable (Magdelaine C., 2003). Depuis la signature de la convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques à Rio de Janeiro (1992), de nombreuses études concernant l'impact du changement climatique sur les pratiques agricoles ont été réalisées. Cependant, il s'agit de l'élaboration de scénarios climatiques basés sur des modèles de culture ; alors qu'aucune publication ne semble concerner l'influence du changement climatique sur les pratiques agricoles réelles de ces dernières décennies[2].

Dans le cadre de la 'Mission Changement Climatique et Effet de Serre' (MICCES[3]) et parallèlement à l'élaboration de la base de données *Phénoclim*[4], la Station de Recherche de l'INRA-SAD (Sciences pour l'Action et le Développement)[5] de Mirecourt (Vosges) souhaite valoriser par cette étude les données agronomiques disponibles dans différentes unités expérimentales (UE) INRA en France.

La présente étude vise à rendre compte, sur les trois dernières décennies, des processus de changement et d'adaptation des pratiques agricoles, en rapport avec le changement climatique. Il s'agit d'une approche multicritère, qui a des considérations d'ordre environnemental (géographie, conditions climatiques locales, contexte socio-économique), technique et organisationnel (gestion des chantiers de travaux). La prise en compte de ces facteurs conditionne les règles de décision des agriculteurs.

Après un bref rappel bibliographique concernant le changement climatique et ses effets prévisibles sur l'agriculture, nous présenterons la méthodologie adoptée. Pour répondre à l'objectif premier de cette étude, nous nous intéressons à l'évolution au cours du temps, des variables agro-physiologiques disponibles pour cinq cultures annuelles (maïs, blé, orge, tournesol, betterave) et deux types de cultures pérennes herbacées (prairies temporaires et prairies permanentes). A ce niveau seront pris en compte les règles de décision propres aux responsables de cultures enquêtés, ainsi que leur perception du changement. Le traitement des données ainsi acquises, couplé à une analyse climatique, permettra, en dernier lieu, de mettre en évidence, ou d'infirmer, l'hypothèse d'une évolution généralisée des pratiques culturales au sein des systèmes de culture[6] dont certains traits seraient reliables au changement climatique[7].

---

[1] Le climat se définit comme une description des moyennes et des extrêmes météorologiques en un endroit limité. Sa variabilité tient aux fluctuations des courants océaniques, aux éruptions volcaniques, au rayonnement solaire et à d'autres composantes du système climatique encore partiellement incomprises. (Magdelaine C, 2004).

[2] On peut citer l'étude du Centre de Recherche en Agriculture et Agroalimentaire de l'Est Canada –céréales et oléagineux- : « Adaptation de la production agricole au changement climatique dans le Canada atlantique », qui a basé son travail sur une variable quantitative (le rendement) à partir d'essais et avec une série agroclimatique sur une courte durée (une décennie).

[3] Cette mission, animée par B. Seguin (directeur de Recherche et Responsable Agronomique INRA) s'appuie localement sur l'Unité Agroclim à Avignon, qui gère le réseau climatologique de l'INRA et la base de données qui lui est associée.

[4] Constituée de relevés effectués sur des cultures fruitières arboricoles et sur la vigne.

[5] Anciennement appelé « Systèmes Agraires et Développement ».

[6] Pour 'systèmes de culture' (INRA-INAPG, 1975 ; Sebillote, 1978 ; Gras et al., 1998), nous privilégions les choix réalisés de deux entités : **la succession culturale** avec ses successions de cycles culturaux, et les **itinéraires techniques** où les logiques de ces choix seront interrogés face aux tendances climatiques et aux aléas. Ce concept sera ici élargi aux cultures prairiales et pérennes.

[7] Sur la base des réseaux de stations climatologiques et des unités expérimentales INRA.

2. Rappel bibliographique : enjeux et impacts du changement climatique

Nombreux sont les articles et les débats actuels évoquant les relations qui affectent l'effet de serre et de façon plus globale les changements climatiques[1] observables et prévisibles pour les décennies à venir (Seguin B. et Stenguel P., 2002 ; FAO, 2003 ; Douguedroit A., 2001). En revanche, cette analyse bibliographique permet de faire le point sur l'état d'avancement des connaissances relatives à l'impact du changement climatique en agriculture : quels sont les conséquences majeures observables et prévisibles et quelles sont les stratégies actuelles et futures pour se prémunir ou amoindrir les impacts prévus ?

a) Enjeux et prévisions

L'agriculture est un secteur complexe qui implique différents paramètres moteurs ; mais le climat est l'un de ses plus importants facteurs limitant : gel durant la période de croissance et précipitations basses et irrégulières avec des risques élevés de sècheresse durant la période de culture sont déjà des problèmes fréquents.

Malgré les nombreux efforts des climatologistes, il y a une incertitude considérable à propos de l'impact potentiel du changement de climat en agriculture. On connaît mal comment, quand, où et avec quelle ampleur se produira le changement climatique. La hausse de concentration du dioxyde de carbone (CO_2), principal gaz à effet de serre, dans l'atmosphère est un fait incontestable. Une autre certitude est la solidité de la théorie de base de l'effet de serre : la composition du mélange de gaz dans l'atmosphère affecte fortement la température de la planète, avec des conséquences sérieuses (effets induits) pour l'agriculture (Bazzaz F.A. et Sombroek W.G., 2003).

L'analyse des données météorologiques des 120 dernières années (Lebourgeois F. et al., 2001) met en évidence :

- une tendance historique à l'augmentation de la température moyenne du globe de 0,3 à 0,9°C depuis un siècle (Delécolle R. et al.,-) ; à l'échelle de la France, une forte augmentation de la température minimale depuis 1965, notamment en été (+0,93°C) et en automne (+0,88°C) (Easterling D.R. et al., 1997 ; Jones P.D., 1993 ; Karl T.R. et al., 1993 ; Mann et al., 1998) ;
- une accélération de ce phénomène depuis les années 70 ; les années les plus chaudes du millénaire étant les années 90 (Douguedroit A.V., 2001 ; Magdelaine C., 2004) ;
- de façon générale, la tendance est à la diminution du nombre de jours sans pluie (Lebourgeois F. et al., 2001) et à l'accroissement du nombre de jours à fortes précipitations ;
- la diminution du nombre de jours de gel.

Couplées aux projections pour la fin du XXIè siècle (possibles grâce à l'utilisation de modèles numériques), les analyses concluent à un réchauffement climatique et une modification de la répartition des pluies (Lorgeou J et al., 2000). Pour mesurer les enjeux d'un doublement de la concentration de CO_2 d'ici à l'an 2050, il faut rappeler les prévisions du GIEC[2] (De Jong R. et al., 2003 ; Delécolle R. et al.,-) :

- un réchauffement des basses couches de l'atmosphère concomitant à un refroidissement des hautes couches (Delécolle R. et al., -) ; la hausse n'est pas régulière (Douguedroit A.V., 2001) ;
- la température moyenne, actuellement de 15°C pourrait monter de 2 à 6°C d'ici à 2100 (Remy V., 2003 ; INRA, 2003) (dans le cas de la France, l'élévation de la température hivernale serait de 1 à 2°C alors que l'élévation en été et en automne serait supérieure à 2°C sur la plus grande partie du pays). Concernant les précipitations, les résultats indiquent une augmentation des pluies en hiver et une certaine diminution en été. De plus, il semblerait que la variabilité tendrait à augmenter ;

[1] L'on parle de changement climatique de manière évidente depuis les années 80 (Lebourgeois F. et al., 2001).

[2] Le GIEC (Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat), ou IPCC (Intergouvernmental Climate Change) en anglais est constitué par un très grand nombre de chercheurs internationaux, réunis autour de l'égide des Nations Unies, afin de travailler sur ce bouleversement majeur.

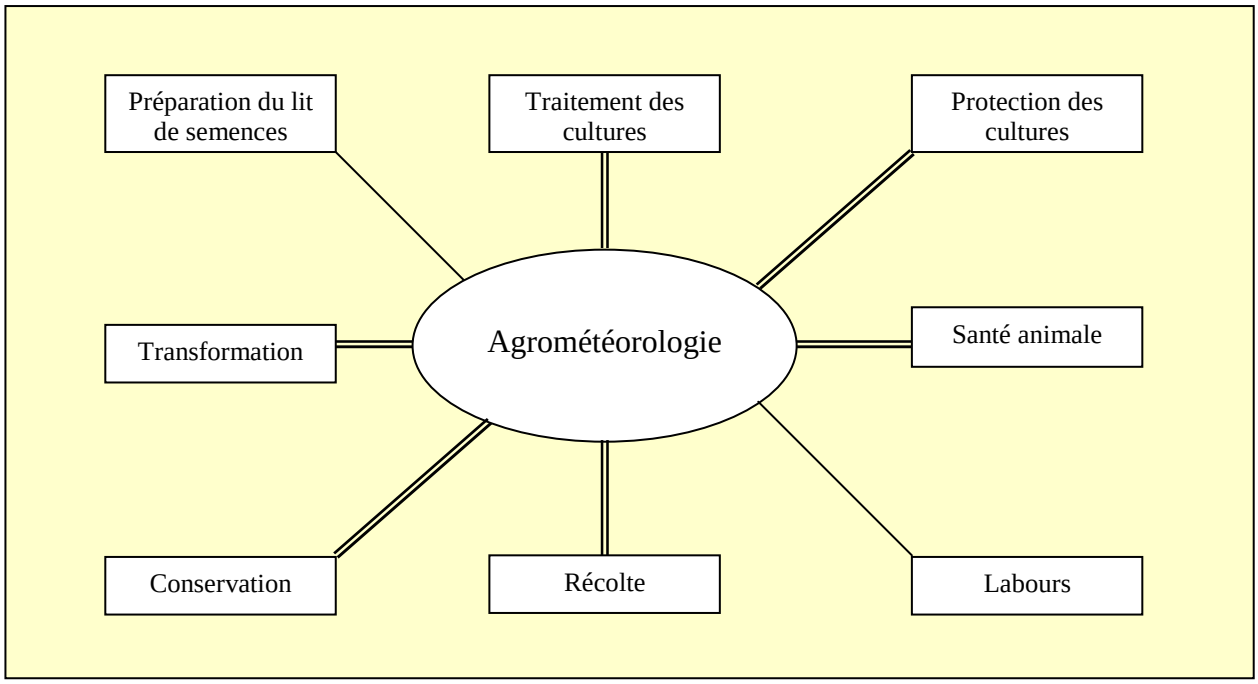


Figure 1 : Interrelations existant entre l'agrométéorologie et différentes activités agricoles. (Selon Olufayo AA. et Baldy C, 1997)

Facteurs climatiques	Effets	Impacts sur l'agriculture
Hausse de la température	Hausse plus importante au Nord	Décalage des cultures et rendements plus élevés au Nord Apparition de nouvelles cultures dans les plus hautes latitudes
	Prolifération de parasites	Effets nuisibles sur les récoltes Possible utilisations massives de pesticides ayant des impacts sur l'environnement
	Raccourcissement des périodes de gel	Effet positif ou négatif selon les types de culture
	Impacts sur l'humidité et les ressources en eau	Effet négatif, risques de sécheresses, surtout au Sud
Précipitations	Variabilité accrue	Décalage des cycles de croissance des plantes. Possibilités de pertes de rendement dues à une lacune ou un surcroît d'apport en eau aux mauvais moments
Hausse du taux de CO_2	-	Gain ou perte de rendement selon le type de plante (C3 ou C4), et aussi en fonction des autres paramètres climatiques
Hausse du niveau de la mer	Salinisation	Problème de la ressource en eau (pollution des nappes d'eaux souterraines, non exploitables sans traitement préalable)
	Risques d'inondations	Récoltes perdues

Tableau 1 : Le changement climatique et l'agriculture, bilan. (Selon Amphoux M. et al., 2003)

- une plus grande variabilité des précipitations et une répartition saisonnière modifiée, avec un accroissement des sécheresses estivales sur la moitié sud de la France (diminution de l'humidité du sol par suite de la diminution du volume des neiges) et un excès d'eau hivernal accru (+20% contre –15% en été (Deudon O. et al., 2001 ; Robert M., -), qui conduirait à une réduction des réserves en eau des sols durant l'été ;
- une augmentation de la fréquence des évènements à forte précipitations (Lorgeou J et al., 2000) ;
- les conditions climatiques extrêmes- qu'il est pratiquement impossible de prévoir- pourraient devenir plus fréquentes (FAO, 2003). Une sécheresse pourrait se reproduire tous les deux ans (avec une année très humide entre les deux), et une canicule sévirait tous les 10 ans (données Reportage Arte, Climatologue Suisse, 12/01/04) ;
- les zones climatiques et agro-écologiques se déplaceraient, obligeant les agriculteurs à s'adapter (FAO, 1997) : les zones de cultures pourraient s'étendre vers le nord pour certaines productions (Seguin B., 2002).

Les liens entre le climat et l'agriculture sont connus (Cf. tableau et figure ci-contre), mais pas toujours bien compris. La modélisation cherche à apporter une réponse, tout en sachant que de fortes incertitudes demeurent, notamment sur les modèles climatiques. La plus grande crainte proviendrait de la variabilité climatique, en particulier si la fréquence et l'intensité des phénomènes extrêmes venaient à s'amplifier (Deudon O. et al, 2001). Aucun travaux n'a étudié simultanément les changements de température et de précipitation, ainsi que les variations de paramètres tels que la durée d'ensoleillement, le nombre de jours sans pluie, la fréquence des gelées hivernales et printanières, la longueur de la saison de végétation (Lebourgeois et al., 2001).

b) Impacts prévisibles

L'impact du changement climatique sur l'agriculture a fait l'objet de travaux, notamment au sein de l'INRA depuis une dizaine d'années : expérimentations en conditions contrôlées ou au champ, simulations s'appuyant sur les modèles de culture (souvent pour les cultures de blé et de maïs), prévision de l'impact des scénarios climatiques. Ainsi, on considère que le changement climatique peut avoir plusieurs conséquences, de nature climatiques et biologiques, sur le monde agricole (Robert M., -), avec des impacts directs et indirects (Lorgeou J et al., 2000) :

- **la production de biomasse**. L'augmentation de la température devrait raccourcir la durée du cycle de végétation (Delécolle R. et al., - ; Lorgeou J et al., 2000) , ce qui, en réduisant la durée d'interception du rayonnement, aura un effet négatif sur la production de biomasse (Lorgeou J et al., 2000). De même, la modification du climat physique pourrait conduire à une diminution de la production de biomasse par modification de l'assimilation carbonée (photosynthèse, respiration, conductance stomatique) ou encore par une contrainte hydrique plus forte.

Cependant, l'augmentation de la teneur en CO_2 en améliorant la photosynthèse pourrait conduire à une amélioration de l'efficience d'utilisation de l'eau (consécutive à l'effet de fertilisation azotée (INRA, 2003)) qui contrebalancerait l'effet précédent (Delecollé R. et al.,-). La perte de biomasse n'est donc pas inéluctable. L'augmentation de la température et de ses amplitudes de variation serait susceptible d'augmenter les vitesses de l'activité microbienne, en particulier la biodégradation des matières organiques du sol. L'effet de « fertilisation carbonée » par le CO_2 augmenterait la production végétale, et les retours de carbone au sol. Certains auteurs parlent même d'une augmentation de 20% de la production de biomasse à cause de la stimulation de la photosynthèse, et pour la végétation naturelle, de l'extension de la saison de végétation (INRA, 2003).

En revanche, l'augmentation des précipitations risque de provoquer des phénomènes accrus de lessivage et un entraînement en profondeur des minéraux.

- **les stades et niveaux de croissance des cultures, avec une tendance à la précocité.** Toute augmentation de température raccourcit le cycle de végétation pour les cultures à cycle déterminé[1] (Deudon O. et al., 2001 ; INRA, 2003). Pour ces cultures (exemple des céréales), la durée séparant le semis de la récolte se trouverait donc diminuée, entraînant une diminution de la durée de croissance des organes récoltables, si les variétés cultivées restaient celles qui ont la faveur des agriculteurs aujourd'hui. Cependant, les cultures à cycle non déterminé (exemple des prairies) pourraient potentiellement mettre en place plus d'organes récoltables, pour une durée de cycle comparable aux durées actuelles (INRA, 2003).

La diminution des périodes végétative et reproductive est prévue d'ici 50 ans à 11 à 30 jours plus tôt pour le maïs et le blé d'hiver, avec un impact plus important sur la plupart des céréales (blé, soja…) qui appartiennent aux plantes en C3 et qui sont de ce fait plus sensibles aux changements de concentration en CO_2 que le sont les plantes en C4 telles le maïs (Alexandrov V.A. et Hoogenboo M.G., 2000). Pour les céréales d'hiver, l'accélération du développement pourrait être tempérée par une moindre satisfaction des 'besoins en froid' (vernalisation) pendant l'hiver, car cette satisfaction se traduit par la réalisation d'une vitesse maximum de développement (Delécolle R. et al., 1999).

L'évolution du climat se traduit déjà par des effets significatifs au niveau de la phénologie des arbres fruitiers et forestiers (avancée des dates des floraison allant de 5 à 15 jours suivant les lieux et les espèces) ou de la vigne (dates de vendanges avancées de plus de trois semaines en 50 ans à Chateauneuf-du-Pape) (INRA, 2003 ; Seguin, B., 2002).

- **la productivité des plantes et des animaux,** influencée par la modification des températures, le régime des précipitations et l'ensoleillement**.** Compte tenu de l'ensemble de ces effets, l'augmentation du CO_2 induirait une hausse du rendement sur les cultures annuelles (majoritairement en C3) variant entre –10% et +10% suivant le lieu et les techniques culturales (INRA, 2003) (*« sous des conditions optimales de températures et d'humidité, l'augmentation de rendement peut atteindre 36% pour les plantes en C3 »* (Waernick et al, 1986)) :

- dans le cas du blé, on peut s'attendre à une diminution de la production si on ne considère que les effets physiques (une vernalisation médiocre ralentirait l'initiation des bourgeons floraux), alors qu'elle peut légèrement s'accroître si on y ajoute les effets de l'augmentation du CO_2 (+ 0,13 à 0,20 t/ha/décennie pour le blé d'hiver (Deudon O et al., 2001)) ;

- dans le cas du maïs, le seul effet d'un doublement de la concentration en CO_2 augmenterait le rendement, la transpiration des plantes et les besoins en eau de l'ordre de 15% (Lorgeou J. et al., 2000) (le décalage du cycle, -rendu plus précoce-, fait coïncider le maximum du développement foliaire avec le maximum du gisement radiatif) ;

- pour les prairies enfin, les températures journalières plus élevées joueraient en faveur d'une meilleure production précoce (Delécolle R. et al., 1999) par l'action combinée du $C0_2$ et des températures sur la production de biomasse racinaire et végétative. Elle pourrait augmenter de 10 à 20% (Soussana J.F., 2003 ; INRA, 2003) et même jusqu'à 40% d'ici 2100 (Seguin, B., 2002), mais une baisse de disponibilité en eau pourrait avoir un contre-effet.

- dans le cas des cultures pérennes, les chercheurs de l'INRA[2] parlent d'un risque accru de chute de bourgeons liée au gel.

Cependant, cette élévation de température augmentera les niveaux d'évaporation et réduira l'humidité disponible du sol, ce qui peut affecter les rendements et l'efficience de l'utilisation de l'eau, à moins de déplacer les dates de semis ou de plantation à des périodes plus favorables. C'est surtout la variabilité climatique qui va augmenter, et donc la variabilité de la production.

L'année 2003, qui a présentée *« des conditions voisines des scénarios de l'avenir »* (Seguin B., 2003) a révélée une baisse de la production de blé de 10 à 15% et de 30% pour le maïs, alors que la production de fourrage *«a fondue de 50% dans certaines zones, tandis que les prairies ont beaucoup souffert»*.

---

[1] L'effet de la température sur le développement de la plante dépend alors des rythmes physiologiques de celle-ci, déterminés génétiquement.

[2] Site Internet http://www.inra.fr/sia2003

- **la qualité des plantes.** La qualité des céréales pourrait être modifiée assez fortement, à la fois par le réchauffement et par l'augmentation du CO_2 atmosphérique (Seguin B., 2003). Des études complémentaires parlent effectivement d'un changement dans la qualité de la récolte : pour les plantes en C3, le gain de croissance favoriserait davantage la biomasse végétative par rapport à la biomasse reproductive, ce qui impliquerait une diminution de rendements en grains. De plus, la modification du rapport C/N au sein de la plante peut conduire à des teneurs plus faibles en azote (Deudon O. et al., 1999).

Dans le cas des prairies, on peut s'attendre à une évolution de la composition botanique, avec un développement accru des légumineuses au profit des graminées (INRA, 2003) ; ainsi qu'à une modification de la constitution des plantes : accumulant plus de sucres solubles, l'herbe a une plus grande valeur énergétique, mais la diminution de la teneur des plantes en matière azotée engendre une moindre disponibilité en protéines, notamment pour les animaux en croissance ou en lactation (INRA, 2003).

- **les besoins en eau de la plante.** Du fait de la réduction de la transpiration, consécutive à l'action du CO_2 sur la fermeture des stomates (diminuée de 40% dans le cas d'un doublement de la concentration en CO_2) (Deudon O. et al., 1999), il est prévu une diminution des besoins en eau de la plante.

- **les niveaux de croissance du complexe parasitaire et la vulnérabilité accrue des végétaux à certains ravageurs et maladies (INRA, 2003).**

D'une part, on estime une plus grande concurrence des mauvaises herbes : les adventices des cultures, tout comme les cultures, bénéficieront de l'augmentation de la concentration en CO_2 car, en Europe, leur mécanisme photosynthétique est essentiellement en C3 (Deudon O. et al., 1999). Les adventices en C4, présentes majoritairement sous les climats méditerranéen et subtropical, verront leurs zones de prolifération migrer vers le nord.

L'évolution vers un climat plus chaud, associé à des taux d'humidité et des durées d'humectation plus longues pourrait également favoriser le développement de certains ravageurs de cultures et vecteurs de maladies (ou d'ailleurs en éliminer certains autres) ou des maladies cryptogamiques sur les cultures annuelles et pérennes (Seguin B. et Stengel P., 2002). On parle aussi d'extension géographique de pathogènes et ravageurs des cultures. Certaines études laissent présager une meilleure efficacité des herbicides en corrélation avec l'augmentation des températures (Deudon O. et al., 1999).

Il semblerait toutefois que de tels effets potentiels indirects ne soient pas facilement évaluables, et rarement pris en compte dans les modèles de prévision (Delécolle R.,-).

- **l'organisation du calendrier des pratiques pour les cultures annuelles.** Les résultats des modèles climatiques laissent présager une diminution des jours disponibles pour les interventions culturales au printemps et une augmentation de ce nombre de jours en automne. Une avancée des travaux est globalement perçue. En revanche, aucune étude ne s'est encore appliquée à faire un bilan des interactions du climat sur les pratiques culturales de ces dernières décennies, permettant déjà de vérifier l'hypothèse avancée.

- **la perte de terres cultivables par inondation et l'augmentation de la salinité des nappes dans les zones côtières**, provoquées par l'élévation du niveau des mers (Deudon O. et al., 1999).

Enfin, même si l'analyse des données moyennes fournit des informations sur les variations climatiques récentes, la variabilité temporelle et la fréquence des évènements extrêmes (qui ont pourtant une importance considérable) n'est pas ou peu simulée dans ces modèles, pour appréhender le problème de l'adaptation des espèces.

Le bilan de ces divers effets serait vraisemblablement différent suivant que l'on considère des cultures annuelles (plantes à graines ou tubercules, graminées, légumineuses), cultures pérennes herbacées (plantes fourragères et prairies permanentes) ou ligneuses (vignes, arbres fruitiers) (Delécolle R et al, 1999).

De plus, les conséquences de ce changement climatique sont susceptibles d'être différentes selon les zones et les capacités d'adaptation des exploitations, fonction de leurs moyens et des avancées de la recherche agronomique.

c) Stratégies d'adaptations envisageables

Le monde agricole ajuste continuellement ses activités en réponse à des variations économiques, politiques et sociales qui affectent chaque aspect de la production. Ces ajustements se manifestent à différentes échelles : de l'exploitation à la région agricole.

Face aux changements climatiques futurs, on peut estimer que de nos jours, les progrès constants en agriculture, notamment dans le domaine des techniques culturales, des produits phytosanitaires et de la génétique, permettent d'être plus réactifs aux changements climatiques futurs (Kaufmann R.K., 1997). L'adaptation des systèmes agricoles à cette nouvelle donne climatique et en conséquence aux effets sur les maladies, les ravageurs et les mauvaises herbes, est étudiée pour guider les nouveaux savoirs-faire agronomiques (Inra, 2003) ; on peut distinguer deux types d'adaptations possibles (Semenov M.A.et Porter J.R., 1995) :

- **Celles que l'agriculteur peut mettre en œuvre lui-même**, qui relève de ses stratégies culturales : « *les exploitants,* prédit B. Seguin (2002) *seront capables de s'adapter à l'effet de serre en changeant de variétés végétales (tolérant la sècheresse, par exemple), voire de culture, ou en modifiant leurs pratiques culturales* ».

