



HAL
open science

Impacts du changement climatique sur les calendriers agricoles : exemples de cultures céréalières du Plateau lorrain

Marc Benoît, Thomas Fournier, Claudia de La Torre

► **To cite this version:**

Marc Benoît, Thomas Fournier, Claudia de La Torre. Impacts du changement climatique sur les calendriers agricoles : exemples de cultures céréalières du Plateau lorrain. *Agronomie, Environnement & Sociétés*, 2015, 5 (1), pp.55-65. hal-02632007

HAL Id: hal-02632007

<https://hal.inrae.fr/hal-02632007v1>

Submitted on 27 May 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.

Juin 2015
volume n° 5 / numéro n° 1
www.agronomie.asso.fr

Agronomie

environnement & sociétés

La revue de l'association française d'agronomie

Changement climatique et agriculture
comprendre et anticiper, ici et ailleurs.



Agronomie, Environnement & Sociétés

Revue éditée par l'Association française d'agronomie (Afa)

Siège : 16 rue Claude Bernard, 75231 Paris Cedex 05.

Secrétariat : 2 place Viala, 34060 Montpellier Cedex 2.

Contact : douhairi@supagro.inra.fr, T : (00-33)4 99 61 26 42, F : (00-33)4 99 61 29 45

Site Internet : <http://www.agronomie.asso.fr>

Objectif

AE&S est une revue en ligne à comité de lecture et en accès libre destinée à alimenter les débats sur des thèmes clefs pour l'agriculture et l'agronomie, qui publie différents types d'articles (scientifiques sur des états des connaissances, des lieux, des études de cas, etc.) mais aussi des contributions plus en prise avec un contexte immédiat (débats, entretiens, témoignages, points de vue, controverses) ainsi que des actualités sur la discipline agronomique.

ISSN 1775-4240

Contenu sous licence Creative commons



Les articles sont publiés sous la *licence Creative Commons 2.0*. La citation ou la reproduction de tout article doit mentionner son titre, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue AE&S et de son URL, ainsi que la date de publication.

Directeur de la publication

Marc BENOÎT, président de l'Afa, Directeur de recherches, Inra

Rédacteur en chef

Olivier RÉCHAUCHÈRE, chargé d'études Direction de l'Expertise, Prospective & Etudes, Inra

Membres du bureau éditorial

Pierre-Yves LE GAL, chercheur Cirad

Hervé SAINT MACARY, directeur adjoint du département Persyst, Cirad

Philippe PRÉVOST, directeur Agreenium Université en ligne

Danielle LANQUETUIT, consultante Triog et webmaster Afa

Comité de rédaction

- Marc BENOÎT, directeur de recherches Inra

- Valentin BEAUVAL, agriculteur

- Jacques CANEILL, directeur de recherches Inra

- Joël COTTART, agriculteur

- Thierry DORÉ, professeur d'agronomie AgroParisTech

- Sarah FEUILLETTE, cheffe du Service Prévision Evaluation et Prospective Agence de l'Eau Seine-Normandie

- Yves FRANCOIS, agriculteur

- Jean-Jacques GAILLETON, inspecteur d'agronomie de l'enseignement technique agricole

- François KOCKMANN, chef du service agriculture-environnement Chambre d'agriculture 71

- Marie-Hélène JEUFFROY, directrice de recherche Inra et agricultrice

- Aude JOMIER, enseignante d'agronomie au lycée agricole de Montpellier

- Jean-Marie LARCHER, responsable du service Agronomie du groupe Axérial

- François LAURENT, chef du service Conduites et Systèmes de Culture à Arvalis-Institut du végétal

- Francis MACARY, ingénieur de recherches Irstea

- Jean-Robert MORONVAL, enseignant d'agronomie au lycée agricole de Chambray, EPLEFPA de l'Eure

- Christine LECLERCQ, professeure d'agronomie Institut Lassalle-Beauvais

- Adeline MICHEL, Ingénieure du service agronomie du Centre d'économie rurale de la Manche

- Philippe POINTEREAU, directeur du pôle agro-environnement à Solagro

- Philippe PRÉVOST, directeur Agreenium Université en Ligne

- Hervé SAINT MACARY, directeur adjoint du Département Persyst, Cirad

Secrétaire de rédaction

Philippe PREVOST

Assistantes éditoriales

Sophie DOUHAIRIE et Danielle LANQUETUIT

Conditions d'abonnement

Les numéros d'AE&S sont principalement diffusés en ligne. La diffusion papier n'est réalisée qu'en direction des adhérents de l'Afa ayant acquitté un supplément

(voir conditions à <http://www.agronomie.asso.fr/espace-adherent/devenir-adherent/>)

Périodicité

Semestrielle, numéros paraissant en juin et décembre

Archivage

Tous les numéros sont accessibles à l'adresse <http://www.agronomie.asso.fr/carrefour-inter-professionnel/evenements-de-lafa/revue-en-ligne/>

Soutien à la revue

- En adhérant à l'Afa via le site Internet de l'association (<http://www.agronomie.asso.fr/espace-adherent/devenir-adherent/>). Les adhérents peuvent être invités pour la relecture d'articles.
- En informant votre entourage au sujet de la revue AE&S, en disséminant son URL auprès de vos collègues et étudiants.
- En contactant la bibliothèque de votre institution pour vous assurer que la revue AE&S y est connue.
- Si vous avez produit un texte intéressant traitant de l'agronomie, en le soumettant à la revue. En pensant aussi à la revue AE&S pour la publication d'un numéro spécial suite à une conférence agronomique dans laquelle vous êtes impliqué.

Instructions aux auteurs

Si vous êtes intéressé(e) par la soumission d'un manuscrit à la revue AE&S, les recommandations aux auteurs sont disponibles à l'adresse suivante :

<http://www.agronomie.asso.fr/carrefour-inter-professionnel/evenements-de-lafa/revue-en-ligne/pour-les-auteurs/>

À propos de l'Afa

L'Afa a été créée pour faire en sorte que se constitue en France une véritable communauté scientifique et technique autour de cette discipline, par-delà la diversité des métiers et appartenances professionnelles des agronomes ou personnes s'intéressant à l'agronomie. Pour l'Afa, le terme agronomie désigne une discipline scientifique et technologique dont le champ est bien délimité, comme l'illustre cette définition courante : « *Etude scientifique des relations entre les plantes cultivées, le milieu [envisagé sous ses aspects physiques, chimiques et biologiques] et les techniques agricoles* ». Ainsi considérée, l'agronomie est l'une des disciplines concourant à l'étude des questions en rapport avec l'agriculture (dont l'ensemble correspond à l'agronomie au sens large). Plus qu'une société savante, l'Afa veut être avant tout un carrefour interprofessionnel, lieu d'échanges et de débats. Elle se donne deux finalités principales : (i) développer le recours aux concepts, méthodes et techniques de l'agronomie pour appréhender et résoudre les problèmes d'alimentation, d'environnement et de développement durable, aux différentes échelles où ils se posent, de la parcelle à la planète ; (ii) contribuer à ce que l'agronomie évolue en prenant en compte les nouveaux enjeux sociétaux, en intégrant les acquis scientifiques et technologiques, et en s'adaptant à l'évolution des métiers d'agronomes.

Lisez et faites lire AE&S !

Sommaire

Avant-propos

P7- O. RÉCHAUCHÈRE (Rédacteur en chef) et M. BENOÎT (Président de l'Afa)

Éditorial

P9- M. BENOÎT et E. TORQUEBIAU (coordonnateurs du numéro)

Le Changement climatique et son impact sur l'agriculture : état des lieux, prévision et prospective

P13- Vers une prospective des impacts du changement climatique sur la sécurité alimentaire : les enseignements du 5ème rapport du GIEC

T. BRUNELLE (CIRAD)

P23- Evolutions constatées et prévisibles des principales composantes du climat impactant l'agriculture

F. HABETS (CNRS) et P. VIENNOT (Mines-ParisTech)

P33- Prospective Agriculture Forêt Climat (AFClim) du Centre d'étude et de prospective du MAAF

N. SCHALLER

S'adapter au changement climatique : outils, moyens et acteurs

P41- S'adapter au changement climatique

Agriculture, écosystèmes et territoires (Jean-François Soussana Coord.)

