



HAL
open science

Potentiel de déplacement géographique des cultures et des essences forestières

Eric Lebon, Vincent V. Badeau

► **To cite this version:**

Eric Lebon, Vincent V. Badeau. Potentiel de déplacement géographique des cultures et des essences forestières. Changement climatique, agriculture et forêt en France: simulations d'impacts sur les principales espèces. Le Livre vert du projet CLIMATOR (2007-2010), ADEME Editions, 2010, 978-2-35838-128-4. hal-02816568

HAL Id: hal-02816568

<https://hal.inrae.fr/hal-02816568v1>

Submitted on 6 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.

D

Les régions



Les régions

D

Cette partie décline, pour sept zones géographiques, les principaux résultats obtenus sur les cultures les plus emblématiques de ces périmètres, proposant ainsi une approche territoriale des impacts agricoles et forestiers du changement climatique.

- **D1 - Géoclimat**
- **D2 - Centre-Nord :**
Centre / Champagne-Ardenne / Île-de-France / Nord-Pas-de-Calais / Haute-Normandie / Picardie
- **D3 - Ouest :**
Bretagne / Basse-Normandie / Pays de la Loire
- **D4 - Nord-Est :**
Alsace / Bourgogne / Franche-Comté / Lorraine
- **D5 - Centre-Est :**
Auvergne / Limousin / Rhône-Alpes
- **D6 - Sud-Ouest :**
Aquitaine / Midi-Pyrénées / Poitou-Charentes
- **D7 - Sud-Est :**
Languedoc-Roussillon / Provence-Alpes-Côte-d'Azur
- **D8 - Antilles :**
Guadeloupe / Martinique

Les zones géographiques ont été constituées par regroupement de régions administratives, dans un souci de cohérence agricole et climatique.

Les résultats sont issus de un à trois sites par zone géographique, de telle sorte qu'ils se situent davantage dans une logique d'illustration que de représentativité spatiale *stricto sensu*.



Potentiel de déplacement géographique des cultures et des essences forestières

D1

Géoclimat

Éric Lebon, Vincent Badeau

A Introduction

Le déplacement géographique des cultures constitue la stratégie « ultime » d'adaptation* des systèmes de production agricoles et forestiers au changement climatique*. Il pourrait répondre à des modifications majeures des potentialités agroclimatiques régionales. Son impact* socio-économique et environnemental sera important, mais on peut s'attendre à de fortes disparités régionales selon le niveau de spécialisation et les caractéristiques des filières de production dominantes.

L'objectif de cette fiche est de présenter l'ampleur attendue de ces déplacements, au travers de l'étude de l'impact du changement climatique sur un choix de filières représentatives de la diversité des productions végétales, et de dégager quelques spécificités par grand type de production.

Cette fiche reprend, par certains aspects, la fiche ATOUTS ET VULNÉRABILITÉS (mais sans prendre en compte la notion de rendement* prise au sens économique du terme et sans entrer dans les détails physiologiques), ainsi qu'une partie de l'information des fiches CULTURES.



B Concepts, mécanismes et variables utilisés

L'approche retenue s'appuie sur une analyse des facteurs limitants de la production (faisabilité*, rendement de la culture et/ou la qualité de la production) pour des terrains de plaine, donc sans prise en compte du relief qui peut être déterminant sur les cultures (la vigne, par exemple). Au niveau thermique, l'élévation attendue de la température va engendrer une modification de la phénologie* des cultures avec, comme conséquences attendues, une modification (i) de la durée favorable au développement de la culture, (ii) de la durée des phases de développement*, (iii) des indices thermiques qui traduisent certaines spécificités physiologiques. Sur un plan hydrique, la baisse des précipitations et l'accroissement de la demande climatique* seront responsables d'une augmentation de l'intensité et de la durée des stress hydriques* (cf. fiche EAU). Ces mécanismes sont analysés au travers d'indicateurs agroclimatiques classiques, exprimant les besoins thermiques (cf. fiche TIMING), le niveau de satisfaction des besoins en eau (cf. fiche EAU) et les conditions thermiques rencontrées pendant certaines phases critiques du cycle* de la culture. Enfin, l'analyse prend en compte ou non les effets directs et indirects induits par les concentrations en CO₂ (cf. fiche FORÊT).

C Déplacement des systèmes de culture* : à quoi peut-on s'attendre ?

Une première analyse des résultats de nos simulations révèle un tableau contrasté selon les types de productions et leur dynamique temporelle. Pour la majorité des systèmes de production, les zones de culture actuelles devraient être conservées grâce à l'utilisation de variétés permettant de repositionner le cycle végétatif et/ou l'adaptation des pratiques culturales et le choix des types de sols. En revanche, pour certains systèmes tels que les cultures annuelles estivales et les cultures pérennes, la question d'un repositionnement géographique est clairement posée.

Des systèmes dont la distribution spatiale serait peu impactée

Ces systèmes correspondent à des productions pour lesquelles l'élaboration des composantes du rendement a lieu pendant les intersaisons (printemps, automne), comme les cultures d'hiver ou les cultures fourragères. Les effets négatifs du changement climatique durant la période estivale sont compensés par un allongement de la durée du cycle au printemps et/ou en automne.

Dans le cas de la production de blé, les simulations effectuées suggèrent un maintien voire un accroissement de la faisabilité de la culture et des rendements sur quasiment l'ensemble du territoire national. Les scénarios (scénarios d'émissions et méthodes de régionalisation*) sur lesquels nous avons travaillé ne semblent pas devoir remettre en cause la distribution géographique actuelle des régions productrices. On note, en outre, que la culture de blé pourrait permettre de valoriser les sols sensibles aux excès d'eau de la façade Ouest.

Dans le cas des productions fourragères, le changement climatique pourrait conduire tout au plus à une augmentation des rendements de 5 à 20 %, en raison d'un allongement de la période de production aux intersaisons. Cette augmentation serait plus importante pour la fétuque dans les régions de l'Est que dans l'Ouest et le Sud, où la diminution progressive des précipitations se traduirait par un accroissement du déficit hydrique estival.

La culture du tournesol reste possible sur l'ensemble des sites* étudiés avec des rendements plutôt en hausse et une remontée possible des variétés à cycle long dans les régions Nord et Est. Sa culture n'est cependant pas remise en question dans les régions Sud.

Des systèmes dont la distribution spatiale serait fortement impactée

Cet ensemble regroupe des systèmes aussi différents que la maïsiculture, la viticulture et la production forestière, pour lesquelles les conditions climatiques estivales jouent un rôle déterminant dans l'élaboration du rendement, de la qualité voire pour la pérennité de la culture (forêt).

Cas des cultures annuelles : exemple du maïs

La maïsiculture, dans sa répartition géographique actuelle, devrait être fortement impactée par le changement climatique. Celui-ci engendrerait, d'une part, des pertes de rendements significatives, induites par le raccourcissement du cycle végétatif (-1 t.ha⁻¹ pour le FP*) et, d'autre part, des besoins accrus en eau (environ 50 mm en moyenne dans le FP). Face à ce constat, une relocalisation de cette culture dans le nord de la France, où les conditions thermiques deviendront progressivement favorables, et l'adoption de variétés à cycle long devraient permettre de maintenir voire d'augmenter les rendements, sous réserve d'une disponibilité suffisante des ressources en eau. Cette stratégie pourrait compenser l'utilisation de variétés à cycles courts, moins exigeantes en eau, dans le Sud-Ouest.

Cas des cultures pérennes

Pour les espèces pérennes ligneuses, comme pour les autres productions, le changement climatique se traduira par un déplacement des zones de production vers le nord. Ces systèmes sont néanmoins contraints :

- d'une part, par des facteurs indépendants de la production *stricto sensu* comme une spécialisation régionale forte (structures de production, savoir-faire, lien culturel, paysages et terroir) et le besoin de garantir des services non directement marchands (maintien de la biodiversité, régulation et purification de l'eau, protection des sols, contrôle des feux, régulation climatique régionale, récréation, etc.) ;
- d'autre part, par un besoin d'anticipation plus fort que pour les cultures annuelles (rotations* de ~30 ans pour la vigne, ~100 ans pour la forêt).



Exemple de la vigne

La structure des modèles utilisés dans le cadre du projet ne permet pas de prendre en compte les pentes. En conséquence, les résultats présentés ici doivent être nuancés pour les régions viticoles en situation de coteaux. Par ailleurs, le niveau de faisabilité calculé dans cette étude pour le passé récent peut sensiblement différer de celui effectivement observé. C'est en particulier le cas des vignobles situés en limite nord de la zone de culture, pour lesquels la station météorologique de référence utilisée, située en dehors de l'aire viticole, peut ne pas rendre compte des effets climatiques locaux liés à la topographie du vignoble.

La vigne est une production qui présente de très fortes spécificités régionales (mode de production, type de produit), en lien avec les caractéristiques pédoclimatiques (au sens de terroir) de chaque zone. Le fait le plus marquant relevé par l'étude est une évolution majeure de la distribution des zones de production potentielles sous l'effet de l'accroissement généralisé du potentiel thermique (fig. 1). Ce phénomène se manifeste, pour le FP, par une augmentation de l'indicateur faisabilité qui devient >80 % dans les régions traditionnellement situées en limite nord de production (Dijon, Colmar) et une extension possible de la viticulture vers les stations plus septentrionales (Rennes, Versailles, Mons et Mirecourt) pour le FL*.

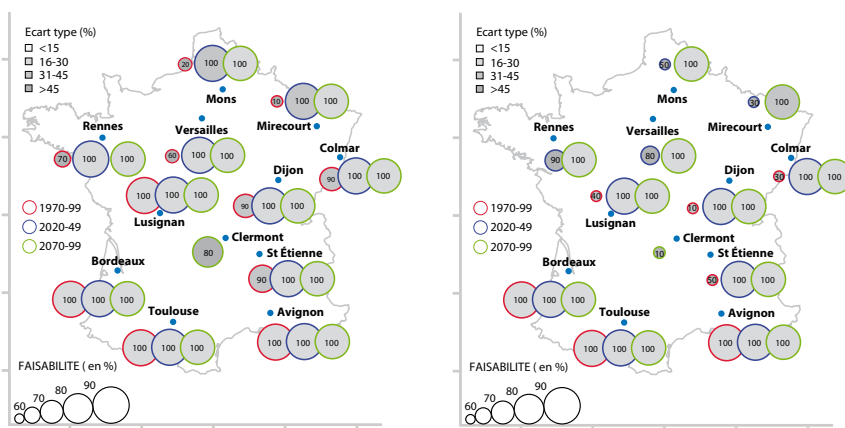


Figure 1 : faisabilité de la culture d'une variété précoce de vigne (cépage chardonnay, à gauche) et d'une variété méditerranéenne plus tardive (cépage grenache noir, à droite) pour les périodes PR (rouge), FP (bleu) et FL (vert), modèle STICS, méthode de régionalisation TT.

Cet accroissement des potentialités thermiques va également conduire à une modification de la distribution géographique des cépages traditionnellement attachés à des zones de production bien définies (AOC). Les simulations réalisées montrent que la culture du chardonnay, cépage précoce, va devenir possible sur l'ensemble des stations étudiées dans le futur lointain, alors qu'un cépage méditerranéen comme le grenache noir pourra être cultivé jusqu'à la limite nord actuelle de culture de la vigne (fig. 1). Au-delà de nouveaux «périmètres thermiques», les zones réellement cultivées se détermineront en fonction de paramètres complémentaires, tels que les propriétés physiques des sols qui impactent la qualité et la typicité des vins.

L'augmentation des températures nocturnes pendant la période de maturation dans les régions méridionales pourrait constituer une limite au maintien du potentiel qualitatif de ces régions. Des températures minimales moyennes durant le mois de septembre (indice de fraîcheur des nuits) supérieures à un seuil voisin de 14 °C limiteraient l'accumulation des composés phénoliques et aromatiques de la baie de raisin (Tonietto et Carbonneau, 2004). Les simulations de cet indice réalisées sur les sites viticoles pour les périodes PR, FP et FL montrent que cette valeur seuil est dépassée pour la période FP à Avignon et dépassée pour la période FL à Bordeaux, Toulouse et Avignon (fig. 2). Ce dernier site représentatif de la zone méditerranéenne atteint des valeurs d'indice de fraîcheur des nuits supérieures à 18 °C, ce qui le rapproche des températures observées aujourd'hui dans les zones viticoles les plus chaudes (ex : Malaga en Espagne ; Haïfa en Israël).

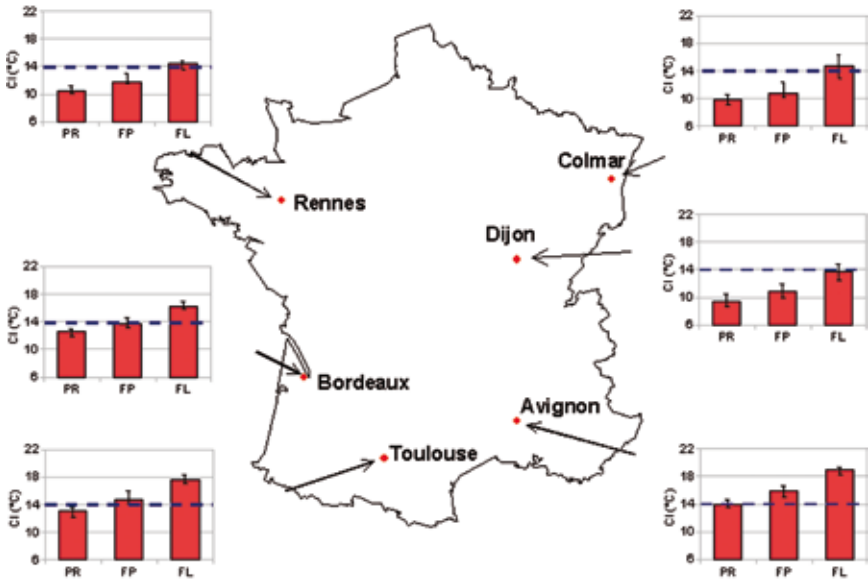


Figure 2 : évolution de l'indice de fraîcheur des nuits (CI) (Tonietto et Carbonneau, 2004) dans des sites viticoles pour les 3 périodes : passé récent (PR), futur proche (FP) et futur lointain (FL). Le trait horizontal discontinu illustre le seuil de l'indice CI au-delà duquel l'accumulation des composés phénoliques et aromatiques est limitée. Méthode de régionalisation QQ.

Enfin, l'accentuation des besoins en eau pour maintenir les conditions actuelles implique un accès à la ressource, qui peut passer par une relocalisation du vignoble à une échelle régionale ou plus localement en fonction des types de sol, ou bien par le développement d'infrastructures hydrauliques.

Exemple de la forêt

Les simulations réalisées montrent, tous scénarios et méthodes de régionalisation confondus, (i) une augmentation du stress hydrique dès le futur proche ; (ii) une diminution de la productivité potentielle du pin maritime sur les 12 sites et (iii) une forte évolution de la distribution potentielle des essences. Ces résultats sont convergents en ce qui concerne une progression potentielle vers le nord des climats méditerranéen et aquitain, au détriment des influences océanique, continentale et montagnarde. Ces tendances modifient le contour des aires potentielles de distribution des essences. À titre d'exemple, le hêtre tend à régresser à partir de marges sud et ouest, puis de façon générale (fig. 3a), alors qu'à l'inverse, le chêne vert pourrait se développer dans la moitié nord de la France dans le futur lointain (fig. 3b).

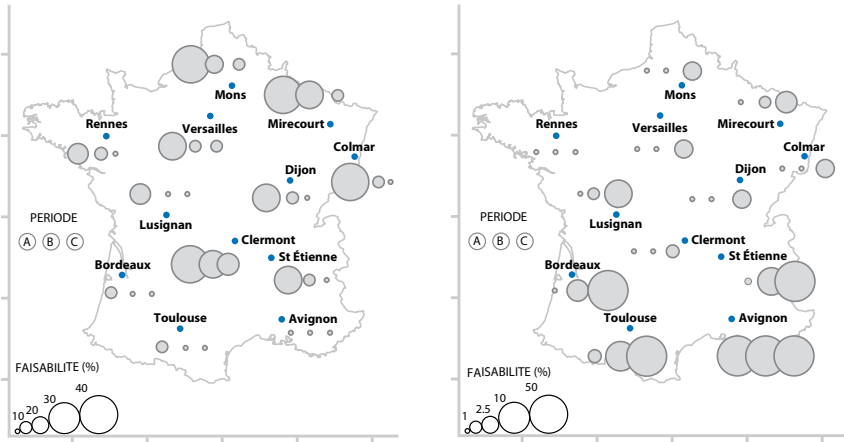


Figure 3 : présence potentielle du hêtre (à gauche) et du chêne vert (à droite) pour les périodes (A) PR, (B) FP et (C) FL. Méthode de régionalisation TT ; le sol n'est pas pris en compte.

Quels que soient la réserve utile*, le type de couvert ou la projection climatique, on observe une dégradation du bilan hydrique des forêts : les stress hydriques qui influencent directement la productivité et l'état sanitaire des forêts augmentent en durée et en intensité. Cette évolution est particulièrement sensible pour les forêts de conifères dès la période FP (cf. fiche FORÊT).

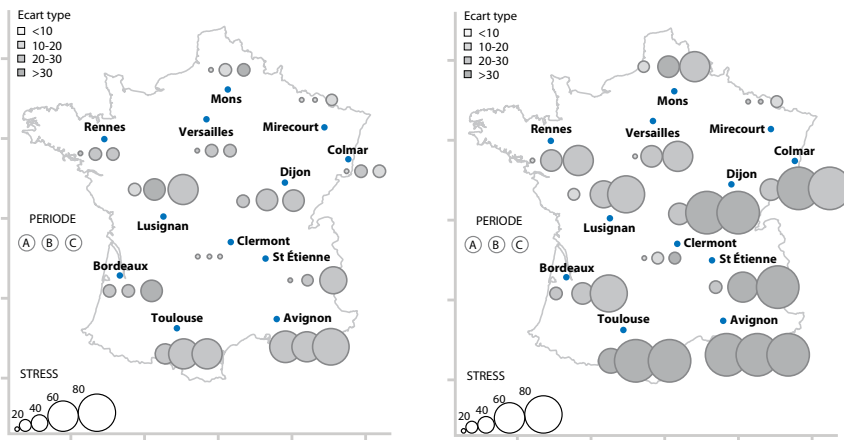


Figure 4 : évolution du stress hydrique pour une forêt de feuillus (à gauche) et une forêt de conifères (à droite), pour les périodes (A) PR, (B) FP et (C) FL. Méthode de régionalisation TT ; même indice foliaire*. Sol commun (forte RU).