Delécolle R. et al., (2000) proposent des semis plus précoces pour permettre à des cultures d'hiver d'échapper à des périodes estivales dangereuses et à des cultures de printemps d'allonger leur cycle végétatif, de raisonner le rythme et les quantités des apports d'intrants en fonction des nouvelles conditions, d'envisager la révision des stratégies de fertilisation, et de travail du sol (Delécolle et al., 1999), ainsi que l'emploi plus efficace des ressources en eau (FAO, 1997). Selon Lorgeou J. et al. (2000), Un choix de date de semis et de précocité de génotypes de maïs approprié à des disponibilités en degré-jours plus élevées aurait un effet positif sur le rendement qui peut être estimé entre 10 et 15%. L'exploitant devrait aussi envisager de planter des cultures mieux adaptées aux nouvelles conditions. Par exemple, la substitution des céréales de printemps par des céréales d'hiver dans le Nord permettrait de limiter les risques de sècheresse estivale compte tenu de leur moindre sensibilité (système racinaire plus profond et maturité un peu plus précoce) (Deudon O. et al., 1999).

Les pratiques devront s'adapter à un complexe parasitaire et aux effets agronomiques de climats plus chauds (Lorgeou J. et al., 2000) Il semblerait que ces adaptations soient davantage perceptibles pour des cultures annuelles que des pérennes, car les règles d'ajustement ou de rattrapage sont au moins possibles d'une année sur l'autre, si ce n'est au cours d'une même année, en modifiant le système de culture.

- **Celles qui nécessitent des investissements dans les infrastructures de recherche, de développement et d'aménagement** (sélection variétale de génotypes adaptés en terme de longueur de cycle ou d'efficacité photosynthétique, tenant compte d'hivers plus chauds et donc moins favorables à la vernalisation). En ce sens, la sélection variétale évolue périodiquement en fonction des paramètres climatiques (essais effectués *in-situ* répétés sur plusieurs années), et la gamme des variétés proposées aux agriculteurs augmente, lui laissant un large choix, qui sera fonction de ses conditions environnementales et de ses objectifs. Ceci est surtout vrai en France, pour le maïs, le blé et la betterave. En ce sens, certains auteurs démontrent que les variations climatiques n'auront pas ou peu d'effet « *car la génétique (création variétale) devancera le phénomène.* » (Delecollé R. et al.,-).

Une augmentation de la qualité des prévisions météorologiques améliorerait la planification à court et moyen terme des opérations agricoles.

L'on peut aussi envisager une 'adaptation biologique' non contrôlée (à l'échelle de la plante (résistance induite) et du sol (modification, capacité)).

De la même manière que nous avons évoqué les relations qui affectent l'agriculture dans le sens de l'effet de serre vers l'agriculture, il faudra tenir compte des effets positifs ou négatifs nombreux dans la conduite d'une exploitation agricole, et qui sont préjudiciables à l'effet de serre (Delecollé R et al., 2000).

3. Méthodologie

a) Localisation et présentation des sites retenus

Le choix du recueil de données agronomiques au sein d'Unités expérimentales de l'INRA constitue une originalité. Il est permis par deux faits : les unités expérimentales gèrent des surfaces agricoles que leur chef de culture et ses employés agricoles conduisent, -hormis les essais-, telles de véritables exploitations agricoles, d'une façon assez représentative du modèle agricole français. Elles peuvent être parallèlement prises comme dispositifs de recherches, puisqu'elles ont l'avantage sur les exploitations agricoles d'enregistrer un grand nombre d'observations et de données agronomiques et climatiques sur la durée.

Quatre stations expérimentales INRA ont ainsi été choisies, parce qu'elles présentaient de longues séries climatiques (au moins trois décennies) enregistrées par le réseau AGROCLIM, et disposaient conjointement d'enregistrements culturaux (souvent sous forme d'archives) sur des périodes, à priori, relativement longues. Il s'agit des unités de Mirecourt, Colmar, Le-Pin et Toulouse-Auzeville, représentées sur la carte ci-dessous (*Cf. annexe 3*).

L'on cherche dans un premier temps à couvrir une gamme variable de :
- situations géographiques et climatiques (les quatre stations sélectionnées représentent au moins deux types de climats français caractéristiques : très schématiquement, océanique et continental chaud et froid) ;
- types de systèmes de culture pratiqués, en excluant la viticulture et l'arboriculture, déjà étudiées.

Carte 1. Localisation géographique des quatre UE enquêtées

Tableau 2 : Caractéristiques des sites retenus (Cf. annexe 1).

Situations géographiques					Cultures	Début des Séries Climatiques	Début des Séries Agronomiques
UE	Région	Alt	Longit	Latit			
Mirecourt	Lorraine	289	-6,81	53,67	Maïs ensilage, blé, orge, prairies	01-oct-72	1969
Colmar	Alsace	200	-7,81	53,39	Maïs grain, blé, orge, betterave	01-janv-72	1984
Le-Pin	Normandie	205	-0,14	54,19	Maïs ensilage, prairies	01-mars-73	1976
Auzeville	Midi-Pyrénées	150	-1,67	48,39	Maïs grain, blé, tournesol	01-oct-70	1977

Nous décrivons de façon succincte les UE visitées :

L'UE de Mirecourt se situe sur le domaine du Joly, dans une zone qualifiée de 'printemps froid et humide'. Vouée à l'élevage d'un troupeau laitier (environ 350 têtes), le domaine agricole, d'une superficie totale d'environ 230 ha, consacre son parcellaire majoritairement aux prairies (165 ha de prairies temporaires et permanentes) et pour le reste aux grandes cultures (maïs, blé, orge, colza). Le type de sol rencontré, relativement hétérogène pour l'ensemble du parcellaire, est de type limono-argileux.

L'UE de Colmar gère un parcellaire d'environ 60 ha en polyculture (maïs, blé, orge, colza, betterave sucrière) et viticulture (25% de la SAU), ainsi qu'un dispositif de serres. Les grandes cultures sont soumises, pour une grande partie, aux expérimentations variétales pour le GEVES. La betterave est cultivée à l'échelle de 5 ha, dans le cadre d'un contrat passé avec l'usine sucrière d'Erstein. Les sols, de type limoneux (limons loessiques d'origine éolienne), sont jugés relativement homogènes sur l'exploitation et de bonne qualité. La zone est fréquemment soumises aux vents du nord, qui ont un effet desséchant sur le sol.

L'UE du Pin, située sur le domaine de Borculot valorise 330 ha de monoculture fourragère pour la production de bovins lait et viande (plus de 1000 têtes). 40 ha du parcellaire sont destinés à la culture de maïs, le reste est occupé par des prairies (180 ha de prairies temporaires et 110 ha de prairies permanentes). Les sols, de type limono-argileux, qualifiés de 'très froids et peu perméables', ont été drainés en majorité au cours des années 80.

Toute la surface de l'UE d'Auzeville est conduite en grande culture (tournesol, soja, maïs, sorgho, céréales à paille, pois protéagineux). Le sol, relativement hétérogène, est de type alluvial, limono-argileux, profond pour l'ensemble de la superficie (environ 100 ha). La plupart de la surface est assainie (fossés) ou drainée, mais des problèmes d'excès d'eau peuvent subsister.

b) Choix des cultures et des variables retenues

Enquêtes et recueil de données (de préférence non expérimentales) existantes au sein des UE retenues constituent la méthode adoptée pour identifier l'influence du changement climatique sur l'évolution des pratiques culturales.

Pour chaque site, les données sont enregistrées sous base informatique Excel, facilement accessible *(Cf. annexe 3)*.

Les cultures retenues sont des cultures annuelles et des pérennes herbacées :

- deux cultures d'hiver (blé tendre et orge) ;
- trois cultures d'été (maïs ensilage et grain, tournesol et betterave sucrière) ;
- et deux types de prairies fourragères (prairies temporaires et prairies permanentes).

Les variables recueillies à partir des itinéraires techniques mises à disposition, et considérées comme les plus pertinentes pour l'étude en question sont les mêmes, –à quelques détails près-, pour l'ensemble des cultures, à savoir : 'Année de culture, Parcelle, Variété, Indice de précocité, Précédent, Date de semis, Date de récolte, % de matière sèche récoltée (maïs et prairies), Taux de sucres (betteraves), Date de floraison femelle (maïs), et spécifiques aux prairies : Rendement, Unité d'azote/ha et Stade phénologique à la récolte'. Il s'agit de variables qualitatives ; celles quantitatives (tel le rendement) n'ayant pu être mobilisées sur de longues périodes.

Malgré une grande hétérogénéité entre les différentes UE, nous avons conservé les indicateurs communs qui nous semblaient les plus efficaces. En effet, certaines variables, inexistantes pour une année donnée, donnent lieu à une saisie incomplète pour la culture en question, et ne seront alors pas prises en compte pour l'analyse finale.

Il est certain que de nombreux paramètres ne seront pas analysés, par manque de précision ou de temps ; toutefois, pour l'analyse, nous essaierons, -autant que faire se peut-, de classer les variétés par indice de précocité identique ; de même, on considère pour une zone de culture donnée, que les sols cultivés sont de même composition.

c) Traitement des données

Au vu des variables agronomiques les plus renseignées pour chacune des cultures, les analyses se borneront, dans un premier temps, à trois types de représentations :

- l'évolution des dates de semis (min, max) ;
- l'évolution des dates de récolte (min, max) ;
- l'évolution de la durée des cycles de culture (min, max).

Les principales tendances concernant la date de semis et la durée du cycle de culture seront mises en évidence pour chaque culture étudiée dans sa zone respective, et ce, pour trois séries pré-définies (on part du postulat avancé par B. Seguin : *« il y a un changement net à partir de 1990 »*) : une série ancienne (1968-1989), une série récente (1990-2002) et enfin l'année 2003.

En fonction de la longueur des séries disponibles, deux variables agro-physiologiques viendront compléter les commentaires de l'analyse des variables agronomiques :

- la date de floraison du maïs (min, max) ;
- les stades de fauches des prairies d'ensilage ;

Enfin, les variables climatiques spécifiques à la station Inra de Mirecourt seront analysées. Nous tenterons de rapprocher les dates de semis et les durées de cycles de culture avec les analyses agroclimatiques[1] suivantes :

- évolution annuelle et décennale des moyennes mensuelles des températures (été, hiver et annuel)
- évolution annuelle et décennale du cumul des précipitations (été, hiver, annuel)
- évolution annuelle et décennale du nombre de jours de pluie (été, hiver, annuel)
- évolution annuelle et décennale du nombre de jours de gelée.

Une analyse de régression linéaire nous permettrait de quantifier la relation entre les différents indicateurs.

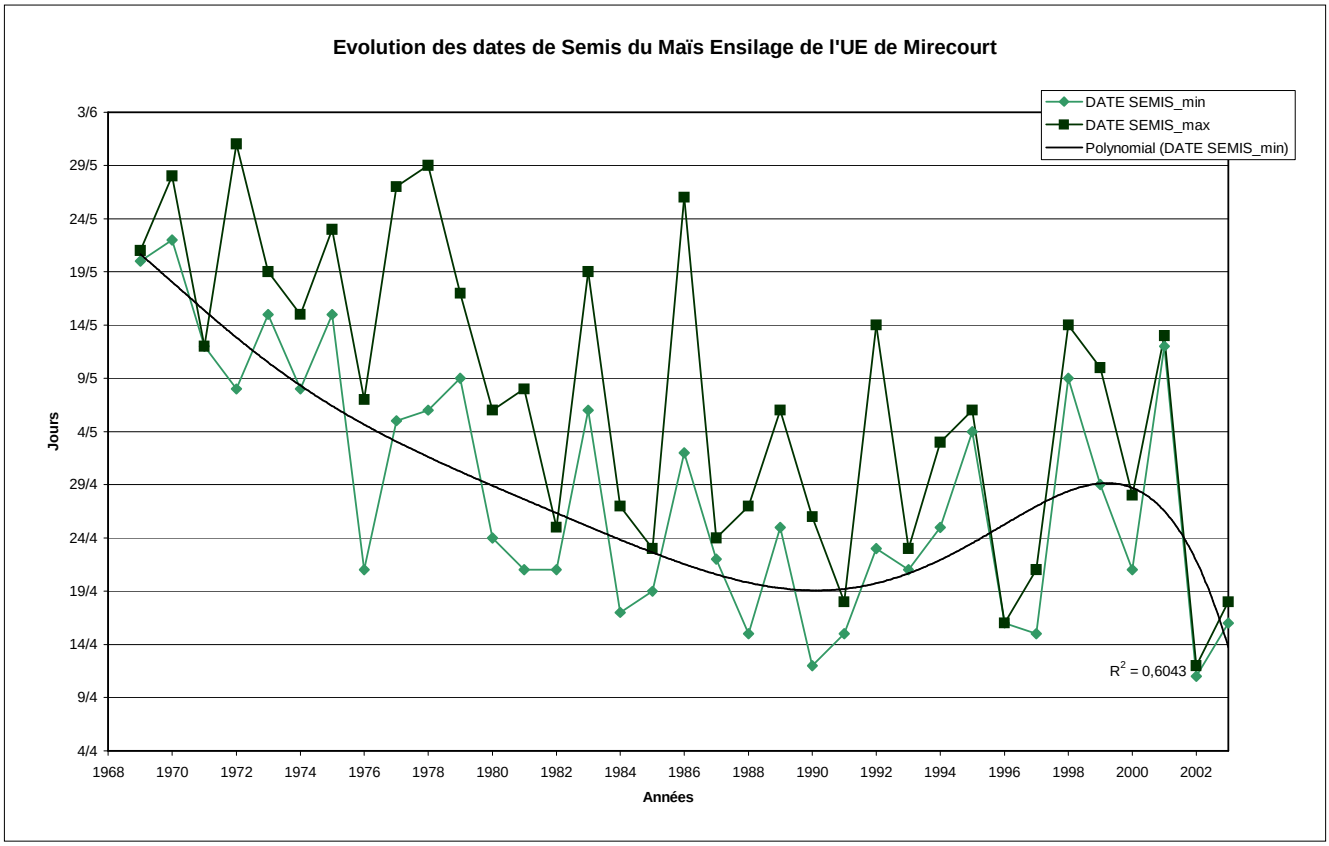
Le traitement des données retenues sera, en premier lieu, obtenu sous forme de représentations graphiques des variables sur une échelle de temps. Les valeurs minimales et maximales (min et max), pour une variable donnée, seront représentées par deux courbes respectives. La tendance sera mise en valeur par la courbe polynomiale des dates de semis minimales, et son coefficient de détermination R^2 (d'autant plus significatif qu'il est proche de 1).

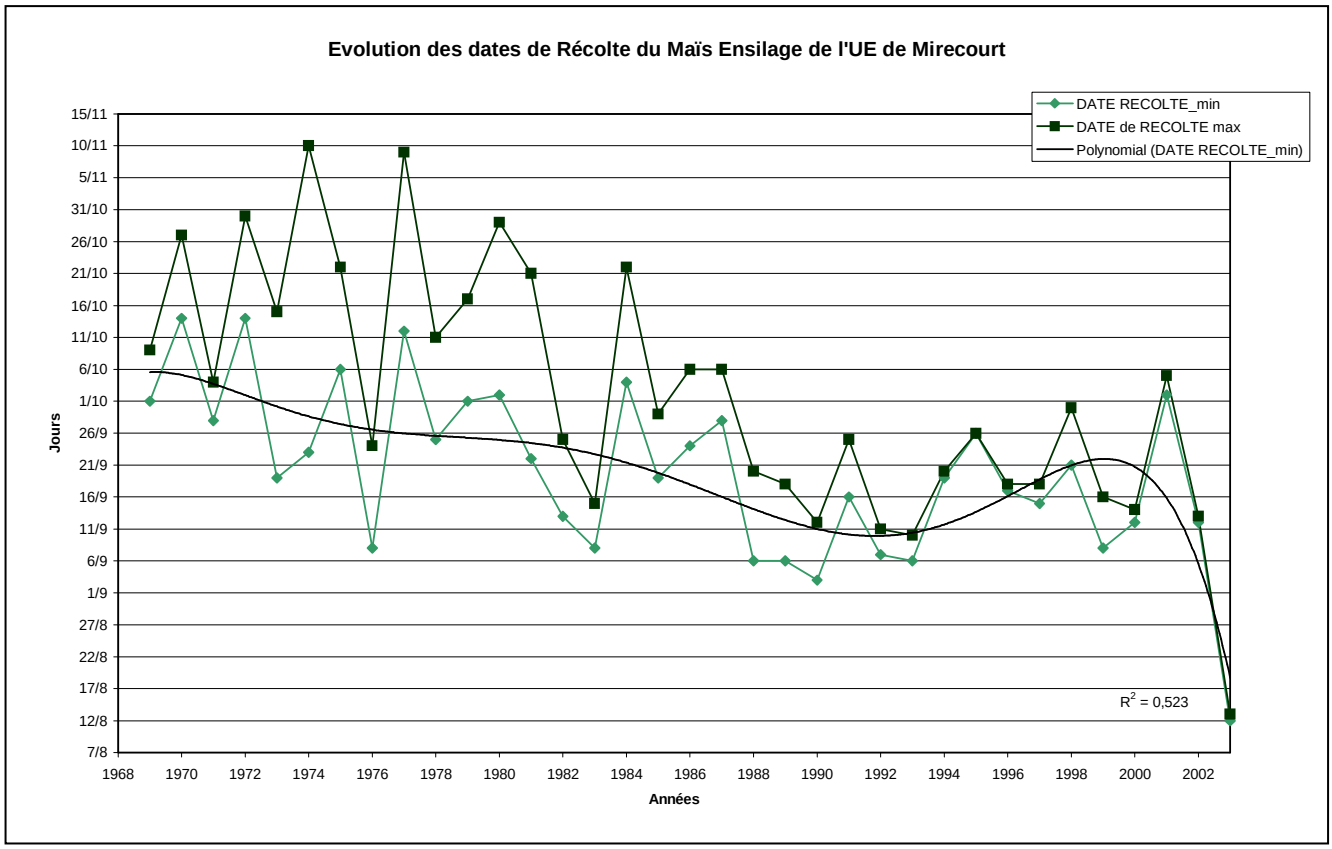
Une analyse statistique simple permettra de faire un premier bilan.

L'analyse globale résultante permettra de définir les grandes tendances de ces dernières décennies, pour chacune des cultures et des zones étudiées.

Dans la partie analytique que nous allons aborder maintenant, toutes les courbes réalisées ne seront pas représentées, et seules les tendances les plus significatives seront discutées (toutes les courbes se retrouvent en annexe : *Cf. annexes 4, 5 et 6*). Les jugements et les règles de décision propres à chaque UE seront prises en compte dans les commentaires. Nous avons en effet jugé utile de considérer comment les effets et les risques de changement climatique s'insèrent dans le processus décisionnel des 'chefs de cultures', aussi appelés '*décideurs'* ou '*pilotes des pratiques agricoles*'. Pour ce faire, nous avons interrogé au moins deux personnes de chaque UE, capables d'avoir une perception de la situation avec suffisamment de recul.

[1] Les données climatiques alors utilisées seront celles provenant des données climatiques collectées depuis au moins trente ans sous forme de base de données par la station Agroclim d'Avignon, pour chacune des UE étudiées.


Evolution des dates de Semis du Maïs Ensilage de l'UE de Mirecourt
DATE SEMIS_min
DATE SEMIS_max
Polynomial (DATE SEMIS_min)
Jours
3/6
29/5
24/5
19/5
14/5
9/5
4/5
29/4
24/4
19/4
14/4
9/4
4/4
1968
1970
1972
1974
1976
1978
1980
1982
1984
1986
1988
1990
1992
1994
1996
1998
2000
2002
Années
R2 = 0,6043


Evolution des dates de Récolte du Maïs Ensilage de l'UE de Mirecourt
DATE RECOLTE_min
DATE de RECOLTE max
Polynomial (DATE RECOLTE_min)
Jours
15/11
10/11
5/11
31/10
26/10
21/10
16/10
11/10
6/10
1/10
26/9
21/9
16/9
11/9
6/9
1/9
27/8
22/8
17/8
12/8
7/8
1968
1970
1972
1974
1976
1978
1980
1982
1984
1986
1988
1990
1992
1994
1996
1998
2000
2002
Années
R2 = 0,523

4. Evolution des variables agricoles

a) Le maïs

A Mirecourt (Cf. graphiques ci-contre)

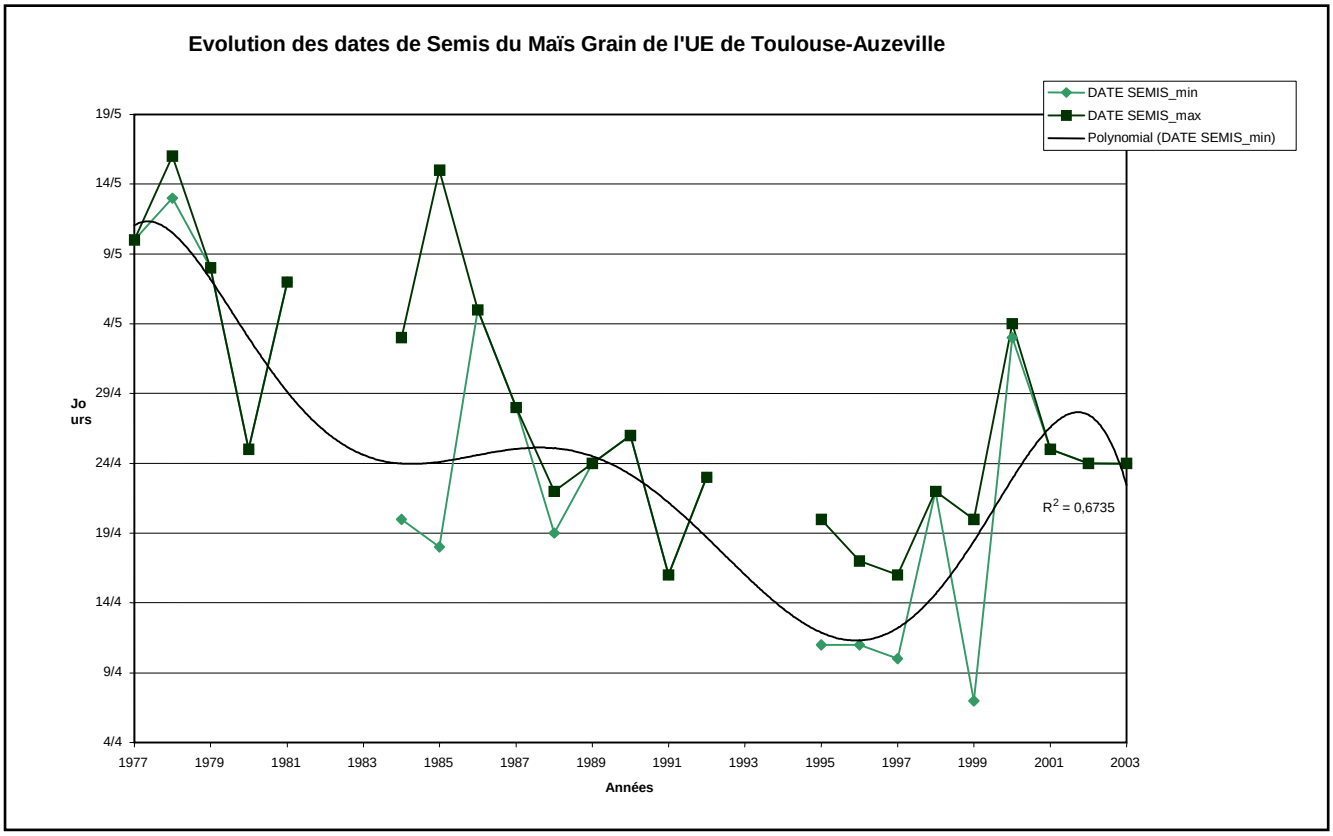
- Sur les trois décennies observées, **la date de semis manifeste une forte tendance (R^2=0.60) à plus de précocité (de mi-mai à mi avril), soit un mois plus tôt**, avec des écarts moins importants depuis une décennie entre les dates minimales et celles maximales, probablement dû à l'hétérogénéité des parcelles : *« Pour une meilleure souplesse au niveau des semis de maïs (ainsi que du système de culture et de la gestion des déjections organiques), on s'arrange chaque année pour semer sur des des sol de nature variée »*.
- ***Règles de décision :*** l'implantation du maïs ensilage se fait après ressuyage des sols (pour éviter les tassements), dès le 15/04, et quelque soit la variété de la semence, afin de profiter des jours longs (le développement du maïs se compte en degrés-jours, et les journées sont plus courtes dès le 1er septembre) : « *semer le maïs de bonne heure est un impératif chez nous* ». Cependant, la date du 25/04 permet d'avoir plus d'assurance (éviter un gel tardif de printemps par exemple). Le semis doit aussi être réalisé relativement tôt, afin de permettre un temps suffisant pour la préparation du suivant (généralement un blé d'hiver) : il s'agit d'un compromis entre la qualité du maïs et le rendement de blé recherché *(« le rendement de blé est compromis s'il est semé plus tard que le 10/10* »). L'exploitant peut aussi jouer sur la précocité du suivant, en choisissant par exemple une variéte de blé alternatif, mais qui assurera alors un moindre rendement.