E. TORQUEBIAU (Cirad)

P43- L'observation des effets agricoles du changement climatique en France : combat d'arrière-garde, ou aide à l'adaptation ?

F. LEVRAULT (CRA POITOU-CHARENTES)

P55- Impacts du changement climatique sur les pratiques agricoles : évolution des calendriers culturaux en région de polyculture-élevage

M. BENOÎT (Inra), T. FOURNIER, C. DE LA TORRE

P67- Adaptation au changement climatique en agronomie viticole : le programme Icare

G. BARBEAU, E. NEETHLING, N. OLLAT, H. QUENOL, J.M. TOUZARD

P77- Prospective participative sur l'agriculture du Roussillon face au changement climatique

P. GARIN, D. ROLLIN, L. MATON, J.D. RINAUDO, A. RICHARD-FERROUDJI, Y. CABALLERO

P87- Retour sur le colloque final du projet ADAPT'EAU

N. SCHALLER

P89 - Stratégies d'adaptation aux changements climatiques d'agriculteurs du Nicaragua : actions d'AVSF

L. DIETSCH (AVSF)

P93- Adaptations paysannes aux changements et aléas climatiques dans trois régions du monde

M.J. DUGUE

S'adapter au changement climatique et en atténuer les effets

P99- Changement climatique et Agricultures du Monde (Editions Quae, Torquebiau, E. (Ed)).

M. BENOÎT (Inra)

P101- Le fonio : une culture climato intelligente ?

N. ANDRIEU, E.VALL, M. BLANCHARD, F. BEAVOGUI, D. SOGODOGO

P107- Reconsidérer les rôles agronomiques de l'élevage dans la contribution à l'adaptation et l'atténuation du changement climatique

V. BLANFORT, M. VIGNE, J. VAYSSIERES, P. LECOMTE, J.LASSEUR, A. ICKOWICZ (Cirad)

P117- Agribalyse : résultats et enseignements

A. COLSAET, V. COLOMB et J. MOUSSET (ADEME)

P133- Stratégies d'atténuation mises en œuvre sur les territoires : l'outil et la démarche ClimAgri®

S. MARTIN (ADEME)

P139- Agriculture et gaz à effet de serre (Sylvain Pellerin et al.)

M. BENOÎT (Inra)

Annexe

P141 Appel à contribution du numéro



Impacts du changement climatique sur les calendriers agricoles : Exemples de cultures céréalières du Plateau Lorrain

Marc BENOÎT - Thomas FOURNIER
Claudia DE LA TORRE

INRA SAD UR 055 Aster - 662, avenue Louis Buffet
F-88500 - MIRECOURT
Contact auteurs : marc.benoit@mirecourt.inra.fr

Résumé

Cette étude, conduite pour déterminer si les cycles des céréales sont modifiés avec le changement climatique, articule pour la première fois les conduites menées par les agriculteurs du Nord-Est de la France et celles de gestionnaires de dispositifs d'expérimentation agronomique. Menée en Lorraine, elle essaie de tester l'hypothèse formulée en Finlande en 2008: les dates de semis et de récolte sont avancées. Les calendriers culturaux sont examinés avec deux méthodes : (i) des enquêtes chez 12 agriculteurs enregistrant leurs itinéraires techniques depuis 1978 (période de 30 années) et (ii) des données de l'installation expérimentale Inra à Mirecourt (période de 40 années). Ces données de système de culture sont interprétées avec des données climatiques de la station climatologique Inra, localisée à Mirecourt.

Cette étude montre des tendances communes pour les agriculteurs et des parcelles de l'installation expérimentale non soumises à protocole expérimental. En 30 ans, pour le blé d'hiver, culture la plus pratiquée en Lorraine et en France, le début de la récolte est avancé de 19 jours, 10 jours pour le semis, et ainsi, le cycle total est 9 jours plus court. Pour l'orge d'hiver, le début de la récolte est avancé de 21 jours, le semis reculé de 5 jours et ainsi, le cycle total est raccourci de 26 jours. Pour le maïs, seulement étudié dans l'installation expérimentale, le semis est avancé de 30 jours, la récolte de 25 jours malgré l'utilisation de variétés cultivées plus tardives (de 170 d'index à 260 d'index). Nous observons une haute variabilité interannuelle dans les dates de semis et de récolte. Cette variabilité explique le faible R^2 de notre régression statistique.

Nous espérons ici donner envie aux agronomes de collecter avec soin les informations sur les conduites par les agriculteurs de leurs systèmes de culture, pour mieux valider les tendances à l'adaptation des systèmes de culture réellement à l'œuvre dans une plus large diversité de situations agronomiques que celles que nous avons pu éclairer.

Mots-clés

Systèmes de culture, itinéraires techniques, savoirs paysans, mémorisation.

Abstract

Crops phenology is driven by climate characteristic and since many years climatologists point out a general trend on temperature. We know that temperature increases may also have an impact on development of diverse crop. The trends of global Climate Changes

also affect the trend in local temperature values. What are the local effects on cropping systems of these global trends? Our hypothesis is: cropping systems designed by farmers are influenced by these trends, and agronomists have to study the multiple adaptations managed by farmers.

This study was conducted to determine whether the cereal crop cycles are modified by French farmers and experimental managers according to general climate change trends. This study located in Lorraine (east of France) tries to test the hypothesis obtained in Finland: the sowing dates are earlier. Cropping systems calendars are investigated with two methods: (i) surveys using 12 farmers monitoring booklets since 1978 (30 years length) and (ii) experimental data from the Inra Mirecourt research station (SAD Aster unit) since 1970 (40 years length). This cropping system data are related with climatic data from INRA climatological station.

This study shows common trends for farmers and experimental data, between 1978 and 2008. For wheat, the beginning of the harvest is 18 days earlier, 8 days for the beginning of sowing, and so, the total cycle is 10 days shorter. For barley, the beginning of the harvest is 21 days earlier, the beginning of sowing is 5 days later, and so, the total cycle is 26 days earlier. For corn only studied in experimental station, the sowing is 30 days earlier, the harvest is 25 days earlier despite using later cultivars (from 170 index to 260 index). More precisely, for wheat, the most cultivate crop, harvest date is 19 days earlier since 1978. However, during the same period, sowing date is only 10 days earlier. Sowing date show anticipation the 20 first years of our study period, but for 10 years the opposite trends appears. So, the phenological cycle of wheat is 9 days shorter during the last 30 years. We observe a high variability in the sowing and harvest day per year. This variability explains the small R^2 of our statistical regression. Statistical results are exposed in the table. At decade scale, harvest date is statistically earliest in the 00's than in the 90's, which is statistically earliest.

Key-words

Sowing times, yield times, cropping system adaptation, technical management route, farmer knowledge.

Introduction

L'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère est certainement la cause la plus importante à l'origine du changement climatique en cours. Les principaux gaz à effet de serre sont le CO_2 , le CH_4 (méthane) et le N_2O (oxyde nitreux). Selon le rapport du GIEC 2007 « les émissions mondiales de GES imputables aux activités humaines ont augmenté depuis l'époque préindustrielle ; la hausse a été de 70 % entre 1970 et 2004 » (IPCC, 2007b ; Habets, 2015 dans ce numéro).

Les effets se font sentir sur la température globale à la surface de la Terre. En effet, on peut noter que onze des douze dernières années (1995-2006) figurent parmi les douze années les plus chaudes depuis 1850 (IPCC, 2007b) et que la hausse des températures ces 20 dernières années est plus importante que celle rencontrée sur le siècle entier (Easterling et al., 1997). La tendance linéaire au réchauffement entre 1906 et 2005 atteint $0,74\text{ }^\circ\text{C}$, et la tendance a été confirmée par le dernier rapport de l'IPCC (IPCC, 2007b ; IPCC, 2014). Les hausses de températures sont plus importantes sur les températures minimales : hausse de $0,88\text{ }^\circ\text{C}/100\text{ans}$ pour les températures maximales et $1,86\text{ }^\circ\text{C}/100\text{ans}$ pour les températures minimales. (Easterling et al., 1997 ; Mann, Bradley & Hughes, 1998). Les modèles prédisent qu'un doublement de la concentration atmosphérique en CO_2 provo-

querait une hausse globale des températures de 1,5 à 4,5 °C selon les modèles (IPCC 2007a). La température semblerait augmenter légèrement plus aux latitudes plus élevées qu'aux tropiques (IPCC, 2007b).