Ce qu'il faut retenir

- ✓ La meilleure plasticité des systèmes de grandes cultures devrait conduire à des paysages relativement peu modifiés sur l'ensemble du territoire, excepté pour les cultures d'été irriguées, comme le maïs, qui devrait être probablement relocalisées en fonction des ressources en eau disponibles.
- ✓ La distribution des systèmes à rotation longue (vigne, forêts) pourrait être, par contre, profondément modifiée. L'adaptation de l'encépagement et des pratiques culturales devrait permettre l'adaptation progressive de la plupart des vignobles traditionnels, au prix d'une évolution majeure des caractéristiques des vins produits. Parallèlement, de nouvelles régions situées au-delà de la limite de culture actuelle de la vigne pourraient devenir favorables à la production de vins de qualité.
- ✓ Les forêts resteront probablement des forêts, car elles sont en grande majorité situées sur des terroirs impropres à l'agriculture (sols très acides ou très calcaires, caillouteux, hydromorphes, etc.), mais il n'est pas impossible que l'expansion continue des espaces forestiers depuis 1830, s'arrête, voire reparte à la baisse (les derniers chiffres de l'enquête TERRUTI vont dans ce sens). La composition en essences des forêts risque par contre d'être modifiée, mais dans un sens pour l'instant assez difficile à évaluer. Peut-être verrons-nous des forêts plus mélangées, afin de tamponner les effets potentiels des changements climatiques et des événements extrêmes ; peut-être verrons-nous, au contraire, des forêts à vocations plus spécifiques (développement des taillis à courte révolution pour le bois énergie) ; peut-être verrons-nous se développer l'usage d'essences pour l'instant marginales en dehors de leurs aires actuelles de distribution (pin maritime et pin d'alep, par exemple, ou encore cèdre). Ces évolutions seront sans doute longues, graduelles et prudentes, car elles ont un coût et sont peu réversibles, eu égard à la durée de vie des peuplements.



Ce qu'il faut approfondir...

- ✓ On peut imaginer l'introduction de nouveaux systèmes de production comme, par exemple, les agrumes dans les régions les plus méridionales.
 - ✓ Dans le cas de la forêt, l'utilisation d'essences allochtones ou de provenances peu ou non encore utilisées est envisageable pour se substituer aux peuplements les plus vulnérables aux sécheresses édaphiques. L'acquisition de connaissances sur l'identification des caractères ou traits conférant un avantage adaptatif (phénologie, résistance à la sécheresse, etc.) ou sur les phénomènes épigénétiques ou encore sur les effets de la variabilité intra- et inter-population sur leur vulnérabilité aux changements climatiques et aux événements extrêmes, peut modifier la répartition des essences forestières.
- Pour la plupart des cultures (y compris la vigne), l'irrigation est envisageable. Ce n'est pas le cas pour la forêt. L'incertitude concernant les couverts forestiers est donc totalement dépendante des incertitudes sur les précipitations.
- ✓ L'évolution du paysage agricole sera contrainte par les besoins économiques et les seuils de rentabilité. Dans le cas particulier de la forêt, l'évolution des paysages, des essences et des types de gestion sera par ailleurs contrainte par les demandes sociétales pour la forêt, la vitesse de migration des espèces (qui ne pourront pas suivre en temps réel les évolutions climatiques), les épisodes de dépérissement, voire de mortalité, en liaison avec des événements extrêmes* et leur récurrence (sécheresses, canicules, tempêtes).

Pour en savoir plus...

Badeau V., Dupouey J.-L., Cluzeau C., Drapier J., Le Bas C., 2010 - Climate change and the biogeography of French tree species: first results and perspectives. In *Forest, Carbon Cycle and Climate Change*, Denis Loustau (Ed.), QUAE, ISBN 978-2-7592-0384-0, 231-252.

Jones G., White M.A., Cooper O.R., Storchmann K., 2005 - Climate change and global wine quality. *Climatic Change*, 73: 319-343.

Poisson S., 2009. - Caractérisation des climats à venir, spatialisation sur le territoire français métropolitain et application à l'agronomie. In *Compte-rendu du colloque ACTA*. 22/10/2009 : 59-69.

Tonietto J., Carbonneau A., 2004 - A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. *Agricultural and Forest Meteorology*, 124: 81-97.





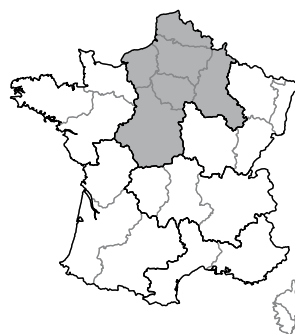
Changement climatique en zone Centre-Nord : aperçu des impacts agricoles

D2
Centre-Nord

Frédéric Levrault, Marie-Odile Bancal,
Nadine Brisson, Philippe Pieri

Régions concernées :

- Centre
- Champagne-Ardenne
- Haute-Normandie
- Île-de-France
- Nord-Pas-de-Calais
- Picardie



Sites d'étude : Mons, Versailles.

Territoire	Surf (ha)	% ST	Surf. Agricole Utile	Surf (ha)	% ST
Surface totale	12 152 281		SAU des E.A.	7 454 287	
Bois et forêts	2 509 639	0,21	Terres arables	6 291 706	0,84
SAU totale	7 607 851	0,63	STH	1 080 634	0,14
Autres	2 034 791	0,17	Cult permanentes	73 197	0,01

Nette diminution des précipitations, augmentation significative du rendement du blé dans le FP et le FL, stagnation des rendements du colza, augmentation significative des rendements du maïs accompagnée d'une augmentation des besoins en eau d'irrigation dès le FP, viticulture devenant faisable dès le milieu du siècle dans le centre et le nord de la zone, telles sont les principales tendances mises à jour pour la zone Centre-Nord.

A Quelques faits marquants du changement climatique* dans la zone* Centre-Nord

Température

La température moyenne annuelle dans les deux sites* de la zone Centre-Nord augmente de façon quasi similaire au comportement d'ensemble des 12 sites étudiés : + 1,4 °C à Mons et + 1,5 °C à Versailles, entre le PR* et le FP* ; + 2,8 °C à Mons et + 2,9 °C à Versailles, entre le PR et le FL*. Ainsi, dans le FP, la température moyenne annuelle à Mons (13,4 °C) dépasse celle de Lusignan dans le PR (13,0 °C). Dans le FL, la température moyenne annuelle de Mons (14,8 °C) dépasse celle de Bordeaux dans le PR (12,9 °C). Pour la zone Centre-Nord, une conséquence importante de ce réchauffement pour les espèces cultivées est l'accroissement de la disponibilité thermique* qui autorisera les cultures à besoins élevés en chaleur (tournesol, par exemple). Les températures très élevées seront moins nombreuses que dans le sud de l'Hexagone. On note, cependant, qu'entre avril et juin, le nombre moyen de jours échaudants* à Versailles augmente sensiblement dans la deuxième moitié du XXI^e siècle : 7 jours dans le PR, 10 jours dans le FP, puis 19 jours dans le FL.

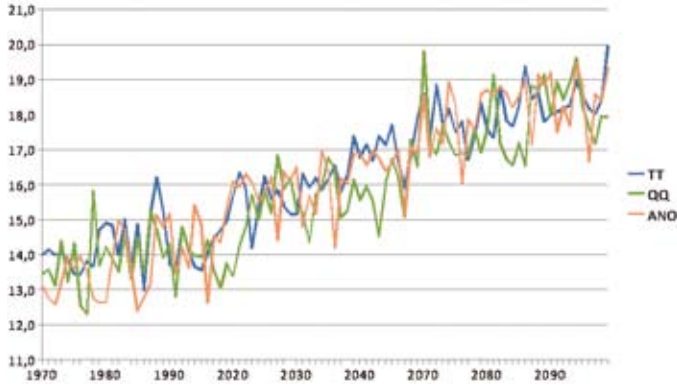


Figure 1 : évolution de la température moyenne annuelle (°C), de 1970 à 2100, à Versailles. Scénario A1B*. Méthodes de régionalisation* : ANO*, TT* et QQ*.

Précipitations et évapotranspiration

Dans le PR, un contraste assez net s'observe entre Versailles (620 mm de cumul annuel) et Mons (876 mm). Dans le FP, chacun des deux sites subit la même diminution de cumul annuel de précipitations (-73 mm par rapport au PR), ce qui maintient l'écart observé dans le PR. À cette échéance, Versailles est le moins arrosé des 12 sites étudiés, avec 547 mm de cumul annuel, soit 40 mm de moins que Toulouse à la même période. Dans le FL, l'assèchement se poursuit, plus marqué dans le nord de la zone avec une diminution du cumul annuel de précipitation de -109 mm à Versailles et de -183 mm à Mons. À cette deuxième échéance, Versailles est le deuxième moins arrosé des 12 sites étudiés avec 511 mm de cumul annuel. Par rapport aux conditions actuelles, la moindre pluviosité automnale conduira à davantage de jours disponibles* pour les chantiers d'automne.

Une augmentation sensible de l'évapotranspiration potentielle (ET0*) est mise en évidence à Mons et à Versailles, quelle que soit la méthode de régionalisation. Les augmentations du cumul annuel (moyenne par période de 30 ans) sont ainsi :

- à Mons, de 60 à 75 mm entre le PR et le FP et de 145 à 170 mm entre le PR et le FL ;
- à Versailles, de 60 mm entre le PR et le FP et de 120 à 145 mm entre le PR et le FL.

Ceci représente (moyenne des méthodes TT et QQ) un accroissement moyen de 0,4 mm/jour entre le PR et le FL. Nous n'avons pas étudié la répartition entre saisons de cet accroissement, mais les périodes de forte demande évaporative (printemps et été) prendront largement leur part de ces augmentations.

La concomitance de la baisse des pluies et de la hausse de l'évapotranspiration conduira (fig. 2) à une dégradation marquée du déficit hydrique climatique annuel.

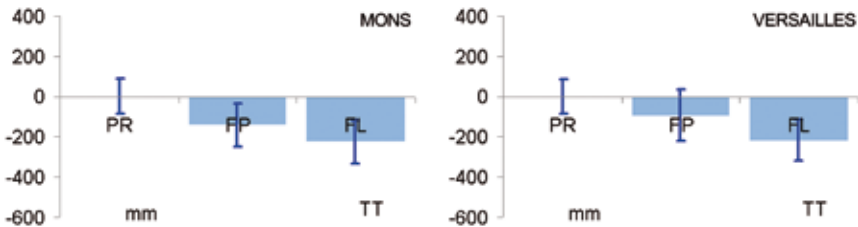


Figure 2 : déficit hydrique climatique (pluies - ET0) annuel dans le PR, le FP et le FL, à Mons (à gauche) et à Versailles (à droite). ARPÈGE A1B. Méthode de régionalisation TT. L'ET0 est calculé sans la correction liée au CO₂ (cf. fiche MODÈLES).

Rayonnement global

À Versailles, on observe une augmentation progressive du rayonnement global jusqu'en 2100. Dans le PR, le rayonnement global annuel moyen est de 397 000 (méthode QQ) à 401 000 (méthode TT) $J/cm^2/an$, ce qui représente en moyenne un peu moins de 1100 $J/cm^2/jour$. Dans le FL, le rayonnement global annuel moyen est de 432 000 (méthode QQ) à 457 000 (méthode TT) $J/cm^2/an$, ce qui représente en moyenne un peu moins de 1 220 $J/cm^2/jour$. Ce « supplément » radiatif de 120 $J/cm^2/jour$ explique l'augmentation significative de l'évapotranspiration potentielle (ET0). À Mons, dans le PR, le rayonnement global annuel moyen est de 395 000 (méthode TT) à 399 000 (méthode QQ) $J/cm^2/an$. Dans le FL, le rayonnement global annuel moyen est de 433 000 (méthode QQ) à 457 000 (méthode TT) $J/cm^2/an$, ce qui représente un supplément radiatif journalier moyen de plus de 130 $J/cm^2/jour$.

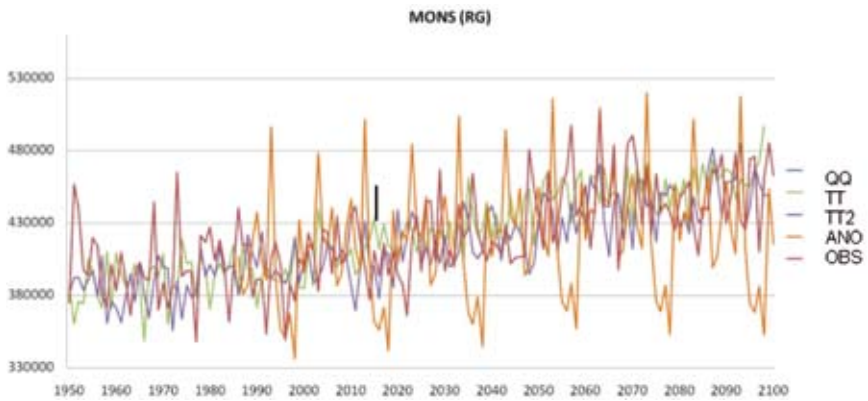


Figure 3 : évolution du cumul annuel de rayonnement global ($J/cm^2/an$) de 1950 à 2100, à Versailles. ARPÈGE A1B. Méthodes de régionalisation standard : ANO, TT et QQ, auxquelles ont été ajoutées la méthode TT2 (cf. fiche CLIMAT) et les données observées sur le PR.



Rappel sur la production agricole actuelle en zone Centre-Nord (Source Agreste)

Cultures	Surf (ha)	% SAU	Rdt
Blé tendre	2 381 316	0,32	75
Colza	626 864	0,08	32
Maïs grain et sem	285 845	0,04	90
Prairies t & a	273 197	0,04	87
Maïs fourr et ens	237 463	0,03	133
Tournesol	99 163	0,01	25
Blé dur	70 093	0,01	62
Vigne	54 423	0,01	104
Sorgho	3 281	0,00	48
.../...			
Total	4 031 646	0,54	

Les cultures étudiées dans le projet CLIMATOR couvrent 54 % de la SAU de la zone Centre-Nord. Celle-ci compte 65 045 exploitations agricoles professionnelles, 86 579 exploitants et co-exploitants. L'ensemble des actifs agricoles représente 141 496 UTA. La valeur des produits agricoles végétaux bruts et transformés s'établit à 13,2 milliards d'euros en 2008.

B Principaux impacts du changement climatique sur le blé en zone Centre-Nord

Le blé tendre est la principale culture du Centre-Nord, occupant 32 % de la SAU et représentant près de 50 % de la production française de blé, avec les rendements moyens les plus élevés (de l'ordre de 7,5 t ha⁻¹).

Pour les deux sites de Mons et Versailles, le changement climatique aboutit à des augmentations significatives de rendement, respectivement de 8 % et 10 % pour le FP et 9 % à 12 % pour le FL pour la variété précoce Soissons (tab. 1). Ce résultat est dû à l'action bénéfique du CO₂ qui permet de compenser la dégradation du confort hydrique* des cultures pendant le remplissage (de 4 % à 14 % dans le FP et de 13 % à 21 % dans le FL, pour les sites de Mons et Versailles respectivement) et l'augmentation des stress thermiques de fin de cycle (cf. fiche TIMING).

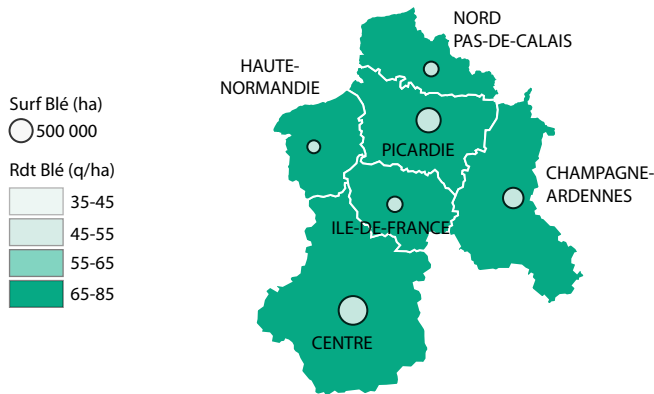


Figure 4 : surfaces et rendements actuels du blé en zone Centre-Nord (moyennes 2000–2007) Source Agreste.

Les mêmes tendances sont observées pour la variété tardive, Arminda, avec néanmoins un plus faible accroissement des rendements (4 % au maximum), car la longueur du cycle limite les phénomènes d'esquive*, de sorte qu'elle est confrontée à une plus forte baisse du confort hydrique (de 12 à 24 %) et une plus forte augmentation des stress thermiques de fin de cycle.

En effet, les stress de fin de cycle augmentent (cf. fiche BLÉ) : le déficit hydrique pendant le remplissage du grain augmente de 37 et 28 mm dans le FL, pour les sites de Mons et Versailles respectivement. De même, on compte 5 à 8 jours échaudants de plus dans le FL pour la variété précoce. Par contre, le gel d'épis disparaît totalement en FP et FL (cf. fiche BLÉ). En outre, les pertes de rendement occasionnées par les deux principales maladies du blé diminuent de 15 à 20 % dans cette zone (cf. fiche SANTÉ).

Enfin, si le retard de la date de semis permet, sans perte de rendement, de mieux gérer les implantations dans le cas du site de Versailles, la faible réponse du rendement du blé futur à la modification de date de semis sur le site de Mons suggère que ce levier de l'itinéraire technique devra être raisonné site par site.

Site	FP-PR	FL-PR
Mons	1.0	1.0
Versailles	0.9	0.8

Tableau 1 : gains de rendements estimés dans le FP et FL pour les sites du Centre-Nord. Italique : P < 0.05 ; Gras : P < 0.01.

C Principaux impacts du changement climatique sur le colza en zone Centre-Nord

Sans changement d'itinéraire technique, à Mons, comme à Versailles, les rendements de colza stagnent, car des impacts négatifs du changement climatique empêchent la culture de profiter du CO₂ atmosphérique et de la réduction des risques de gel. Ces impacts négatifs s'exercent pendant la phase végétative.

Il s'agit tout d'abord de la difficulté de levée, liée à la sécheresse du lit de semence en été qui, allongeant la période semis-levée, engendre de faibles peuplements. La figure 6 montre cette tendance quelle que soit la méthode de régionalisation ; on voit considérablement augmenter l'occurrence de levées supérieures à 1 mois.

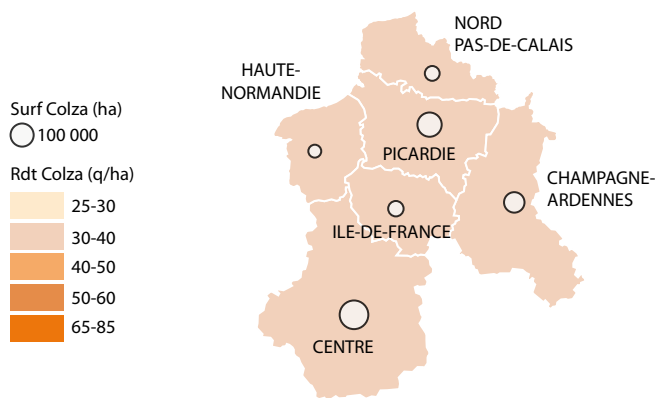


Figure 5 : surfaces et rendements actuels du colza en zone Centre-Nord (moyennes 2000–2007) Source Agreste.

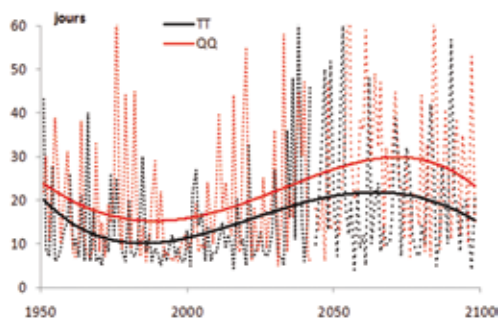


Figure 6 : évolution de la durée de levée du colza à Versailles pour un semis du 20/08, pour le sol 1 et deux méthodes de régionalisation* climatiques. Un lissage polynomial d'ordre 4 permet de visualiser les tendances.

Le second impact négatif, toujours lié à la sécheresse édaphique pendant les premières phases du cycle, s'exerce au niveau de l'alimentation azotée des plantes. En effet, malgré une disponibilité accrue de l'azote minéral du sol dans le futur, provenant de la stimulation de la minéralisation de la matière organique par le réchauffement, la plante se trouve en déficit azoté, car le faible flux transpiratoire ne lui permet pas de l'absorber.