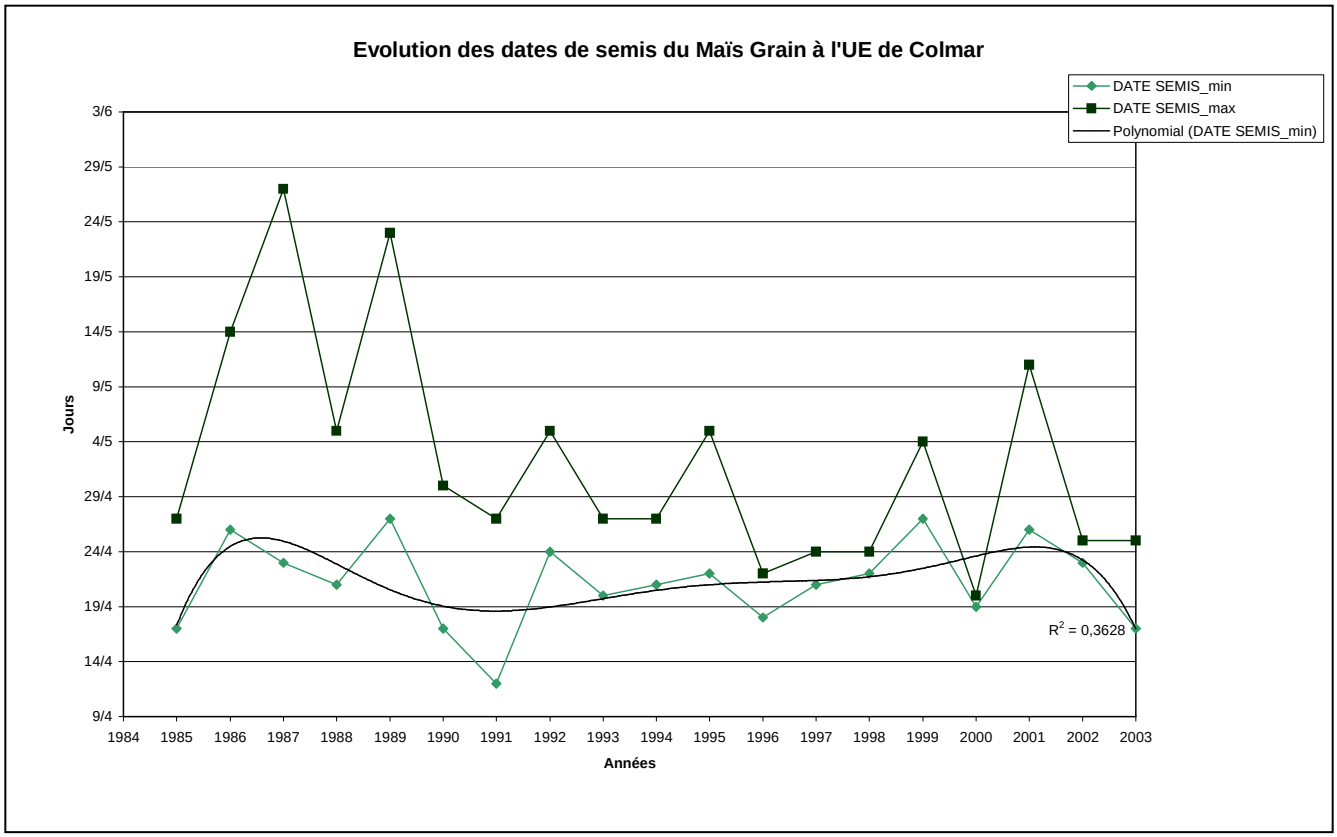
Concernant le choix des semences, la tendance est à choisir des variétés moins précoces : en trois décennies, on est passé de variétés très précoces (type Cargill Primeur 170) et précoces à des variétés demi-précoces de type 'Anjou 230'. Le choix se fait en fonction de la nature du sol de la parcelle qui doit le recevoir. Les semences étant commandées à l'avance, les prévisions météorologiques ne sont pas encore connues. L'ajustement dans le choix de la variété peut donc ne se faire qu'à postériori. Pour le chef de culture, *« la juste précocité du maïs est celle qui permet d'atteindre 32-34% de matière sèche (MS)* ». Une meilleure qualité à la récolte (réalisée sous forme d'ensilage) est observable surtout à partir des années 80. Cette préoccupation émane de l'orientation vers la qualité de l'activité principale du domaine : le taux recherché est celui requis pour une bonne valorisation du troupeau laitier.

- **La date de floraison, enregistrée sur la dernière décennie uniquement est généralement autour du 15-20 juillet.** On estime en effet une floraison de la fleur femelle autour de mi-juillet, correspondant généralement à une période de pluies (sous forme d'orage), nécessaire à l'événement, pour assurer une bonne fécondation. Notée au 5 août en 2001, elle est plus tardive que la moyenne, tout comme l'on été le semis et par conséquent, la récolte de cette même année.
- Parallèlement, **la date de récolte a suivi la même tendance que la date de semis, elle est beaucoup plus précoce : de début octobre à début septembre. La date de récolte 2003 a été exceptionnellement précoce :** au 12 août les taux de matière sèche exigés à la récolte étaient déjà atteints, voire dépassés.
- **La durée du cycle de culture reste donc relativement stable au cours du temps, autour de 150 jours.** L'année 2003 enregistre une diminution d'un mois sur la moyenne décennale !

A Auzeville (Cf. graphique ci-après)

Règles de décision : Le maïs grain est surtout cultivé en monoculture, ou après un blé (ce qui permet un sous-solage). Il est toujours fait un labour. Et l'irrigation s'impose chaque année, avec des apports d'eau importants (de 150 à 250 mm).


Evolution des dates de Semis du Maïs Grain de l'UE de Toulouse-Auzeville
DATE SEMIS_min
DATE SEMIS_max
Polynomial (DATE SEMIS_min)
19/5
14/5
9/5
4/5
29/4
24/4
19/4
14/4
9/4
4/5
Jo
urs
R2 = 0,6735
1977
1979
1981
1983
1985
1987
1989
1991
1993
1995
1997
1999
2001
2003
Années


Evolution des dates de semis du Maïs Grain à l'UE de Colmar
DATE SEMIS_min
DATE SEMIS_max
Polynomial (DATE SEMIS_min)
3/6
29/5
24/5
19/5
14/5
9/5
4/5
29/4
24/4
19/4
14/4
9/4
Jours
R2 = 0,3628
1984
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
Années

Selon le directeur de l'UE, « *Les règles de semis et récolte, implicites au début, n'ont pas beaucoup changé : les semis sont réalisés en sol chaud et ressuyé, ce qui arrive de plus en plus tôt, maintenant vers le 10 avril. On a dû attendre parfois la réception des semences d'expérimentation. La récolte se fait après celle des autres cultures, à partir de mi-octobre, à une humidité de 30-33% en début de période qui a diminuée jusqu'à 27-30% actuellement*».

- **La date de semis** observée sur le graphique ci-contre **est très aléatoire**, « *bien plus conditionnée par la pluie que par la température* » mais **manifeste aussi une tendance à plus de précocité (R^2=0.67) : elle passe de début mai à début avril en 20 ans.** Le choix de la date de semis est dit 'intentionnel' par les décideurs : elle est fonction du groupe de précocité, qui lui même est dicté par les objectifs visés en terme de rendement, de qualité et du type de système de culture lui même dicté par le niveau de la ressource en eau d'irrigation (ou son prix) : comme l'UE d'Auzeville dispose d'une ressource en eau d'irrigation peu limitante, on y choisit des variétés assez tardives, qu'il faut semer tôt pour ne pas avoir à supporter des coûts de séchage élevés après récolte.
- **Cet écart au semis ne se retrouve pas à la récolte (très variable entre la mi-septembre et la mi-octobre)**, d'une part parce que le choix des semences a glissé vers des variétes un peu plus tardives (de 'furio' ou 'volga' à 'cecilia') et/ou d'autre part, parce que le grain récolté est plus sec (« *pour tenir compte de l'augmentation du coût de séchage* »). L'année 2003 ne relève rien d'exceptionnel.
- **Le cycle de culture a augmenté d'une dizaine de jours depuis 1977 ; Il est d'environ 160j.**

A Colmar (Cf. graphique ci-contre)

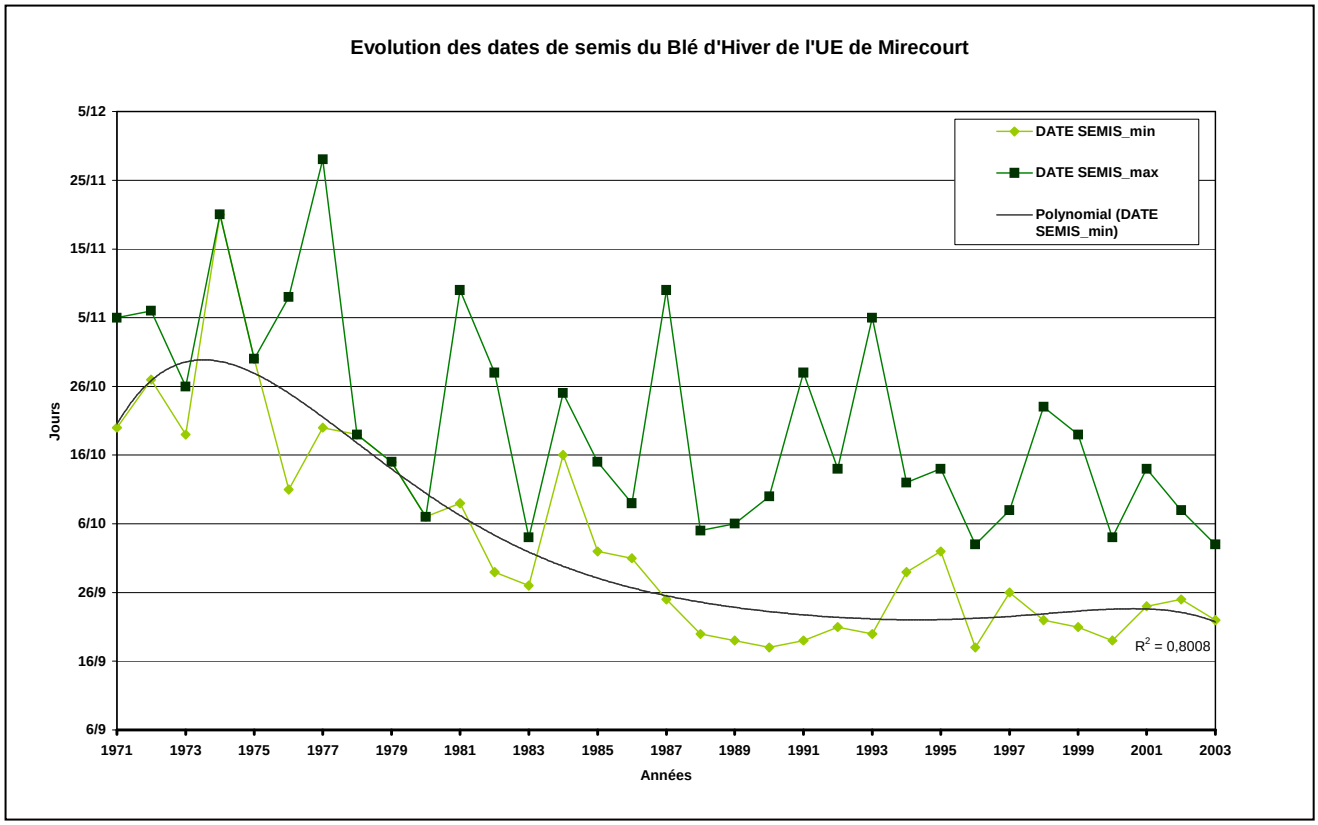
Règles de décision : Toutes les opérations culturales, de même que le type de successions culturales (généralement maïs/maïs ou betterave/blé/maïs) sont raisonnés en fonction du climat. L'eau est un facteur limitant pour la zone, qui ne dispose pas de système d'irrigation. La zone est fréquemment soumise aux vents du nord qui, même s'ils ont un effet anti-fongique favorable à la culture, assèche le sol et abaisse la température, retardant ainsi la levée du semis. Le type de sol des parcelles cultivées permet une percolation lente. Le chef de culture cherche, par le biais des pratiques culturales, à lui conserver un bon équilibre entre micro et macro porosité.

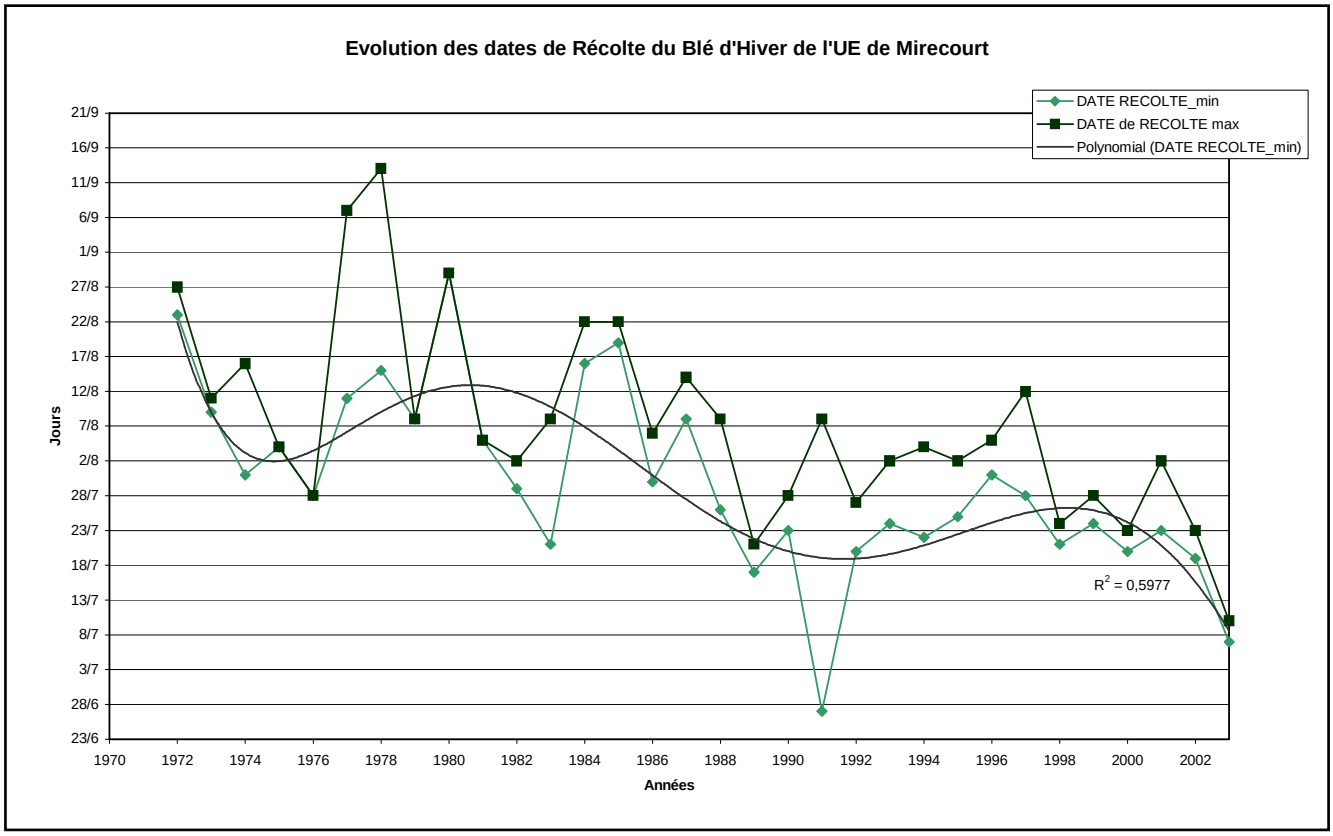
Pour l'UE de Colmar, *« la date de semis est déterminante, quelque soit la spéculation »*. Elle nécessite une bonne connaissance du complexe 'climat-plante-sol'. Avant de décider de cette opération, les chefs de cultures se basent sur les prévisions météorologiques, jugées 'fiables' (températures, pluies et vents dominants) des trois zones frontalières (Colmar, Suisse et Allemagne). Ils cherchent :

- une période 'semis-levée' la plus courte possible (en moyenne 10j), suivi d'un départ en végétation rapide. Le semis est donc à réaliser, tant que possible, juste avant les pluies et lorsque la température au sol est satisfaisante (environ 9°C, équivalent au 0° de végétation de la plante) (généralement vers le 20/04) ;
- à ce que les stades physiologiques critiques du maïs soient situés en dehors des périodes à risque : *« la floraison de la fleur femelle doit de façon optimale avoir lieu vers le 14/07, généralement entre les pluies »* ;
- les variétés les plus adaptées au terroir ;
- un rendement optimal : *« pour cela, on sème précocement des variétés tardives »*.

Lorsque les conditions requises sont jugées défavorables, l'exploitant tente alors de s'adapter en ayant recours à des techniques différentes, dont nous parlerons à postériori, tout en cherchant toujours le meilleur compromis.

La récolte conditionne la date de semis du suivant, lorsqu'il s'agit d'une culture d'hiver, et doit, au plus tard, être terminée à la mi-octobre. Généralement, les vendanges font suite au chantier de récolte du maïs.


Evolution des dates de semis du Blé d'Hiver de l'UE de Mirecourt
DATE SEMIS_min
DATE SEMIS_max
Polynomial (DATE SEMIS_min)
Jours
5/12
25/11
15/11
5/11
26/10
16/10
6/10
26/9
16/9
6/9
1971
1973
1975
1977
1979
1981
1983
1985
1987
1989
1991
1993
1995
1997
1999
2001
2003
Années
R2 = 0,8008


Evolution des dates de Récolte du Blé d'Hiver de l'UE de Mirecourt
DATE RECOLTE_min
DATE de RECOLTE max
Polynomial (DATE RECOLTE_min)
Jours
21/9
16/9
11/9
6/9
1/9
27/8
22/8
17/8
12/8
7/8
2/8
28/7
23/7
18/7
13/7
8/7
3/7
28/6
23/6
1970
1972
1974
1976
1978
1980
1982
1984
1986
1988
1990
1992
1994
1996
1998
2000
2002
Années
R2 = 0,5977

- Malgré des enregistrements courts (de 1984 à 2003) et un manque de données pour la période observée, on remarque sur le graphique **que la date de semis du maïs grain est relativement stable au cours du temps, généralement entre le 20 et le 25 avril :** *«grâce à des changements techniques, nous arrivons aujourd'hui à avancer les semis d'au moins une semaine ».* On note un resserrement entre les dates de semis minimales et les maximales.
- **La date de récolte varie au cours du temps : située au début du mois d'octobre, elle a à quelques reprises (1993, 1994, 1998 et 2003) été nettement plus précoce : dans la première quinzaine de septembre. Les taux d'humidité du grain à la récolte varient sans véritable tendance, autour de 30%** (optimum à 20-30%). En 2003, le maïs a été a récolté avec un taux de 18% en moyenne.
- **La durée des cycles de culture est variable et relativement stable au cours du temps (environ 170j).**

Au Pin

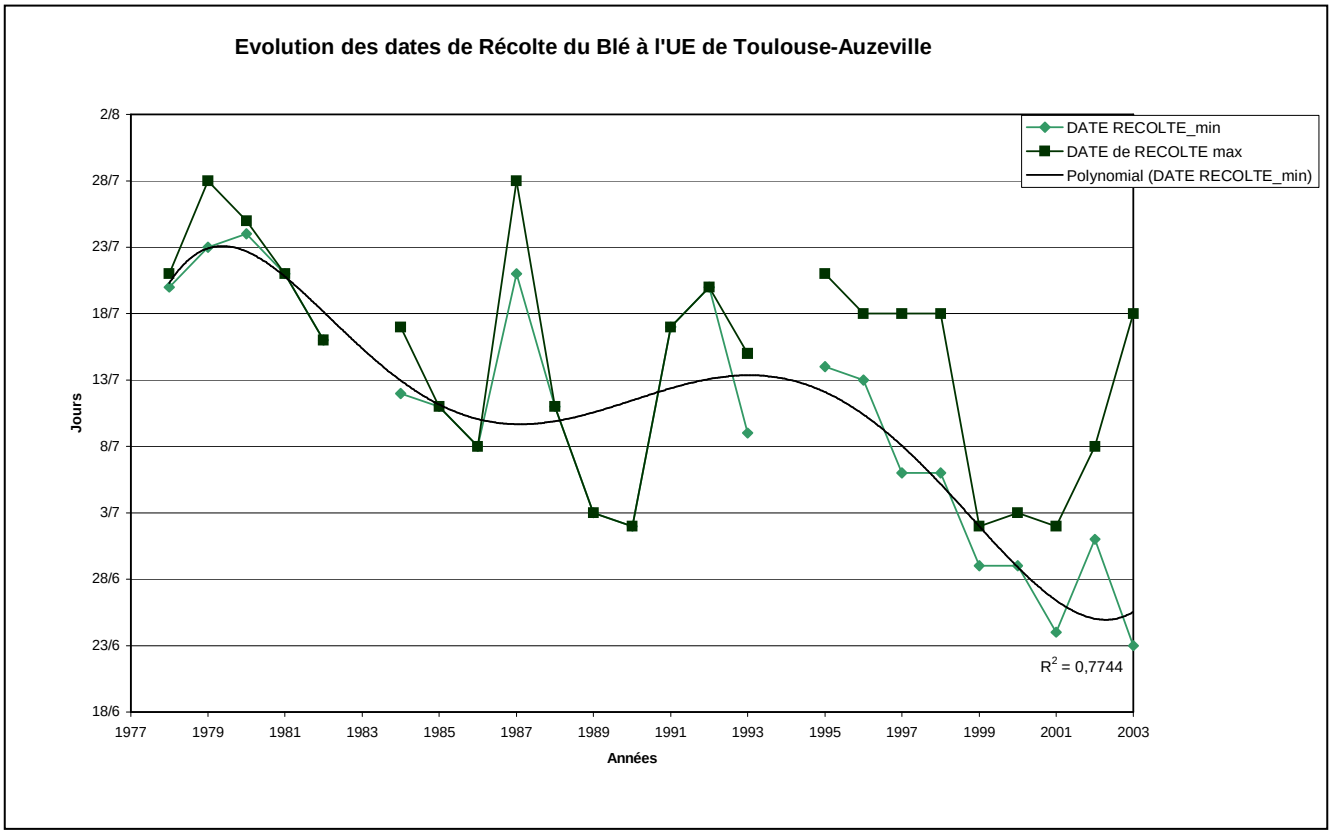
Un changement important intervient dès 1989 au niveau du système de culture maïs/maïs : l'adoption du paillage plastique (film photodégradable). Le chef de culture avoue *« qu'aujourd'hui, le différentiel de rendement n'est plus suffisant pour justifier le paillage plastique, ce qui voudrait dire que les températures ont augmenté ».*

- ***Règles de décision :*** Dès 1990, le chef de culture adopte une nouvelle stratégie, en changeant de variétés : il passe ainsi de variétés très précoces (type LG2080) à des variétés plus tardives de types Anjou 258, cherchant à semer au plus tôt des variétés tardives : *« on essai d'aller au maximum de l'indice permis pour la région donnée, pour avoir un rendement optimum maximum ».* Ceci, dans le double objectif d'élever le taux de matière sèche à 32-34% (pour une meilleure valorisation de leur spéculation principale qu'est le troupeau laitier), tout en récoltant avant la date butoire du 15/10, à partir de laquelle les conditions climatiques se dégradent. Le risque de gel tardif étant spécifique à cette région (prise de risque jusqu'au 15-20 mai), on évite de semer trop tôt.
- *« Drainage et paillage permettent de réaliser le semis dans des conditions de sol moins froid, et mieux ressuyé. ».* **Au vue des enregistrements, la date de semis du maïs ensilage manifeste une grande variabilité avant la fin des années 80, autour du 25/04** (date considérée comme optimale). **Elle tend ensuite à se stabiliser autour de cette même date.**
- On note effectivement, **à partir de 1990, un gain effectif de précocité à la récolte d'environ 10 jours, située alors autour du 20/09.** ***« La récolte 2003, effectuée au 25/08, soit quasi un mois plus tôt, est la plus précoce des trois décennies enregistrées, avec un taux de matière sèche largement satisfaisant ».***
- **Le cycle de culture du maïs est stable, avec une moyenne de 140j.**
- **La date de floraison de la fleur femelle varie entre mi-juillet et début août.** Contrairement aux autres UE, cette variabilité n'est pas gênante , la Normandie bénéficiant d'une bonne humidité à cette période (même en 2003).

b) Le blé d'hiver

A Mirecourt (Cf. graphiques ci-contre)

- **Le semis manifeste une forte tendance (R^2=0.80) à la précocité (d'un mois), avec une certaine stabilité depuis quasi 1987, autour du 20/09 pour les semis réalisés au plus tôt.** En revanche, les dates des derniers semis sont très variables d'une année à l'autre et fluctuent beaucoup au cours du mois d'octobre.


Evolution des dates de Récolte du Blé à l'UE de Toulouse-Auzeville
DATE RECOLTE_min
DATE de RECOLTE max
Polynomial (DATE RECOLTE_min)
Jours
2/8
28/7
23/7
18/7
13/7
8/7
3/7
28/6
23/6
18/6
1977
1979
1981
1983
1985
1987
1989
1991
1993
1995
1997
1999
2001
2003
Années
R2 = 0,7744

- **Il en va de même pour l'évolution de la date de récolte (R^2=0.6), située aujourd'hui autour du 25/07.**
- **La durée des cycles de culture n'a quasiment pas évoluée, autour de 290 jours.** En 2003, elle est exceptionnellement courte : 240 jours !