Les changements du climat peuvent affecter l'agriculture et contraindre les agriculteurs à adopter des stratégies d'adaptation pour atteindre leurs objectifs face à ces évolutions. Nous centrerons notre travail sur les liens entre les changements thermiques et les évolutions de systèmes de culture, dans une perspective inspirée de Parry (2002) et initiée par Schimmelpfennig et ses collègues (1995).

Les hausses de températures prévues peuvent modifier les stades de développement des différentes cultures (Alexandrov & Hoogenboom, 2000 ; Sombroek & Gommès, 1997). Selon les modèles, on peut s'attendre à une réduction de la durée des phases végétative et de reproduction lors de la croissance du blé et du maïs de l'ordre de 5 à 20 jours de moins en 2020. La maturité serait atteinte 11 à 30 jours plus tôt pour le maïs et 1 à 2 semaines plus tôt pour le blé en 2050. Cependant une baisse de rendement est également prédite (Alexandrov & Hoogenboom, 2000 ; Droogers, 2004 ; Meza *et al.* 2008) : de 3 à 14 % selon les modèles pour le maïs et de 0 à 7 % selon les modèles pour le blé en 2020. Il est à noter que ces chiffres ne prennent pas en compte les effets de l'augmentation de la concentration atmosphérique en CO₂ précédemment décrits, pouvant limiter la baisse de rendement. (Alexandrov & Hoogenboom, 2000). L'augmentation globale de la température peut également renforcer l'effet fertilisant du CO₂ (Sombroek & Gommès, 2003). La hausse des températures peut aussi engendrer plus d'évaporation et réduire l'humidité disponible du sol, ce qui peut affecter les rendements et l'efficacité de l'utilisation de l'eau. Une élévation des températures pourrait également augmenter le nombre de ravageurs des cultures et le nombre d'adventices en compétition avec les cultures (Droogers, 2004).

La plupart des articles consultés traitant de l'adaptabilité des pratiques agricoles face au changement climatique en cours proposent des solutions se basant sur des modèles de prévision des effets du changement climatique (Droogers, 2004 ; Easterling, *et al.*, 2003; IPCC, 2007a, b ; Meza, Parry, 2002 ; Reid *et al.*, 2007 ; Risbey *et al.*, 1999 ; Schimmelpfennig *et al.*, 1995 ; Seguin, 2003 ; Sombroek & Gommès, 1997). Les solutions proposées pour pallier les effets du changement climatique précédemment évoqués sont diverses. Une sélection génétique des variétés « adaptées aux températures plus élevées, valorisant au mieux l'augmentation de la photosynthèse et de l'efficacité de l'eau tout en minimisant l'effet d'un éventuel raccourcissement du cycle » pourrait permettre d'améliorer les rendements (Alexandrov & Hoogenboom, 2000).

Un déplacement géographique des zones de cultures vers le nord et des changements des différentes occupations du sol sont deux solutions à envisager pour le siècle à venir. Le réchauffement observé équivaut, sur le siècle, à un déplacement vers le nord de 180 Km ou en altitude de 150 m. La révision des itinéraires techniques incluant les apports d'intrants est également à envisager (Seguin, 2003). L'avancée des dates de semis des céréales de printemps, permettrait d'éviter les fortes chaleurs de l'été et d'allonger

le cycle de culture (Seguin, 2003 ; Alexandrov & Hoogenboom, 2000).

Malheureusement, si beaucoup d'articles s'intéressent au changement climatique à venir et aux solutions agronomiques pour le pallier, il est difficile de trouver des études menées sur les éventuelles adaptations des pratiques agricoles déjà réellement mises en œuvre et observées ces trente dernières années. Une équipe finlandaise s'est intéressée en 2008 à l'impact du climat sur les dates de semis de certaines cultures en s'appuyant sur des données d'exploitations expérimentales (Kaukoranta & Hakala, 2008). A la suite de ce travail, nous avons remobilisé deux recherches distinctes, l'une menée (1) au sein d'une installation expérimentale Inra concernant l'évolution des « calendriers agricoles » en réponse au changement climatique en utilisant des données de parcelles non expérimentées de ces installations expérimentales (De la Torre & Benoît, 2003) et (2) l'autre initiée grâce à un travail de recherche participatif mené avec des anciens agriculteurs en mobilisant des recueils d'informations conservées dans leurs exploitations agricoles (Benoît & Fournier, 2012).

Dans cet article, nous synthétisons ces travaux menés essentiellement en régions de polyculture-élevage de Lorraine, au cours des trois dernières décennies, en mobilisant les informations des agriculteurs lorrains gardant notes de leurs pratiques, et en les confrontant aux enregistrements d'installations expérimentales de l'Inra.

Objectifs et hypothèses

Notre but est de mettre en évidence d'éventuels changements de « calendriers agricoles » (parmi lesquels les dates de semis et récolte des cultures annuelles ainsi que les dates de fauche des prairies) des dernières décennies en utilisant des informations d'agriculteurs lorrains ayant gardé des enregistrements de leurs pratiques. Ensuite, il s'agira de mettre en évidence l'éventuelle part du changement climatique dans l'évolution de ces « calendriers agricoles ». Le changement climatique est appréhendé ici en termes d'augmentation globale des températures et de diminution du nombre de jours de gel en hiver.

D'après les informations bibliographiques citées en introduction, les hypothèses que nous faisons dans cette étude sont l'avancée des dates de certains chantiers agricoles¹ (dates de semis et récoltes des cultures) et une diminution du cycle des différentes cultures (nombre de jours entre la date de semis et la date de récolte).

Méthodologie

Le but principal de l'étude consiste à mettre en évidence une adaptation à long terme des pratiques agricoles face au changement climatique, en étudiant les dynamiques des pratiques des agriculteurs sur le long terme.

Nous avons mené cette étude en nous appuyant sur les données conservées par les agriculteurs ayant gardé trace de leurs pratiques en essayant de remonter autant que possible dans le temps, souvent depuis le début des années 80.

¹ Chantier est envisagé au sens classique en agronomie de la mise en œuvre d'une opération technique (travail du sol, semis, fauche, ...) sur l'ensemble de la sole de la culture concernée (Gras *et al.*, 1989). Ainsi, le chantier de semis du blé d'hiver est la mise en œuvre de l'ensemble des semis sur l'ensemble des parcelles constitutives de la sole de blé de l'exploitation.

Le plus souvent, les informations sont notées sur des agendas annuels ou calendriers (Schott *et al.*, 2015) mais il peut également s'agir de fiches parcellaires informatisées ou de cahiers de comptabilité étendus à des notations techniques. Les fiches parcellaires reconstituées à partir de ces données initiales brutes contiennent pour une parcelle donnée à une année donnée, la culture présente, les dates de semis et les dates de récoltes. On peut donc calculer la durée précise du cycle de culture de la culture présente sur cette parcelle.

Choix des cultures

Nous avons fait le choix de nous intéresser aux cultures annuelles. En effet, des études ont déjà été menées sur l'avancée des récoltes sur les cultures pérennes, notamment la vigne et les arbres fruitiers (Seguin, 2003 ; Barbeau *et al.*, 2015 dans ce numéro).

Dans notre cas, nous nous intéresserons au blé d'hiver et à l'orge d'hiver, tant en situation d'unité expérimentale Inra que sur des situations enquêtées en exploitations.