Une à deux irrigations « starter » systématiques (parfois déjà pratiquées) permettraient sans doute de résoudre ces problèmes. En termes de précocité variétale, rien de franchement significatif n'est mis en évidence. Cependant, il est préférable de conserver une variété à cycle court comme Olphi, qui par un phénomène d'esquive se trouve dans de meilleures conditions d'absorption d'azote.

D Principaux impacts du changement climatique sur le maïs en zone Centre-Nord

Le Centre-Nord est la seule zone CLIMATOR où la production de maïs grain sera en augmentation significative (fig. 8), quelle que soit l'hypothèse climatique. Cette augmentation se fait essentiellement à la faveur d'une régularisation de la production interannuelle, permise par le réchauffement climatique, et se produira entre le PR et le FP.

Le maintien, voire l'augmentation, des rendements dans le FL sera possible en changeant de variété et en avançant les semis de l'ordre d'un jour tous les 4 ans.

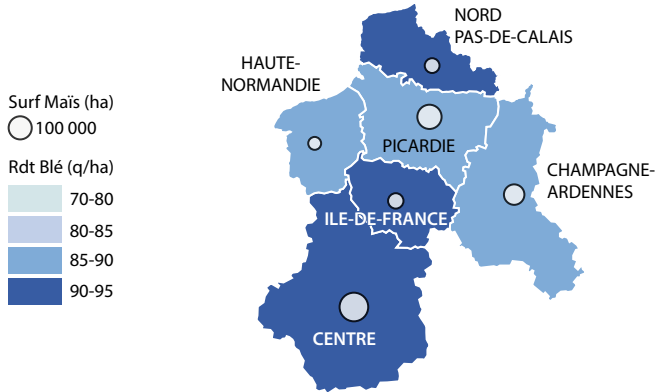


Figure 7 : surfaces et rendements actuels du maïs en zone Centre-Nord (moyennes 2000–2007) Source Agreste .

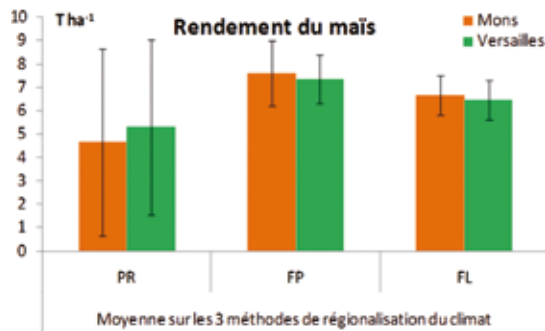


Figure 8 : évolution des rendements de maïs grain (variété Méribel, sol 1) entre les 3 périodes avec indication d'une variabilité* intégrant l'interannuelle et la variabilité entre méthodes de régionalisation du climat.

Cette évolution s'accompagne d'une augmentation des apports d'eau d'irrigation de l'ordre de 60 à 70 mm entre le PR et le FP, le changement variétal dans le FL n'engendrant qu'une faible hausse de ces apports (10 mm en moyenne). On passera ainsi de 80-100 mm dans le PR à 150-180 mm dans le futur.

L'intégration du maïs dans une rotation* céréalière se fera, dans le futur, sans avoir recours systématiquement à des techniques de séchage du grain. Elles resteront nécessaires 7 années sur 10 à Mons et 4 années sur 10 à Versailles dans le FP, pour disparaître dans le FL.

E Principaux impacts du changement climatique sur la vigne en zone Centre-Nord

La région Centre-Nord est représentée dans CLIMATOR par deux sites sans production viticole actuelle significative : Versailles et Mons. C'est typiquement une région peu éloignée de la limite nord de l'aire actuelle de culture de la vigne, et donc éventuellement concernée par un déplacement de cette limite.

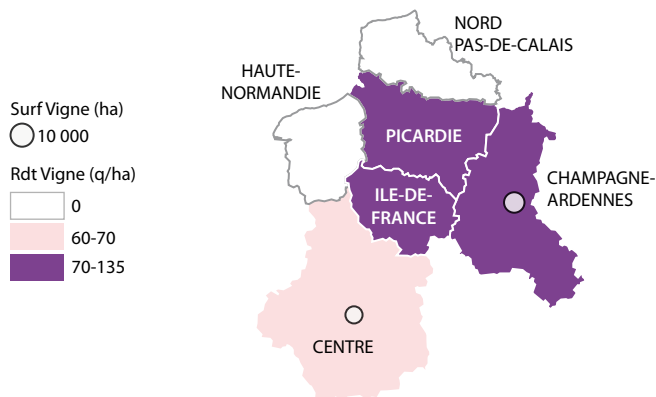


Figure 9 : surfaces et rendements actuels de la vigne en zone Centre-Nord (moyennes 2000 – 2007) Source Agreste.



Les simulations (scénario A1B) confirment que la culture de la vigne n'est pas réalisable actuellement, ni pour le chardonnay, ni pour le merlot, mais qu'elle le devient sporadiquement vers les années 2030 et régulièrement à partir de ~2050 (fig. 10 a et 10b).

À la fin du siècle, les dates de maturité avanceraient jusqu'à début septembre pour le chardonnay et mi-septembre pour le merlot. La faisabilité du grenache deviendrait non nulle à la fin du siècle, mais encore très irrégulière (toujours pour le scénario A1B). Ces tendances sont nettes, quelle que soit la série climatique simulée (ici représentée uniquement TT).

La maturation du chardonnay et du merlot sur ces deux sites se ferait dans de bonnes conditions moyennes de confort hydrique et dans des conditions thermiques favorables à la qualité (fig. 10 bas). L'augmentation des températures pendant la phase de maturation serait modérée et conduirait à des niveaux similaires ou peu supérieurs à ceux du passé récent dans la région de référence du cépage (chardonnay à Dijon et merlot à Bordeaux).

Les quantités d'eau transférées en profondeur diminueraient, mais moins nettement que dans les autres régions. Enfin, contrairement à d'autres sites comparables, la faisabilité nouvelle de la culture s'accompagnerait d'un risque faible à modéré vis-à-vis de Botrytis (cf. fiche SANTÉ). Le climat de cette région devrait donc, à moyen terme, devenir adapté au chardonnay et au merlot dans des conditions favorables à la qualité.

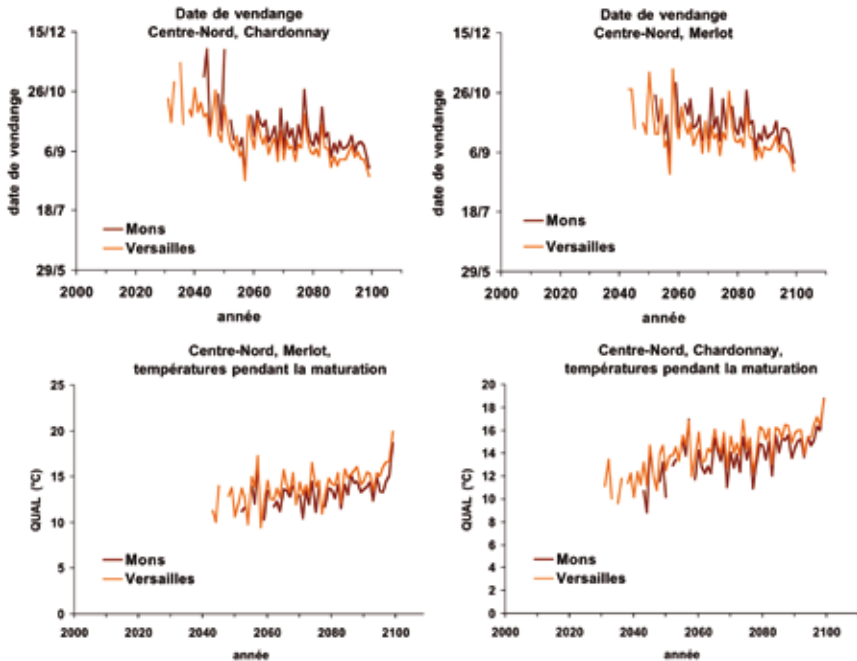


Figure 10 : évolution de la date de vendange pour le chardonnay et le merlot (en haut gauche et droit) et de l'indicateur de qualité (température minimale pendant la maturation du raisin) pour le chardonnay et le merlot (en bas gauche et droit).



Changement climatique en zone Ouest : aperçu des impacts agricoles et forestiers

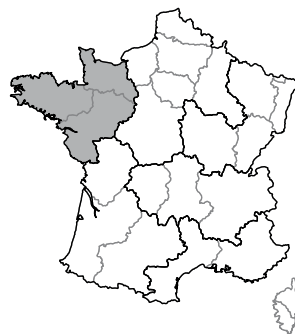
D3
Ouest

Frédéric Levrault, Jean-Louis Durand,
Marie-Odile Bancal, Nadine Brisson

Régions concernées :

- **Basse-Normandie**
- **Bretagne**
- **Pays-de-la-Loire**

Site d'étude : Rennes



Territoire	Surf (ha)	% ST	Surf. Agricole Utile	Surf (ha)	% ST
Surface totale	7 765 014		SAU des E.A	5 088 649	
Bois et forêts	854 949	0,11	Terres arables	3 816 317	0,75
SAU totale	5 487 730	0,71	STH	1 208 088	0,24
Autres	1 422 335	0,18	Cult permanentes	63 120	0,01

Hausse des températures légèrement tamponnée par l'influence océanique, dégradation du déficit hydrique climatique annuel, maintien de la productivité de la prairie dans le FP et accroissement dans le FL, maintien des rendements du blé en conventionnel et accroissement des rendements pour le blé non traité, augmentation du rendement du colza mais non significative car soumise à une forte variabilité entre années, accroissement des rendements du sorgho en sols profonds et possibilités d'emploi de variétés tardives dans le FL, telles sont les principales tendances mises à jour pour la zone Ouest.

A Quelques faits marquants du changement climatique* dans la zone* Ouest

Températures

C'est la zone qui se caractérise par la plus faible augmentation de température (à Rennes : + 1,3 °C entre le PR* et le FP* ; + 2,6 °C entre le PR et le FL*), en raison de la forte influence océanique qui y prévaut. Pour ce site*, l'augmentation de température envisagée pour le FP conduira à une température moyenne annuelle équivalente à celle de Lusignan (13 °C) dans le PR, soit environ 200 km plus au sud.

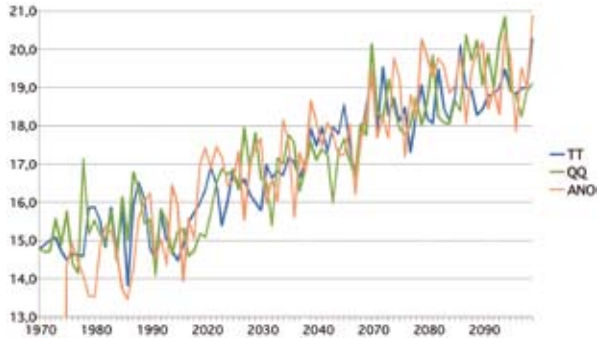


Figure 1 : évolution de la température moyenne annuelle (°C) de 1970 à 2100, à Rennes. Scénario A1B*. Méthodes de régionalisation* : ANO*, TT* et QQ*.

Précipitations et évapotranspiration

Dans la zone Ouest, une baisse sensible des précipitations est identifiée, mais plutôt dans la deuxième moitié du XXI^e siècle. Dans le FP, Rennes se distingue (avec Colmar) de l'ensemble des autres sites par une baisse modérée du cumul annuel de précipitations : -37 mm entre le PR et le FP. Dans le FL, la baisse de précipitations est beaucoup plus conséquente : -110 mm par rapport au PR. À la fin du XXI^e siècle, avec 547 mm de cumul annuel de pluie, Rennes est le troisième site le moins arrosés des 12 étudiés, derrière Toulouse (474 mm) et Versailles (511 mm).

Une augmentation sensible de l'évapotranspiration potentielle (ET⁰) à Rennes est mise en évidence, quelle que soit la méthode de régionalisation. Le cumul annuel (moyenne par période de 30 ans) passe ainsi :

- de 617 mm/an dans le PR à 674 mm/an dans le FP et à 734 mm/an dans le FL avec la méthode de régionalisation TT ;
- de 637 mm/an dans le PR à 696 mm/an dans le FP et à 790 mm/an dans le FL avec la méthode de régionalisation QQ.

Ceci représente (moyenne des méthodes TT et QQ) un accroissement moyen de 0,4 mm/jour entre le PR et le FL. Nous n'avons pas étudié la répartition entre saisons de cet accroissement, mais les périodes de forte demande évaporative (printemps et été) prendront largement leur part de ces augmentations.

La concomitance de la baisse des pluies et de la hausse de l'évapotranspiration conduira (fig. 2) à une dégradation du déficit hydrique climatique annuel.

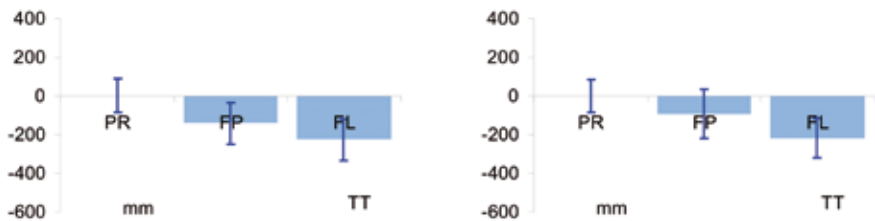


Figure 2 : déficit hydrique climatique (pluies-ET⁰) annuel dans le PR, le FP et le FL, à Rennes. ARPÈGE A1B. Méthodes de régionalisation : TT (à gauche) et QQ (à droite). L'ET⁰ est calculé sans la correction liée au CO₂ (cf. fiche MODÈLES).

Rayonnement global

À Rennes, on observe une augmentation continue du rayonnement global à partir du PR et jusqu'à la fin du XXI^e siècle. Dans le PR, le rayonnement global moyen annuel est de 405 000 (méthode TT) à 408 000 (méthode QQ) J/cm²/an, ce qui représente en moyenne 1 110 J/cm²/jour. Dans le FL, le rayonnement global moyen annuel est de 450 000 (méthode QQ) à 459 000 (méthode TT) J/cm²/an, ce qui représente en moyenne 1 245 J/cm²/jour. Ce « supplément » radiatif de plus de 130 J/cm²/jour explique, ajouté à la hausse de température, l'augmentation attendue de l'évapotranspiration potentielle (ET0).

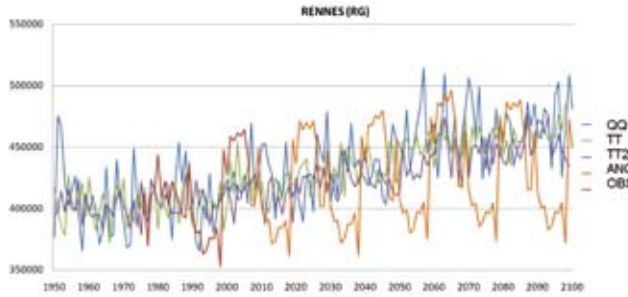


Figure 3 : évolution du cumul annuel de rayonnement global (J/cm²/an) de 1950 à 2100, à Rennes. Scénario A1B. Méthodes de régionalisation standard : ANO, TT et QQ, auxquelles ont été ajoutées la méthode TT2 (cf. fiche CLIMAT) et les données observées sur le PR.



Rappel sur la production agricole actuelle en zone Ouest (Source Agreste)

Cultures	Surf (ha)	% SAU	Rdt
Prairies t & a	1 075 806	0,21	79
Blé tendre	820 094	0,16	68
Maïs fourr et ens	755 594	0,15	124
Maïs grain et sem	280 804	0,06	81
Colza	101 954	0,02	30
Tournesol	46 860	0,01	24
Vigne	38 932	0,01	74
Blé dur	22 003	0,00	61
Sorgho	1 831	0,00	54
.../...			
Total	3 143 876	0,62	

Les cultures étudiées dans le projet CLIMATOR couvrent 62 % de la SAU de la zone Ouest. Celle-ci compte 68 950 exploitations agricoles professionnelles, 99 060 exploitants et co-exploitants. L'ensemble des actifs agricoles représente 150 901 UTA. La valeur des produits agricoles végétaux bruts et transformés s'établit à 5,03 milliards d'euros en 2008.

B Principaux impacts du changement climatique sur la prairie en zone Ouest

Le climat de l'Ouest se réchauffe en hiver et le nombre de jours de gel diminue. Cela devrait presque certainement entraîner une hausse de la production hivernale et du début de printemps. Chez la fétuque élevée, cette tendance, systématique et bien marquée dans le cas des simulations réalisées avec le modèle de culture* STICS, est de plus faible ampleur dans les simulations réalisées avec PASIM.



Figure 4 : surfaces et rendements actuels de la prairie en zone Ouest (moyennes 2000-2007) Source Agreste.

Bien que les simulations n'aient pas exploré une optimisation des dates de coupes, on peut aussi en déduire une possibilité d'avancer les mises à l'herbe, si les sols peuvent porter. La qualité de cette herbe se dégraderait plutôt en tendance pour le ray grass anglais, mais pas pour la fétuque qui présente des teneurs en azote stable.

Le déficit estival se creuserait nettement dans les deux méthodes de régionalisation étudiées sur le modèle ARPÈGE appliqué au scénario A1B (fig. 5). Le bilan annuel fait ressortir une constance de la production de fourrage pour le futur proche.



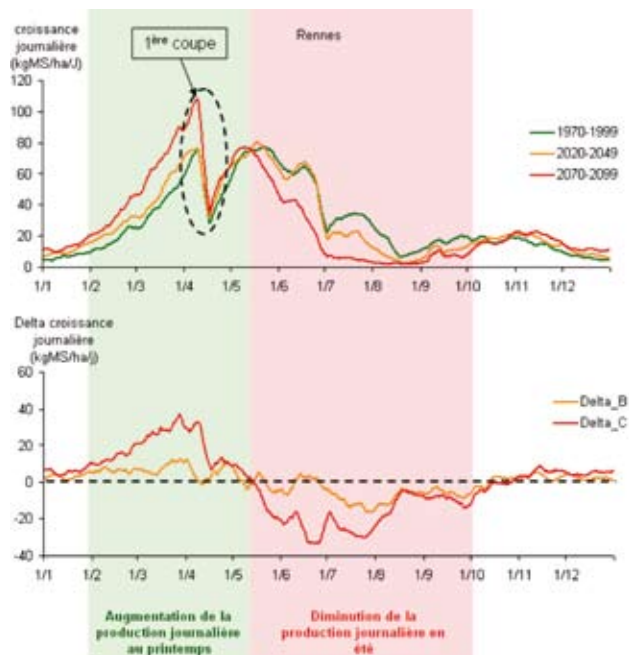


Figure 5 : production journalière (moyenne sur 30 ans) de fourrage à Rennes pour la fétuque élevée, pour les trois périodes étudiées. Scénario A1B. Méthode de régionalisation QQ.

Si le scénario A1B se confirmait, alors la fin de siècle verrait plutôt une amélioration du bilan de l'ordre de + 10 à + 20. Ces tendances seraient d'autant plus accentuées avec un sol profond. Là encore, à partir des mêmes données pédoclimatiques, PASIM simulerait des variations bien plus faibles.

Enfin, la variabilité* interannuelle du rendement* fourrager s'accroîtrait en tendance, du fait de la variabilité accrue des précipitations estivales.