A Auzeville (Cf. graphique ci-contre)

- **La date de semis semble stable, vers début novembre, ou légèrement retardée**
- ***Règles de décision :* sur la période,** deux effets inverses s'annulent :
  - la tendance régionale à semer de plus en plus tôt[1],
  - et le remplacement du blé tendre par du blé dur[2] : plus alternatif, le blé dur doit donc être semé plus tard (environ 15 jours) que le blé tendre.

« Malgré l'incitation des organismes de conseil (ITCF, coopératives) à semer toujours plus tôt, pour exprimer le potentiel de rendement de plus en plus élevé des variétés (sur la période d'étude, la date optimale de semis conseillée est passée du 15/11 au 1/11 pour un blé dur), sur notre UE, on évite de semer trop tôt, afin d'éviter beaucoup de problèmes phytosanitaires (tels l'attaque de pucerons à la levée véhiculant la jaunisse nanisante, les risques de salissement et de développement des maladies accrus) et les risques de gel après le stade "épi à 1cm" (début mars) ».

- **Les dates de récolte s'avèrent aussi plus précoces : de mi-juillet à fin juin (R^2=0.77)** : les variétés actuellement choisies ne sont pas significativement plus tardives qu'en début de période (variétés de groupe intermédiaire), le risque d'échaudage physiologique (forte température pendant le remplissage du grain) étant perçu comme croissant. La récolte s'effectue toujours à 12-14% d'humidité. La tendance à récolter plus tôt est donc bien imputable au réchauffement climatique.
- **La durée des cycles de culture est par conséquent plus courte, aujourd'hui autour de 220 jours.**

A Colmar

- ***Règles de décision :*** Le choix de la variété de blé est intimement lié au climat à la date de récolte : *« on prend celle qui présente le moins de risque, non sensible à la germination sur pied en cas de pluies au moment de la récolte. ».*

La meilleure période de semis est jugée être dans les vingt premiers jours d'octobre, afin d'éviter des accidents physiologiques (liés à des gelées tardives d'avril-mai ou au pallier hydrique autour du 20 juin) et ainsi, de ne pas entamer le rendement. Une stratégie alternative, si l'on sème tard, consiste ici à relever la densité de semis, afin d'obtenir un rendement égal à date de récolte identique. Ici aussi, l'exploitant évitera de semer avant début octobre, en raison du risque d'attaque des pucerons.

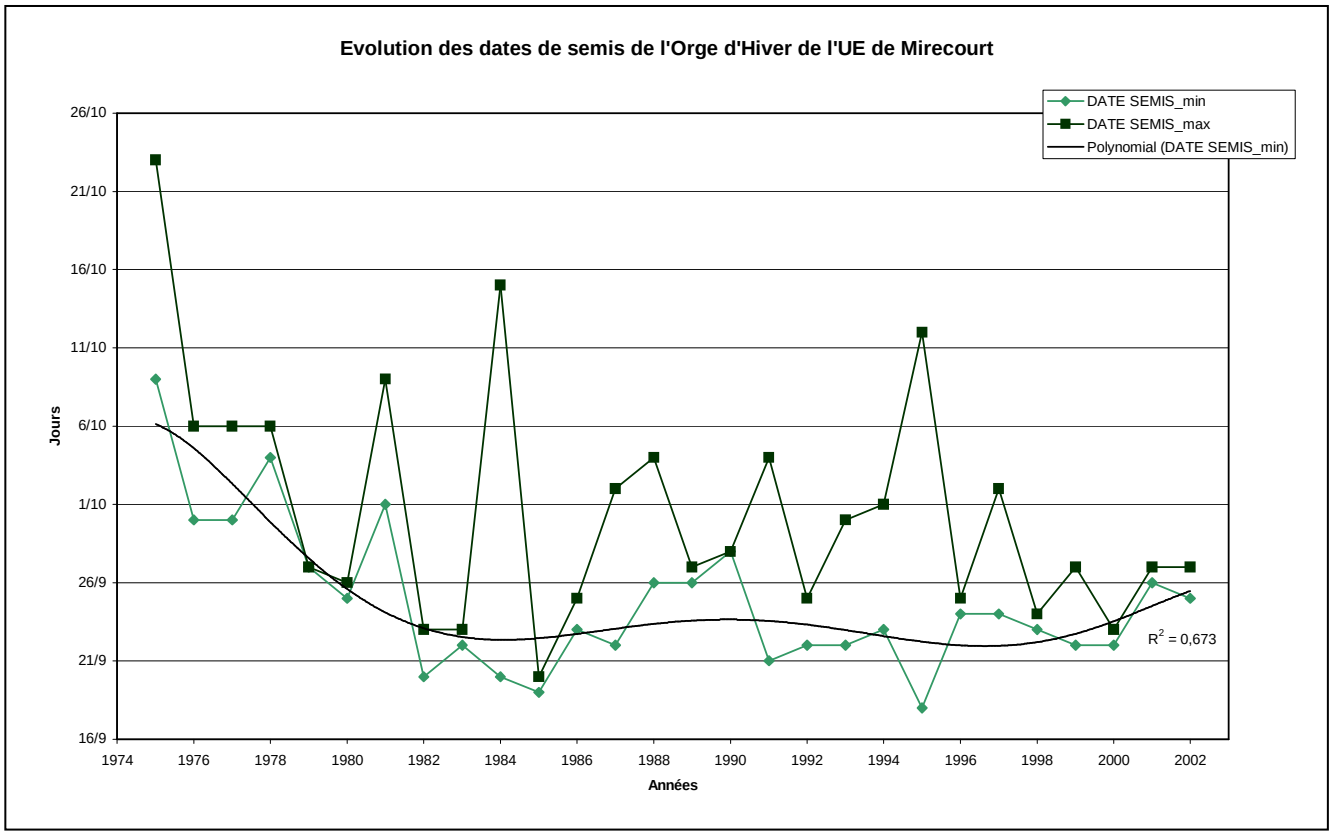
La qualité du blé à la moisson est déterminée par le taux d'humidité du grain, qui doit être inférieur à 15% (pour éviter le développement de champignons). Selon le responsable de culture, *« l'on peut, depuis les deux dernières décennies, rallonger la récolte d'une semaine : jusqu'à début août ».*

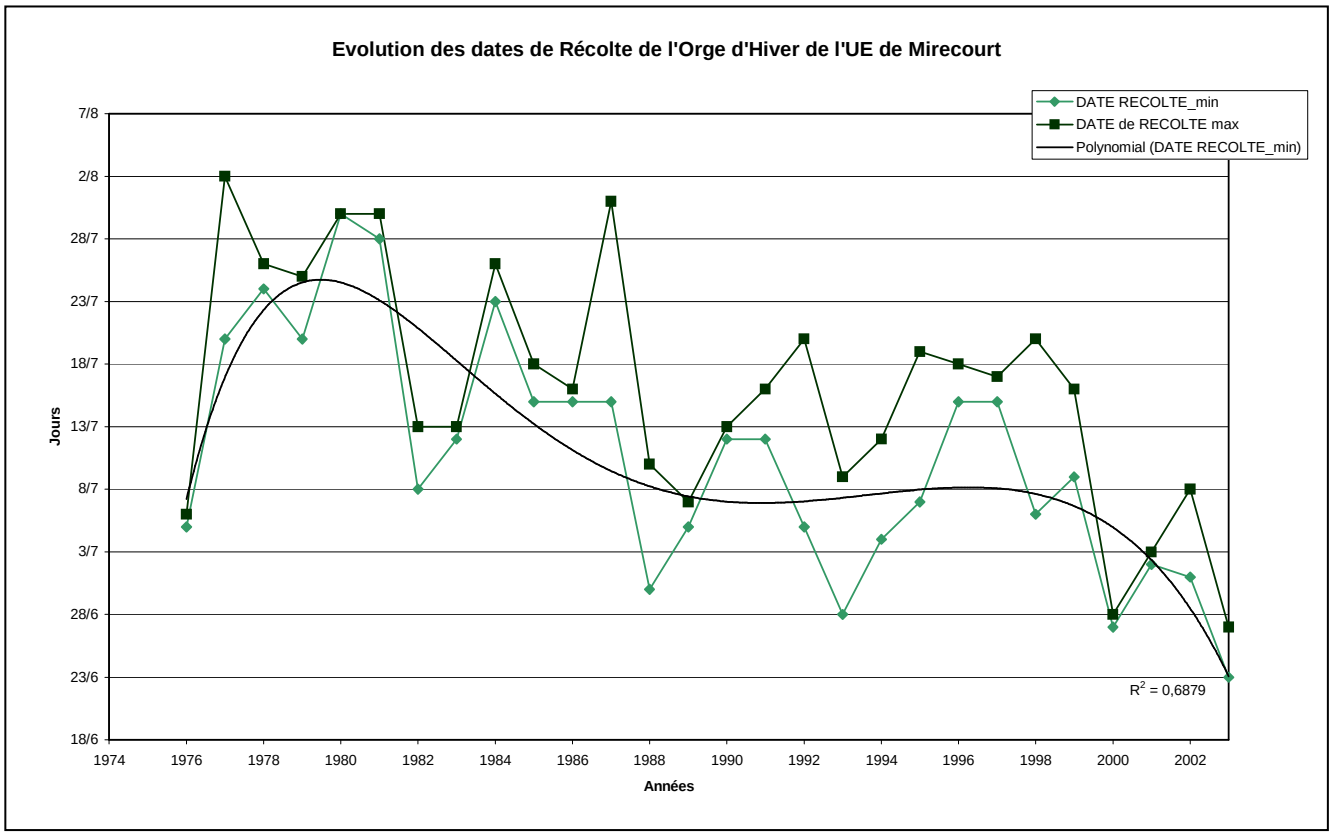
- **La date de semis est variable, autour du 15/10,** avec des écarts importants entre les dates minimales et maximales.
- **En 25 ans, la date de récolte est relativement stable, dans la dernière quinzaine de juillet, exceptée en 2003 (20 jours d'avance).**
- **La durée des cycles de culture, d'environ 260 jours est plus stable à partir des années 90.**

---

[1] Dans la région Midi-Pyrénées, le constat est que les dates de semis du blé sont en moyenne de plus en plus précoces pour de multiples raisons (taille du matériel, régression des précédents à blé récoltés tard tel maïs, sorgho, au profit de tournesol et pois, moindre perception du risque de gel de printemps par les agriculteurs).

[2] Le blé dur profite depuis 1991 d'une sur-prime PAC très attractive.


Evolution des dates de semis de l'Orge d'Hiver de l'UE de Mirecourt
DATE SEMIS_min
DATE SEMIS_max
Polynomial (DATE SEMIS_min)
Jours
26/10
21/10
16/10
11/10
6/10
1/10
26/9
21/9
16/9
1974
1976
1978
1980
1982
1984
1986
1988
1990
1992
1994
1996
1998
2000
2002
Années
R2 = 0,673


Evolution des dates de Récolte de l'Orge d'Hiver de l'UE de Mirecourt
DATE RECOLTE_min
DATE de RECOLTE max
Polynomial (DATE RECOLTE_min)
Jours
7/8
2/8
28/7
23/7
18/7
13/7
8/7
3/7
28/6
23/6
18/6
1974
1976
1978
1980
1982
1984
1986
1988
1990
1992
1994
1996
1998
2000
2002
Années
R2 = 0,6879

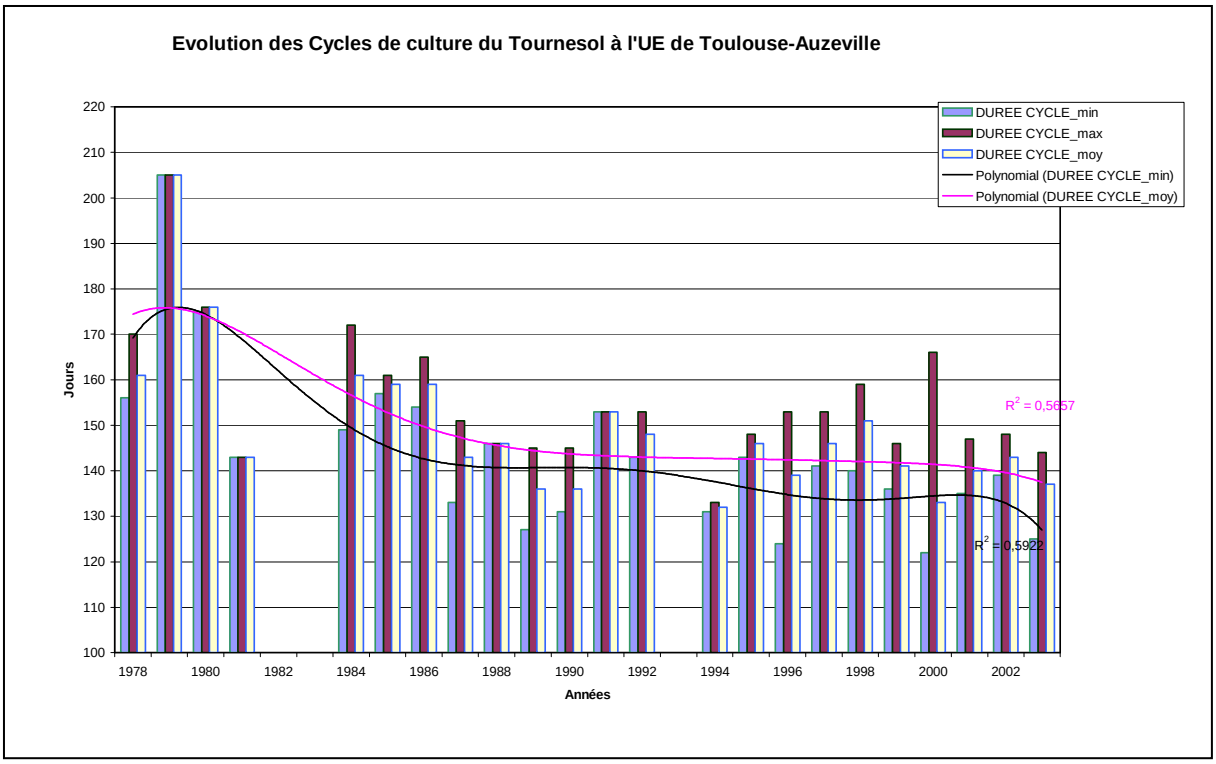
c) L'orge d'hiver

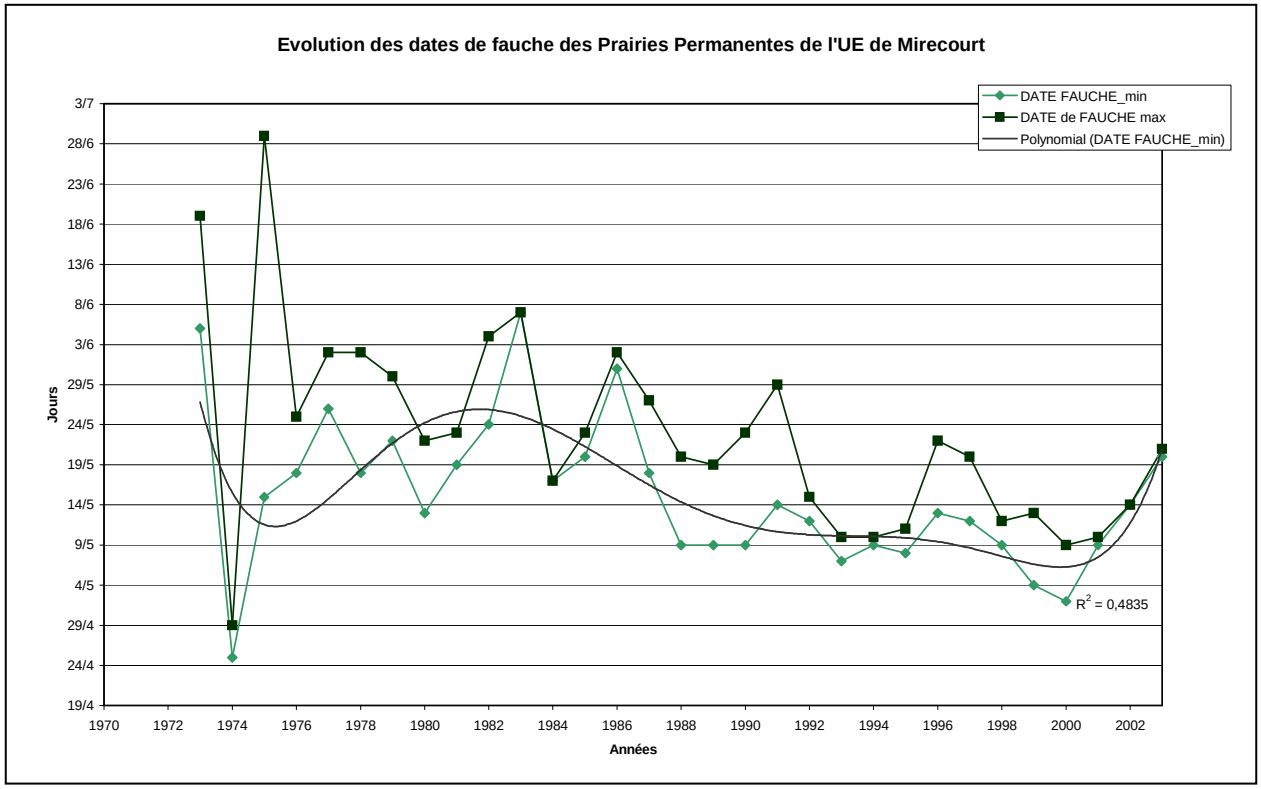
A Mirecourt (Cf. graphiques ci-contre)

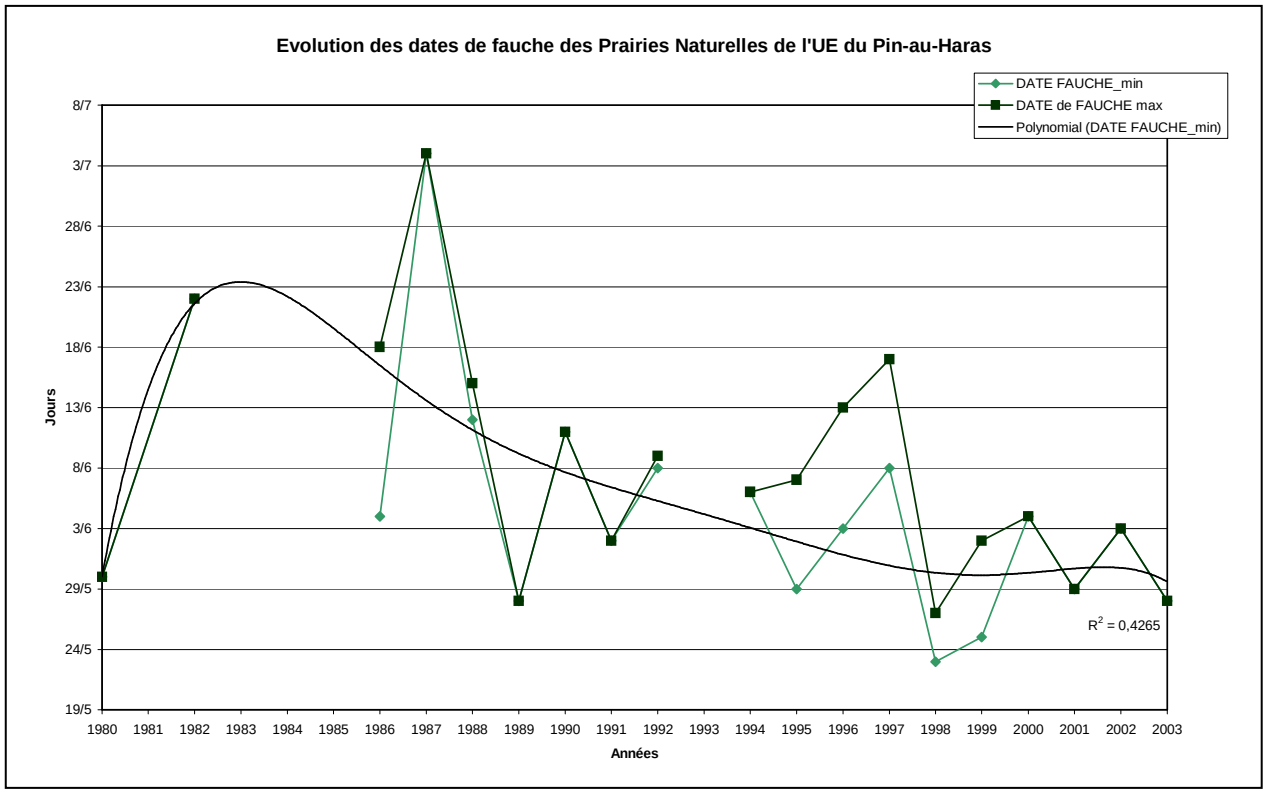
- Comme pour les autres cultures à Mirecourt, **le semis manifeste une tendance à la précocité (R^2=0.67), stabilisé depuis 1982 autour du 22/09.**
- **La récolte est aussi plus précoce (R^2=0.7) (jusqu'à un mois), de fin juillet à fin juin.**
- **Les cycles de culture sont légèrement plus courts de 300 à 270 pour les extrêmes minimales.**

d) Le tournesol à Auzeville (Cf. graphique ci-dessous)

- **Les *Règles de décision :*** Le tournesol est toujours semé avant le sorgho et le soja, à peu près en même temps que le maïs, normalement à partir du 10 avril. Il peut suivre toute autre culture que lui même (surtout blé, sorgho), en général avec un labour d'automne. Les variétés choisies sont demi-tardives à tardives (Mirasol, Santiago, Mélody).
- **La date de semis semble aléatoire, variant entre fin mars et mi-avril, et reste relativement stable.**
- Sur la période, la culture du tournesol a été nettement "extensifiée" : *« le réchauffement aurait sans doute permis de semer plus tôt, mais cela n'est pas apparu utile, parce que la sélection n'a pas produit de variétés plus tardives (pour lesquelles la conduite sans irrigation de la culture n'aurait de toutes façons pas pu exprimer le potentiel de rendement plus élevé), parce qu'en semant en sol plus chaud, la levée plus rapide autorise une moindre protection du semis (limaces, insectes du sol : semer plus tôt augmente le risque de maladies), et parce qu'une grave maladie est apparue (le phomopsis) qui fait plus de dégâts en semis précoce... On ne peut pas non plus semer beaucoup plus tard, ce qui exposerait plus le tournesol aux fortes sécheresses d'été ».*
- **La récolte est plus précoce.**
- **Les cycles de culture sont nettement raccourcis (R^2=0.59), jusqu'à 120 jours.**




Evolution des dates de fauche des Prairies Permanentes de l'UE de Mirecourt
DATE FAUCHE_min
DATE de FAUCHE max
Polynomial (DATE FAUCHE_min)
Jours
3/7
28/6
23/6
18/6
13/6
8/6
3/6
29/5
24/5
19/5
14/5
9/5
4/5
29/4
24/4
19/4
1970
1972
1974
1976
1978
1980
1982
1984
1986
1988
1990
1992
1994
1996
1998
2000
2002
Années
R2 = 0,4835


Evolution des dates de fauche des Prairies Naturelles de l'UE du Pin-au-Haras
DATE FAUCHE_min
DATE de FAUCHE max
Polynomial (DATE FAUCHE_min)
Jours
8/7
3/7
28/6
23/6
18/6
13/6
8/6
3/6
29/5
24/5
19/5
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
Années
R2 = 0,4265

« Comme on n'a pas changé de type variétal, que l'on récolte sec (9%) et qu'il n'y a pas d'effet 'longueur de jour' sur la phénologie du tournesol, on peut directement imputer ce fait au réchauffement. »

e) La betterave sucrière à Colmar

- **Règle de décision :** L'avancée de la date de semis est recherchée afin de récolter dans les meilleures conditions et avec un meilleur taux en sucres. Elle est permise grâce à une technique de semis particulière qui met la graine en milieu humide pour lever rapidement, tout en la protégeant du froid, et principalement d'une gelée au moment de la levée.

La récolte est généralement groupée et décidée par l'usine en fonction d'un taux de sucres satisfaisant. Une bonne récolte équivaut aussi à un bon rendement en poids. La combinaison de ces deux facteurs est rendue possible en semant plus tôt et avec un développement rapide du cycle végétatif. L'idéal pour l'UE, *« est de récolter plus tôt encore (août), afin d'arracher en bonnes conditions (betteraves propres), et obtenir ainsi primes et bonus conséquents. »*.

- **Les semis sont légèrement plus précoces, passant du 5 avril au 20-25 mars en deux décennies.**
- **Les données dont on dispose situent la récolte entre fin septembre et début octobre.**
- **Les cycles de culture observés varient de 170 à 200j.**

f) Les prairies

A Mirecourt (Cf. graphique ci-contre)

A côté des 105 ha de prairies permanentes, 35% des prairies du domaine sont des prairies temporaires, principalement semées en Ray Gras Anglais (RGA) avec des variétés de type intermédiaire à demi-tardif (Magella, Citadel, etc.). La première fauche est réservée à l'ensilage, alors que la deuxième pousse satisfait à la pâture des animaux.