Saisie des données et préparation des tableaux de données

Les données brutes de chaque agriculteur enquêté ont dûes être saisies dans une base de données de synthèse (voir figure 4). En effet, le but était d'avoir les différentes dates d'intervention (semis et récolte) pour chaque année et pour chaque culture pour les différents agriculteurs. Ensuite, nous réalisons une moyenne des dates de semis et récolte pour l'ensemble de la sole d'une culture, pondérée par les surfaces de chaque parcelle. Les informations étant connues par parcelle permettent d'avoir aussi une évaluation de la variabilité de durée d'un chantier, information que nous n'avons pas traitée dans cet article.

agriculteur	annee	culture	variété	semis	julien semis	recolte	julien recolte	durée cycle
Lermet	77/78	blé	Talent	26/10/1977	298	19/08/1978	230	297
Lermet	77/78	blé	lutin top clement	20/10/1977	292	20/08/1978	231	304
Lermet	77/78	blé	lutin top clement	20/10/1977	292	23/08/1978	234	307
Lermet	77/78	blé	Talent	21/10/1977	293	20/08/1978	231	303
Lermet	77/78	colza	jet 9	13/09/1977	255	01/08/1978	212	322
Lermet	77/78	colza	jet 9	08/09/1977	250	05/08/1978	216	331
Lermet	77/78	Escourgeon	Hop	03/09/1977	245	22/07/1978	202	322
Lermet	77/78	Escourgeon	Hop	03/09/1977	245	27/07/1978	207	327
Lermet	78/79	blé	lutin florent top	18/10/1978	290	29/08/1979	240	315
Lermet	78/79	blé	talent	25/10/1978	297	31/08/1979	242	310
Lermet	78/79	BP	Sico Rex	12/04/1978	101	07/09/1978	249	148
Lermet	78/79	colza	jet 9	09/09/1978	251	29/07/1979	209	323
Lermet	78/79	colza	jet 9	09/09/1978	251	05/08/1979	216	330
Lermet	78/79	Escourgeon	Hop	03/10/1978	275	25/07/1979	205	295
Lermet	78/79	OH	sonja	05/10/1978	277	23/07/1979	203	291
Lermet	78/79	OP	Aramir	10/03/1978	68	17/08/1978	228	160
Lermet	79/80	blé	Arminda Rivoli top	08/10/1979	280	21/08/1980	233	318
Lermet	79/80	blé	Arminda Rivoli top	08/10/1979	280	29/08/1980	241	326
Lermet	79/80	blé	Talent	20/10/1979	292	26/08/1980	238	311
Lermet	79/80	colza	jet 9	04/09/1979	246	06/08/1980	218	337
Lermet	79/80	colza	jet 9	08/09/1979	250	08/08/1980	220	335
Lermet	79/80	colza	jet 9	08/09/1979	250	09/08/1980	221	336
Lermet	79/80	Escourgeon	Hop	25/09/1979	268	28/07/1980	209	306
Lermet	79/80	OH	sonja	25/09/1979	267	24/07/1980	205	303
Lermet	79/80	OH	sonja	25/09/1979	267	28/07/1980	209	307
Lermet	79/80	OP	Aramir	16/04/1979	105	14/08/1979	225	120
Lermet	79/80	OP	Aramir	10/04/1979	99	14/08/1979	225	126
Lermet	79/80	OP	Aramir	10/04/1979	99	23/08/1979	234	135

Figure 4 : Exemple de la base de données des dates de pratiques culturales de M Lermet

Données climatiques

Les modifications de calendriers agricoles sont confrontées à des données climatiques, afin d'estimer la part du changement climatique dans ces changements. Les données climatiques sont issues de la station météorologique de l'Inra à Mirecourt.

Méthodes de traitement des données

Une fois saisies (figure 4), les informations sur les dates d'intervention sur les cultures ont été analysées statistiquement. Afin de faciliter les calculs et tests statistiques, les dates des différents chantiers agricoles étudiés ont été transformées (via le logiciel Access) en jour julien (le premier janvier = 1, le 2 janvier = 2...). Nous avons donc choisi, tout d'abord, d'effectuer des tests de régression sur les dates des différents chantiers permettant d'instruire les calendriers agricoles, du semis à la récolte (dates de semis et récolte des différentes cultures). Les informations utilisées pour les tests de régressions sont issues de l'ensemble des agriculteurs enquêtés.

Des tests de Kruskal Wallis ont été effectués afin de faire une analyse de variance entre les différentes périodes pour chaque jeu de données. Le choix de cette méthode statistique est lié à une caractéristique des données traitées, leur non-normalité. Pour chaque jeu de données, les différentes périodes seront représentées ensuite sous forme de « boîte à moustaches ». Les différents tests statistiques sont calculés avec le logiciel « R ».

Résultats

Évolution de paramètres climatiques :

Le traitement des données thermiques de 1967 à 2008 sur la station météorologique de l'unité Inra de Mirecourt montre deux tendances :

- Une augmentation globale des températures (Figure 5)
- Une diminution du nombre de jours de gel hivernal (Figure 6).

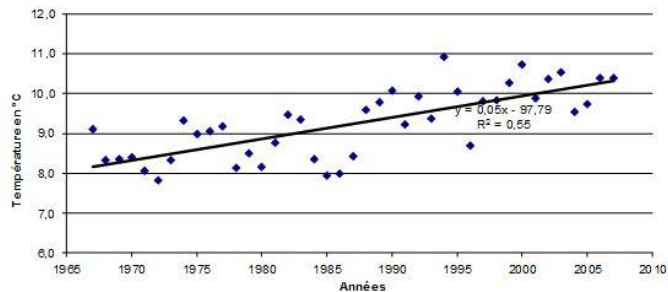


Figure 5 : Evolution des températures annuelles moyenne de la station météo de Mirecourt

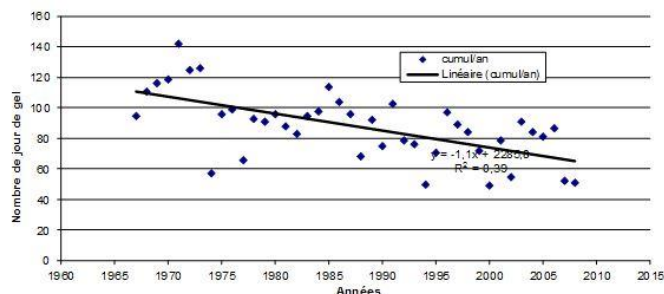


Figure 6 : Evolution du nombre de jours de gel par an à Mirecourt de 1967 à 2008

Les R² sont assez faibles car les variations inter annuelles sont importantes. Dans notre cas nous nous intéressons à l'évolution globale sur les trente dernières années.

Évolution des dates de semis et récoltes des céréales d'hiver

Le blé

En analysant l'évolution des dates de récolte du blé d'hiver chez les différents agriculteurs enquêtés, des tendances similaires se dégagent au cours du temps, que les agricul-

teurs exercent leur activité dans le « Barrois » ou dans le « plateau Lorrain sud ». (Figure 5). Les différences de fonctionnement entre exploitations ne se traduisent pas en différenciation des dates de moisson année après année, sur trois décennies.

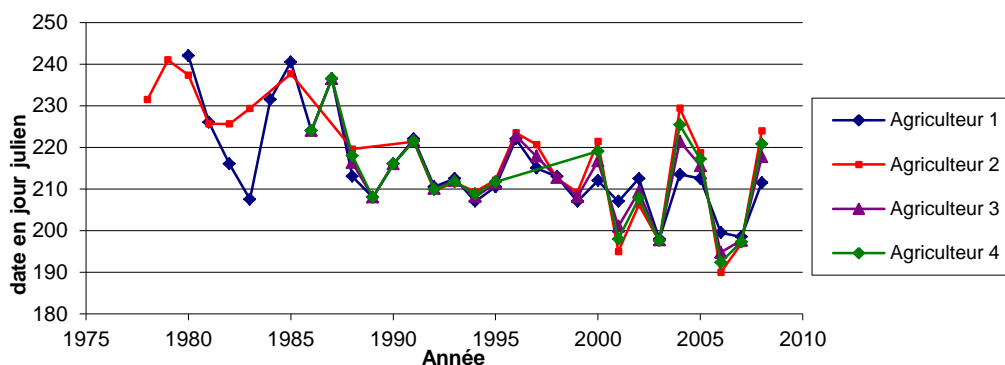


Figure 7 : Évolution des dates moyennes de récolte du blé chez les différents agriculteurs enquêtés

Nous observons une avancée tendancielle dans le temps des dates de récolte du blé d'hiver. Cependant, comme pour les évolutions thermiques, les variabilités interannuelles restent très fortes.