C Principaux impacts du changement climatique sur le blé en zone Ouest

Occupant 17 % de la SAU avec des rendements moyens de 6,8 t ha⁻¹, le blé tendre est une culture importante de la zone Ouest.

Les rendements des variétés précoces et tardives ne sont pas affectés par le changement climatique, malgré une forte diminution du confort hydrique* (fig. 7) et une augmentation du nombre de jours échaudants (fig. 8). Ce résultat s'explique par l'effet compensateur de l'augmentation de l'efficacité de l'eau avec la teneur en CO₂ atmosphérique.

Par contre, quand les blés ne sont pas traités, on identifie une nette augmentation des rendements dans le FP et le FL, les pertes de rendement diminuant considérablement, jusqu'à 25 % pour la rouille (fig 8) et pour la septoriose (cf. fiche SANTÉ).

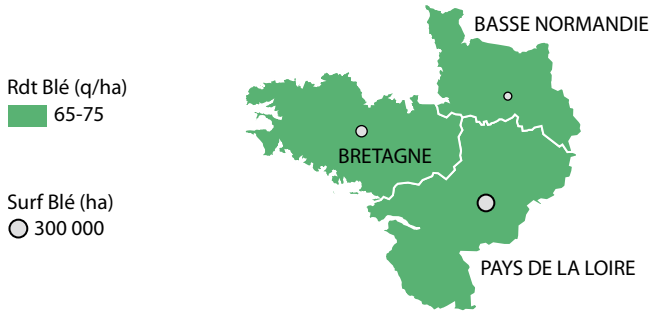


Figure 6 : surfaces et rendements actuels du blé en zone Ouest (moyennes 2000–2007) Source Agreste.

Enfin, la variation de la date de semis du 20 septembre au 1^{er} décembre se traduit par des baisses de rendement qui s'expliquent par l'augmentation des stress thermiques et hydriques* de fin de cycle. Les pertes de rendement occasionnées par les maladies foliaires diminuent également quand on retarde la date de semis, au maximum de 15 % et de manière similaire dans le PR, le FP et le FL. Dans cette région, la date de semis semble être un levier peu efficace pour minimiser les effets du changement climatique (cf. fiche BLÉ).

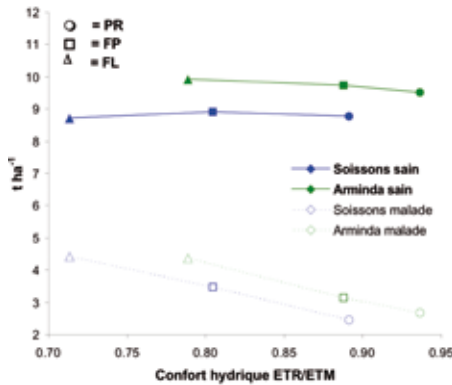


Figure 7 : évolution du rendement de peuplements sains et malades (rouille brune) simulée par le modèle CERES (sol 1, méthode de régionalisation TT, semis le 10/10).

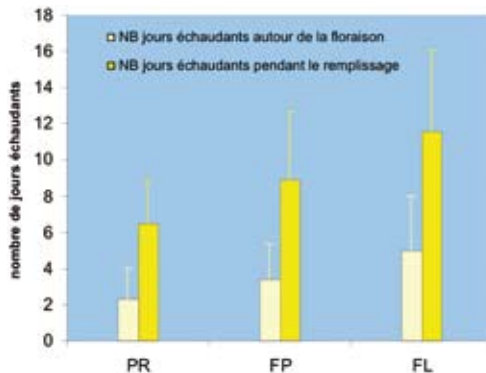


Figure 8 : évolution des stress thermiques simulée par le modèle PANORAMIX (sol 1, méthode de régionalisation TT*, semis le 10/10).

D Principaux impacts du changement climatique sur le colza en zone Ouest

Les sites de l'Ouest sont à priori favorables à la culture du colza, car moins soumis aux gels et disposant d'une pluviométrie de fin d'été propice à une bonne installation de la culture. Cependant, si nous constatons, à Rennes, une augmentation de la productivité, celle-ci n'est pas significative car exposée à une forte variabilité interannuelle.

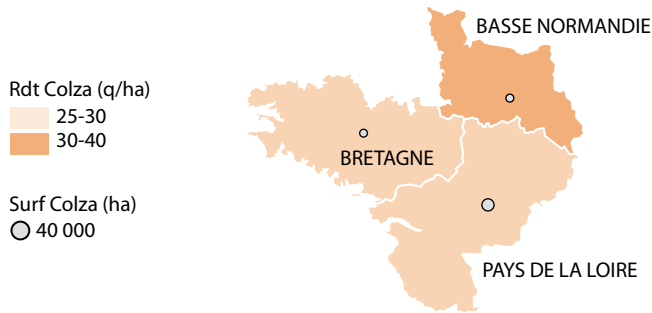


Figure 9 : surfaces et rendements actuels du colza en zone Ouest (moyennes 2000–2007) Source Agreste.

Curieusement, on constate que l'augmentation des rendements est plus importante dans le sol 2 à faible RU* (2,8 t ha⁻¹ en PR, 3,2 t ha⁻¹ en FP et 3,5 t ha⁻¹ en FL) que dans le sol 3 à forte RU (5,2 t ha⁻¹ en PR, 5,3 t ha⁻¹ en FP et 5,4 t ha⁻¹ en FL).

Ces résultats s'expliquent par une détérioration de l'alimentation azotée liée à la sécheresse édaphique pendant les premières phases du cycle, problème auquel étaient déjà confrontés les sols à faible RU*, mais qui vont devenir prégnants aussi pour les autres sols (fig. 10). En effet, malgré une disponibilité accrue de l'azote minéral du sol dans le futur, provenant de la stimulation de la minéralisation* de la matière organique* par le réchauffement, la plante se trouve en déficit azoté, car la diminution du flux transpiratoire pendant les automnes secs, qui sont prévus, ne lui permet pas de l'absorber.

Sans changement de pratiques durant ces années sèches, la culture sera confrontée à une diminution importante de son indice de nutrition azotée (fig. 10) qui l'empêche de profiter de l'augmentation en CO₂ de l'atmosphère. En revanche, les années plus humides (fin du siècle), l'absorption azotée, moins limitante, assurera des rendements plus élevés que dans le PR.

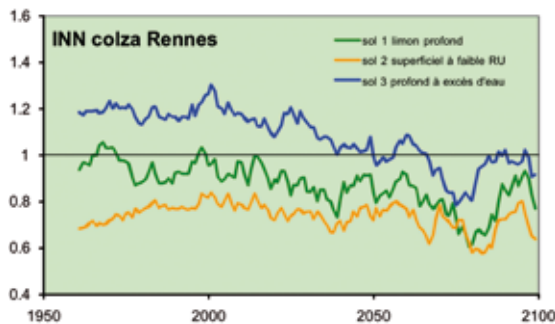


Figure 10 : évolution de l'indice de nutrition azotée pendant la floraison du colza à Rennes, pour les 3 types de sol et la méthode de régionalisation climatique TT. Les courbes représentent des moyennes glissantes sur 10 ans.

Afin de régulariser la productivité du colza et d'en augmenter la moyenne, une irrigation « starter » les années sèches devra être envisagée.

E Principaux impacts du changement climatique sur le sorgho en zone Ouest

Malgré une détérioration de son confort hydrique (ETR/ETM moyens de 0,84, 0,78 et 0,76 pour respectivement le PR, le FP et le FL avec le sol 1 de limon profond), la productivité du sorgho à Rennes augmente dès le FP pour la méthode TT et de façon significative pour l'ensemble des méthodes de régionalisation dans le FL (fig. 12).

Si la productivité est évidemment réduite en sol superficiel à faible RU (3 t ha⁻¹ en moyenne pour la rendzine contre 4,7 t ha⁻¹ pour le sol 1 de limon profond), le sorgho peut valoriser des sols à excès d'eau qui, sans problèmes d'implantation ou phytosanitaires, permettront d'atteindre des rendements moyens de l'ordre de 6 t ha⁻¹ en culture pluviale.



Figure 11 : surfaces et rendements actuels du sorgho en zone Ouest (moyennes 2000-2007) Source Agreste.

Dans le FL, il sera possible d'implanter des variétés à cycle long qui permettront un gain substantiel de rendement (fig. 12). Ce comportement rustique du sorgho est un élément très intéressant pour affronter le changement climatique, élément qui l'avantage par rapport à la culture du maïs, plus fragile.

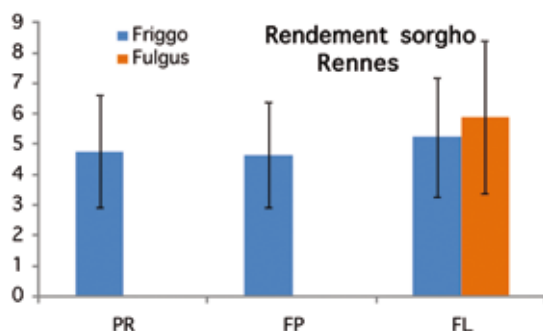


Figure 12 : évolution du rendement du sorgho grain à Rennes, pour le sol 1 de limon profond avec les variétés Friggo et Fulgus (quand elle est réalisable). La variabilité indiquée intègre l'interannuelle et la variabilité entre méthodes de régionalisation du climat.



Changement climatique en zone Nord-Est : aperçu des impacts agricoles et forestiers

D4
Nord-Est

Frédéric Levrault, Nadine Brisson, Alexandre Bosc

Régions concernées :

- **Alsace**
- **Bourgogne**
- **Franche-Comté**
- **Lorraine**



Sites d'étude : Colmar, Dijon, Mirecourt.

Territoire	Surf (ha)	% ST	Surf. Agricole Utile	Surf (ha)	% ST
Surface totale	8 006 131		SAU des E.A.	3 903 936	
Bois et forêts	2 873 912	0,36	Terres arables	2 229 635	0,57
SAU totale	2 236 699	0,28	STH	1 618 557	0,41
Autres	1 032 278	0,13	Cult permanentes	56 282	0,01



Raréfaction des gelées automnales et hivernales, dégradation du déficit hydrique climatique annuel, régularisation interannuelle de la production du maïs dans certains sites, opportunités accrues pour le colza liées à la diminution du risque de gel en automne et en hiver, culture du tournesol devenant possible dans le nord de la zone, légère diminution du confort hydrique des arbres, telles sont les principales tendances mises à jour pour la zone Nord-Est.

A Quelques faits marquants du changement climatique* dans la zone* Nord-Est

Températures

Actuellement la plus fraîche des six zones étudiées, la zone Nord-Est se caractérise par un réchauffement légèrement supérieur à la moyenne des 12 sites* : de + 1,4 à + 1,6 °C entre le PR* et le FP* ; de + 2,8 à + 3,0 °C entre le PR et le FL*. Dans le FL, la température moyenne annuelle à Dijon (13,7 °C) et à Colmar (14,0 °C) devient supérieure à celle d'Avignon (13,1 °C) ou de Toulouse (13,3 °C) dans le PR, les deux plus chauds des 12 sites étudiés. Pour autant, dans le FP comme dans le FL, la zone Nord-Est demeure la plus fraîche de l'Hexagone. Dans cette zone, deux enjeux thermiques se dégagent pour les espèces cultivées. D'une part, l'accroissement de la disponibilité thermique* autorisera progressivement la culture d'espèces à besoins thermiques élevés (tournesol, maïs...). D'autre part, la diminution du nombre de jours de gel, à l'automne en particulier, diminuera les accidents physiologiques sur les cultures d'hiver (colza en particulier).

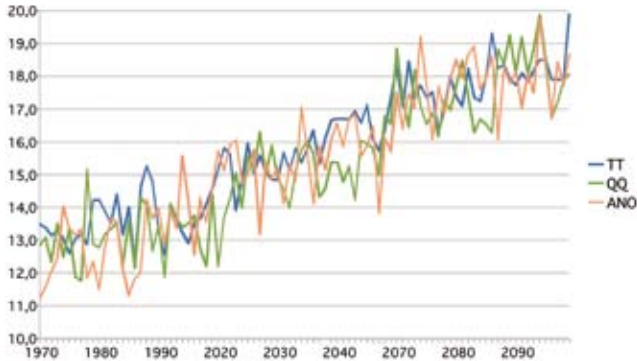


Figure 1 : évolution de la température moyenne annuelle (°C) de 1970 à 2100, à Dijon. Scénario A1B*. Méthodes de régionalisation* : ANO*, TT* et QQ*.

Précipitations et évapotranspiration

Dans le PR, on observe un fort contraste entre, d'une part, Colmar (730 mm de cumul annuel) et, d'autre part, Dijon (912 mm) ou Mirecourt (985 mm), qui figurent parmi les sites les plus arrosés de notre étude. Dans le FP, ce minimum relatif de Colmar dû à la dépression de la plaine d'Alsace semble s'estomper quelque peu, les baisses de précipitations étant très différentes à Colmar (-37 mm), à Dijon (-73 mm) et à Mirecourt (-109 mm). Dans le FL, la diminution des précipitations par rapport au PR est plus marquée à Mirecourt (-182 mm) qu'à Colmar et Dijon (-109 mm). À cette échéance, le minimum relatif de Colmar se rétablit (620 mm), tandis que Dijon et Mirecourt figurent toujours parmi les sites les plus arrosés de notre étude, avec 803 mm de cumul annuel. Dans cette zone, on attend de la moindre pluviométrie automnale un effet sensible sur les jours disponibles* pour les chantiers d'automne.

Une augmentation sensible de l'évapotranspiration potentielle (ET_0^*) est mise en évidence à Colmar, Dijon et Mirecourt, quelle que soit la méthode de régionalisation. Les augmentations du cumul annuel (moyenne par période de 30 ans) sont ainsi :

- de 75 à 80 mm entre le PR et le FP et de 150 à 160 mm entre le PR et le FL, avec la méthode de régionalisation TT ;
- de 55 à 70 mm entre le PR et le FP et de 170 à 200 mm entre le PR et le FL, avec la méthode de régionalisation QQ.

Ceci représente (moyenne des méthodes TT et QQ) un accroissement moyen de 0,5 mm/jour entre le PR et le FL. Nous n'avons pas étudié la répartition entre saisons de cet accroissement, mais les périodes de forte demande évaporative (printemps et été) prendront largement leur part de ces augmentations.

La concomitance de la baisse des pluies et de la hausse de l'évapotranspiration conduira (fig. 2) à une dégradation marquée du déficit hydrique climatique annuel dans chacun de ces trois sites. Seul le site de Mirecourt restera sur un bilan quasi nul à échéance du FL.



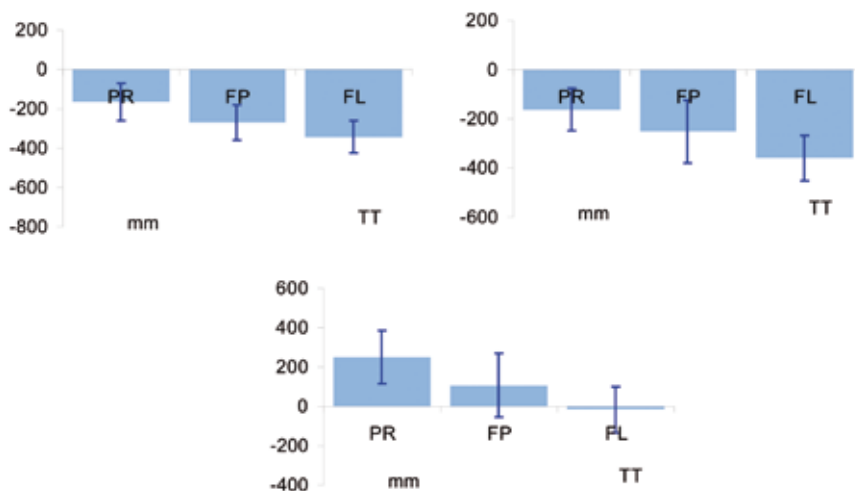


Figure 2 : déficit hydrique climatique (pluies-ETO) annuel dans le PR, le FP et le FL, à Colmar (haut gauche), Dijon (haut droite) et Mirecourt (bas). ARPÈGE A1B. Méthode de régionalisation TT. L'ETO est calculé sans la correction liée au CO₂ (cf. fiche MODÈLES)



Rayonnement global

À Colmar, on observe une augmentation continue du rayonnement global au cours du XXI^e siècle. Dans le PR, le rayonnement global moyen annuel est de 408 000 (méthode TT) à 411 000 (méthode QQ) J/cm²/an, ce qui représente en moyenne 1 120 J/cm²/jour. Dans le FL, le rayonnement global moyen annuel est de 447 000 (méthode QQ) à 466 000 J/cm²/an, ce qui représente en moyenne 1 250 J/cm²/jour. Ce « supplément » radiatif de 130 J/cm²/jour explique, ajouté à la hausse des températures, l'augmentation significative de l'évapotranspiration potentielle (ETO). À Dijon, les niveaux de rayonnement sont légèrement inférieurs (1 100 J/cm²/jour dans le PR et 1 260 J/cm²/jour dans le FL), mais la tendance est identique.

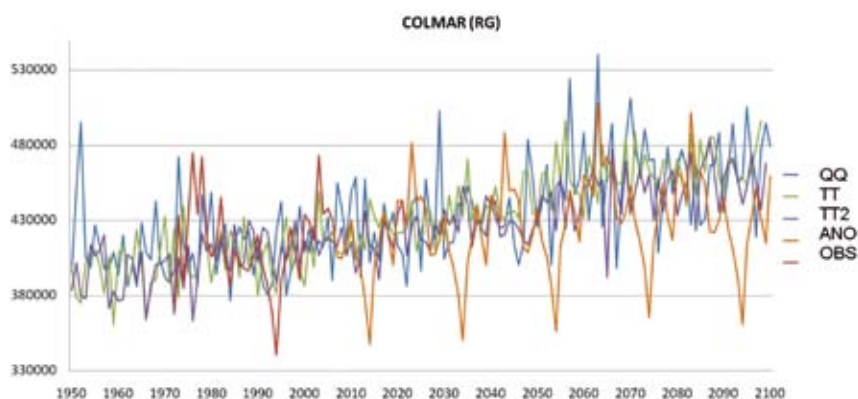


Figure 3 : évolution du cumul annuel de rayonnement global (J/cm²/an) de 1950 à 2100, à Colmar. Scénario A1B. Méthodes de régionalisation standard : ANO, TT et QQ auxquelles ont été ajoutées la méthode TT2 (cf. fiche CLIMAT) et les données observées sur le PR.

Rappel sur la production agricole actuelle en zone Nord-Est (Source Agreste)

Cultures	Surf (ha)	% SAU	Rdt
Blé tendre	644 716	0,17	66
Colza	307 214	0,08	30
Prairies t & a	227 879	0,06	71
Maïs grain et sem	224 618	0,06	93
Maïs fourr et ens	137 060	0,04	116
Vigne	47 989	0,01	85
Tournesol	42 698	0,01	27
Sorgho	284	0,00	49
Blé dur	215	0,00	54
.../...			
Total	1 632 457	0,42	

Les cultures étudiées dans le projet CLIMATOR couvrent 42 % de la SAU de la zone Nord-Est. Celle-ci compte 35 488 exploitations agricoles professionnelles, 48 517 exploitants et co-exploitants. L'ensemble des actifs agricoles représente 77 141 UTA. La valeur des produits agricoles végétaux bruts et transformés s'établit à 4,55 milliards d'euros en 2008.