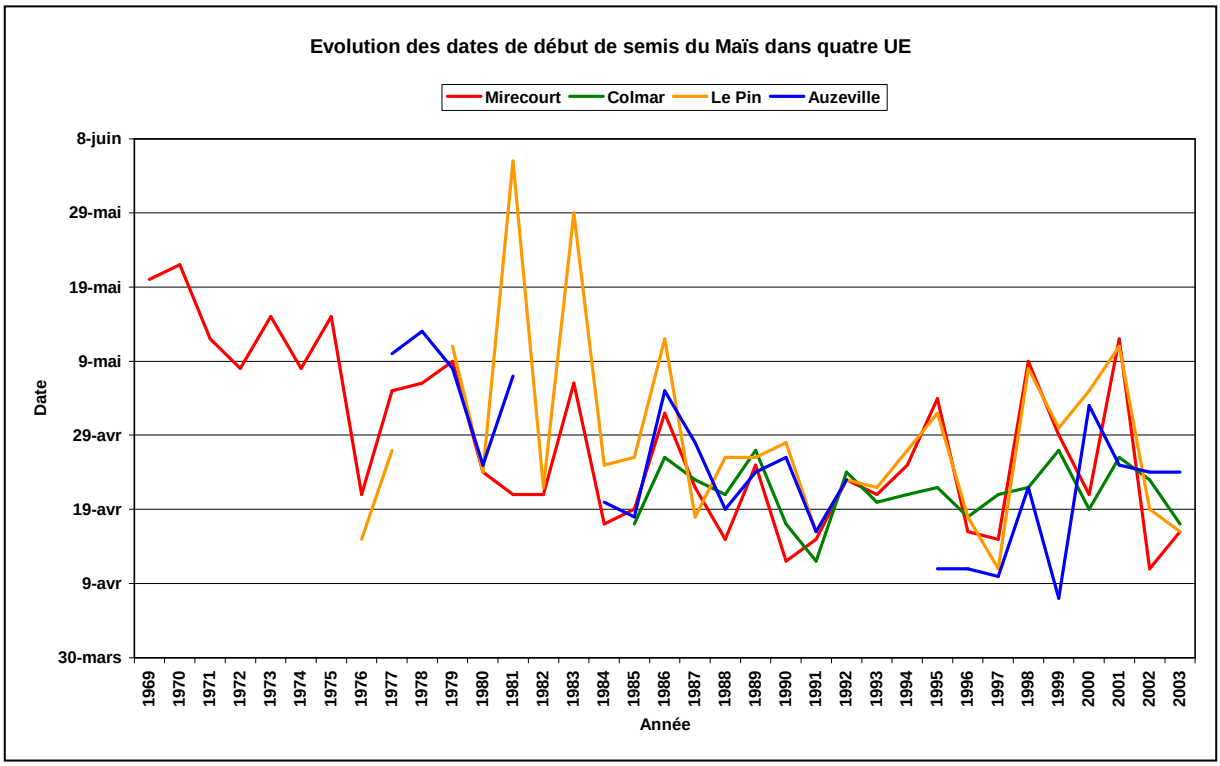
- **Les prairies permanentes (PP) sont aujourd'hui fauchées plus tôt en saison (15 jours plus tôt qu'avant les années 80),** tandis que les dates de fauche des prairies temporaires restent variables.
- **Les stades à la récolte sont à présent relativement avancés**, autour de la montaison, alors que la fauche s'effectuait, il y a trois décennies, à des stades d'épiaison à pleine épiaison. L'objectif aujourd'hui se porte toujours davantage sur la qualité du fourrage : ainsi, les rendements obtenus sont moindres (autour de 3t/ha), mais **les taux de matière sèche sont plus élevés** (autour de 40%).

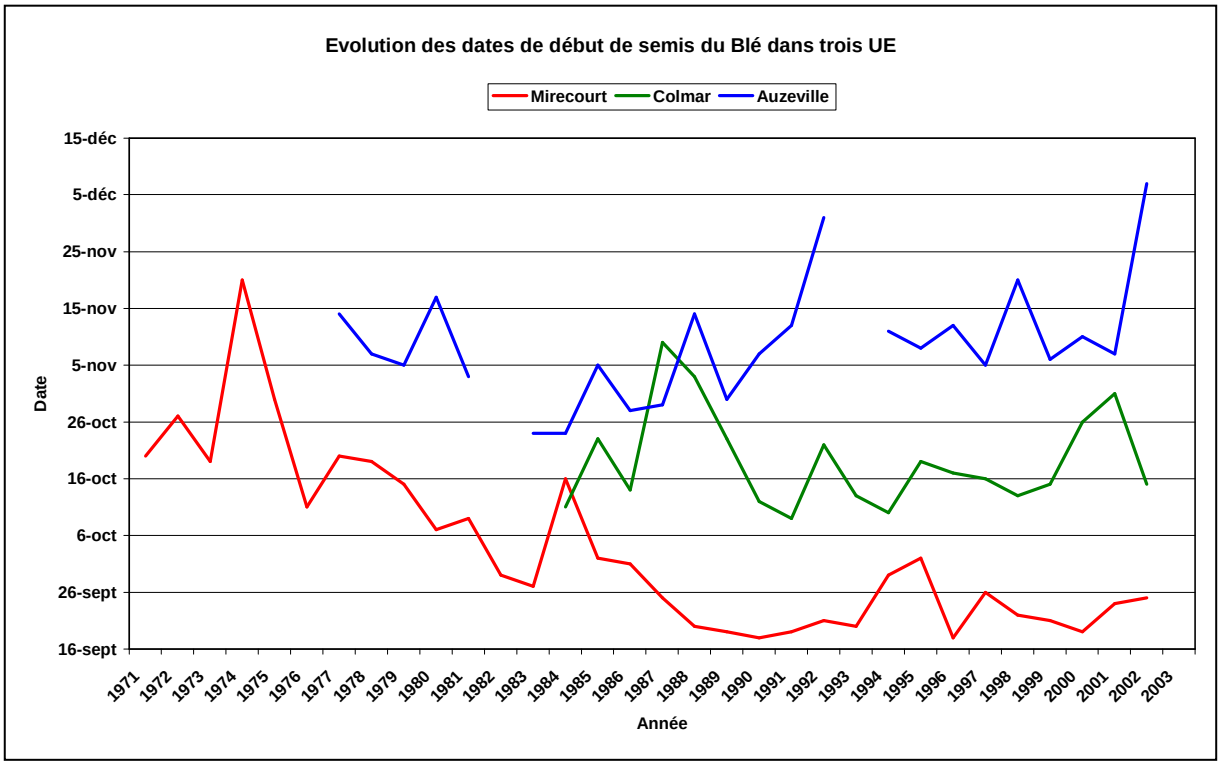
Au Pin (Cf. graphique ci-contre)

L'UE du Pin totalise aujourd'hui presque 300 ha de prairies, dont plus de la moitié sont des temporaires, principalement semées en Ray Gras Anglais (RGA) de type intermédiaire à demi-tardif (Magella, Aragon, etc.). Elle a pour objectif, identique à celui de l'UE de Mirecourt, *« la recherche d'un fourrage de qualité, à haute valeur azotée, pour des vaches laitières et des génisses à potentiel élevé ; alors qu'avant, la priorité était donnée au rendement. »*

- **La tendance à des dates de fauche plus précoces se manifeste principalement pour les prairies temporaires (PT) avec en moyenne, 20 jours d'avance.** On observe de grands écarts entre les dates de fauches minimales et celles maximales pour les prairies temporaires, probablement en raison de la grande superficie du domaine. Cette précocité est surtout observable dès la fin des années 80, date correspondant au drainage des parcelles. L'arrivée d'un nouveau chef de culture en 1996, conserve encore cette tendance à avancer la date de fauche.

- ***Règles de décision :*** La date de déclenchement du chantier de fauche (1ère coupe) pour une année donnée est fonction de la qualité de l'herbe et de son stade (optimum au stade épiaison). La date du 15 juin est considérée comme date butoire pour ce chantier, sauf en cas d'année très humide telle 1982. Les températures et l'humidité du mois d'avril, conditionne le rendement de la prairie.
- L'année 2003 a d'ailleurs eu une incidence négative sur le rendement, en raison d'un avril sec, malgré des températures satisfaisantes. De plus, la sécheresse persistante a provoqué un blocage végétatif du RGA (fermeture des stomates à 25-27°C).
- Les stades à la récolte vont de la fin montaison à l'épiaison. **La date d'épiaison du RGA, généralement connue entre le 22 et le 31/05 arrive aujourd'hui vers le 15/05.** Les rendements obtenus au cours de la dernières décennies semblent satisfaisants : ils varient de 4 à 7t/ha. Les taux de matière sèche ont sensiblement peu augmenté en deux décennies (de 20 à 25%) ; c'est en 2003 qu'ils sont les plus élevés (34% en moyenne).


Evolution des dates de début de semis du Maïs dans quatre UE
Mirecourt
Colmar
Le Pin
Auzeville
8-juin
29-mai
19-mai
9-mai
29-avr
19-avr
9-avr
30-mars
Date
1969 1970 1971 1972 1973 1974 1975 1976 1977 1978 1979 1980 1981 1982 1983 1984 1985 1986 1987 1988 1989 1990 1991 1992 1993 1994 1995 1996 1997 1998 1999 2000 2001 2002 2003
Année


Evolution des dates de début de semis du Blé dans trois UE
Mirecourt
Colmar
Auzeville
15-déc
5-déc
25-nov
15-nov
5-nov
26-oct
16-oct
6-oct
26-sept
16-sept
Date
1971 1972 1973 1974 1975 1976 1977 1978 1979 1980 1981 1982 1983 1984 1985 1986 1987 1988 1989 1990 1991 1992 1993 1994 1995 1996 1997 1998 1999 2000 2001 2002 2003
Année

5. Bilan : les grandes tendances observées

a) Evolution de la date de début de semis

Evolution décennale

A partir de l'analyse des moyennes décennales des dates de début de semis pour les cultures étudiées (Cf. tableau ci-dessous)[1], nous notons :

- une tendance à la précocité, avec une première césure à partir de la décennie 1980-89, et ce pour six enregistrements sur les sept qui remontent à trois décennies complètes ;
- une deuxième césure, moins marquée apparaît dans six cas, sur l'ensemble des enregistrements (11 au total) ;
- on note deux particularités : une tendance à semer plus tard le blé à Auzeville (pour des raisons déjà énoncées) et pas de changement sensible pour la betterave à Colmar (forte sensibilité au gel au stade deux dicotes et prise de risque faible en raison de son exploitation sous forme d'essais pour l'usine sucrière).

Date de début de semis		Min	Moy	Min	Moy	Min	Moy	Min	Moy
MIRECOURT	ANNEE	MAÏS -1969		BLE -1972		ORGE -1975			
	1969-79	21-avr	7-mai	11-oct	24-oct	27-sept	28-sept		
	1980-89	15-avr	23-avr	19-sept	1-oct	19-sept	23-sept		
	1980-89	15-avr	1-mai	19-sept	11-oct	19-sept	26-sept		
	1990-02	11-avr	23-avr	18-sept	23-sept	18-sept	23-sept		
	2003	16-avr	16-avr	22-sept	23-sept	25-oct	26-oct		
COLMAR	ANNEE	MAÏS -1986		BLE -1985		ORGE -1984		BETTERAVE -1988	
	1969-79	-	-	-	-	-	-	-	*
	1980-89	17-avr	23-avr	11-oct	25-oct	4-oct	20-oct	17-mars	31-mars
	1980-89	17-avr	23-avr	11-oct	25-oct	4-oct	20-oct	17-mars	31-mars
	1990-02	12-avr	23-avr	9-oct	16-oct	8-oct	12-oct	21-mars	31-mars
	2003	17-avr	17-avr	25-oct	26-oct	13-oct	14-oct	20-mars	20-mars
AUZEVILLE	ANNEE	MAÏS -1977		BLE -1978		TOURNESOL -1978			
	1969-79	8-mai	10-mai	5-nov	9-nov	12-avr	12-avr		
	1980-89	18-avr	26-avr	24-oct	2-nov	26-mars	5-avr		
	1980-89	18-avr	30-avr	24-oct	4-nov	26-mars	6-avr		
	1990-02	7-avr	26-avr	6-nov	14-nov	27-mars	12-avr		
	2003	24-avr	24-avr	?	?	27-mars	27-mars		
LE PIN	ANNEE	MAÏS -1976							
	1969-79	15-avr	28-avr						
	1980-89	18-avr	3-mai						
	1980-89	18-avr	2-mai						
	1990-02	11-avr	3-mai						
	2003	16-avr	16-avr						

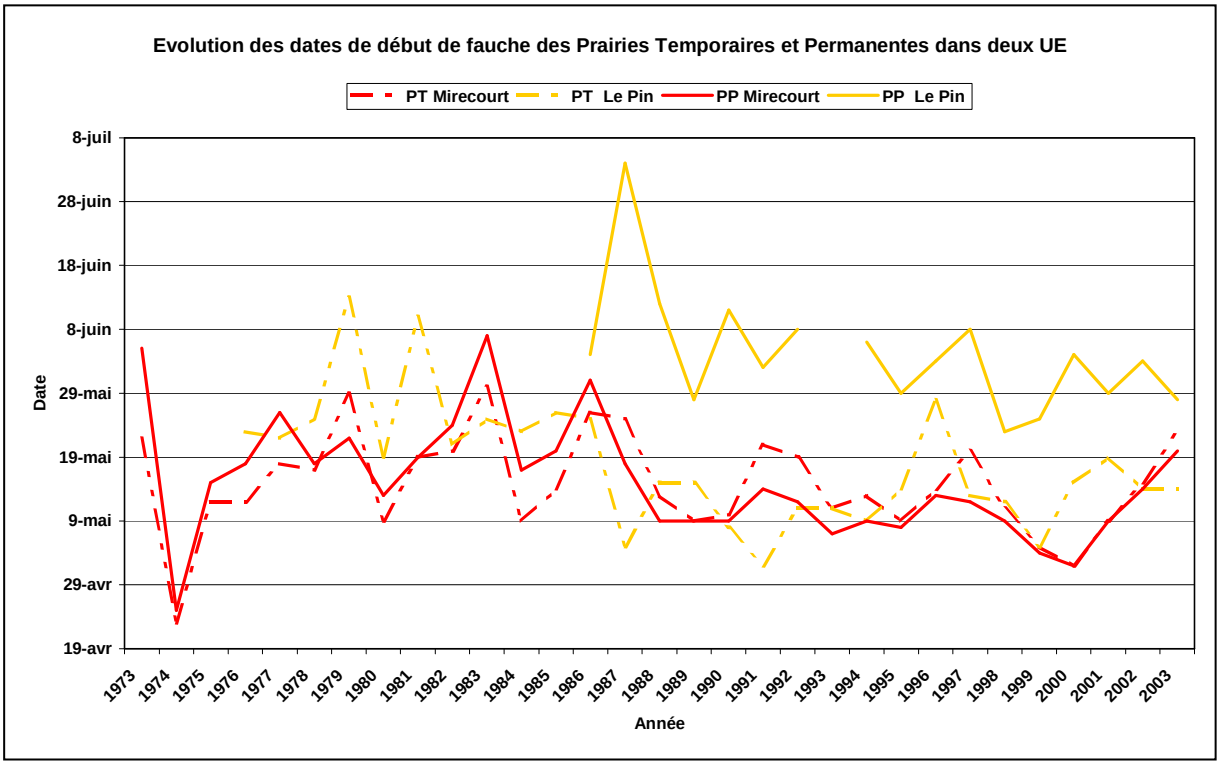
Evolution annuelle

L'analyse de l'évolution annuelle de la date de début de semis d'une culture dans différentes UE (Cf. graphiques ci-contre) montre :

- une tendance à plus de précocité pour la culture du maïs, principalement marquée à Mirecourt, avec une césure significative à partir de 1980 ;
- les dates de début de semis du maïs ne sont pas sensiblement différentes d'une UE à l'autre ;
- concernant la culture du blé, une évolution est significativement perceptible à Mirecourt (coefficient de détermination R^2=0.80), avec une baisse notable pour les décennies 70, et une stabilisation à partir de 1987 autour de la mi-septembre (soit un mois plus tôt qu'en 1970 !) ;
- les dates de début de semis du blé sont en revanche sensiblement différentes d'une UE à l'autre : un écart de 20 jours supplémentaires séparent les semis de Colmar (climat semi-continal) à ceux de Mirecourt et de 40j supplémentaires pour Auzeville (Cf.supra) ;
- de façon générale, la variabilité interannuelle persiste.

[1] La moyenne est très proche, voire identique à la médiane, et les écarts types calculés révèlent une faible dispersion autour de la moyenne pour le caractère étudié.

Date de début de fauche		Min	Moy	Min	Moy
MIRECOURT	ANNEE	PT -1973		PP -1973	
	1969-79	23-avr	15-mai	25-avr	19-mai
	1980-89	9-mai	17-mai	9-mai	20-mai
	1980-89	23-avr	16-mai	25-avr	19-mai
	1990-02	2-mai	12-mai	2-mai	9-mai
	2003	23-mai	23-mai	20-mai	20-mai
LE PIN	ANNEE	PT -1976		PP -1980	
	1969-79	22-mai	29-mai	-	-
	1980-89	5-mai	22-mai	28-mai	11-juin
	1980-89	5-mai	24-mai	28-mai	11-juin
	1990-02	2-mai	12-mai	23-mai	2-juin
	2003	14-mai	14-mai	28-mai	28-mai



Les UE dont les enregistrements sont incomplets sur les trois décennies étudiées permettent plus difficilement de tirer des conclusions concernant des tendances.

Hypothèses

« Quand le sol se réchauffe, l'agriculteur a très envie de prendre de l'avance sur ses semis […] » (UE Auzeville). *« Ainsi, des semis plus précoces permettent à des cultures d'hiver d'échapper à des périodes estivales dangereuses, et à des cultures de printemps d'allonger leur cycle végétatif »*

Les raisons de l'avancée générale de la date de semis au cours des dernières décennies est susceptible de trouver plusieurs explications :

- une moindre perception du risque de gel de printemps par les pilotes des UE ;
- le choix de variétés appropriées au terroir et plus résistantes (sélection génétique : exemple de variétés peu sensibles à la germination sur pied pour le blé ; plus appropriées à des disponibilités en degrés jours plus élevées pour le maïs, etc.*). « Ce que le climat ne permet pas, on essaie de le rattraper sur la variété »* (UE Colmar) ;
- la recherche d'un rendement optimal couplé à une qualité satisfaisante à la récolte *« semer précocement des variétés tardives pour une récolte plus précoce en saison »* (UE Mirecourt) ;
- la modification des systèmes de culture (passage du blé dur au blé tendre ; préférence pour une culture de printemps derrière un maïs ; révision des stratégies de travail du sol, de fertilisation, d'irrigation, etc.) et de spéculation (régression des précédents à blé récoltés tard dans le Sud-Ouest : *« des fois, si on ne rentre plus dans le créneau climatique, mieux vaut changer de culture »*). La modification des pratiques culturales passe par une bonne connaissance du complexe 'climat/plante/sol' ;
- l'augmentation des surfaces dans le temps (débuter au plus tôt le chantier de semis à l'échelle de l'exploitation, pour qu'il soit fini avant la date butoire ; libérer du temps après la récolte pour la préparation du suivant) ;
- la taille et la performance (plus élevées) du matériel agricole (rapidité du chantier de préparation du sol avant semis et donc semis dans la foulée plus précoce) ;
- l'adoption de stratégies de travail du sol (fissuration verticale avec une herse pour permettre un bon enracinement de la culture, un labour avant les semis des céréales d'hiver en remontant la couche humide du sol et permettre une meilleure levée, etc.) et de semis (semer à une juste profondeur, semer plus dense si on prend des risques) permettant de s'affranchir de certaines contraintes climatiques : *« Avec les techniques culturales aujourd'hui, on arrive à tamponner la date de semis pour réagir sur le climat »* (UE Colmar).

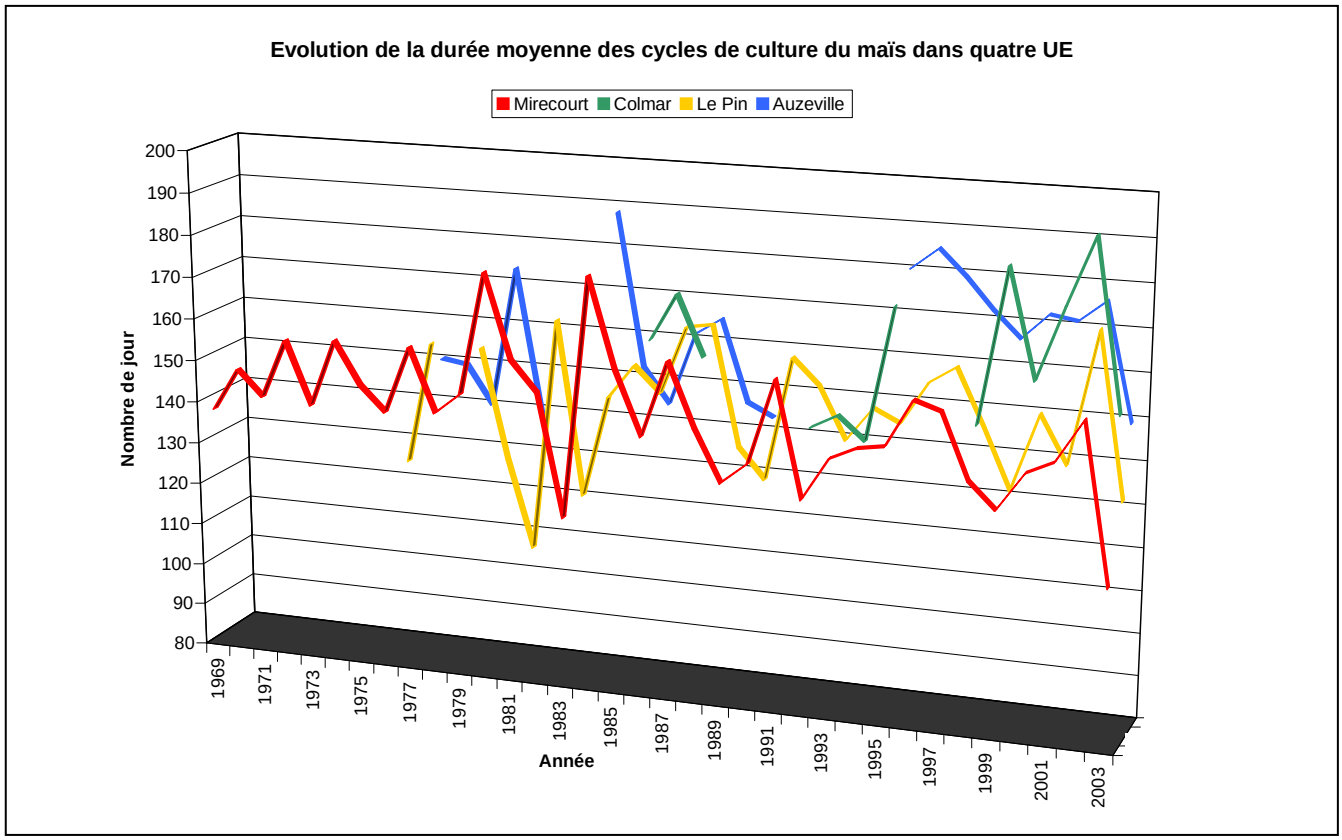
« […] Mais semer plus tôt, c'est s'exposer volontairement à des risques » (UE Auzeville). En effet, le déclenchement de la date de semis est aussi limité, selon les cultures, par la capacité de ressuyage des sols, la récolte du précédent (cas du blé) ou le semis du suivant (cas du maïs), la pression phytosanitaire et les risques de gel.