L'analyse de l'évolution comparée des dates de récoltes et de semis du blé d'hiver est réalisée par des tests de régression linéaire ainsi que des tests de Kruskal Wallis dont les résultats sont présentés figures 8 et 9. Ces figures représentent les évolutions des dates moyennes des chantiers et des écarts-types annuels entre les dates des différents agriculteurs enquêtés.

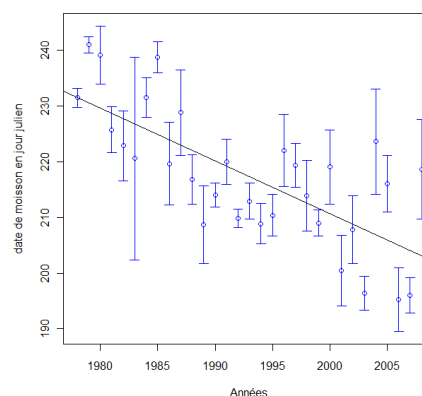


Figure 8b : résultat des tests de régression sur les dates de récolte du blé des différents agriculteurs enquêtés

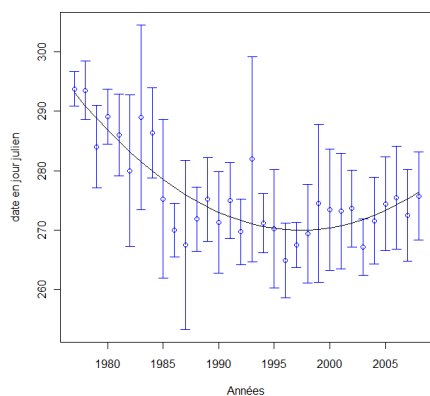


Figure 8a : résultat des tests de régression sur les dates de semis du blé des différents agriculteurs enquêtés

Les figures 8 a et b montrent une tendance générale à l'avancée significative des dates de récolte du blé sur notre période d'étude (les trente dernières années). Si l'on s'intéresse aux semis (figure 8a) on observe une avancée des dates moyennes jusqu'à la fin des années 80 (presque une vingtaine de jours sur une période de dix ans), puis apparaît un palier, puis un recul des dates moyennes de semis depuis le début des années 90. Pour le chantier des récoltes, l'avancée des dates se fait plutôt de manière continue (environ 3 semaines de décalage sur la période de trente ans), avec une variabilité interannuelle qui semble augmenter dans les dernières années.

Il est donc intéressant de séparer la période (1978 à 2008) en différentes périodes et faire une analyse de variance de dates dans ces différentes périodes. Nous avons donc décidé de séparer l'étude en trois périodes (années 80, années 90, années 2000).

L'avancée des dates de semis, entre les années 80 et les années 90, est significative (chi-squared = 24.36, df = 1, p-value = 7.96e-07) ainsi qu'entre les années 80 et les années 2000 (chi-squared = 20.19, df = 1, p-value = 7e-06). Cependant, entre les années 90 et les années 2000, les dates de semis sont significativement différentes mais sont reculées dans le temps (chi-squared = 4.21, df = 1, P-value = 0.04). (Figure 9a).

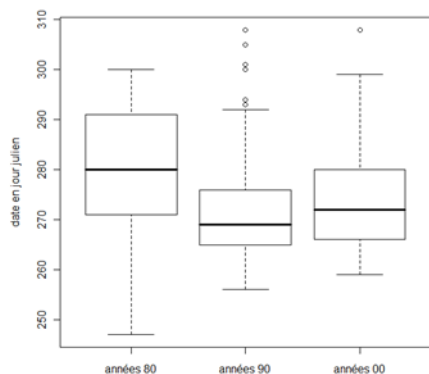


Figure 9a : représentation par boîte à moustache des dates de semis du blé d'hiver par périodes

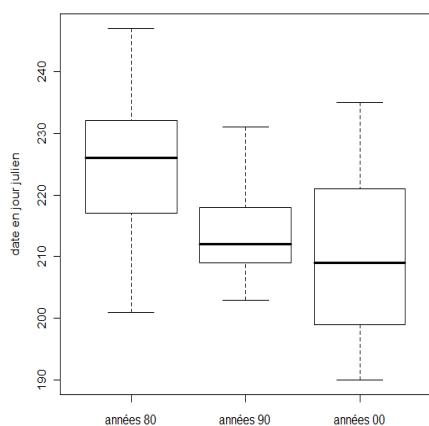


Figure 9b : représentation par boîte à moustache des dates de récolte du blé d'hiver par périodes

L'avancée des dates de moisson est significative entre les années 80 et 90 (chi-squared = 45.53, df = 1, p-value = 1.50e-11), également entre les années 90 et 00 (chi-squared = 7.22, df = 1, p-value = 0.007207) et donc entre les années 80 et 00 (chi-squared = 51.51, df = 1, p-value = 7.08e-13 (figure 9b)).

• L'orge d'hiver

Les résultats des calculs statistiques sur les dates de semis et de récolte de l'orge d'hiver sont assez similaires à ceux obtenus sur le blé d'hiver. En effet, les dates de semis semblent avancées sur la période « années 80 » puis un recul des dates de semis apparaît à partir des années 90. Les dates de récoltes sont, comme pour le blé d'hiver très significative-

ment anticipées et assez régulièrement sur toute la période d'étude (Figures 10a et 10b).

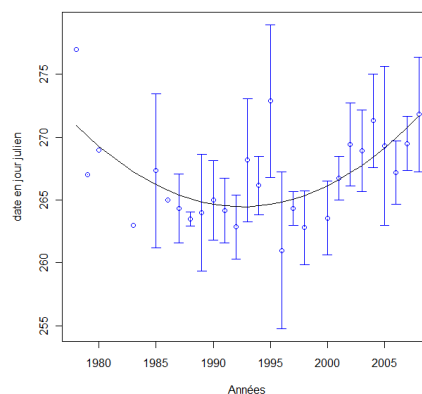


Figure 10a : résultat des tests de régression sur les données globales de semis de l'orge d'hiver des différents agriculteurs

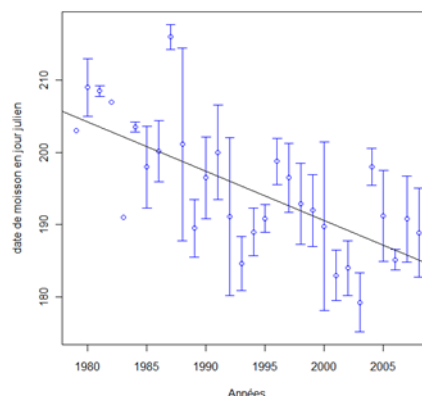


Figure 10b : résultat des tests de régression sur les données globales de récolte de l'orge d'hiver des différents agriculteurs enquêtés

Cependant, les tests de Kruskal Wallis sur les différentes périodes ne montrent pas de différences significatives entre les dates de semis globales de l'orge d'hiver entre les années 80 et les années 90. Ils montrent cependant une légère différence entre les dates de semis de l'orge d'hiver entre les années 90 et 00 vers le recul des dates. (Figure 11a). A l'opposé, l'avancée des dates de moisson est significative entre toutes les périodes : les années 80, 90, et 2000 (Figure 11b).