B Principaux impacts du changement climatique sur le maïs en zone Nord-Est

Nous distinguerons les sites de Colmar et Dijon, où la production de maïs a tendance à diminuer (dès le FP avec la méthode de régionalisation TT et dans le FL pour les méthodes ANO et QQ), du site de Mirecourt où la production de maïs grain, qui était aléatoire dans le PR, devient une culture d'intérêt dans le futur (fig. 5). La régularisation de la production concerne également le site de Dijon.

Ces résultats sont cependant accompagnés d'une augmentation des apports d'eau d'irrigation de l'ordre de 50 mm entre le PR et le FP, cette quantité n'évoluant pas entre le FP et le FL. On atteint ainsi des niveaux moyens de l'ordre de 200 mm à Colmar et Dijon et 100 mm à Mirecourt.

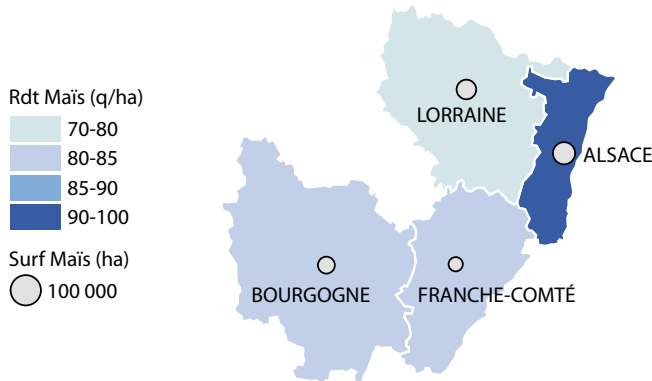


Figure 4 : surfaces et rendements actuels du maïs en zone Nord-Est (moyennes 2000-2007) Source Agreste.

Le maïs pourra être plus facilement cultivé en rotation*, qui nécessite des récoltes plus précoces qu'en monoculture. En effet, le séchage des grains, qui était nécessaire 8 années sur 10 à Colmar et 9 années sur 10 à Dijon dans le PR, ne sera plus nécessaire dans le futur. Ces rotations seront également possibles dans le FL, à Mirecourt.

Afin de maintenir, voire d'augmenter, la production à Colmar et Dijon, l'utilisation de variétés à cycle plus long et l'anticipation des semis (à raison d'un jour tous les 4 ans en moyenne) sont recommandées. L'augmentation estimée des apports d'eau consécutifs à ce changement variétal est faible, de l'ordre de 10 à 20 mm.

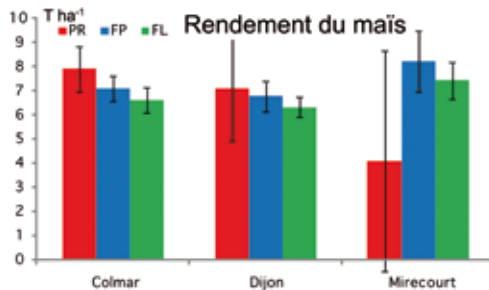


Figure 5 : évolution des rendements de maïs grain (variété Méribel, sol 1, méthode de régionalisation TT) entre les 3 périodes avec la variabilité* interannuelle.

C Principaux impacts du changement climatique sur le colza en zone Nord-Est

La diminution des risques de gel, dans le futur, pendant l'automne et l'hiver (fig. 5) est une aubaine pour la culture de colza dans la zone Nord-Est, où partout les rendements augmentent de façon très significative : de l'ordre de +0,7 et +0,9 t.ha⁻¹ pour respectivement le FP et le FL à Colmar et Dijon, et plus du double à Mirecourt (+ 1,4 et + 2,5 t.ha⁻¹ pour les mêmes périodes) pour la méthode de régionalisation TT.

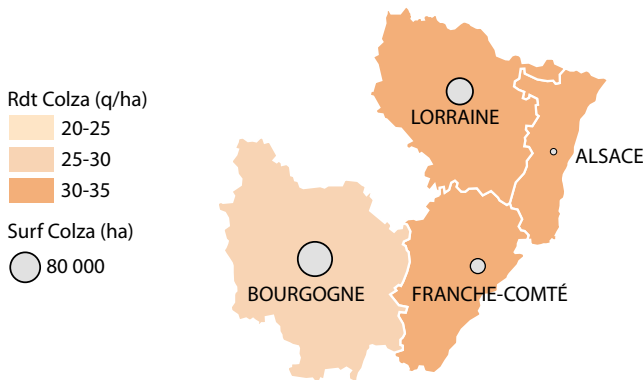


Figure 6 : surfaces et rendements actuels du colza en zone Nord-Est (moyennes 2000–2007) Source Agreste

Cependant, les méthodes de régionalisation peuvent donner des résultats d'ampleur différente (fig. 7), car elles diffèrent essentiellement par le traitement de la variabilité (cf. fiche CLIMAT) qui détermine, en particulier, l'occurrence des températures minimales. Dans ce cas, il est sans doute prudent de se fier à la méthode la plus pessimiste.

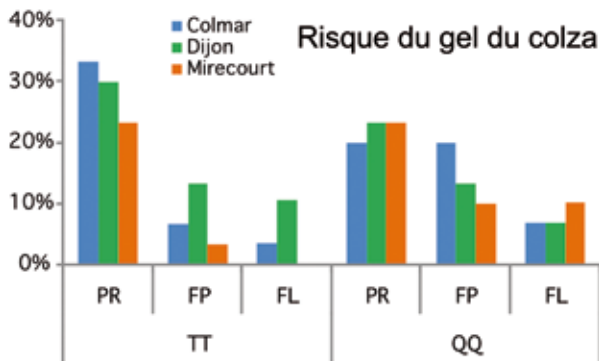


Figure 7 : évolution des risques de gel létal du colza pour deux méthodes de régionalisation du climat.

Afin de limiter les effets néfastes de la sécheresse édaphique qui pourra devenir prégnante pendant la phase végétative, il pourra être nécessaire de retarder les semis, voire d'utiliser des irrigations « starter », en particulier à Colmar. Pour les mêmes raisons, il sera également préférable, à l'avenir, d'utiliser des variétés à montaison rapide comme Olphi.

D Principaux impacts du changement climatique sur le tournesol en zone Nord-Est

La région Nord-Est semble favorable à la culture du tournesol à deux titres. Tout d’abord, au niveau de sa marge Nord (Mirecourt), la culture devient possible, dans le cadre de rotations céréalières, grâce à l’augmentation de la disponibilité thermique.

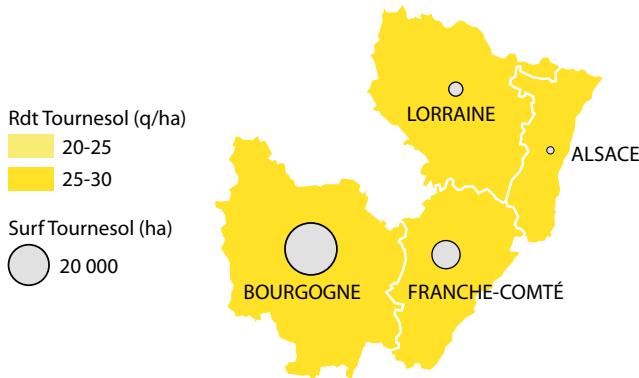


Figure 8 : surfaces et rendements actuels du tournesol en zone Nord-Est (moyennes 2000–2007) Source Agreste.

De plus, dans les zones où la culture est actuellement possible (Dijon, Colmar), on peut espérer des gains de rendements les années favorables (fig. 9).

Toutefois, en conditions pluviales et sur sol à faible RU*, ces gains resteront limités. Dans le FL, il sera possible d’utiliser des variétés à cycle plus long qui permettront une augmentation des rendements.

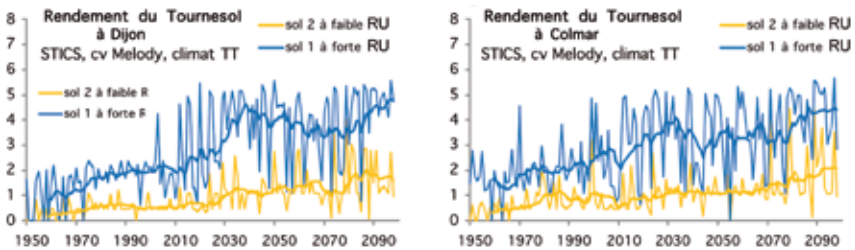


Figure 9 : évolution de la productivité du tournesol à Dijon et Colmar, pour un sol à forte RU (226 mm) et un sol à faible RU (104 mm). Simulations dans le cadre d’une rotation céréalière en pluvial (TBSB) avec la méthode de régionalisation climatique TT. Pour chaque série sont figurés les données annuelles et un lissage par moyenne glissante sur 10 ans.

E Principaux impacts du changement climatique sur la forêt en zone Nord-Est

Le fonctionnement des couverts forestiers est fortement contrôlé par le stress hydrique, en particulier pendant la saison de croissance (printemps, été).

Les changements climatiques modélisés dans le cas du scénario climatique A1B génèrent (modèles de culture* BILJOU et GRAECO) une diminution du confort hydrique des arbres (fig. 11a) sur le siècle à venir.

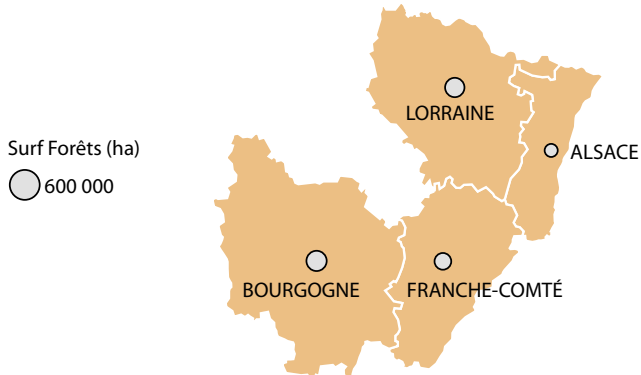


Figure 10 : surfaces et rendements actuels de la forêt en zone Nord-Est (moyennes 2000–2007) Source Agreste.

La restitution d'eau au milieu est affectée avec une perte tendancielle de 50 mm en 2100 (fig. 11b).

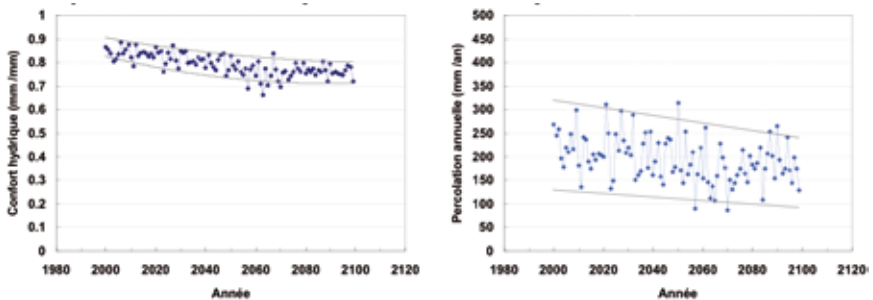


Figure 11 : moyenne régionale (Colmar, Dijon, Mirecourt) de l'évolution du confort hydrique ETR/ET0 (a : gauche) et de la restitution d'eau au milieu des pins (b : droite) (Rotation 45 ans, sol 3) avec l'intervalle de confiance (95 %) lié à la méthode de régionalisation.



Changement climatique en zone Centre-Est : aperçu des impacts agricoles et forestiers

D5
Centre-Est

Frédéric Levrault, Jean-Louis Durand,
Nadine Brisson, Alexandre Bosc

Régions concernées :

- **Auvergne**
- **Limousin**
- **Rhône-Alpes**

Sites d'étude : Clermont-Theix, Saint-Étienne.



Territoire	Surf (ha)	% ST	Surf. Agricole Utile	Surf (ha)	% ST
Surface totale	8 819 404		SAU des E.A.	3 860 550	
Bois et forêts	2 953 648	0,33	Terres arables	1 457 922	0,38
SAU totale	4 124 512	0,47	STH	2 287 244	0,59
Autres	1 741 245	0,20	Cult permanentes	115 398	0,03



Accroissement des températures et dégradation du déficit hydrique climatique annuel, forte hausse de production de la prairie dans le FL, opportunités accrues pour les cultures de sorgho et de tournesol, diminution modérée du confort hydrique de la forêt qui permet dans le FP le maintien de sa productivité, telles sont les principales tendances mises à jour pour la zone Centre-Est.

A Quelques faits marquants du changement climatique* dans la zone* Centre-Est

Températures

Dans les deux sites* concernés (Clermont-Theix et Saint-Étienne), la température moyenne annuelle devrait augmenter de façon légèrement plus marquée que la tendance moyenne des 12 sites étudiés : + 1,5 °C entre le PR* et le FP* ; + 3,0 °C entre le PR et le FL*. Dans le FL, la température moyenne annuelle de ces deux sites (14,0 °C) sera supérieure à celle observée dans le PR à Toulouse (13,3 °C) ou à Avignon (13,1 °C), les deux plus chauds des 12 sites étudiés. Dans cette zone, un enjeu thermique important pour les espèces cultivées est celui de l'accroissement de la disponibilité thermique*, notamment en zone de moyenne montagne.

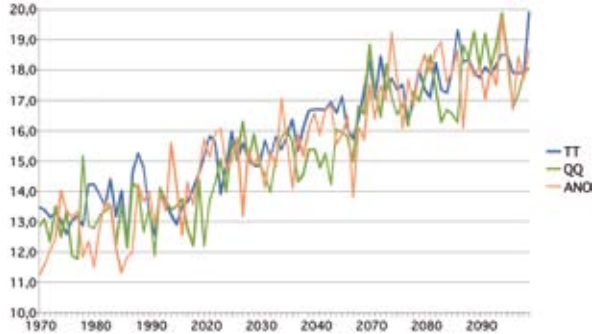


Figure 1 : évolution de la température moyenne annuelle (°C) de 1970 à 2100, à Clermont-Theix. Scénario A1B*. Méthodes de régionalisation : ANO, TT et QQ*.

Précipitations et évapotranspiration

Clermont-Theix et Saint-Étienne sont, dans le PR, les deux sites les plus arrosés de notre étude, avec 1022 mm de cumul annuel. À l'avenir, ces deux sites enregistrent une des plus fortes baisses de précipitations : -110 mm entre le PR et le FP ; -183 mm entre le PR et le FL. Malgré cette forte baisse, Clermont-Theix et Saint-Étienne demeurent les deux sites les plus arrosés de notre étude, avec 912 mm de cumul annuel dans le FP et 839 mm dans le FL.

Une augmentation sensible de l'évapotranspiration potentielle (ET0*) est mise en évidence à Clermont-Theix et Saint-Étienne, quelle que soit la méthode de régionalisation*. Les augmentations du cumul annuel (moyenne par période de 30 ans) sont ainsi :

- à Saint-Étienne de 70 à 95 mm entre le PR et le FP et de 180 à 240 mm entre le PR et le FL ;
- à Clermont-Theix de 50 à 70 mm entre le PR et le FP et de 140 à 175 mm entre le PR et le FL.

Ceci représente (moyenne des méthodes TT et QQ) un accroissement moyen de 0,5 à 0,6 mm par jour entre le PR et le FL. Nous n'avons pas étudié la répartition entre saisons de cet accroissement, mais les périodes de forte demande évaporative (printemps et été) prendront largement leur part de ces augmentations.

La concomitance de la baisse des pluies et de la hausse de l'évapotranspiration conduira (fig. 2) à une dégradation du déficit hydrique climatique annuel.

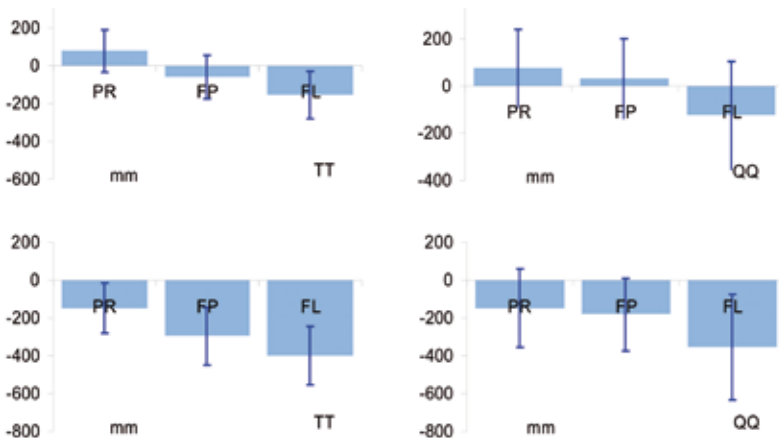


Figure 2 : déficit hydrique climatique (pluies-ET0) annuel dans le PR, le FP et le FL à Clermont-Theix (en haut) et à Saint-Étienne (en bas). ARPÈGE A1B. Méthodes de régionalisation : TT et QQ.

Rayonnement global

À Clermont-Theix, on observe une augmentation continue du rayonnement global sur l'ensemble de la période d'étude (1970-2100). Dans le PR, le rayonnement global moyen annuel est de 451 000 (méthode TT) à 455 000 (méthode QQ) $J/cm^2/an$ ce qui représente en moyenne 1 240 $J/cm^2/jour$. Dans le FL, le rayonnement global moyen annuel est de 490 000 (méthode QQ) à 506 000 (méthode TT) $J/cm^2/an$, ce qui représente en moyenne 1 365 $J/cm^2/jour$. Ce « supplément » radiatif de plus de 100 $J/cm^2/jour$, explique l'augmentation significative de l'évapotranspiration potentielle (ET0). À Saint-Étienne, les niveaux de rayonnement global sont de 466 000 (méthode QQ) et 467 000 (méthode TT) $J/cm^2/an$ dans le PR et de 514 000 (méthode QQ) à 545 000 (méthode TT) $J/cm^2/an$. Le supplément radiatif journalier moyen est de 100 $J/cm^2/jour$.

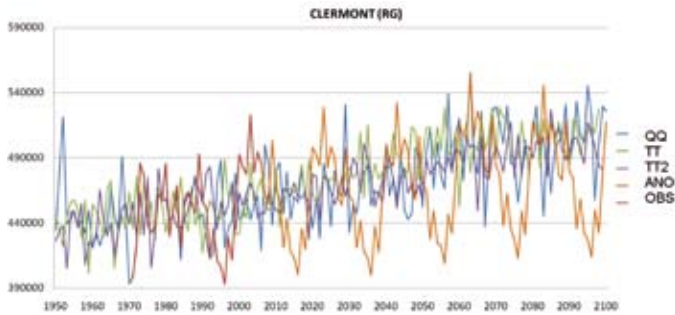


Figure 3 : évolution du cumul annuel de rayonnement global ($J/cm^2/an$) de 1950 à 2100, à Avignon. Scénario A1B. Méthodes de régionalisation standard : ANO, TT et QQ, auxquelles ont été ajoutées la méthode TT2 (cf. fiche CLIMAT) et les données observées sur le PR.