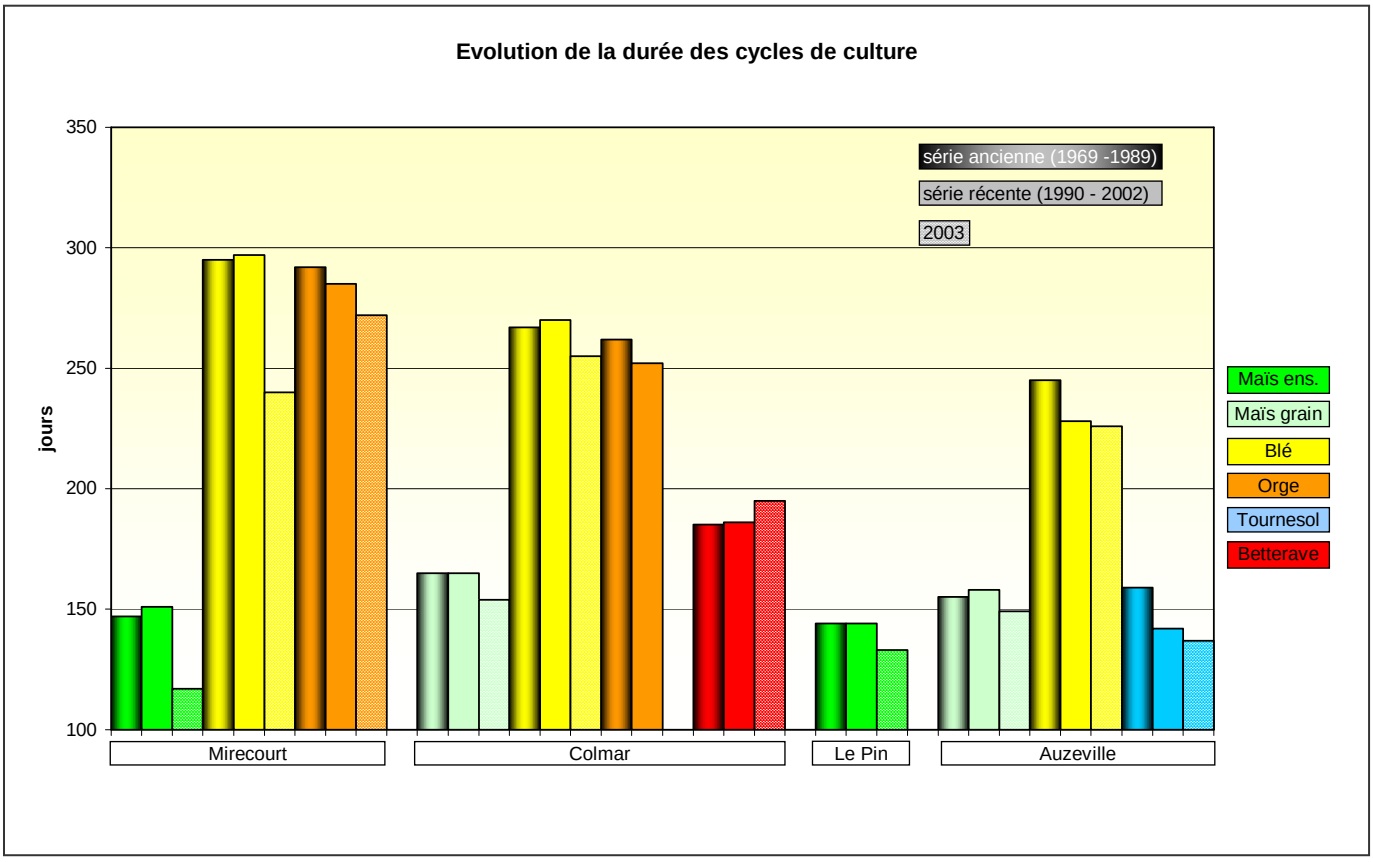
b) Evolution de la date de début de fauche des prairies

Evolution décennale

L'analyse des moyennes décennales de date de début de fauche (Cf. tableau ci–contre) traduit :

- une avancée des dates de fauche (environ 15-20 jours)
- avec une césure à partir de la décade 1990-2002. Toutefois, au Pin, cette précocité a des causes autres que celle uniquement imputable au climat : en effet, la majeure partie des parcelles du domaine a été drainée à partir des années 80.
- un recul de la date de fauche pour l'année 2003, en raison d'un climat printanier déjà relativement sec.


Evolution de la durée moyenne des cycles de culture du maïs dans quatre UE
Mirecourt
Colmar
Le Pin
Auzeville
Nombre de jour
200
190
180
170
160
150
140
130
120
110
100
90
80
1969
1971
1973
1975
1977
1979
1981
1983
1985
1987
1989
1991
1993
1995
1997
1999
2001
2003
Année


Evolution de la durée des cycles de culture
série ancienne (1969 -1989)
série récente (1990 - 2002)
2003
jours
350
300
250
200
150
100
Mirecourt
Colmar
Le Pin
Auzeville
Maïs ens.
Maïs grain
Blé
Orge
Tournesol
Betterave

Evolution annuelle

- Les prairies, de Mirecourt et du Pin sont sensiblement fauchées à la même période : autour de la mi-mai ; à l'exception des prairies permanentes de l'UE du Pin, qui sont généralement les dernières à être fauchées après les prairies temporaires (entre fin mai et début juin) (Cf. graphique page précédente).
- La courbe détermine la tendance à la précocité, marquée depuis la fin des années 80.
- Une variabilité interannuelle transparaît ici aussi, avec des variations d'environ une semaine : *« Le déclenchement du chantier de fauche est lié au climat, principalement des mois qui précèdent la fauche (mars, avril, mai). »* (UE Mirecourt).
- Les observations aux dires des chefs de culture traduisent une avance de la phénologie : *« la date d'épiaison du RGA gagne quasiment 20 jours au mois de mai »* (UE Le Pin).

Hypothèses

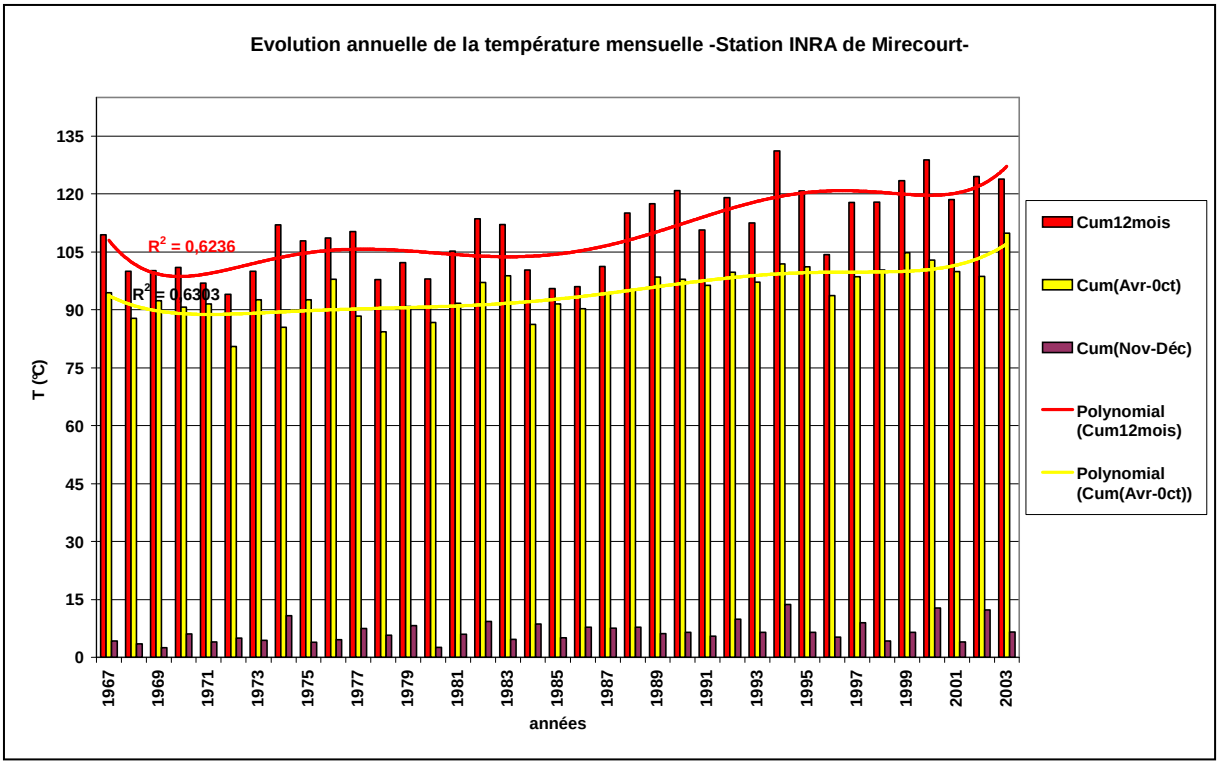
- Les exigences évoluent vers l'obtention de la qualité de l'ensilage. Pour ce faire, les récoltes se font aujourd'hui à des stades plus précoces (entre montaison et épiaison) : *« On recherche un fourrage de qualité, riche en matières azotées pour des laitières à potentiel élevé »*.
- Le climat printanier reste assez variable d'une année à l'autre.

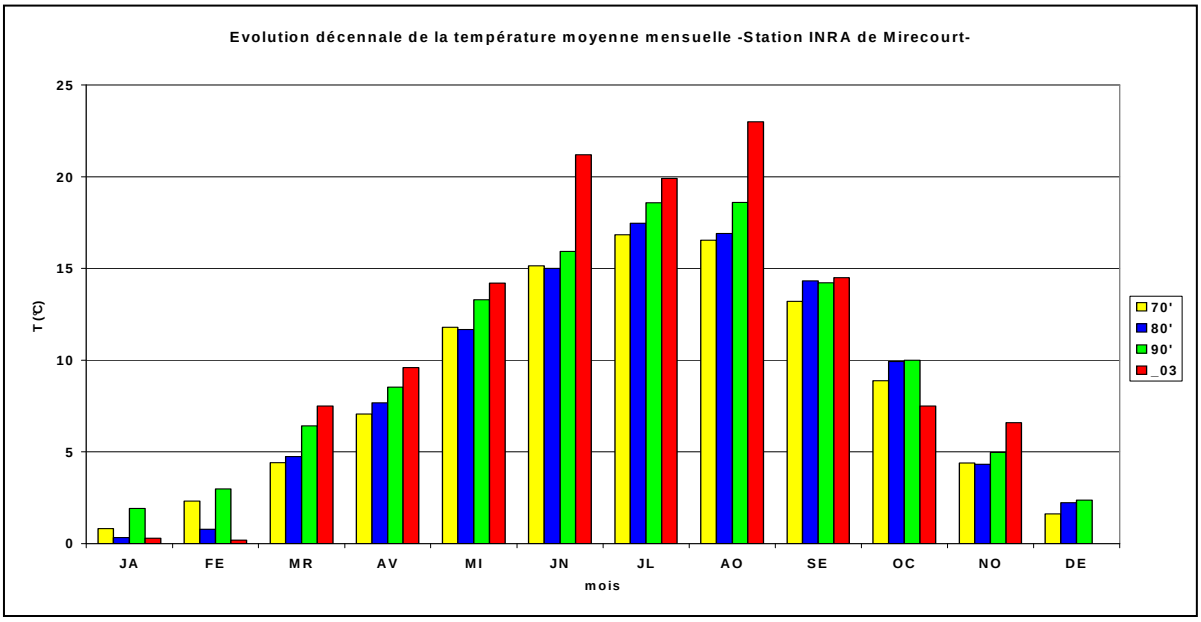
c) Evolution de la durée des cycles de culture

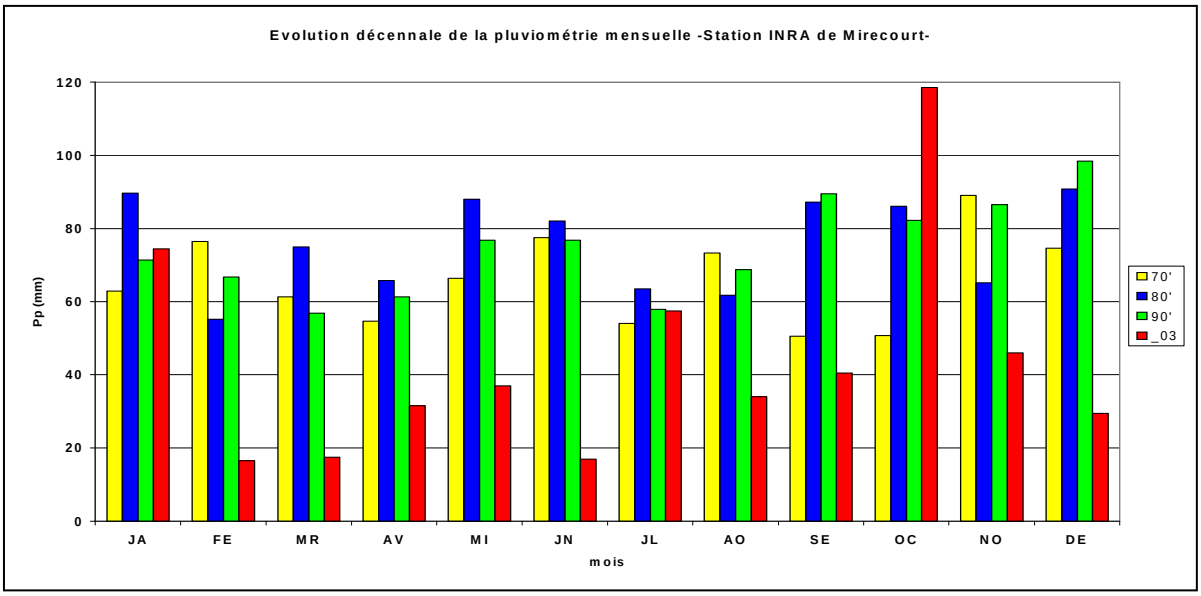
- La durée des cycles de culture s'avère généralement stable autour d'une moyenne (Cf. graphiques ci-contre), *« il y a une tendance à l'homogénéisation des effets de la variabilité génétique sur la durée des cycles (impact changement climatique) »* (UE Auzeville).
- Elle est nettement raccourcie pour le tournesol à Auzeville (-50j), *« dont l'espèce ne présente pourtant pas une grande variabilité génétique au cours du temps »* (UE Auzeville ».
- En 2003, on enregistre une diminution significative des cycles (importante à Mirecourt) par rapport à la moyenne des décennies précédentes, du fait de la canicule (excepté pour la betterave à Colmar).
- Les écarts entre les différentes zones de culture (UE) sont notables pour une même espèce : -30j en moyenne de Mirecourt à Colmar, et encore –30j de Colmar à Auzeville pour le blé ; environ 20j entre les UE de Mirecourt et Le Pin avec celles de Colmar et d'Auzeville pour le maïs.

Hypothèses

- La réponse, en terme de durée de cycle, d'une culture à un milieu est différente en fonction du climat.
- Ni les variétés, ni les pratiques culturales appliquées à une même culture ne sont semblables dans les zones étudiées : ces paramètres influent eux aussi sur le développement de l'espèce cultivée.
- La variation attendue de la durée du cycle de culture est compensée par la modification des pratiques culturales, qui consiste principalement à semer plus précocement et de fait, à récolter plus tôt en saison.


Evolution annuelle de la température mensuelle -Station INRA de Mirecourt-
T (°C)
135
120
105
90
75
60
45
30
15
0
R² = 0,6236
R² = 0,6303
1967
1969
1971
1973
1975
1977
1979
1981
1983
1985
1987
1989
1991
1993
1995
1997
1999
2001
2003
années
Cum12mois
Cum(Avr-0ct)
Cum(Nov-Déc)
Polynomial (Cum12mois)
Polynomial (Cum(Avr-0ct))


Evolution décennale de la température moyenne mensuelle -Station INRA de Mirecourt-
T (°C)
25
20
15
10
5
0
JA
FE
MR
AV
MI
JN
JL
AO
SE
OC
NO
DE
mois
70'
80'
90'
_03


Evolution décennale de la pluviométrie mensuelle -Station INRA de Mirecourt-
Pp (mm)
120
100
80
60
40
20
0
JA
FE
MR
AV
MI
JN
JL
AO
SE
OC
NO
DE
mois
70'
80'
90'
_03

6. Variables agroclimatiques : le cas de Mirecourt

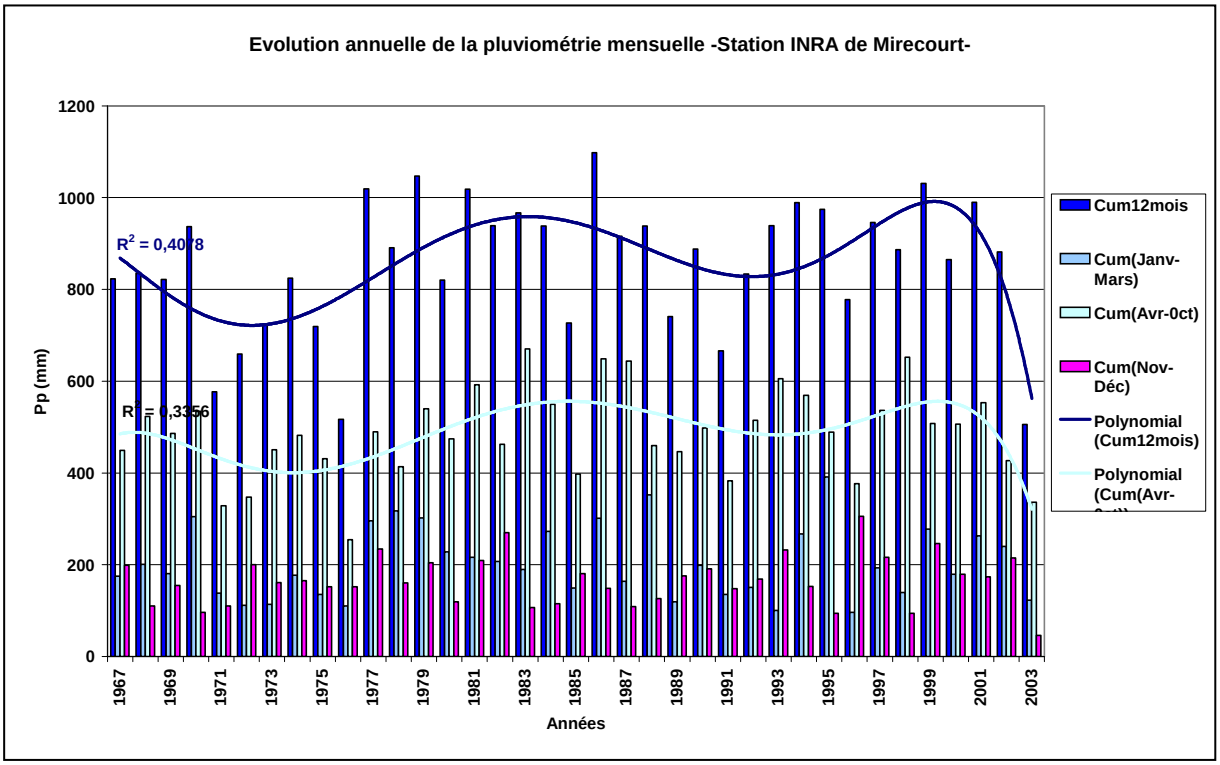
Ce chapitre est consacré à l'analyse des données climatiques de l'UE de Mirecourt (*Cf. annexe 5*). Cette Unité est choisie à titre d'exemple, ainsi que pour l'avantage qu'elle a de disposer d'enregistrements agronomiques complets sur trois décennies complètes, dont nous analyserons les interactions avec le climat.

a) Températures (Cf. Graphiques ci-contre)

Commentaires :

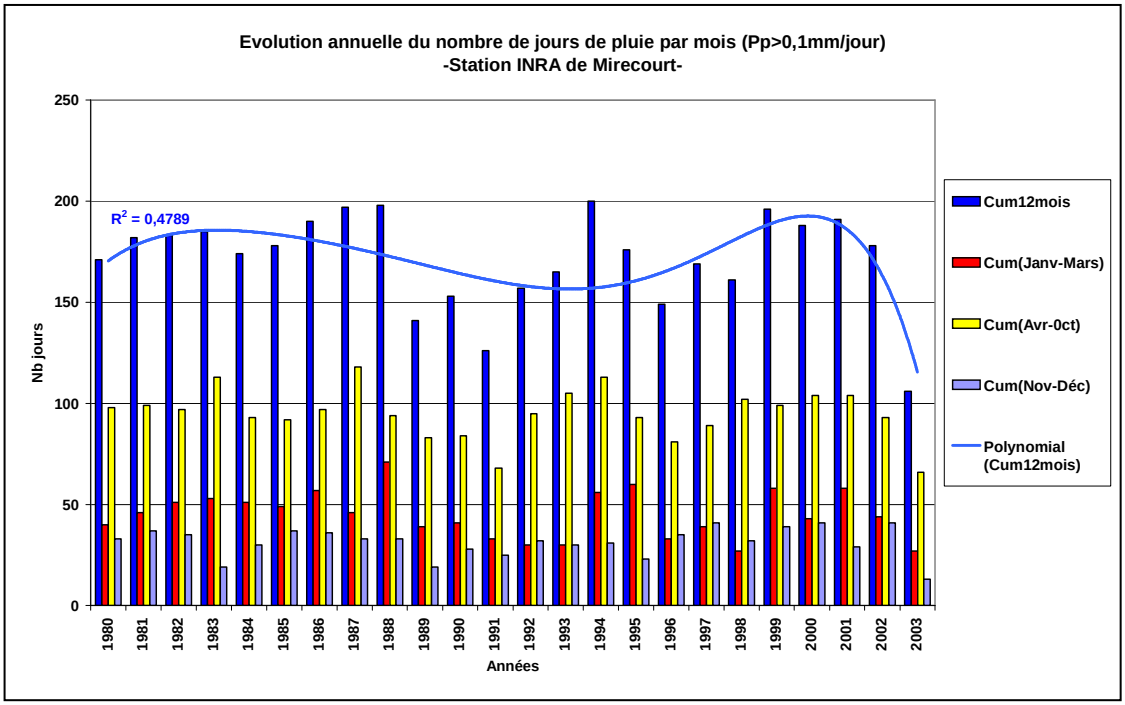
- On observe une **tendance nette à l'augmentation de la température annuelle** (R^2=0.62), du à l'augmentation au cours du temps de la température cumulée des mois d'avril à octobre.
- De manière plus détaillée, les températures des mois d'avril et de septembre (qui nous intéressent pour les semis respectifs du maïs et du blé) sont en progression au cours des années.
- L'évolution décennale de la température moyenne mensuelle montre une augmentation à partir de 1985-86 pour les mois de mars, avril, juillet à octobre et décembre. Elle est significative à partir de 1990 pour les douze mois de l'année.
- Les mois de janvier et février enregistrent une diminution conséquente des températures moyennes pour la décennie 80 et l'année 2003.
- **Cette analyse globale nous permet de vérifier l'hypothèse d'un réchauffement au cours du temps, propice à l'avancement des dates de semis.**

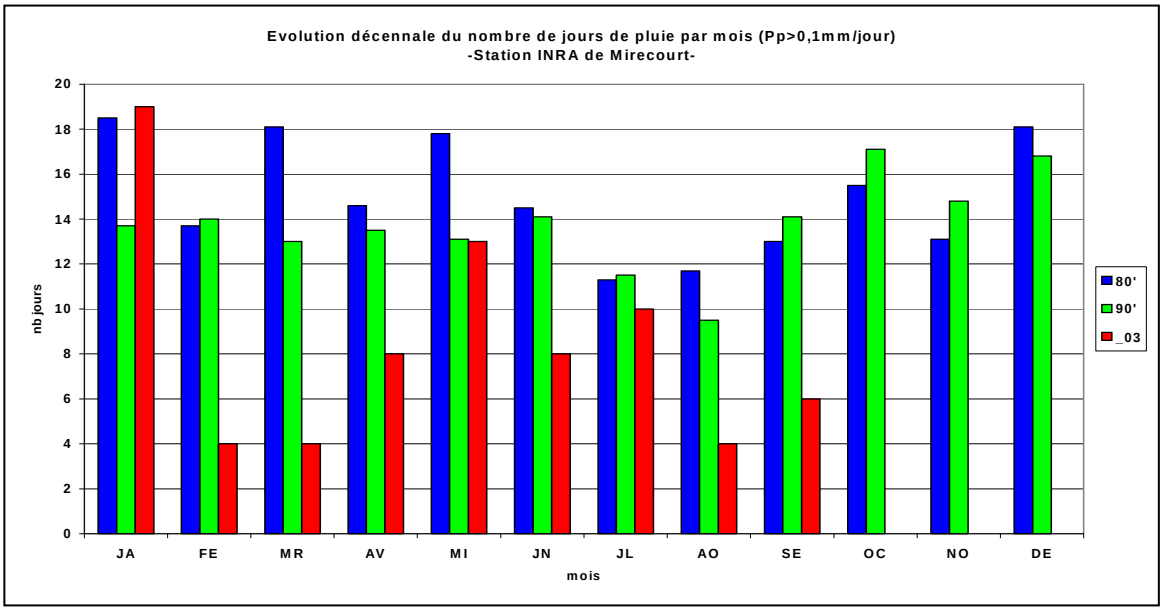
b) Pluviométrie (Cf. Graphiques ci-dessous, ci-contre et ci-après)

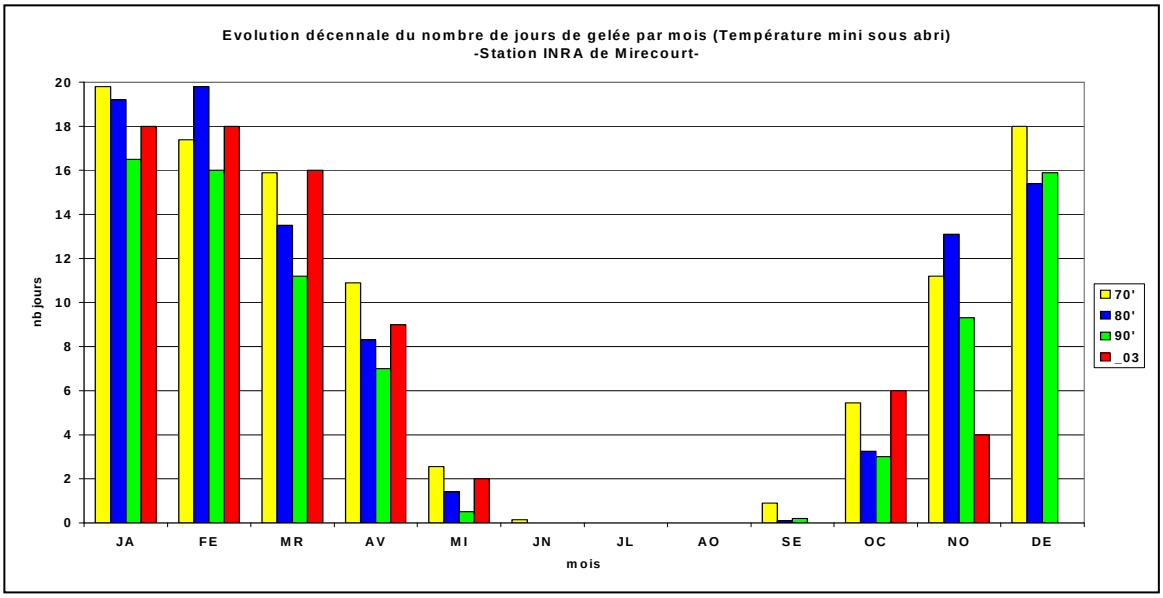


Commentaires :

- La pluviométrie mensuelle est soumise à une **grande variabilité** d'une année à l'autre, avec une **légère tendance à l'augmentation,** enregistrable depuis la fin de la décennie 70.