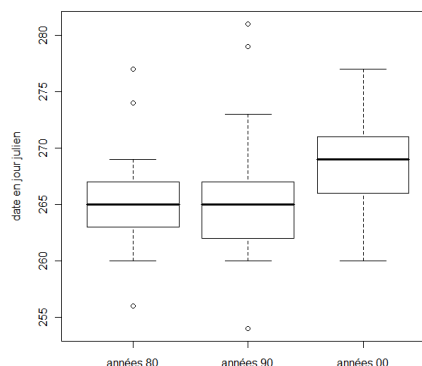


Figure 11a : Représentation par boîte à moustache des dates de semis de l'orge d'hiver par périodes

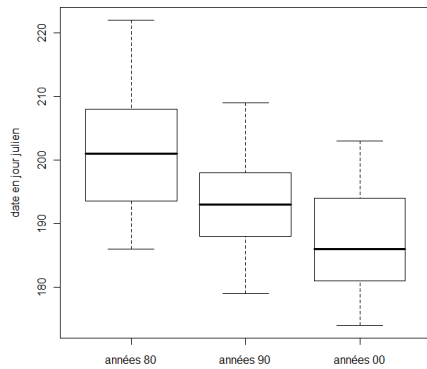
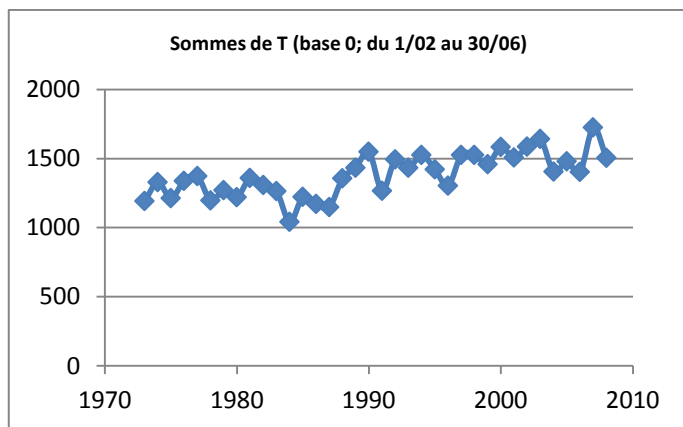


Figure 11b : Représentation par boîte à moustache des dates de semis de l'orge d'hiver par périodes

Durée des cycles de cultures

Le recul des dates de semis n'entraîne pas un recul des dates de récolte : les dates de récoltes continuent d'avancer. Comme les différentes variétés de blé et d'orge cultivées lors de ces quatre décennies sont, à des degrés divers, sensibles à la photopériode, la forte avancée des dates de récolte observée peut être due à deux faits : le démarrage plus précoce de la reprise de végétation en sortie d'hiver, et l'augmentation des sommes de température pendant la période de végétation. Comme nous n'avons pas d'observations historiques sur la date de reprise de végétation en sortie d'hiver, nous ne pouvons conclure entre ces deux causes climatiques. Nous encourageons fermement les agronomes à noter ces diverses phases végétatives dans leurs observations agronomiques sous diverses conditions climatiques et sur le long terme.

Du coup, pour bien estimer l'effet du changement climatique, c'est plutôt le raccourcissement de la partie du cycle à partir de la reprise de végétation sortie hiver qu'il nous faudrait considérer. Dans notre cas, les sommes de températures entre le 1^{er} février et la fin juin ont connu une nette tendance haussière comme le montre le graphique 11c. Entre la décennie 1973-1983, et la décennie 1998-2008, les sommes de températures s'accroissent de plus de 200 °J. Ce réchauffement du climat dans la période de végétation post hivernale des céréales est cohérent avec l'avancée des dates de récoltes : le blé et l'orge atteignent leur maturité de façon plus précoce.



Graphique C : évolution des sommes de températures du 1^{er} février au 30 juin (en base 0) Station météorologique Inra Mirecourt

Évolution de la durée des cycles de culture

Globalement, sur notre période d'étude, de 1978 à 2008, les dates de semis des cultures ont été légèrement avancées pour le blé d'hiver et reculées pour l'orge d'hiver alors que les dates de récolte des deux cultures ont connu une forte avancée.. La figure 12 nous montre la dynamique de la durée globale du cycle de culture de l'orge d'hiver au cours de notre période d'étude. Celle-ci a été réduite d'environ trois semaines sur la période de trente ans et semble diminuer de manière assez continue.

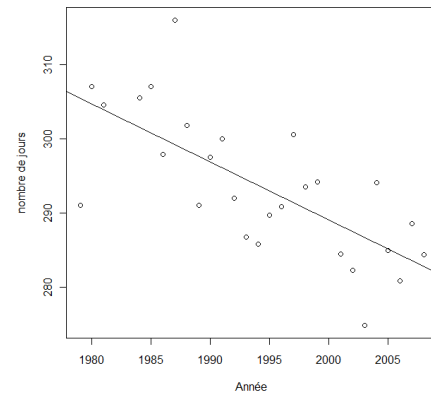


Figure 12 : résultat des tests de régression sur l'évolution de la durée du cycle végétatif de l'orge d'hiver

Comparaison avec les résultats obtenus en unité expérimentale

Les résultats d'une étude précédente (De la Torre, Benoît, 2003) sur l'évolution des dates de semis et récolte des différentes cultures dans les exploitations expérimentales de l'INRA, nous a permis de disposer de séries chronologiques de 1967 à 2003. Dans le cas des céréales d'hiver (blé et orge) les évolutions sont très similaires à celles que nous obtenons chez les agriculteurs lorrains enquêtés (figures 13 a et 13b).

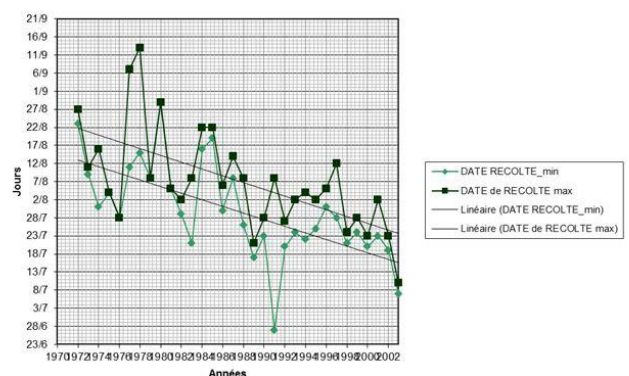


Figure 13 a : Evolution des dates de récolte du blé d'hiver à l'INRA de Mirecourt de 1968 à 2003 : par année, parcelle la plus précocement récoltée, la plus tardivement, et ajustement linéaire sur les parcelles les plus précocement et tardivement récoltées. Source (De la Torre, Benoît, 2003)

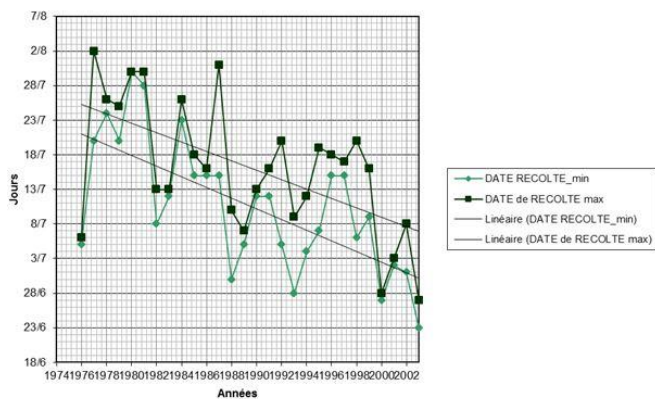


Figure 13 b : Evolution des dates de récolte de l'Orge d'hiver à l'INRA de Mirecourt de 1968 à 2003. Par année, parcelle la plus précocement récoltée, la plus tardivement, et ajustements linéaires sur les parcelles les plus précocement et tardivement récoltées. Source (De la Torre, Benoit, 2003)

Discussion

Les résultats des analyses réalisées sur les données issues des enquêtes auprès des agriculteurs montrent une tendance globale à l'avancée des dates de semis mais surtout des dates de récoltes des cultures étudiées (blé et orge d'hiver), se traduisant par une diminution des cycles de culture de ces cultures. La faiblesse des R^2 calculée résulte d'une forte variation interannuelle des dates de chantiers agricoles. En effet, les dates d'intervention dans les champs sont très dépendantes des conditions météorologiques du moment. Cependant les évolutions possibles de ces variabilités n'ont pu être étudiées car le nombre d'années est trop faible pour instruire cette possible dynamique des variabilités interannuelles.