Rappel sur la production agricole actuelle en zone Centre-Est
(Source Agreste)

Cultures	Surf (ha)	% SAU	Rdt
Prairies t & a	529 550	0,14	67
Blé tendre	258 619	0,07	57
Maïs grain et sem	168 912	0,04	88
Maïs fourr et ens	110 483	0,03	107
Vigne	59 497	0,02	66
Tournesol	51 991	0,01	25
Colza	36 889	0,01	28
Sorgho	10 733	0,00	60
Blé dur	8 083	0,00	42
.../...			
Total	1 234 755	0,32	

Les cultures étudiées dans le projet CLIMATOR couvrent 32 % de la SAU de la zone Centre-Est. Celle-ci compte 50 901 exploitations agricoles professionnelles, 67 440 exploitants et co-exploitants. L'ensemble des actifs agricoles représente 99 304 UTA. La valeur des produits agricoles végétaux bruts et transformés s'établit à 2,87 milliards d'euros en 2008.



B Principaux impacts du changement climatique sur la prairie en zone Centre-Est

La région est contrastée en termes climatiques, notamment du fait de reliefs marqués. Pour les zones froides de moyenne montagne, c'est la hausse des températures au cours du changement climatique qui modifie profondément les conditions de production et rend possible des récoltes parfois irréalisables de nos jours.



Figure 4 : surfaces et rendements actuels de la prairie en zone Centre-Est (moyennes 2000-2007). Source Agreste.

Les deux modèles de culture* PASIM et STICS utilisés ici s'accordent à prévoir ces évolutions, quoique avec une ampleur toujours plus faible pour PASIM. La récolte d'une coupe supplémentaire et l'augmentation des productions de fin d'hiver et de début de printemps permettent de s'attendre à de fortes hausses de production vers la fin du siècle.

Cette hausse, déjà forte dans le futur proche, serait de l'ordre de 100 % ou presque vers la fin du XXI^e siècle avec la méthode de régionalisation QQ et un peu plus faible avec les simulations de données climatiques selon la méthode TT.

Une des conséquences de ces forts accroissements de productivité, alors que les précipitations diminuent (fig. 5), serait une tendance à la limitation par la disponibilité en azote par approfondissement différentiel du prélèvement de l'eau et de l'azote, qu'il pourrait être facile de corriger en augmentant les apports d'engrais si besoin était.

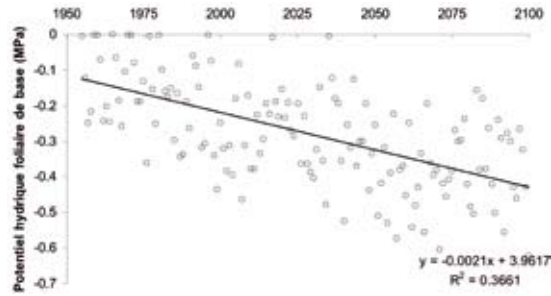


Figure 5 : aggravation tendancielle du déficit hydrique annuel sur Clermont-Theix, chez la fétuque élevée dans le scénario A1B avec la méthode de régionalisation TT. Le potentiel hydrique de base des feuilles mesure la contrainte hydrique* « ressentie » par la végétation.

Les données obtenues pour la station de Saint-Étienne contrastent fortement avec les précédentes. Sur cette station, les déficits hydriques estivaux sévères prévus par la méthode de régionalisation TT réduiraient la productivité annuelle de l'espèce la plus sensible à la sécheresse : le ray grass anglais.

C Principaux impacts du changement climatique sur le sorgho en zone Centre-Est



Même si nos résultats montrent que, dans le FL, les hauteurs de Clermont-Theix pourront accueillir la culture du sorgho avec des rendements moyens tout à fait honorables, de 4,5 à 6 t ha⁻¹ selon le type de sol, intéressons-nous plutôt à la Limagne représentée sur le plan de l'altitude par le site de Saint-Étienne.



Figure 6 : surfaces et rendements actuels du sorgho en zone Centre-Est (moyennes 2000-2007). Source Agreste.

Malgré une détérioration du confort hydrique* de la culture avec des ETR/ETM* moyens de 0,89, 0,85 et 0,83 pour respectivement le PR, le FP et le FL (avec le sol 1 de limon profond), il n'y a pas d'évolution significative des rendements de sorgho (variété à cycle court Friggo), comme le montre la figure 7.

À partir du FP, il devrait être rentable de passer à des variétés à cycle plus long, comme Fulgus, qui permettront un gain substantiel de rendement (fig. 7).

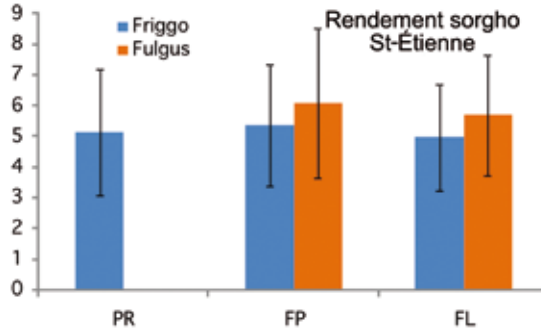


Figure 7 : évolution du rendement du sorgho grain à Saint-Étienne pour le sol 1 de limon profond avec les variétés Friggo et Fulgus (quand elle est réalisable). La variabilité* indiquée intègre l'interannuelle et la variabilité entre méthodes de régionalisation du climat.

D Principaux impacts du changement climatique sur le tournesol en zone Centre-Est



La Limagne apparaît comme une terre d'accueil pour la culture du tournesol, où des sols profonds (exemple du sol 1 sur la figure 8) peuvent compenser la sécheresse climatique printanière et estivale qui pénalise les rendements dans les sols superficiels.

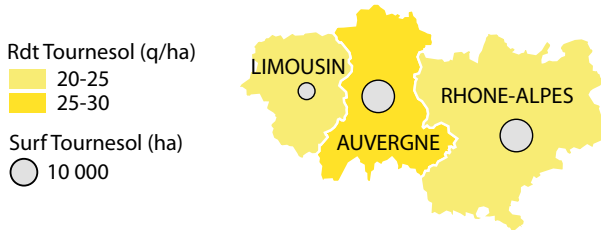


Figure 8 : surfaces et rendements actuels du tournesol en zone Centre-Est (moyennes 2000-2007). Source Agreste.

De plus, l'avancée des semis et le recours à des variétés à cycle long dès le FP permettront des augmentations de rendement de l'ordre de 0,5 t ha⁻¹ en moyenne.

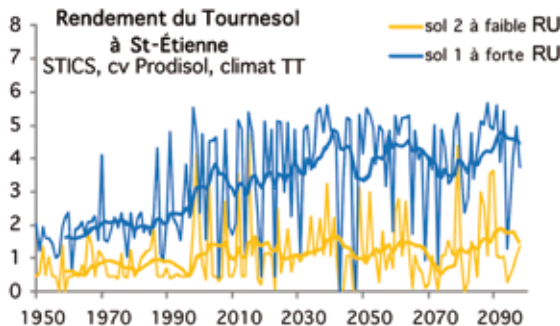


Figure 9 : évolution de la productivité du tournesol à St-Étienne pour un sol à forte RU (226 mm) et un sol à faible RU (104 mm). Simulations dans le cadre d'une rotation* céréalière en pluvial (TBSB) avec la méthode de régionalisation climatique TT. Pour chaque série sont figurés les données annuelles et un lissage par moyenne glissante sur 10 ans.

E Principaux impacts du changement climatique sur la forêt en zone Centre-Est

Le fonctionnement des couverts forestiers est fortement contrôlé par le statut hydrique, en particulier pendant la saison de croissance (printemps, été).

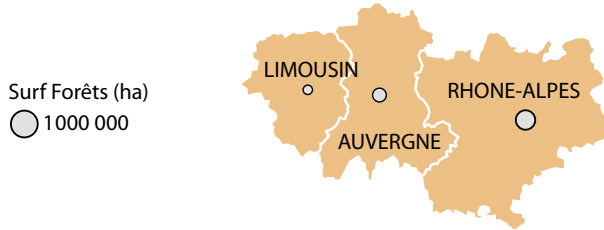


Figure 10 : surfaces actuelles de la forêt en zone Centre-Est (moyennes 2000-2007) Source Agreste.



Les changements climatiques modélisés dans le cas du scénario climatique A1B génèrent (modèles de culture* BILJOU et GRAECO) une légère diminution du confort hydrique des arbres (fig. 11 gauche). La restitution d'eau au milieu est globalement maintenue sur la période 2000-2100 (fig. 11 droite).

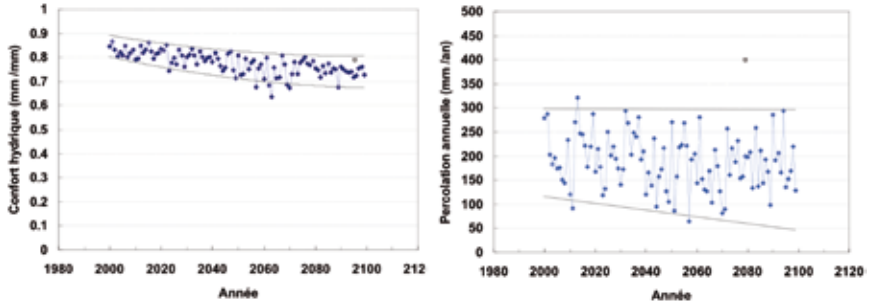


Figure 11 : moyenne régionale (Clermont-Ferrand, Saint-Étienne) de l'évolution du confort hydrique ETR/ET0 (gauche) et de la restitution d'eau au milieu des pins (droite) (Rotation 45 ans, sol 3) avec l'intervalle de confiance (95 %) lié à la méthode de régionalisation.



Pour cette région, une baisse des rendements moyens n'est prévue qu'au futur lointain (fig. 12), et ceci de façon plus modérée que dans les régions de plaine, avec une perte de rendement respective de 4 et 16 % pour Clermont et Saint-Étienne.

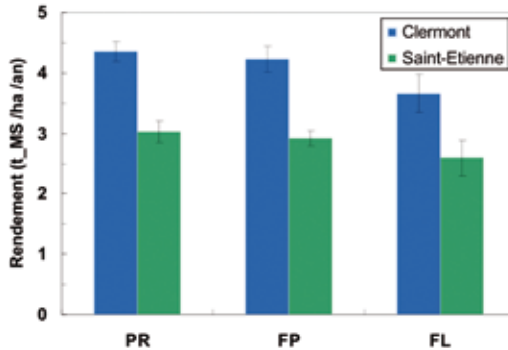


Figure 12 : évolution des rendements de pins (Rotation 45 ans, sol 3, méthode de régionalisation TT) entre les 3 périodes avec la variabilité interannuelle.

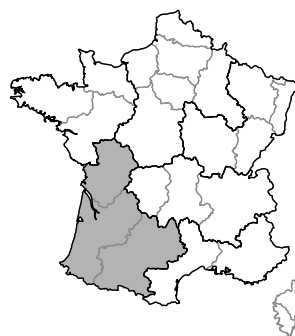


Changement climatique en zone Sud-Ouest : aperçu des impacts agricoles et forestiers

Frédéric Levrault, Nadine Brisson,
Philippe Pieri, Alexandre Bosc

Régions concernées :

- Aquitaine
- Midi-Pyrénées
- Poitou-Charentes



Sites d'étude : Bordeaux, Lusignan et Toulouse.

Territoire	Surf (ha)	% ST	Surf. Agricole Utile	Surf (ha)	% ST
Surface totale	11 337 680		SAU des E.A.	5 559 746	
Bois et forêts	3 555 218	0,31	Terres arables	4 011 087	0,72
SAU totale	5 932 928	0,52	STH	1 215 019	0,22
Autres	1 849 534	0,16	Cult permanentes	333 565	0,06

Baisse sévère des précipitations, recul du rendement du maïs irrigué avec les pratiques culturales actuelles (plus marqué dans le sud de la zone), maintien des rendements du sorgho dans le FL, peu d'évolution dans le cas du tournesol, remontée vers le nord de la zone des conditions thermiques favorables à la qualité du merlot, baisse des rendements forestiers, telles sont les principales tendances mises à jour pour la zone Sud-Ouest.

A Quelques faits marquants du changement climatique* dans la zone* Sud-Ouest

Températures

L'évolution prévue des températures moyennes annuelles est identique pour les trois sites* : + 1,4 °C entre PR* et FP* ; + 2,7 °C entre PR et FL*. Ce réchauffement est légèrement inférieur à celui de la moyenne des 12 sites métropolitains (+ 1,44 °C entre le PR et le FP ; + 2,83 °C entre le PR et le FL*. Des douze sites étudiés, c'est Toulouse qui conserve le maximum de température moyenne annuelle, tant dans le PR (13,3 °C), dans le FP (14,7 °C) que dans le FL (16,0 °C). L'évolution des températures hautes est assez remarquable, notamment dans le sud de la zone : ainsi, à Toulouse, le nombre moyen de jours échaudants (température maximale journalière > à 25 °C) au cours des mois d'avril à juin passe de 15 jours dans le PR à 21 jours dans le FP, et à 35 jours dans le FL soit plus du double.

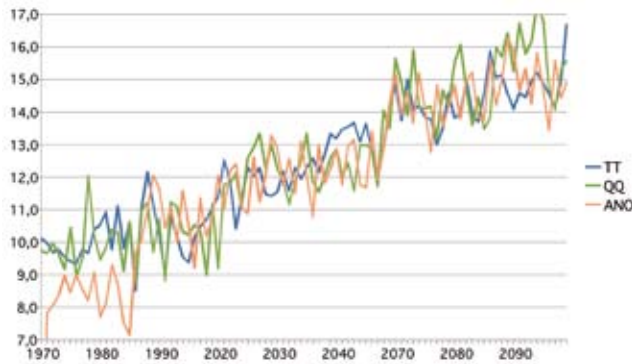


Figure 1 : évolution de la température moyenne annuelle (°C) de 1970 à 2100, à Toulouse. ARPEGE* A1B*. Méthodes de régionalisation : ANO, TT et QQ*.

Précipitations et évapotranspiration

La zone Sud-Ouest se caractérise par l'une des plus fortes diminutions de cumul annuel de précipitations, en particulier dans le FL : -73 à -146 mm entre le PR* et le FP* et -182 à -219 mm entre le PR* et le FL*. La baisse des précipitations est plus marquée dans le nord de la zone, rapprochant ainsi la situation de Lusignan de celle de Bordeaux et Toulouse. Parmi les douze sites de métropole étudiés, c'est à Lusignan qu'on observe la plus forte baisse de cumul annuel de précipitations : -146 mm entre le PR et le FP et -220 mm entre le PR* et le FL. Dans le FL, parmi les douze sites étudiés, c'est Toulouse qui se voit affecté du plus faible cumul annuel de précipitations : 474 mm (au lieu de 657 mm dans le PR).

Une augmentation sensible de l'évapotranspiration potentielle (ET0*) est mise en évidence à Bordeaux, Lusignan et Toulouse, quelle que soit la méthode de régionalisation*. Les augmentations du cumul annuel (moyenne par période de 30 ans) sont ainsi :

- de 70 à 80 mm entre le PR et le FP et de 140 à 175 mm entre le PR et le FL, avec la méthode de régionalisation TT ;
- de 75 à 90 mm entre le PR et le FP et de 220 à 230 mm entre le PR et le FL, avec la méthode de régionalisation QQ.

Ceci représente (moyenne des méthodes TT et QQ) un accroissement moyen de 0,5 à 0,6 mm par jour entre le PR et le FL. Nous n'avons pas étudié la répartition entre saisons de cet accroissement, mais les périodes de forte demande évaporative (printemps et été) prendront largement leur part de ces augmentations.

La concomitance de la baisse des pluies et de la hausse de l'évapotranspiration conduira (fig. 2) à une dégradation marquée du déficit hydrique climatique annuel.

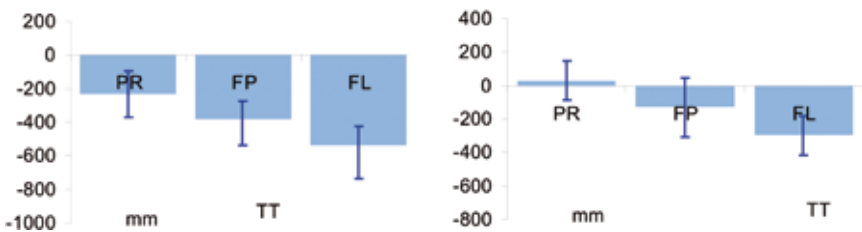


Figure 2 : déficit hydrique climatique (pluies-ET0) annuel dans le PR, le FP et le FL, à Toulouse (à gauche) et à Lusignan (à droite). ARPEGE* A1B*. Méthode de régionalisation TT.

Rayonnement global

Dans le PR, le rayonnement global moyen annuel à Toulouse est de 485 000 (méthode QQ) à 487 000 (méthode TT) $J/cm^2/an$, soit environ 1330 $J/cm^2/jour$ en moyenne. Une augmentation progressive est observée tout au long du XXI^e siècle. Dans le FL, le rayonnement global moyen annuel atteint 544 000 (méthode QQ) à 553 000 (méthode TT) $J/cm^2/an$, soit environ 1 500 $J/cm^2/jour$ en moyenne. À Lusignan, la même dynamique est observée, avec des valeurs journalières moyennes d'environ 1 230 $J/cm^2/jour$ dans le PR et d'environ 1 375 $J/cm^2/jour$ dans le FL. Cet accroissement du rayonnement de plus de 150 $J/cm^2/jour$ explique l'augmentation nette de l'évapotranspiration potentielle (ET0).

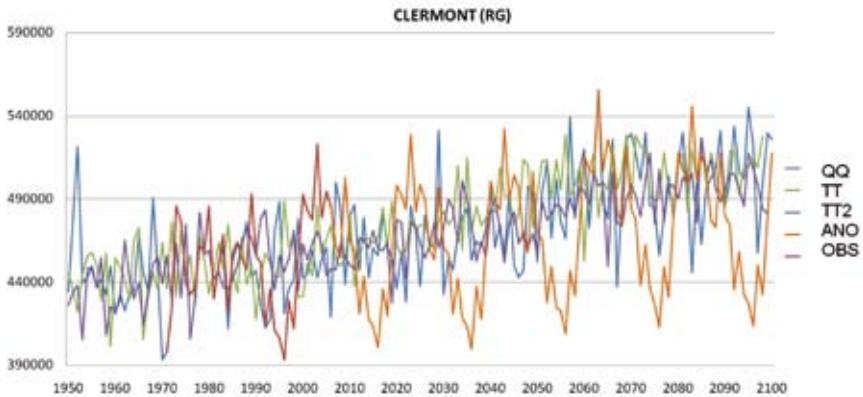


Figure 3 : évolution du cumul annuel de rayonnement global ($J/cm^2/an$) de 1950 à 2100, à Bordeaux. ARPÈGE* A1B*. Méthodes de régionalisation standard : ANO, TT et QQ auxquelles ont été ajoutées la méthode TT2 (cf. fiche CLIMAT) et les données observées sur le PR.

Rappel sur la production agricole actuelle en zone Sud-Ouest (Source Agreste)

Cultures	Surf (ha)	% SAU	Rdt
Prairies t & a	843 369	0,15	70
Maïs grain et sem	741 350	0,13	85
Blé tendre	664 826	0,12	60
Tournesol	389 867	0,07	23
Vigne	270 967	0,05	90
Maïs fourr et ens	175 370	0,03	116
Colza	140 806	0,03	31
Blé dur	136 424	0,02	50
Sorgho	38 896	0,01	55
.../...			
Total	3 401 875	0,61	

Les cultures étudiées dans le projet CLIMATOR couvrent 61 % de la SAU de la zone Sud-Ouest. Celle-ci compte 74 716 exploitations agricoles professionnelles, 96 180 exploitants et co-exploitants. L'ensemble des actifs agricoles représente 159 736 UTA. La valeur des produits agricoles végétaux bruts et transformés s'établit à 7,52 milliards d'euros en 2008.