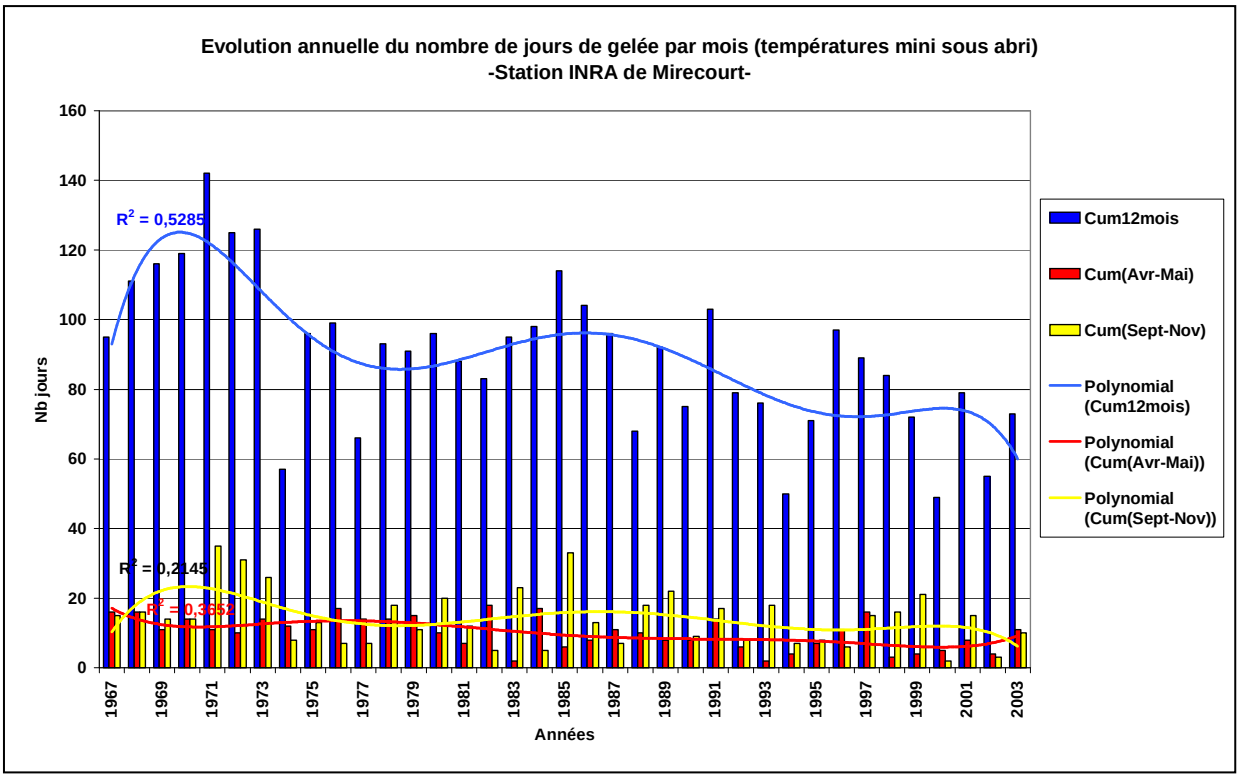

Evolution annuelle du nombre de jours de pluie par mois (Pp>0,1mm/jour)
-Station INRA de Mirecourt-
Nb jours
Années
R² = 0,4789
Cum12mois
Cum(Janv-Mars)
Cum(Avr-0ct)
Cum(Nov-Déc)
Polynomial (Cum12mois)


Evolution décennale du nombre de jours de pluie par mois (Pp>0,1mm/jour)
-Station INRA de Mirecourt-
nb jours
mois
JA
FE
MR
AV
MI
JN
JL
AO
SE
OC
NO
DE
80'
90'
_03


Evolution décennale du nombre de jours de gelée par mois (Température mini sous abri)
-Station INRA de Mirecourt-
nb jours
mois
JA
FE
MR
AV
MI
JN
JL
AO
SE
OC
NO
DE
70'
80'
90'
_03

- Les plus faibles données pluviométriques annuelles enregistrées sont celles de 1976 et de 2003, notamment au cours des mois d'avril à octobre.
- L'évolution décennale de la pluviométrie mensuelle laisse paraître la décennie 80 comme la plus pluvieuse, exceptée pour les mois d'août, septembre, novembre, décembre et février.
- Le nombre de jours de pluie, autant que la pluviométrie mensuelle de juillet est relativement stable pour la période étudiée. Ce fait est important, car les pluies de juillet sont nécessaires au stade floraison de la fleur femelle du maïs.

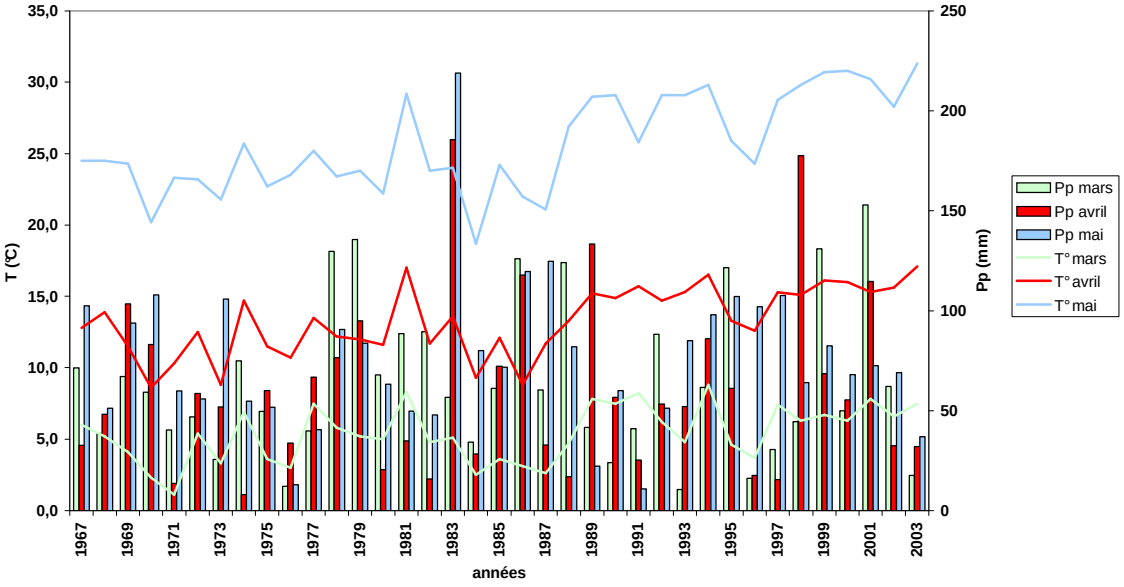
c) **Gélée (température mini sous abri)** (Cf. graphiques ci-dessous et ci-contre)



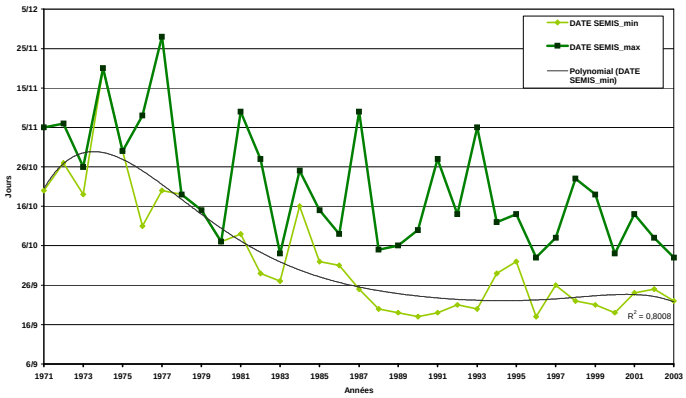
Commentaires :

- **Le nombre de jours de gelée diminue significativement** au cours des trois dernières décennies (quasi de moitié en 30 ans).
- Il est variable d'une année à l'autre.
- Nous observons parallèlement une tendance à la diminution du nombre de jours de gelée tardive de printemps (avril et mai) et de gelée précoce d'automne (septembre et octobre) (dont le nombre de jours est toutefois plus variable d'une année à l'autre), qui sont les plus néfastes aux cultures après semis.
- Nous constatons que l'année 2003 supporte un nombre de jours de gelée important pour les mois enregistrés.
- L'on comprend mieux, au vu de ces tendances, que les agriculteurs aient aujourd'hui une moindre appréhension au risque de gel.

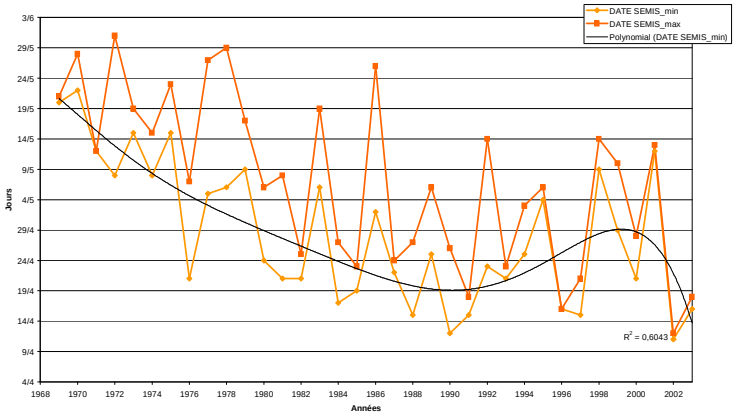
Evolution annuelle des températures et de la pluviométrie des mois de mars, avril et mai
- Station INRA Mirecourt-



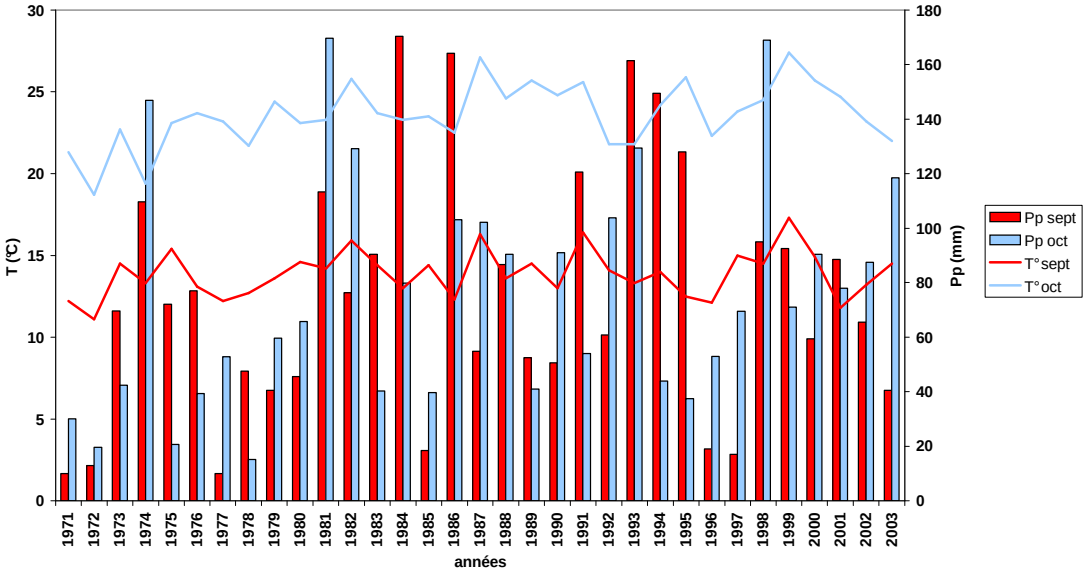
Evolution des dates de semis du Blé d'Hiver de l'UE de Mirecourt



Evolution des dates de Semis du Maïs Ensilage de l'UE de Mirecourt



Evolution annuelle des températures et de la pluviométrie des mois de septembre et octobre
- Station INRA Mirecourt-



d) Incidences du climat sur les tendances agronomiques observées

Les durées de cycle étant relativement stables pour une culture donnée au cours du temps, nous analysons ici les tendances agronomiques connues pour les dates de semis du maïs et du blé, en les corrélant aux tendances climatiques spécifiques de la zone étudiée.

Ainsi, l'évolution annuelle des températures mensuelles et des précipitations est représentée sur les deux graphiques ci-contre respectivement pour les mois de mars, avril, mai (à corréler au semis de maïs) et ceux de septembre, octobre (à corréler au semis de blé).

- Pour ce qui est de la première série de données, les années 1977 à 79, 83, 86, 89, 95, et 98 à 2001, pour lesquelles les semis de maïs ont été plus tardifs que la moyenne, correspondent à des années de pluviométrie importante pour les mois considérés. Les opérations de semis sont donc de même retardés.
- Concernant la deuxième série de données, les années 1981, 84, 86, 87, 94 et 95 pour lesquelles les semis de blé ont été plus tardifs que la moyenne, correspondent à des années de pluviométrie importante pour les mois considérés. Par conséquent, et en fonction du degré de ressuyage des parcelles, les opérations de semis ont été retardées.
- La tendance à l'augmentation des températures est manifeste pour les mois étudiés ici, sur l'ensemble de la période.
- Nous observons une tendance à l'augmentation des précipitations au mois de mai.
- Le nombre de jours de gelée par mois diminue sensiblement au mois d'avril ; il devient quasi nul au cours de la dernière décennie au mois de mai.
- Ces données restent soumises à une grande variabilité. Par exemple, et malgré la tendance positive, *« octobre 2003 a été le plus froid des 30 dernières années »*.
- Titré dans la presse comme suit : *'2003, l'année de tous les excès qui mènent aux déficits'*, l'année 2003 apparaît comme exceptionnelle au cours du siècle : un déficit hydrique précoce qui s'est installé dès le printemps ; le cumul des précipitations de février à septembre (260 mm) s'est avéré inférieur à celui de la même période de 1976, jugée jusqu'alors valeur historique. Ces conditions extrêmes ont principalement été préjudiciables aux prairies, où le manque à produire a eu des conséquences notables sur l'alimentation du troupeau laitier. La sécheresse a aussi largement pesé sur les rendements des orges et des blés. La campagne 2002-2003 confirme la recrudescence des attaques de ravageurs (CETIOM, juillet 2003). Sécheresse et canicule ont entraîné un déficit hydrique important pour les cultures d'été, et particulièrement le maïs. Pour combler ces déficits, l'irrigation, lorsqu'elle était possible, a souvent été nécessaire.

Cette analyse, couplée à la précédente, plus générale, nous amène à dire que les tendances agronomiques (telles que l'avancée des dates de semis) sont étroitement liées au contexte climatique de la zone en question. Toutefois, ce type d'analyse mériterait d'être affiné par des données correspondant à un pas de temps plus court, de type journalier.

e) Prise en compte du climat par les chefs de culture

L'appréhension du risque par le chef de culture

« La production agricole dépend de la succession des phénomènes météorologiques au cours d'une année, mais aussi des variations interannuelles du climat qui doivent guider les choix des systèmes de culture à adopter en un lieu donné » (UE Mirecourt).

Le succès d'une opération dépend de l'utilisation de méthodes adéquates, en particulier de la prise en compte des conditions météorologiques des jours précédents et de la prévision de celles des

jours suivants : *« toutes les opérations sont raisonnées en fonction du climat, et à partir des prévisions météorologiques de la Région mais aussi des zones frontalières Allemagne et Suisse. »* (UE Colmar). Le chef de culture sait qu'une période adéquate de semis améliorera généralement le rendement d'une culture donnée. La réalisation des travaux au moment adéquat et dans les limites de temps optimales constitue une des clefs principales du succès. Les chefs de culture enquêtés sont conscients de ce fait et tentent, autant que faire se peut, d'adapter les activités agricoles aux conditions pédo-climatiques locales. Cela inclut trois paramètres fondamentaux :

- la remobilisation des perceptions issues d'expériences antérieures (en terme de faits et de conséquences induites), rapportées par l'observation ou l'enregistrement systématique de données agroclimatiques : *« le froid de 1978 nous a conduit à réviser la date de semis du blé, en semant plus précocement afin de positionner le stade tallage au moment du froid » ; « les hivers doux posent le problème des gels tardifs »* ;
- une bonne connaissance du complexe 'sol / plante / climat' à l'échelle de la parcelle (nature et potentialités);
- l'utilisation des prévisions météorologiques (données quotidiennes et prévisions sur une semaine fournies en France par Météo France et les services agrométéorologiques des chambres d'agriculture de certains départements).

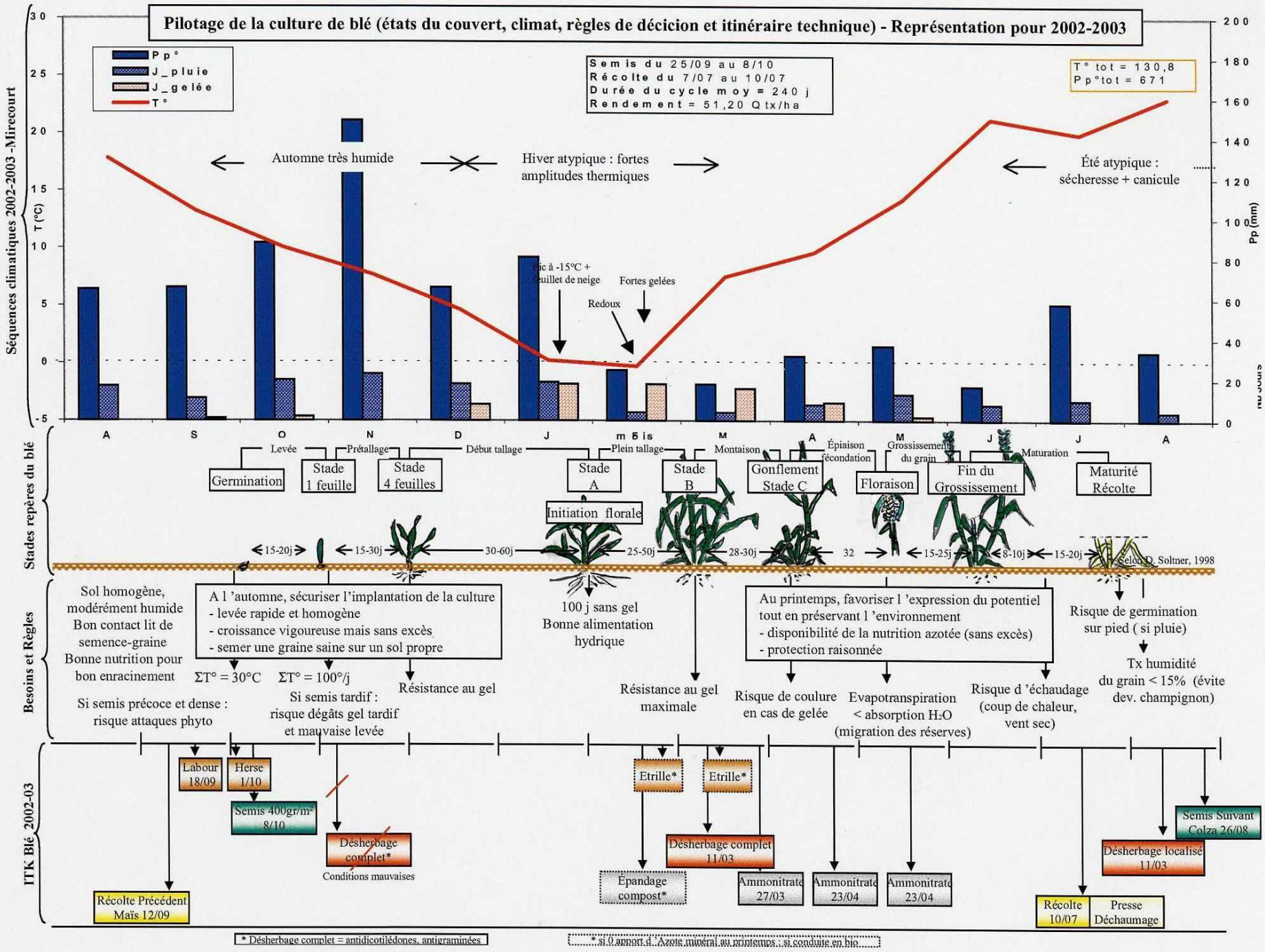
L'adaptation des pratiques agricoles au changement climatique :

La mobilisation des connaissances agrométéorologiques, couplée à des moyens économiques, techniques et organisationnels adaptés permet au pilote d'exploitation d'organiser sa production en fonction de ses objectifs, en réduisant les effets du climat ou d'un éventuel accident climatique, ou plus catégoriquement, en tentant de modifier le climat à la parcelle pour être en condition satisfaisante. Au sein des UE enquêtées, il apparaît que les chefs d'exploitation mettent en œuvre ou utilisent des techniques particulières dans ce but précis ; rappelons quelques exemples :

- le drainage des parcelles (UE du Pin et d'Auzeville), qui, en rendant les sols plus perméables, augmente la température du sol et permet un ressuyage plus rapide qui par conséquent autorise à rentrer plus tôt au printemps sur les parcelles ;
- le paillage au sol (UE du Pin) pour la culture du maïs, qui permet aussi un réchauffement de l'ai au sol et de ce fait, raccourcit la période semis-levée ;
- le travail du sol (UE Colmar et Mirecourt) : l'UE de Mirecourt a réalisé en 2003 une implantation de blé d'hiver sans labour, afin d'éviter la fabrication de mottes tant redoutée pour la préparation du sol ;
- la technique de semis de la betterave (UE Colmar) qui consiste à semer la graine dans un trou, pour lui faire bénéficier d'une meilleure humidité tout en la protégeant du gel au moment de la levée ;
- l'ajustement la densité de semis pour compenser les pertes dues aux expositions à des conditions climatiques limites ;
- l'irrigation des cultures sensibles au stress hydrique (UE Auzeville) ;
- le choix de variétés adaptées aux conditions locales. On s'interroge aussi sur les espèces fourragères qui permettraient la constitution de stocks fourrages suffisants, aussi bien sur pied que dans les hangars.

Améliorer la production agricole passe par la réduction des risques pendant l'exécution de chaque opération, en recherchant le meilleur compromis. Pourtant, les connaissances, les moyens et les capacités d'adaptation diffèrent d'une exploitation à l'autre et ne sont pas toujours optimum pour l'activité agricole.

Le modèle agro-climatique (Cf. schéma ci-après), basé sur le cycle du blé (pris à titre d'exemple), est un bon exemple de la connaissance des conditions optimales à une culture. Il met en évidence les interactions entre les pratiques culturales et le milieu, ainsi que l'adaptation du chef de culture à ces conditions de milieu, dans le but de satisfaire à la fois les besoins de la plante et ses objectifs de production.


Pilotage de la culture de blé (états du couvert, climat, règles de décicion et itinéraire technique) - Représentation pour 2002-2003
Séquences climatiques 2002-2003 -Mirecourt
Pp°
J_pluie
J_gelée
T°
Semis du 25/09 au 8/10
Récolte du 7/07 au 10/07
Durée du cycle moy = 240 j
Rendement = 51,20 Qtx/ha
T° tot = 130,8
Pp°tot = 671
T (°C)
Pp (mm)
Automne très humide
Hiver atypique : fortes amplitudes thermiques
Été atypique : sécheresse + canicule
Froid à -15°C + feuillet de neige
Redoux
Fortes gelées
A S O N D J F M A M J J A
Stades repères du blé
Levée
Prétallage
Début tallage
Plein tallage
Montaison
Épiaison fécondation
Grossissement du grain
Maturation
Germination
Stade 1 feuille
Stade 4 feuilles
Stade A
Initiation florale
Stade B
Gonflement Stade C
Floraison
Fin du Grossissement
Maturité Récolte
15-20j
15-30j
30-60j
25-50j
28-30j
32
15-25j
8-10j
15-20j
Selon D. Soltner, 1998
Besoins et Règles
Sol homogène, modérément humide
Bon contact lit de semence-graine
Bonne nutrition pour bon enracinement
Si semis précoce et dense : risque attaques phyto
A l 'automne, sécuriser l'implantation de la culture
- levée rapide et homogène
- croissance vigoureuse mais sans excès
- semer une graine saine sur un sol propre
ΣT° = 30°C
ΣT° = 100°/j
Si semis tardif : risque dégâts gel tardif et mauvaise levée
Résistance au gel
100 j sans gel
Bonne alimentation hydrique
Résistance au gel maximale
Au printemps, favoriser l 'expression du potentiel tout en préservant l 'environnement
- disponibilité de la nutrition azotée (sans excès)
- protection raisonnée
Risque de coulure en cas de gelée
Evapotranspiration < absorption H2O (migration des réserves)
Risque d 'échaudage (coup de chaleur, vent sec)
Risque de germination sur pied (si pluie)
Tx humidité du grain < 15% (évite dev. champignon)
ITK Blé 2002-03
Labour 18/09
Herse 1/10
Semis 400gr/m² 8/10
Désherbage complet*
Conditions mauvaises
Récolte Précédent Maïs 12/09
Etrille*
Etrille*
Épandage compost*
Désherbage complet 11/03
Ammonitrate 27/03
Ammonitrate 23/04
Ammonitrate 23/04
Récolte 10/07
Presse Déchaumage
Désherbage localisé 11/03
Semis Suivant Colza 26/08
* Désherbage complet = antidicotilédones, antigraminées
* si 0 apport d 'Azote minéral au printemps : si conduite en bio

Cette représentation est basée sur les conditions climatiques de l'année 2002-03 et sur les caractéristiques agronomiques suivantes :

✓ Système de culture adopté ici : Colza / Maïs / Blé / Orge / Maïs / Blé ;

✓ Caractéristiques parcellaire :
- parcelle drainée
- texture limono-argileuse
- portance moyenne à bonne (sauf dans sa partie supérieure)

✓ Caractéristiques variétale ; la variété choisie est 'Isangrain' :
- répulsif pour les sangliers (blé barbu)
- bonnes adaptations aux conditions difficiles (résistance au froid)
- bonne résistance aux maladies (fusariose)
- bon potentiel de rendement (grain et paille)
- bonne qualité boulangère
- à semer entre le 5 et le 20 octobre

Dans le cas précis et atypique de 2003, les facteurs de stress qu'ont apportés les chaleurs extrêmes et la sécheresse estivale au stade de remplissage des grains ont contribué à abaisser le rendement (en nombre et en poids de grains) du blé d'hiver (51,2 qtx/ha en moyenne, contre 65 qtx en année correcte) et à provoquer de l'échaudage. Bien qu'ayant été semé relativement tôt, la culture, pour partie, a eu du mal à se remettre des mauvaises conditions de départ : un automne très humide et un hiver très froid (nombre de jours de gel élevé)

Puis, l'UE de Mirecourt a réalisé en 2003 une implantation de blé d'hiver sans labour, afin d'éviter la fabrication de mottes tant redoutée pour la préparation du sol.