D'autre part, les résultats sont très proches entre ceux obtenus en parcelles d'exploitations enquêtées, et ceux obtenus sur les parcelles non soumises à un protocole expérimental de l'unité expérimentale de Mirecourt.

Plusieurs facteurs pourraient être à l'origine de cette avancée des dates de semis et récoltes des cultures étudiées ainsi que de la réduction de la longueur de leur cycle. Nous essayons de mettre en évidence la part du changement climatique dans ces changements de calendriers agricoles.

Co-variables explicatives de la modification des calendriers agricoles

• Avancée de la récolte du précédent dans les successions culturales

Les successions culturales créent très souvent des couples « blé d'hiver-orge d'hiver » (Xiao et al., 2014) dans la région plateau lorrain. L'avancée des récoltes du blé d'hiver permettent ainsi de disposer d'une période de plus en plus longue pour implanter l'orge d'hiver, ce qui permettrait aux agriculteurs de mieux saisir les opportunités climatiques favorables. Ainsi les avancées successives des calendriers sur une culture de la succession de culture donnent des degrés de liberté pour le calendrier agricole de la culture suivante.

• Évolution des variétés cultivées

La plupart du temps, chez les agriculteurs enquêtés, lorsqu'on leur demande leur avis sur les facteurs explicatifs de l'avancée des dates de semis et récoltes des cultures et de la

réduction des cycles de cultures de celles-ci, l'argument principal qu'ils mettent en avant est l'évolution des variétés utilisées. Pour eux, les variétés utilisées sont de plus en plus précoces, ce qui expliquerait la diminution des cycles de cultures des cultures étudiées.

Cependant, il est impossible de retenir cette hypothèse. En effet, il n'existe pas sur les céréales d'hiver, contrairement au maïs, d'indice de précocité. Les différentes variétés de ceux-ci, sont classées par « type » de précocité (précoce, demi précoce, tardive...). Depuis les années 80, il a toujours existé ces types de précocité et on ne connaît pas d'évolution génétique à l'intérieur de chaque classe (Masle-Meynard, 1981).

• Impact du conseil

La plupart des agriculteurs sont au cœur de réseaux de conseil (chambre d'agriculture par exemple). Il est très probable que l'influence des conseillers agricoles soit un des facteurs explicatifs du changement des calendriers agricoles des semis. En effet, le recul des dates de semis sur les années récentes pourrait bien être la conséquence d'une volonté, de la part des conseillers, de faire retarder les dates de semis des céréales d'hiver afin de limiter les développements des adventices en fin d'été - début d'automne, responsables de compétitions avec les cultures.

Cependant, le graphique sur la comparaison des dates de récolte des céréales d'hiver chez les différents agriculteurs enquêtés nous montre bien que des agriculteurs n'appartenant pas au même réseau de conseil voient évoluer de la même manière leurs dates de récolte du blé, même en retardant leurs dates de semis sur la décennie 2000.

• Évolution des autres techniques des itinéraires techniques

Les itinéraires techniques des différents agriculteurs enquêtés ont certainement évolué pendant les trente dernières années notamment dans les apports azotés (Mignolet, 2004). Il aurait pu être intéressant de prendre en compte cette évolution. Cependant, les apports azotés n'affectent pas, de manière sensible, le déroulement du développement du blé d'hiver. Celui-ci constitue une trame très stable dans une région donnée, fixée par les facteurs climatiques (Masle-Meynard, 1981).

En effet, les apports azotés affectent la croissance des végétaux (remplissage des grains, hauteur de paille, longueur des feuilles) mais pas leur développement (stades phénologiques). De plus, si l'on regarde l'évolution des dates de récolte du blé chez les différents agriculteurs enquêtés (Figure 5), on s'aperçoit que des agriculteurs avec des itinéraires techniques différents voient évoluer leurs dates de moisson du blé d'hiver de manière très sensiblement identique.

• Le climat

Le changement climatique en cours semble bien être un des facteurs à l'origine des modifications de dates d'intervention, semis et surtout récolte, dans les cultures ainsi que de le raccourcissement des durées des cycles de cultures des cultures étudiées tant en unité expérimentale que chez les agriculteurs enquêtés.

En effet, nous avons montré en figure 5 l'augmentation globale des températures grâce aux données de la station climatologique de l'INRA à Mirecourt, et l'augmentation des sommes de températures au cours des saisons de développement des céréales d'hiver induit un raccourcissement de la durée de leur cycle végétatif (Masle-Meynard, 1981). Le recul des dates de semis mesuré n'entraîne pas un recul des dates de récolte : les dates de récoltes continuent d'avancer. Comme les différentes variétés de blé et d'orge cultivées lors de ces quatre décennies sont, à des degrés divers, sensibles à la photopériode, la forte avancée des dates de récolte observée peut être due à deux faits : le démarrage plus précoce de la reprise de végétation en sortie d'hiver, et l'augmentation des sommes de température pendant la période de végétation. Comme nous n'avons pas d'observations historiques sur la date de reprise de végétation en sortie d'hiver des céréales, nous ne pouvons conclure entre ces deux causes climatiques.

L'enjeu de l'obtention des informations agricoles

Une des contraintes les plus importantes de cette étude a été le temps alloué à l'obtention et la saisie des informations sur les dates de pratiques enregistrées par les agriculteurs. En effet, il a fallu beaucoup de temps pour trouver les réseaux d'agriculteurs, puis les agriculteurs ayant enregistré leurs informations (Schott et al, 2014). De plus, aucun agriculteur n'archive ses informations de la même manière, ce qui nécessite un temps conséquent pour saisir et rendre les données exploitables (Joly, 1997).

Il serait souhaitable, étant donné l'évolution des pratiques agricoles, de mettre en place un système de mémorisation sécurisée de celles-ci. Étant donné l'obligation pour les agriculteurs de noter depuis peu les informations concernant les intrants appliqués sur leurs parcelles (fertilisation, produits phytosanitaires), nous proposons une généralisation de l'enregistrement des pratiques culturales. L'utilisation d'une même base de données pour tous les agriculteurs faciliterait la mémorisation et le partage des différentes pratiques agricoles. De plus, les données seraient par la suite plus facilement exploitables pour les futures études visant à mettre en évidence les évolutions de pratiques agricoles avec les futures tendances des dérégulations climatiques.

Conclusion

Ce travail propose une chaîne de tâches permettant la mise en évidence d'un changement dans les dates de certaines pratiques agricoles sur une période de trente ans grâce aux informations d'agriculteurs ayant pris soin de noter et de conserver la trace de leurs pratiques. Cette activité de mémorisation et d'archivage de l'information agronomique concernant les pratiques agricoles est primordiale (Mazé et al., 2004).

Cette démarche a permis de montrer une modification dans les calendriers de certains chantiers agricoles lors des trois dernières décennies notamment les dates de semis et de récoltes des céréales d'hiver (blé et orge d'hiver). On remarque une avancée des dates de semis des céréales d'hiver jusque dans les années 90 qui connaissent ensuite un recul depuis le milieu des années 90 pour des raisons agronomiques essentiellement liées aux maîtrises des adventices.

Les dates de récoltes, elles, ne font qu'être avancées depuis trente ans, traduisant un raccourcissement du cycle de ces différentes cultures. Étant donnée la forte variabilité intra et inter-annuelle des dates d'intervention dans les cultures, nous nous sommes intéressés aux tendances globales d'évolution de ces dates.

Les facteurs explicatifs de ces modifications peuvent être multiples. Comme les différentes variétés de blé et d'orge cultivées lors de ces quatre décennies sont, à des degrés divers, sensibles à la photopériode, la forte avancée des dates de récolte observée peut être due à deux faits : le démarrage plus précoce de la reprise de végétation en sortie d'hiver, et l'augmentation des sommes de température pendant la période de végétation. Ainsi, deux hypothèses sont maintenant à tester pour expliquer les tendances nettes que nous avons montrées :

- L'augmentation globale des températures observées appuyée par les travaux d'agronomie sur la phénologie du développement des céréales indiquant clairement l'impact des sommes de températures sur la durée du cycle de développement des céréales d'hiver.