B Principaux impacts du changement climatique sur le maïs en zone Sud-Ouest

Partout dans le Sud-Ouest, la production de maïs irrigué est appelée à décroître s'il n'y a pas de changements variétaux. Cette diminution est de l'ordre de 1 t ha^{-1} dans le FP et $1,6 \text{ t ha}^{-1}$ dans le FL, pour les sites de Toulouse et Bordeaux, légèrement moins pour Lusignan.

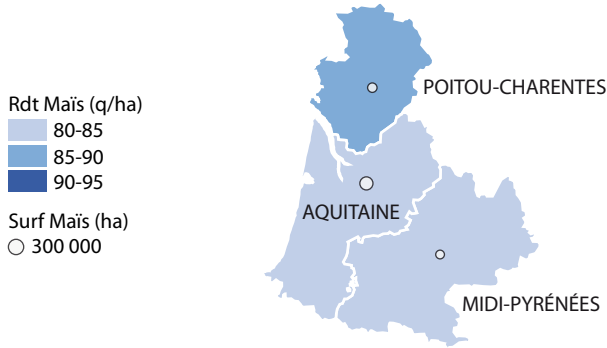


Figure 4 : surfaces et rendements* actuels du maïs en zone Sud-Ouest (moyennes 2000-2007). Source Agreste.

La cause est à chercher du côté de la phénologie* et de la réduction de la phase de remplissage des grains qui, en raison du réchauffement, est notablement raccourcie : de l'ordre de 10 jours dans le FP et de 15 jours dans le FL. Dans le même temps, les besoins en eau d'irrigation augmentent jusqu'en 2070 et, à partir de là, diminuent (fig. 5) à cause de la réduction de la durée du cycle.

Bien que cette tendance soit identique pour les deux méthodes de régionalisation extrêmes, on note, à Bordeaux, une divergence dans l'amplitude de l'augmentation. Reste que les niveaux actuels d'alimentation en eau d'irrigation du maïs seront dépassés dans le FP.

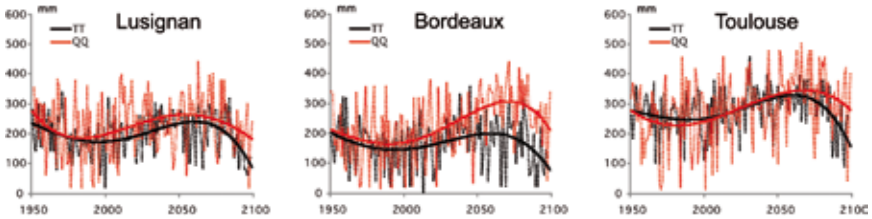


Figure 5 : évolution des besoins en eau d'irrigation d'une monoculture de maïs (variétés Méribel à Lusignan et DKC5783 à Bordeaux et Toulouse) sur un sol limoneux profond (sol 1) pour les deux méthodes de régionalisation climatique TT et QQ, avec un lissage polynomial d'ordre 4.

L'avancée des semis, déjà effective actuellement, pourra continuer à un rythme de l'ordre d'un jour tous les quatre ans. Malheureusement, elle ne diminuera pas les besoins en eau d'irrigation, à cause d'une combinaison de facteurs climatiques favorables à l'augmentation de la demande. Dans ce contexte, le choix des sols est primordial : il existe entre 70 et 100 mm d'écart d'irrigation entre un sol à RU de 100 mm et un sol à RU de 200 mm. Seul le recours à des variétés à cycle plus long permettra de maintenir la production de maïs à son niveau actuel dans le Sud-Ouest, ce qui augmentera encore davantage la consommation en eau d'irrigation. Ce constat doit nous inciter à rechercher des solutions alternatives.

C Principaux impacts du changement climatique sur le sorgho en zone Sud-Ouest

Le sorgho pluvial est confronté au stress hydrique*, en particulier pendant la phase de remplissage des grains. Or les déficits pluviométriques prédits par les modèles climatiques* vont accentuer ce stress (fig. 7) et engendrer une baisse des rendements moyens dans le FP, entre 0,6 et 1 t ha⁻¹.

Cependant, la situation s'améliore dans le FL, sauf à Toulouse où esquivé* (anticipation* des phases) et évitement* (faible indice foliaire* et fort enracinement) semblent se combiner pour améliorer le confort hydrique* du sorgho.

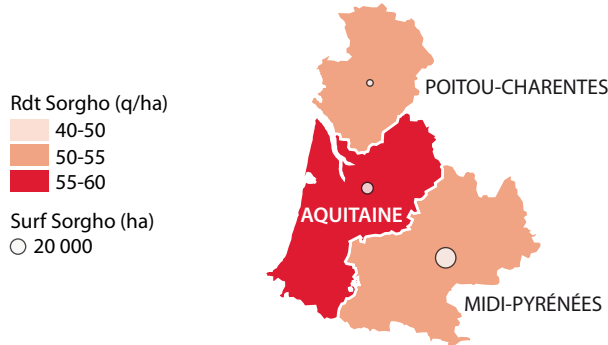


Figure 6 : surfaces et rendements actuels du sorgho en zone Sud-Ouest (moyennes 2000-2007). Source Agreste.

Ainsi, les rendements, dans le FL retrouvent des niveaux comparables à ceux du PR : 5,4 t ha⁻¹ (± 1,6) à Bordeaux et 4,5 (± 1,8) à Lusignan. À Toulouse, c'est la variabilité* interannuelle du confort hydrique*, plus importante, qui fait baisser le rendement moyen : 4,2 (± 2,2).

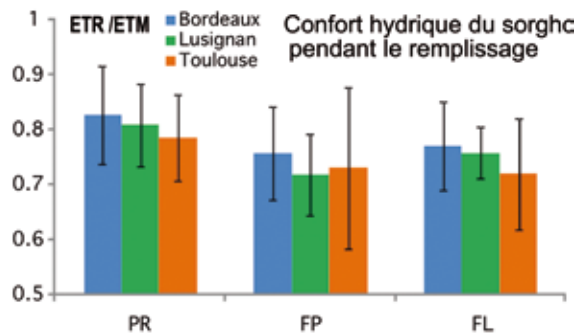


Figure 7 : évolution du confort hydrique* du sorgho grain (variété Friggo à Lusignan et Fulgus à Bordeaux et Toulouse, sol 1) entre les 3 périodes, avec indication d'une variabilité intégrant l'interannuelle et la variabilité entre méthodes de régionalisation du climat.

Cultiver le sorgho dans des conditions moins spartiates serait source d'une importante amélioration de sa productivité. Par exemple, une irrigation couvrant 50 % de ses besoins en eau permettrait de doubler les rendements à Toulouse, l'ordre de grandeur des apports étant de 180 mm. Par ailleurs, sans irrigation starter, l'anticipation des semis, intéressante pour accentuer les phénomènes d'esquive, sera limitée dans le FL par la sécheresse du lit de semence au printemps.

D Principaux impacts du changement climatique sur le tournesol en zone Sud-Ouest

Sans changement de pratique de variété et de localisation de la culture sur des sols plutôt pauvres, la culture de tournesol évoluera peu, soumise à une forte variabilité interannuelle (fig. 9).

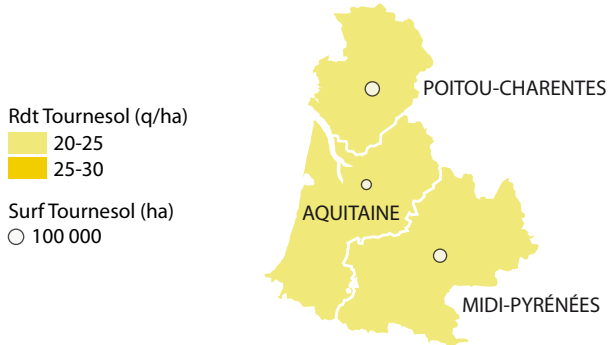


Figure 8 : surfaces et rendements actuels du tournesol en zone Sud-Ouest (moyennes 2000-2007). Source Agreste.

Ce résultat est lié à une compensation entre les effets bénéfiques de l'augmentation du CO₂ atmosphérique et les effets négatifs du stress hydrique, particulièrement prégnant sur sol à faible RU* (fig. 9).

Un déplacement géographique vers le nord de la zone (Lusignan) ou sur des sols plus riches offre des perspectives d'amélioration substantielle des rendements.

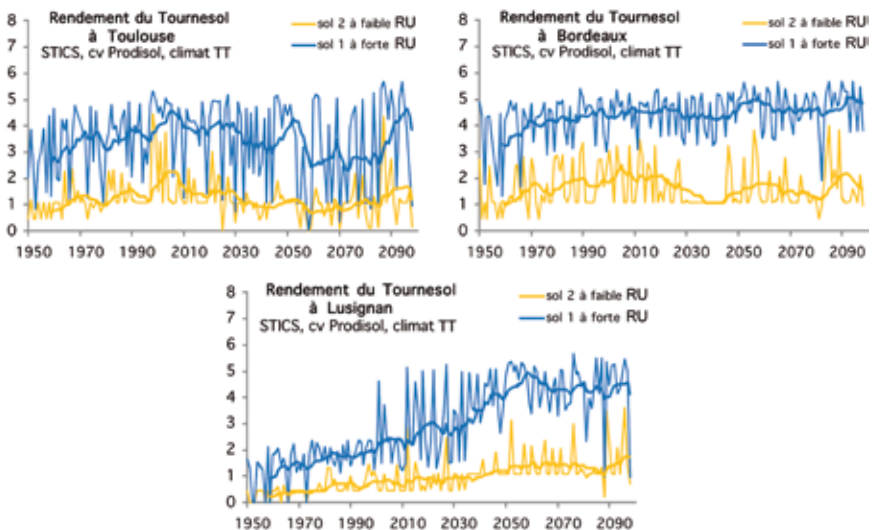


Figure 9 : évolution de la productivité du tournesol à Toulouse, Bordeaux et Lusignan pour un sol à forte RU (226 mm) et un sol à faible RU (104 mm). Simulations dans le cadre d'une rotation céréalière en pluvial (TBSB) avec la méthode de régionalisation climatique TT. Pour chaque série, sont figurés les données annuelles et un lissage par moyenne glissante sur 10 ans.

Sans changement de sol, l'avancée des semis, qui pourront s'effectuer à partir de fin mars dans le FP, permettra d'échapper quelque peu à la sécheresse, mais le plus efficace sera, sans nul doute, le recours à des irrigations starter ou de complément pendant la phase végétative du cycle.

E Principaux impacts du changement climatique sur la vigne en zone Sud-Ouest

La région Sud-Ouest est représentée dans CLIMATOR par trois sites dont deux sont de tradition viticole, et un troisième, Lusignan (à mi-chemin entre Cognac et le Val-de-Loire), qui pourrait sans doute l'être actuellement avec des cépages, sols et systèmes de conduite adaptés.

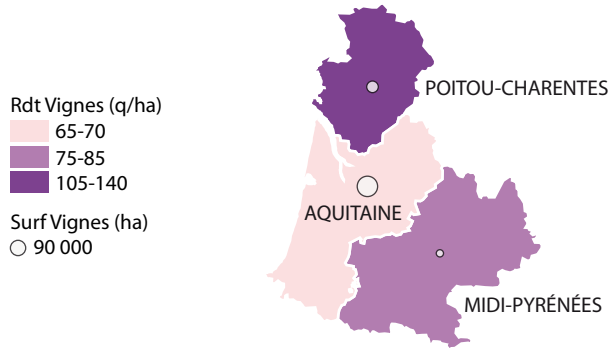


Figure 10 : surfaces et rendements actuels de la vigne en zone Sud-Ouest (moyennes 2000-2007). Source Agreste.

La vigne devrait suivre dans cette région des évolutions très comparables à celles prévues globalement, avec une avancée très nette du calendrier phénologique (fig. 11), une très forte augmentation des températures pendant la phase de maturation (fig. 11), une stabilité des conditions de confort hydrique jusqu'aux vendanges et une baisse très sensible des quantités d'eau transférées en profondeur (fig. 11).

Ces tendances sont nettes quelle que soit la série climatique simulée, mais la méthode de régionalisation QQ induit une variabilité bien plus élevée par comparaison avec TT.

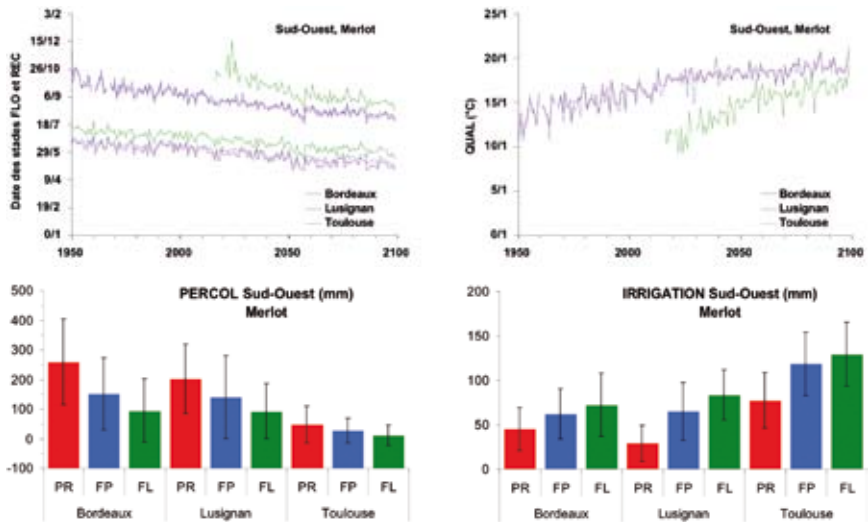


Figure 11 : évolution dans les trois sites de la zone, en haut à gauche des dates de floraison et de vendanges, en haut à droite de l'indice de qualité (température minimale pendant la maturation), en bas à gauche de la restitution d'eau au milieu et en bas à droite des besoins en irrigation (30 % de l'ETM) – Scénario A1B – Méthode de régionalisation TT – Sol 1.

Les besoins en irrigation devraient augmenter, même avec une stratégie économe (maintien de ETR/ETM* à 0,3 au moins, goutte-à-goutte enterré), à cause du déficit hydrique post-vendanges (fig. 11). Les simulations montrent également que le climat de Lusignan devrait prochainement devenir adapté au merlot, avec des conditions thermiques relativement favorables à la qualité (fig. 11).



F Principaux impacts du changement climatique sur la forêt en zone Sud-Ouest

Le fonctionnement des couverts forestiers est fortement contrôlé par le statut hydrique, en particulier pendant la saison de croissance (printemps, été).

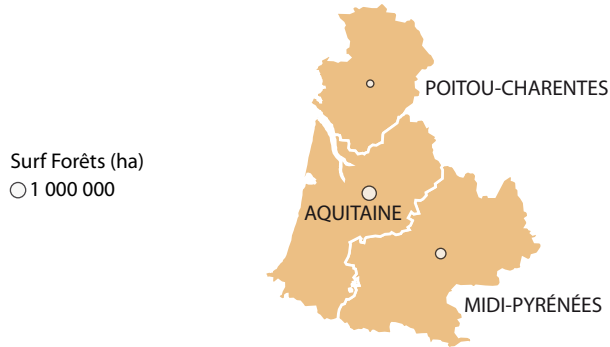


Figure 12 : surfaces actuelles de la forêt en zone Sud-Ouest (moyennes 2000-2007). Source Agreste.

L'augmentation de la température (donc de l'ET0) et du déficit pluviométrique prédite par les modèles climatiques (scénario A1B) induit (modèles BILJOU et GRAECO) une diminution du confort hydrique des arbres (fig. 13a). Les conséquences attendues de ce stress hydrique accru sont une diminution forte de la restitution d'eau au milieu (-125 mm/an au FL) (fig. 13b) et une baisse des rendements moyens (fig. 14).

Cette baisse de rendement, faible pour Bordeaux au futur lointain (-7 %), atteindrait -23 % pour les deux autres sites régionaux. Ces tendances seraient d'autant plus accentuées sur les sols profonds.

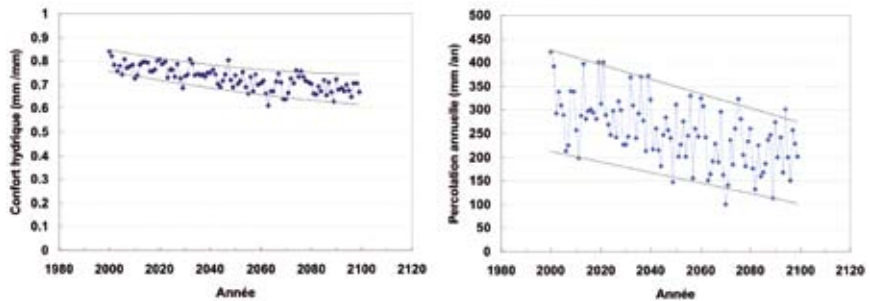


Figure 13 : moyenne régionale (Bordeaux, Lusignan, Toulouse) de l'évolution du confort hydrique ETR/ET0 (a : gauche) et de la restitution d'eau au milieu des pins (b : droite) (Rotation 45 ans, sol 3) avec l'intervalle de confiance (95 %) lié à la méthode de régionalisation.

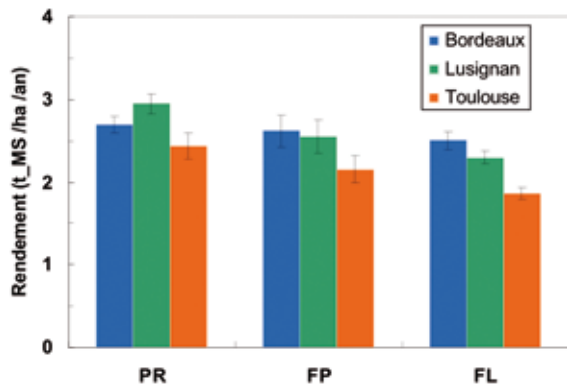


Figure 14 : évolution des rendements de pins (Rotation 45 ans, sol 3, méthode de régionalisation TT) entre les 3 périodes, avec la variabilité interannuelle.





Changement climatique en zone Sud-Est : aperçu des impacts agricoles et forestiers

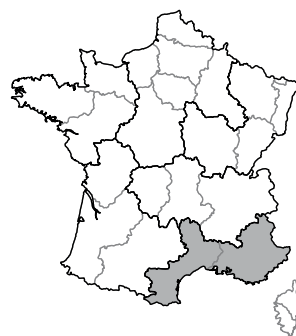
D7
Sud-Est

Frédéric Levrault, Marie-Odile Bancal,
Philippe Pieri, Alexandre Bosc

Régions concernées :

- **Languedoc-Roussillon**
- **Provence-Alpes-Côte d'Azur**

Site d'étude : Avignon.



Territoire	Surf (ha)	% ST	Surf. Agricole Utile	Surf (ha)	% ST
Surface totale	5 956 502		SAU des E.A	1 665 124	
Bois et forêts	2 212 196	0,37	Terres arables	502 417	0,30
SAU totale	2 080 968	0,35	STH	696 149	0,42
Autres	1 663 338	0,28	Cult permanentes	466 558	0,28

Forte dégradation du déficit hydrique climatique annuel (pluies-ET0), légère baisse du confort hydrique de la vigne, légère diminution du rendement du blé en pluvial mais augmentation en irrigué, variabilité accrue des restitutions d'eau au milieu sous forêt et baisse des rendements, telles sont les principales tendances mises à jour pour la zone Sud-Est.