A titre de comparaison, cette même représentation peut être élaborée avec les conditions climatiques des années antérieures. Huit années de culture de blé ont été retenues, parce qu'elles représentent des situations diverses. Les diagrammes correspondants sont présentés en *Annexe 7*.

7. Conclusions et propositions

Cette étude nous a permis d'analyser les évolutions des techniques culturales récentes, en mobilisant et en valorisant des données agronomiques recueillies par quatre Unités Expérimentales de l'INRA. Elle nous montre que le changement climatique est déjà en cours, ou du moins, que la dernière décennie s'est caractérisée par des pratiques différentes (en terme de déclenchement des chantiers de semis et de récolte) couplées à un climat différent de celui des années 70.

D'ores et déjà, nous pouvons faire les remarques suivantes :

- mise en évidence d'une évolution marquée, avec une tendance significative de l'avancée des dates de semis pour les cultures céréalières et le maïs et des dates de récoltes pour le tournesol et les prairies fourragères. Ce changement est surtout perceptible vers la fin des années 80 ;
- le réchauffement observé se traduit par une avance de la phénologie, notable au moment des stades de fauche des prairies ;
- les dates de déclenchement d'un chantier de travail diffèrent d'une UE à l'autre pour une même opération, en raison d'un environnement et de schéma de prise de décisions qui ne sont pas identiques ;
- pas de raccourcissement notable (excepté pour le tournesol) des cycles de culture, dans la mesure où la variation est absorbée par l'avancée des dates de semis couplée à un choix de variétés à cycle plus long.

Dans ces conditions, il est difficile de distinguer avec les données actuelles les changements de pratiques issus de l'évolution climatique réelle et ceux issus des perceptions individuelles. En effet, l'adaptation est multidimensionnelle (facteurs climatiques, mais aussi techniques, socio-économique et politiques) et variable selon les types d'exploitations agricoles. Il faut approfondir pour cela les '"règles de décisions" appliquées. En plus de la mise en évidence de ces évolutions des pratiques agricoles dans le calendrier cultural, il est important d'accéder aux arguments des pilotes des systèmes de culture pour relier leurs représentations du changement climatique à leurs actes techniques. Il apparaît entre autre :

- que la qualité du produit à la récolte a évolué, liée à des exigences du même ordre, et surtout à l'égard des troupeaux laitiers qui bénéficient du produit de la récolte ;
- des adaptations au cours du temps en terme de choix de variétés par exemple, en fonction de leur précocité et de leur rusticité et résistances diverses.
- Au vu des réponses formulées par les responsables de culture au cours de nos enquêtes, il semble que la variabilité du climat est intrinsèquement intégrée à leur propre processus de prise de décision. Dans leur perception du risque climatique, les progrès de la génétique (sélection variétale) et des méthodes de luttes phytosanitaires rendent confiant les acteurs agricoles enquêtés : ils considèrent pour la majorité, qu'ils permettront de pallier les modifications du climat ; cependant, sauront-ils répondre à des évènements extrêmes successifs ?

- L'analyse des données climatologiques de Mirecourt est un exemple qui vérifie les tendances de ce siècle (énoncées dans la partie bibliographique). On retrouve en effets les conclusions de l'analyse de Lebourgeois F. et al. (2001) : un accroissement du nombre de jours à fortes précipitations et une diminution du nombre de jours de gel ; ainsi que bon nombre de prévisions annoncées par les modèles de simulation : tendance nette à la hausse des températures (en moyenne + 1 à 2°C à Mirecourt), notamment pour les mois réservés au semis des cultures étudiées, des conditions estivales plus régulièrement chaudes, l'augmentation des pluies en hiver et leur diminution en été. On note aussi une grande variabilité interrannuelle de ces paramètres et une césure de la tendance climatique générale vers 1985-1987.

Par la suite, les changements observés à ce jour, les adaptations mises en œuvre à l'égard du climat et la difficulté d'appréhender le futur nécessitent une analyse beaucoup plus systématique, qui pourrait être l'un des axes à venir des Unités Expérimentales de l'INRA. Il serait intéressant d'étudier plus précisément un certain nombre de paramètres. Citons à titre d'exemples :

- analyser les variables retenues en différenciant les catégories de précocité pour une même espèce, surtout dans le cas du maïs et du blé ; (pour cela, se renseigner sur les indices FAO en somme de températures) ;
- analyser les tendances agronomiques observées dans les différentes UE en les corrélant aux tendances climatiques spécifique de la zone étudiée ; et de façon plus large, établir les liens entre variabilité du climat, dynamiques écologiques et fonctionnement des systèmes cultivés ;
- définir plus finement les ruptures au moyen de modèles statistiques appliquées à nos données (Cf. INRA Avignon, biométrie) ;
- les travaux pourraient aborder la notion de 'qualité', par exemple en s'intéressant au changement de la composition botanique des prairies, suite au doublement probable de la concentration en CO_2, qui altèrerait la qualité et la productivité de la prairie ;
- élaborer des méthodes et des outils pour diagnostiquer, simuler, prévoir et aider à la décision, en tenant compte des tendances actuelles de l'agriculture mondiale, corrélées à celles du climat (beaucoup de gens y travaillent déjà).

Ce travail est une première approche des interactions possibles du changement climatique en agriculture. Il pourra servir de base à l'établissement d'un protocole de suivi cultural, élaboré dans le but de percevoir ces interactions sur de très longues périodes et généralisables à d'autres entités telles des instituts techniques et des lycées agricoles.

Revisiter 'le passé-présent' nous a permis, non seulement de valoriser des données recueillies par les UE et conservées depuis au moins trente ans mais aussi de montrer l'intérêt et l'enjeu de tels enregistrements. Parce que ce travail aborde/mobilise des éléments d'observations, de règles de décision à l'échelle individuelle ou collective, et de solution de rechange et d'adaptation, il peut permettre, à partir des acquis de modélisation qui lui seront associés, de préfigurer ce que pourraient être les caractéristiques des années à venir. En ce sens, la prise en compte de l'observation et du savoir-faire agronomique de ces acteurs du monde agricole ne doit pas être négligée, tant elle apporte des renseignements précieux, souvent non quantifiables.

Dans le cadre d'un travail qui ferait suite à cette étude, ce suivi pourrait être réalisé à partir des données techniques enregistrées au sein des Unités Expérimentales INRA du Territoire, mais aussi des instituts techniques, des fermes de lycées agricoles, voire même d'exploitations agricoles qui possèderaient de telles notations sur une longue période. Il pourrait porter sur l'enregistrement, à l'échelle du champ cultivé, des pratiques culturales, couplées à des notations phénologiques pour un micro climat donné. L'élaboration d'une telle base de données, pourrait permettre d'avoir une véritable appréhension des adaptations culturales passées et récentes, et servirait à terme d'outil d'aide à la décision, avec une meilleure compréhension des corrélations qui existent entre les pratiques, les réponses physiologiques des plantes et les états des sols, dans des conditions climatiques données : *« que devra-t-on envisager à tel endroit dans les conditions d'un climat modifié ? »*. Ces organismes, pourvus d'un tel outil pourraient constituer un relais d'information pour répondre aux préoccupations des exploitants agricoles qui ont besoin de données vérifiées pour conduire le développement de leur entreprise. Dans le cas des cultures par exemple, cela pourrait amener à concevoir de nouveaux systèmes d'exploitation adaptés, en terme de choix de spéculation, de variétés et de techniques culturales, en tenant compte de tous les paramètres directs et indirects (résistance et apparition ou disparition de nouveaux adventices, ravageurs et maladies, modification du fonctionnement des sols, etc.) engendrés par le changement climatique, tel qu'il est annoncé. Dans le cas des prairies, il s'agit d'étudier la ressource fourragère en considérant les effets conséquents sur les élevages bénéficiaires. Enfin, la notion de qualité devrait être abordée à l'échelle de la production.

Une meilleure utilisation de l'agrométéorologie peut être favorisée par le biais de formations aux agriculteurs pour améliorer la productivité de l'agriculture, permettre de diminuer les risques encourus (déficit hydrique, infections parasitaire, etc.) et d'adopter des pratiques culturales mieux adaptées. Ceci participe de ce fait à la résolution de problèmes d'environnement de plus en plus préoccupant. Pour cela, les agronomes doivent travailler étroitement avec les climatologues au niveau régional pour fournir une base solide d'optimisation de la gestion des cultures, des sols et de l'eau dans des conditions changeantes. Il est probable que dans les années à venir, le degré de

fiabilité des prévisions permettra de formuler en début de saison des conseils précieux pour les agriculteurs : date de semis, espèces ou variétés à semer, compte tenu des évènements climatiques attendus. Une attention spéciale devrait être donnée pour évaluer les probabilités d'évènements extrêmes (sécheresses, inondations) et leur effets sur la croissance des plantes et le rendement.

Ces travaux devraient également prendre en compte les sorties environnementales, à la fois parce qu'elles conditionnent la production, et aussi parce qu'elles conduiront à aborder le problème de l'interaction entre les bilans de gaz à effet de serre et le changement climatique. Les adaptations en cours modifient les pratiques agricoles mais ces modifications peuvent être elles mêmes inductrices de plus de dégagements de gaz à effet de serre. Mais l'agriculteur peut aussi agir pour diminuer les effets du changement climatique[1] en réalisant des mesures dites 'de bonnes pratiques agricoles' (raisonner la fertilité des sols, le travail du sol, le couvert végétal, diversifier les productions, etc.). L'adaptation raisonnée, en prévision des changements climatiques représente en effet un complément efficace des mesures d'atténuation (réduction des émissions de gaz à effet de serre), puisqu'elle devrait réduire la vulnérabilité des écosystèmes naturels et cultivés. Il s'agit de la problématique majeure soulevée par la Convention cadre des Nations Unies signée à Rio de Janeiro en 1992, et lors de l'adoption du protocole de Kyoto en 1997.

[1] Ce thème a fait l'objet de nombreuses publications et débats (Cf. Références bibliographiques).

Bibliographie consultée

- **ABROL Y. P. et INGRAM K. T., 2003**. "Les effets de la hausse des températures diurnes et nocturnes sur la croissance et les rendements de certaines plantes cultivées". Ch 6. En ligne : http://www.fao.org/docrep/W5183f/w5183f08.htm. Pp.1-19.

- **AGRICULTURE et AGROALIMENTAIRE Canada, Centre de recherches de l'Est sur les céréales et oléagineux, 2003**. "Adaptation de la production agricole au changement climatique dans le Canada atlantique". En ligne : 'http://res2.agr.ca/ecorc/clim/som-sum_f.htm'. –p.

- **AGR - AGRICULTURE et L'ENVIRONNEMENT, 2003**. "Air : Changement climatique". En ligne : 'http://agr.gc.ca/policy/environment/air_03_f.phtml'. 9p.

- **ALEXANDROV V.A. et HOOGENBOOM G., 2000**. "The impact of climate variability and change on crop yield in Bulgaria". In 'Agricultural and Forest Meteorology, n°104. Pp 315-327.

- **AMPHOUX M., JAOUEN G., L'HOPITAL A. et PELLETIER V., 2003**. "Les impacts du changement climatique sur l'agriculture en Europe et aux Etats-Unis". Atelier 'Changement Climatique ENPC-Département VET'. En ligne : 'http://www.enpc.fr/de/trav/-elev/cc/agri/rapport2.htm'. 24p.

- **ANTLE J.M., 1995**. "Methodological issues in assessing potential impacts of climate change on agriculture". In 'Agricultural and Forest Meteorology, n°80. Pp 67-85.

- **BAZZAZ F.A. et SOMBROEK W.G., 2003**. "Changement global du climat et production agricole : une évaluation des connaissances actuelles et des lacunes critiques". Chapitre 13. En ligne : 'http://www.fao.org/docrep/W5183F/w5183f0f.htm'. Pp.1-14.

- **BRISSON N., SEGUIN B. et BACULAT B. 2003**. "Apport de la modélisation des cultures annuelles à l'analyse agronomique de la sécheresse de 2003". Dossier d'information interne INRA. 15p.

- **BRYANT, C.R., ANDRE P., PROVENCAL D., SINGH B. et El MAAYAR M., 1997.** « L'adaptation agricole aux changements climatiques: le cas du Québec. » In 'Le Climat n°14'. Pp. 81-97.

- **CHING-CHENG CHANG., 2001**. "The potential impact of climate change on Taiwan's agriculture". In 'Agricultural Economics, n°27. Pp 51-64.

- **DE BARTILLAT L. et RETALLACK S., 2003.** « Le Temps qu'il fera sur le monde demain selon les prévisions du GIEC ». In 'STOP'. Pp -.

- **De JONG R., LI K.Y., BOOTSMA A., HUFFMAN T., ROLOFF G. et GAMEDA S., 2003**. "Crop Yield Variability under Climate Change and Adaptative Crop Management Scenarios". Final Report for Climate Change Action Fund Project A080. Government of Canada's Climate Change Action Fund. 48p.

- **DELECOLLE R., BALANDIER P. et RIVET P.,** -. « Conséquences des changements climatiques globaux sur l'agriculture ». Pp 463-474.

📖 **DELECOLLE R., SOUSSANA J.F. et LEGROS J.P., 1999.** « Impacts attendus des changements climatiques sur l'agriculture française ». In 'C.R. Acad. Agric. Fr., 85 n°4'. Pp 45-51.

📖 **DELECOLLE R., JAYET P.A. et SOUSSANA J.F., 2000.** « Agriculture française et effet de serre : quelques éléments de réflexion». In ' Impacts potentiels du changement climatique en France au XXIè siècle' Seconde édition. Pp. 74-80.

📖 **DEUDON O. et al., 2001. «** Changement climatique, quelles conséquences pour l'agriculture ». In 'Perspectives agricoles n°266'. Pp. 43-61.

📖 **DOUGUEDROIT A., 2001.** "Le climat change-t-il ?". En ligne : 'http://www.cafe-geo.com/cafe2/article.php3?id_article=157'. 6p.

📖 **DUPONT G., 2003.** "Le réchauffement climatique influence les cycles végétaux". Selon une étude de l'INRA, In : 'Le Monde, 11 octobre 2003.

📖 **EASTERLING W.E., 1995**. "Adapting North American agriculture to climate change in review". In 'Agricultural and Forest Meteorology, n°80. Pp 1-53

📖 **EASTERLING W.E., WEISS A., HAYS C.J. et MEARNS L., 1997**. "Spatial scales of climate information for simulating wheat and maize productivity : the case of the US Great Plains". In 'Agricultural and Forest Meteorology, n°90'. Pp 51-63.

📖 **EASTERLING D.R. et al., 1997**. "Maximum and minimum temperature trends for the globe". In 'Science, n°277. Pp 364-367.

📖 **EL MAAYAR M., SINGH B., ANDRE P., BRYANT R. et THOUEZ J.P., 1996**. "The effects of climate change and CO2 fertilisation on agriculture in Québec". In 'Agricultural and Forest Meteorology, n°85. Pp 193-208.

📖 **FAO., 1997.** "Changements climatiques ". Rapport d'activité FAO, 1997. Pp. 404-475.

📖 **FAO- COMITE DE L'AGRICULTURE, 2003**. "Rapport du Groupe de travail interdépartemental sur le changement climatique". Dix-septième session, Rome, 31 mars-4 avril 2003. En ligne : 'http://www.fao.org/DOCREP/MEETING/006/Y8501f.HTM'. 2p.

📖 **FAO., 2003.** "L'agriculture et les changements climatiques ". FAO AG21, 2003. En ligne : 'http://www.fao.org/WAICENT/FAOINFO/AGRICULT/fr/magazine/0103sp2.htm' 2p.

📖 **GALUS C., 2003**. "Les changements climatiques pourraient obliger les pratiques agricoles françaises à s'adapter". In 'Le Monde, 19 avril 2003. P-.

📖 **GALUS C., 2003**. "Les climatologues et l'administration mobilisent les élus locaux contre le réchauffement climatique". In 'Le Monde, 4 juillet 2003. P-.

📖 **GALUS C., 2003**. "Les vagues de chaleur risquent de se multiplier à l'avenir". In 'Le Monde, 6 août 2003. P-.

📖 **GALUS C., 2003**. "Comment plantes et arbres luttent contre sécheresse et canicule". In 'Le Monde, 20 août 2003. P-

📖 **GALUS C., 2003**. "Alerte au CO2 et au CH4". In 'Le Monde, 2 septembre 2003. P-

📖 **GICC., 2003**. “Seconde phase du programme ‘gestion et impacts du changement climatique’ (GICC-2) ”. CS GICC, V2 du 30/06/2003. 26p.

📖 **HOLLOWAY L.E. et ILBERY B.W., 1997**. “Global Warming and Navy Beans : Decision Making by Farmers and Food Companies in the U.K.”. In ‘Journal of Rural Studies, Vol 13 n°3. Pp 343-355

📖 **HORIE T., 1995**. “Climate Change and Agriculture : Analysis of Potential International Impacts”. Book reviews.

📖 **INGRAM K.T., RONCOLI M.C. et KIRSHEN P.H., 2002**. “Opportunities and constraints for farmers of west Africa to use seasonal precipitation forecasts with Burkina Faso as a case study”. In ‘Systems, n°74. Pp 331-349.

📖 **INRA, 2003**. “Changement climatique et effet de serre : quels enjeux pour l’agriculture et la forêt ? quel défis pour la recherche ? ”En ligne : ‘http://www.inra.fr/presse/COMMUNIQUES/sia2003/txt1.htm’. 2p.

📖 **INRA, 2003**. “Le climat change, la nature et l’agriculture aussi Communication INRA. 19p.

📖 **INRA., 2003**. “Changement climatique, développement durable : quels enjeux pour l’agriculture et la recherche agronomique ?”. L’INRA au Salon International de l’agriculture du 22 février au 2 mars 2003.”. En ligne : ‘http://www.inra.fr/presse/COMMUNIQUES/sia2003/txt1.htm’. -p.

📖 **JONES P.D., 1994**. “Hemispheric surface air temperature variations : a reanalysis and an update to 1993.”. In ‘J. Climate 7. Pp 1794-1802

📖 **KARL T.R. et al., 1993**. “A new perspective on recent global warming : asymetric trends of daily maximum and minimum temperature.”. In ‘Bull. Amer. Meteor. Soc.’, n°74. Pp 1007-1023.

📖 **KAUFMANN R.K., 1997**. “The impact of climate change on US agriculture : a response to Mendelssohn et al.”. In ‘Ecological Economist, n°26. Pp 113-119.

📖 **KIMBALL B.A., 2002**. “Climate Change and the Global Harvest : Potential Impacts of the Greehouse Effect on Agriculture”. In ‘Agricultural and Forest Meteorology, n°112. Pp 245-246.

📖 **LEBOURGEOIS F., GRANIER A. et BREDA N., 2001**. “Une analyse des changements climatiques régionaux en France entre 1956 et 1997. Réflexion en terme de conséquences pour les écosystèmes forestiers”. In ,Ann. For. Sci. N°58. pp. 733-754.

📖 **LEPOIVRE P. 2001.** “Editorial : Les systèmes de production agricole et la protection des culture à la croisée des chemins”. In ‘Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 2001 n°5 (4)’. En ligne : ‘http://www.fao.org/WAICENT/FAOINFO/SUSTDEV/Frdirect/Epre0035.htm’. 3p.

📖 **LORGEOU J., PLANTON S. DELECOLLE R. RUGET F. POLLACSECK M. et TARDIEU F., 2000.** “Réchauffement du climat. Un nouveau défi pour le maïs de demain”. In ‘Perspectives Agricoles, n°260, sept. 2000’. Pp. 22-28.

📖 **LUO Q., WILLIAMS M. A.J., BELLOTTI W. et BRYAN B., 2002**. “Quantitative and visual assessments of climate change impacts on South Australian wheat production”. In ‘Agricultural Systems, n°77’. Pp 173-186.

📖 **MAGDELAINE C., 2003.** « Le changement climatique ». In site internet : 'http://www.notre-planète.info/geographie/changement.php'. 3p.

📖 **MANN M.E., BRADLEY R.S. et HUGHES M.K., 1998**. "global-scale temperature patterns and climate forcing over the past six centuries.". In 'Nature', n°397. Pp 779-787.

📖 **MINART P.**, **2003.** "L'influence de l'Homme sur les climats". En ligne : 'http://perso.club-internet.fr/erra/minart/influence-homme-sur-climat.htm'. 3p.

📖 **MOONEN A.C., ERCOLI L., MARIOTTI M. et MASONI A., 2002**. "Climate change in Italy indicated by agrometeorological indices over 122 years". In 'Agricultural and Forest Meteorology, n°111. Pp 13-27.

📖 **OGALLO L.A., BOULAHYA M.S. et KEANE T., 2000**. "Applications of seasonal to interannual climate prediction in agricultural planning and operations". In 'Agricultural and Forest Meteorology, n°103'. Pp 159-166.

📖 **OLESEN J.E. et BINDI M., 2002**. "Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy". In 'European Journal of Agronomy, n°16. Pp 239-262.

📖 **OLUFAYO A.A et BALDY C., 1997**. "Pour une meilleure utilisation de l'agrométéorologie dans les pays en développement". In 'Cahiers Agricultures, n°6. Pp 293-298.

📖 **PROGRAMME D'ACTION CONCERNANT LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES DU CANADA., 1995.** "Science et adaptation". En ligne : 'http://www.ec.gc.ca/climate/ressource/cnapcc/c4part02f.html'. 2p.

📖 **REMY V., 2003.** « Climat, ça va chauffer ». In 'Telerama n°2808' du 5/11/2003. Pp. 4-10.

📖 **ROBERT M., -.** « Effets potentiels des changements climatiques sur les sols ». En ligne : 'http://www.agora21.org/mies/chan-clim10.html'. 7p.

📖 **SOMBROEK W.G. et GOMMES R., 2003**. "L'énigme : changement de climat-agriculture". Chapitre 1. En ligne : 'http://www.fao.org/docrep/W5183F/w5183f03.htm'. Pp.1-14.

📖 **SALINGER M.J., STIGTER C.J. et DAS H.P., 2000**. "Agrometeorological adaptation strategies to increasing climate variability and climate change". In 'Agricultural and Forest Meteorology, n°103. Pp 167-184.

📖 **SCHWARTZBROD A., 2003**. "Les fruits s'emmêlent les saisons". In 'Libération, 20 octobre 2003, ". En ligne : 'http://www.liberation.fr /imprimer.php ?Article=150909.' 1p.

📖 **SEGUIN B. Communication du 29/10/2002.** La Depêche.

📖 **SEGUIN B. et STENGUEL P., 2002.** "Changement climatique et effet de serre. Bref état des problèmes et des recherches à l'INRA". In 'INRA mensuel n°113'. 19p.

📖 **SELIGMAN N.G. et SINCLAIR T.R., 1994**. "Global environment change and simulated forage quality of wheat. II. Water and nitrogen stress". In 'Field Crops Research, n°40. Pp 29-37.

📖 **SEMENOV M.A. et PORTER J.R., 1995**. "Climate variability and the modelling of crop yields". In 'Agricultural and Forest Meteorology'n°73. Pp 265-283.

📖 **SOLTNER D., 1977.** “Les grandes productions végétales- Phytotecnie spéciale”. Coll. Sc. Et Techn. Agricoles. Pp. 30-42, 115-158.

📖 **SOUSSANA J.F. 2000**. “Influence des facteurs du climat sur les prairies”. ”En ligne : ‘http://www.inra.fr/ea/travaux/climat.html’. 1p.

📖 **SOUTHWORTH J., RANDOLPH J.C., HABECK M., DOERING O.C., PFEIFER R.A., RAO D.G. et JOHNSTON J.J., 2000**. “Consequences of future climate change and changing climate variability on maize yields in the midwestern United States”. In ‘Agriculture, Ecosystems and Environment, n°82. Pp 139-158.