- La reprise plus précoce de la végétation des céréales, avec une sortie de période hivernale plus précoce et un développement en deuxième partie de cycle plus rapide, du fait de l'augmentation des températures. Pour avancer sur ce thème, nous encourageons fermement les agronomes à noter ces diverses phases végétatives dans leurs observations agronomiques sous diverses conditions climatiques et sur le long terme, tant dans les expérimentations en stations de recherche, que dans les suivis d'expérimentation chez les agriculteurs, in situ.

Le travail présenté ici peut être considéré comme un travail d'« exploration » sur un sujet encore trop peu abordé par les agronomes et concerne les évolutions des conduites des couverts annuels par les agriculteurs qui adaptent au fil des ans, leurs pratiques au changement climatique.

Références bibliographiques

Alexandrov, V.A. & Hoogenboom, G. (2000) The impact of climate variability and change on crop yield in Bulgaria. *Agricultural and forest Meteorology*, **104**, 315-27

Benoît, M., Fournier, T. (2012). Global climate changes and local changes in cropping systems : cropping system calendar changes in Lorraine (F) due to climate changes [Abstract]. ESA 2012 Helsinki (FIN). In : 12. Congress of the European Society of Agronomy. Helsinki (FIN) : University of Helsinki (Department of Agricultural Sciences publications, 14), 2012 :124-127.

De la Torre, C. & Benoît, M. (2003) Changement climatique et observations à long terme en Unités Expérimentales : évolution des pratiques agricoles et des réponses physiologiques des couverts végétaux. *Document de travail de la station INRA de Mirecourt*. 47 pages.

Droogers, P. (2004) Adaptation to climate change to enhance food security and preserve environmental quality: example for southern Sri Lanka. *Agricultural water management*, **66**, 15-33.

- Easterling, D., Horton, B., PhilipD., J., Peterson, T., Karl, T., Parker, D., Salinger, M.J., Razuvayev, V., Plummer, N., Jamason, P. & Folland, C. (1997) Maximum and minimum temperature trend for the glob. *Science*, **277**.
- Easterling, W., Chhetri, N. & Niu, X. (2003) Improving the realism of modeling agronomic adaptation to climate change: Simulating technological substitution. *Climatic Change*, **60**, 149-73.
- Forchhammer, M.C., Post, E. & Stenseth, N.C. (2002) North Atlantic Oscillation timing of long- and short-distance migration. *Journal of Animal Ecology*, **71**(1002-1014).
- Gras R., Benoît M., Deffontaines J-P., Duru M., Lafarge M., Langlet A., Osty P-L., 1989. *Le fait technique en agronomie. Activité agricole, concepts et méthodes d'étude*. Coéd. INRA-L'Harmattan, 160 pages.
- IPCC. (2007a). Assessment of observed changes and responses in natural and managed systems. In: Parry, M.L, Canzani, O.F., Palutikof J.P., van der Linden, P.J. Hanson, C.E. (Eds) *Climate Change 2007: impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge. UK.
- IPCC. (2007b). Mitigation of climate change. In *Fourth assessment report*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge. UK.
- Joly, N.(1997). *Écritures du travail et savoirs paysans. Aperçu historique et lecture de pratiques. Les agendas des agriculteurs*. Thèse de doctorat, Université Paris X, Nanterre.
- Kaukoranta, T. & Hakala, K. (2008) Impact of spring warming on sowing times of cereal, potato and sugar beet in Finland. *Agricultural and food science*, **17**, 165-76.
- Laaksonen, T., Ahola, M., Eeva, T., Väisänen, R.A. & Lehtiköinen, E. (2006) Climate change, migratory connectivity and changes in laying date and clutch size of the pied flycatcher. *OIKOS*, **114**, 277-90.
- Mann, M., Bradley, R. & Hughes, M. (1998) Global-scale temperature patterns and climate forcing over the past six centuries. *Nature*, **392**, 779-87.
- Masle-meynard, J. (1981) Relation between Growth and Development of a Winter-Wheat Stand During Shoot Elongation - Influence of Nutrition Conditions. *Agronomie*, **1**(5), 365-74.
- Mazé, A., Cerf, M., Le Bail, M., Papy, F.(2004). Entre mémoire et preuve : le rôle des écrits dans les exploitations agricoles. *Natures Sciences Sociétés*, **12**, 1, 18-29.
- Meza, F.J., Silva, D. & Vigil, H. (2008) Climate change impact on irrigated maize in mediterranean climates: Evaluation of double cropping as an emerging adaptation alternative. *Agricultural systems*, **98**, 21-30.
- Mignolet, C. (2004) Spatial dynamics of agricultural practices on a basin territory: a retrospective study to implement models simulating nitrate flow. The case of the Seine basin. *Agronomie*, **24**, 219-36.
- Parry, M. (2002) Scenarios for climate impact and adaptation assessment. *Global environmental change*, **12**, 149-53.
- Reid, S., Smit, B., Caldwell, W. & Belliveau, S. (2007) Vulnerability and adaptation to climate risks in Ontario agriculture. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, **12**, 609-37.
- Risbey, J., Kandlikar, M. & Dowlatabadi, H. (1999) Scale, context, and decision making in agricultural adaptation to climate variability and change. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, **4**, 137-65.
- Rubolini, D., Ambrosini, R., Caffi, M., Brichetti, P., Armiraglio, S. & Saino, N. (2007) Long-term trends in first arrival and first egg laying dates of some migrant and resident bird species in northern Italy. *International Journal of Biometeorology*, **51**(6), 553-63.
- Schott C., Barataud F., Mignolet C., 2014. Les "carnets de plaine" des agriculteurs: une source d'information sur l'usage des pesticides à l'échelle de bassins versants. *Agronomie, Environnement & Société*. **4-2**), , 23-29.
- Schimmelpfennig, D., Lewandowski, J., Reilly, J., Tsigas, M. & Parry, I. (1995) *Agricultural adaptation to climate change: Issues of Long Run Sustainability*, AER 740, Econ. Res. serV, USDA.
- Seguin, B. (2003) Adaptation des systèmes de production agricole au changement climatique. *C. R. Geoscience*, **335**, 569-75.
- Sombroek, W.G. & Gommers, R. (1997). L'énigme: changement de climat-agriculture. In *Document archive de la FAO*.
- Tryjanowski, P., Kuzniak, S. & Sparks, T. (2002) Earlier arrival of some farmland migrants in western Poland. *Ibis*, **144**(1), 62-68.
- Vergara, P., Aguirre, J.I. & Fernandez-Cruz, M. (2007) Arrival date, age and breeding success in white stork *Ciconia ciconia*. *Journal of Avian Biology*, **38**(5), 573-79.
- Xiao, Y, Mignolet, C., Mari, J.-F., Benoit, M. (2014). . Modeling the spatial distribution of crop sequences at a large regional scale using land-cover survey data : A case from France. *Computers and Electronics in Agriculture* (102), 51-63. DOI : 10.1016/j.compag.2014.01.010
- Zalakevicius, M., Bartkeviciene, G., Raudonikis, L. & Janulaitis, J. (2005). Spring arrival response to climate change in birds: a case study from eastern Europe. In *Conference on Optimality in Bird Migration*, pp. 326-43. Springer, Wilhelms-haven, GERMANY.

REMERCIEMENTS

Nous remercions particulièrement les agriculteurs du CETA du Val de Saulx (55), et de la petite région de Neufchâteau (88), pour avoir conservé précieusement leurs pratiques de cultures notées sur des carnets, calendriers ou cahiers d'écoliers et de nous avoir confiés leurs mémoires de travail. Nous associons à ces remerciements Claude Bazard, Louis Echampard, Jean-Louis Fiorelli & Jean-Marie Trommenschlager de l'unité Inra SAD Aster à Mirecourt pour leur aide précieuse.