A Quelques faits marquants du changement climatique* en zone Sud-Est

Température

Dans le FP*, l'augmentation de température moyenne annuelle à Avignon (+ 1,4 °C par rapport au PR*) est proche du comportement moyen des 12 sites* étudiés (+1,44 °C). Dans le FL*, le réchauffement (+2,7 °C par rapport au PR*) est moins marqué que la moyenne des 12 sites (+2,83 °C). À ces deux échéances, la zone Sud-Est demeure néanmoins, avec la zone Sud-Ouest, l'une des deux plus chaudes de France métropolitaine. C'est aussi dans cette zone que l'évolution en termes de températures hautes est significativement très pénalisante pour les espèces cultivées. Ainsi, le nombre moyen de jours échaudants (température maximale journalière > 25 °C) durant les mois d'avril à juin passe de 27 dans le PR à 36 dans le FP et à 48 dans le FL, soit un quasi-doublement.

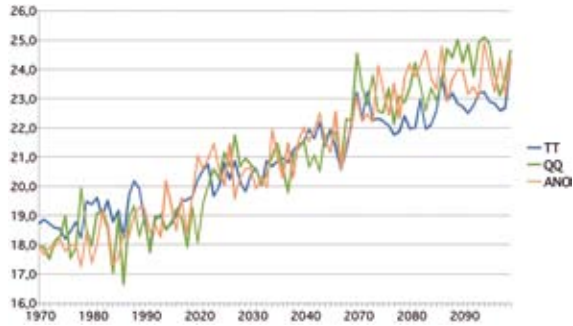


Figure 1 : évolution de la température moyenne annuelle (°C) de 1970 à 2100, à Avignon. Scénario A1B*. Méthodes de régionalisation* : ANO*, TT* et QQ*.

Précipitations et évapotranspiration

La zone Sud-Est devrait être affectée par l'une des plus fortes baisses du cumul annuel de précipitations : -109 mm à Avignon entre le PR et le FP et -182 mm entre le PR et le FL. Les cumuls annuels de précipitations (FP : 730 mm ; FL : 657 mm) restent néanmoins supérieurs à ceux des sites de Toulouse, Bordeaux, Lusignan, Colmar, Rennes et Versailles, tant dans le FP que dans le FL, indiquant le maintien d'un régime hydrique méditerranéen.

Une augmentation sensible de l'évapotranspiration potentielle (ET0*) à Avignon est mise en évidence quelle que soit la méthode de régionalisation*. Le cumul annuel (moyenne par période de 30 ans) passe ainsi :

- de 1 038 mm/an dans le PR à 1 097 mm/an dans le FP et à 1 147 mm/an dans le FL, avec la méthode de régionalisation TT ;
- de 1 032 mm/an dans le PR à 1 127 mm/an dans le FP et à 1 270 mm/an dans le FL, avec la méthode de régionalisation QQ.

Cela représente (moyenne des méthodes TT et QQ) un accroissement moyen de 0,5 mm/jour entre le PR et le FL. Nous n'avons pas étudié la répartition entre saisons de cet accroissement, mais les périodes de forte demande évaporative (printemps et été) prendront largement leur part de ces augmentations.

La concomitance de la baisse des pluies et de la hausse de l'évapotranspiration conduira (fig. 2) à une dégradation marquée du déficit hydrique climatique annuel.

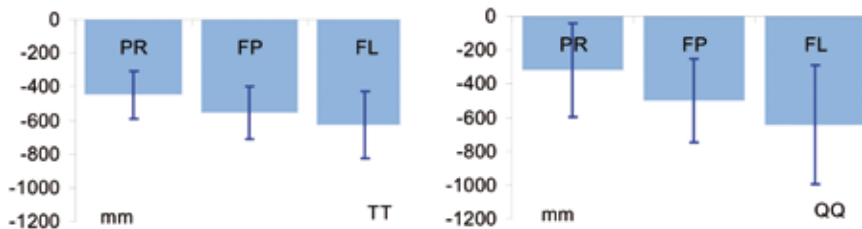


Figure 2 : déficit hydrique climatique (pluies-ET0) annuel dans le PR, le FP et le FL, à Avignon. ARPÈGE A1B*. Méthodes de régionalisation : TT (à gauche) et QQ (à droite).

Rayonnement global

À Avignon, on observe une augmentation continue du rayonnement global sur l'ensemble de la période d'étude (1970-2100). Dans le PR, le rayonnement global moyen annuel est de 545 000 (méthode QQ) à 552 000 (méthode TT) J/cm²/an, ce qui représente en moyenne 1 500 J/cm²/jour. Dans le FL, le rayonnement global moyen annuel est de 585 000 (méthode QQ) à 595 000 (méthode TT) J/cm²/an, ce qui représente en moyenne 1 620 J/cm²/jour. Ce « supplément » radiatif de plus de 100 J/cm²/jour explique, avec la hausse des températures, l'augmentation significative de l'évapotranspiration potentielle (ET0).

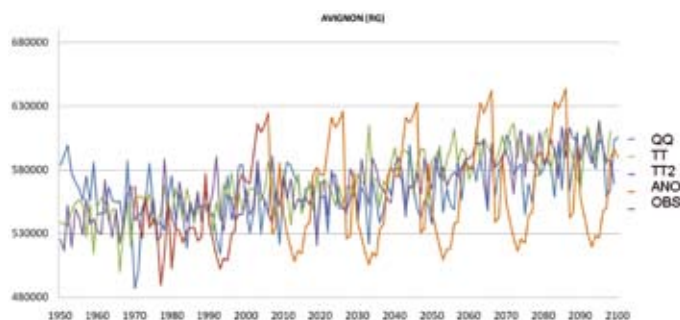


Figure 3 : évolution du cumul annuel de rayonnement global (J/cm²/an) de 1950 à 2100, à Avignon. ARPÈGE A1B. Méthodes de régionalisation standard : ANO, TT et QQ auxquelles ont été ajoutées la méthode TT2 (cf. fiche CLIMAT) et les données observées sur le PR.



Rappel sur la production agricole actuelle en zone Sud-Est (Source Agreste)

Cultures	Surf (ha)	% SAU	Rdt
Vigne	373 095	0,22	73
Blé dur	146 374	0,09	35
Prairies t & a	100 477	0,06	52
Tournesol	28 774	0,02	21
Maïs grain et sem	10 133	0,01	71
Blé tendre	9 787	0,01	37
Colza	6 962	0,00	24
Sorgho	3 033	0,00	53
Maïs fourr et ens	2 477	0,00	93
.../...			
Total	681 111	0,41	

Les cultures étudiées dans le projet CLIMATOR couvrent 41 % de la SAU de la zone Sud-Est. Celle-ci compte 30 156 exploitations agricoles professionnelles, 36 317 exploitants et co-exploitants. L'ensemble des actifs agricoles représente 76 216 UTA. La valeur des produits agricoles végétaux bruts et transformés s'établit à 4,5 milliards d'euros en 2008.

B Principaux impacts du changement climatique sur la vigne en zone Sud-Est

La région Sud-Est, représentée dans CLIMATOR par le site d'Avignon, est déjà actuellement de tradition viticole avec un cépage grenache qui est bien représentatif du vignoble régional.

La vigne devrait suivre, dans cette région, des évolutions assez comparables à celles prévues globalement, avec une avancée très nette du calendrier phénologique (fig. 5a), une très forte augmentation des températures pendant la phase de maturation (fig. 5b) et une stabilité ou une légère dégradation des conditions de confort hydrique* jusqu'aux vendanges. À Avignon, une très grande irrégularité des quantités d'eau transférées en profondeur devrait se poursuivre, plutôt qu'une baisse sensible et régulière en tendance comme dans d'autres régions (fig. 5c).

Ces tendances sont nettes quelle que soit la série climatique simulée, mais la méthode de régionalisation QQ induit une variabilité plus élevée par comparaison avec TT et surtout une forte divergence pour les températures minimales pendant la maturation (fig. 5b).

Les besoins en irrigation devraient augmenter, même avec une stratégie économe (maintien de ETR/ETM* à 0,3 au moins, goutte-à-goutte enterré), en grande partie à cause du déficit hydrique post-vendanges (fig. 5d).



Figure 4 : surfaces et rendements actuels de la vigne en zone Sud-Est (moyennes 2000-2007). Source Agreste.



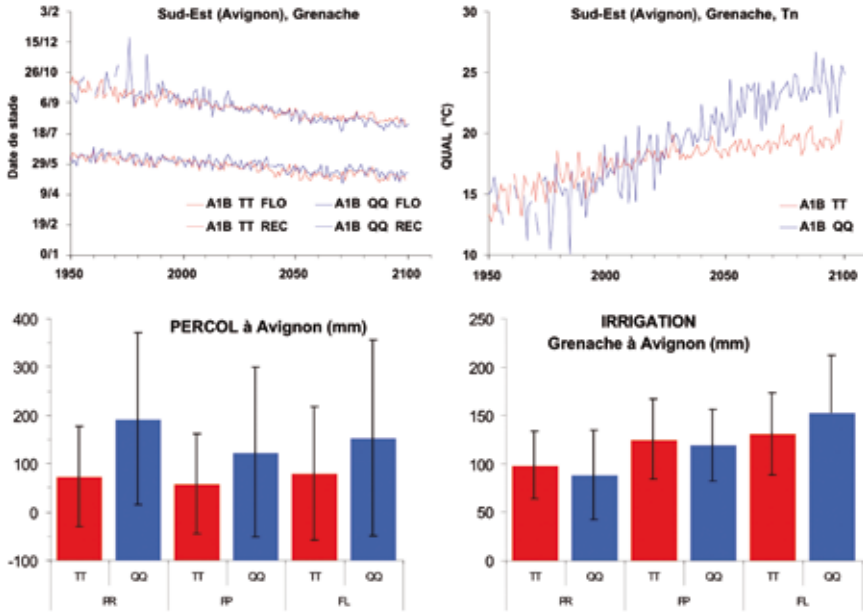


Figure 5 : évolution de 1950 à 2100, à Avignon, de quatre variables climatiques et agronomiques liées à la croissance* et au développement* de la vigne ; a : haut gauche : dates de floraison et dates de récolte ; b : haut droit : températures minimales pendant la maturation ; c : bas gauche : PERCOL* ; d : bas droite : besoins en irrigation. Scénario A1B. Méthodes de régionalisation TT et QQ. Cépage : grenache.

C Principaux impacts du changement climatique sur le blé en zone Sud-Est

Le Sud, première région productrice de blé dur, représente près de 39 % de la production française. Malgré cela, les rendements* y sont les plus bas, avec une moyenne de 3,5 t ha⁻¹, loin derrière les zones Sud-Ouest (5 t ha⁻¹) et Centre-Nord (6,2 t ha⁻¹).



Figure 6 : surfaces et rendements actuels du blé en zone Sud-Est (moyennes 2000-2007). Source Agreste.

La figure 7 montre que, dans le cas d'une culture pluviale (rotation* TBSB), il apparaît une évolution favorable du confort hydrique pendant le remplissage du grain. Cette augmentation est surtout liée à l'ajustement au stress qui s'opère pendant la phase végétative du cycle par une diminution de l'indice foliaire*, phénomène classique d'évitement* qui améliore les conditions hydriques de fin de cycle, mais pénalise le nombre de grains et le rendement.

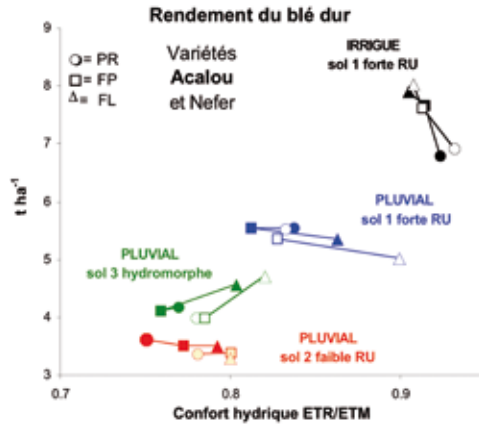


Figure 7 : évolution du rendement du blé dur avec le confort hydrique en fonction de la variété (Acalou en foncé et Nefer en clair), du type de sol et du mode de conduite (méthode de régionalisation climatique TT, modèle STICS).



À cela il faut ajouter l'augmentation des stress thermiques de fin de cycle : le nombre de jours échaudants au printemps est en moyenne de 37 jours pour le PR, 58 jours pour le FP et 83 jours pour le FL (cf. fiche CLIMAT). Ainsi, pour les sols 1 et 2, de RU* très différentes, les rendements diminuent ou stagnent dans le FL, indiquant que l'augmentation du CO₂ et du confort hydrique* pendant le remplissage ne suffisent pas à augmenter le niveau moyen des rendements entre PR et FL. Le sol 3 fait exception, grâce à la diminution des problèmes d'hydromorphie consécutifs à la baisse de pluviométrie dans le FL (de l'ordre de 80 mm annuels).

Dans le cas d'une culture irriguée (MBCB), on constate une tendance à l'augmentation des rendements dans le FP et le FL, malgré une légère baisse de confort hydrique. Cela est dû à la fois à de meilleures conditions pendant la phase végétative, permises par l'irrigation et un semis plus précoce, grâce au précédent colza qui engendre une floraison en moyenne 5 jours plus tôt que dans la rotation pluviale et limite les stress thermiques de fin de cycle.

D Principaux impacts du changement climatique sur la forêt en zone Sud-Est

Le fonctionnement des couverts forestiers est fortement contrôlé par le statut hydrique, en particulier pendant la saison de croissance (printemps, été).



Figure 8 : surfaces actuelles de forêt en zone Sud-Est (moyennes 2000-2007). Source Agreste.

Les changements climatiques modélisés dans le cas du scénario climatique A1B pour Avignon ne génèrent (modèles BILJOU et GRAECO) qu'une légère diminution du confort hydrique des arbres (fig. 9a), déjà faible à la période de référence. La restitution d'eau au milieu est globalement maintenue sur la période 2000-2100 (fig. 9b), avec une très forte variabilité interannuelle.

Pour cette région, une baisse des rendements moyens de 8 % au FP et de 17 % au FL est prévue avec le modèle GRAECO (fig. 10).

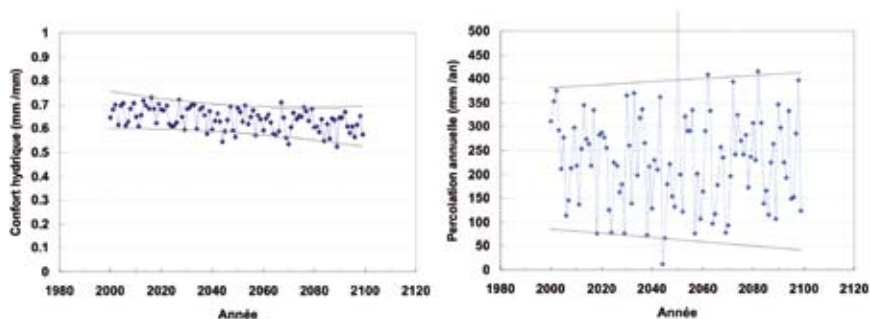


Figure 9 : évolution du confort hydrique (ETR/ET0) (a : gauche) et de la restitution d'eau au milieu des pins (b : droite), à Avignon (Rotation 45 ans, sol 3) avec l'intervalle de confiance (95 %) lié à la méthode de régionalisation TT.

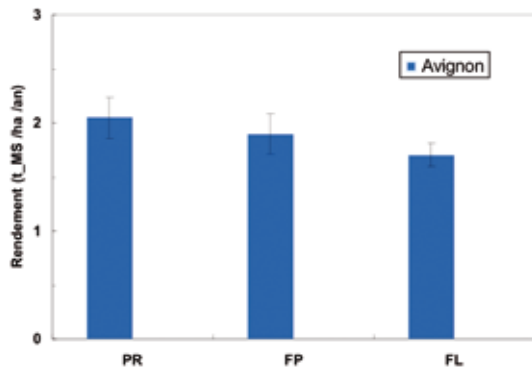


Figure 10 : évolution des rendements de pins (Rotation 45 ans, sol 3, méthode de régionalisation TT) entre les 3 périodes avec la variabilité interannuelle.





Changement climatique en zone Antilles : aperçu des impacts agricoles

Jorge Sierra



Régions concernées :

- Guadeloupe
- Martinique

Zones analysées : Guadeloupe

Est et Nord de la Basse-Terre (plaine de la Basse-Terre).

Augmentation des températures mais aussi des précipitations, baisse des rendements des espèces en C4 (canne à sucre, maïs) et maintien dans le futur proche des rendements des espèces en C3 (banane), augmentation des concentrations en nitrates des eaux lessivées si les fertilisations sont accrues, baisse de la teneur en matière organique des sols par accroissement de la minéralisation, telles sont les principales tendances mises à jour pour la zone Antilles.

A Quelques faits marquants du changement climatique* dans la zone* des Antilles

A : annuel ; C : carême (janvier-juin) ; H : hivernage (juillet-décembre)

Période	Température moyenne journalière °C			Pluies mm/an			Rayonnement solaire MJ/m		
	A	C	H	A	C	H	A	C	H
1970-99	24.8	24.3	25.4	2050	900	1150	18.1	18.4	17.7
2020-49	25.8	25.2	26.4	2500	1200	1300	16.7	17.0	16.3
2070-99	27.1	26.6	27.5	3500	1600	1900	15.1	15.8	14.5

Tableau 1 : Scénario CNRM A1B* (cf. fiche CLIMAT)

Il faut d'abord remarquer que les incertitudes* sur le changement climatique, notamment en Guadeloupe, sont plus importantes pour les pluies que pour les températures (cf. fiche CLIMAT). D'après le scénario analysé, le climat de la plaine de la Basse-Terre deviendrait plus chaud et humide. Par rapport à la situation actuelle, la température augmenterait de 1 °C dans le FP* et de 2,3 °C dans le FL*. Cette augmentation concerne aussi bien le carême que l'hivernage. Les pluies annuelles subiraient aussi une augmentation qui serait de plus en plus prononcée : + 22 % dans le FP et + 70 % dans le FL. L'augmentation serait relativement plus importante en carême : + 33 % dans le FP et + 75 % dans le FL. À cause d'un plus grand ennuagement, le rayonnement solaire arrivé aux cultures diminuerait de 8 % dans le FP et de 18 % dans le FL.

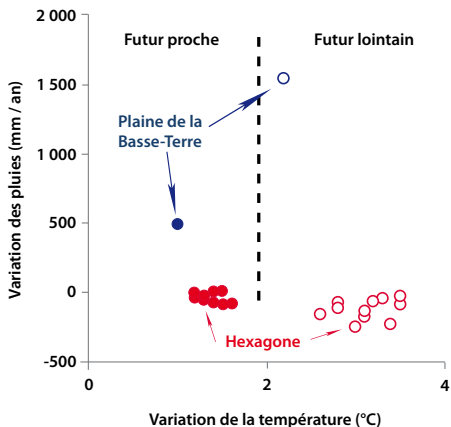


Figure 1 : changement climatique dans l'Hexagone et dans la plaine de la Basse-Terre (scénario CNRM A1B).

Pour les deux périodes analysées, l'augmentation de la température dans la plaine de la Basse-Terre serait la plus faible parmi les sites étudiés. La tendance s'inverse pour les pluies.

B Rappel sur la production agricole actuelle

(Source Agreste 2007)

Culture	Surface (ha)	Rendement agricole (tonnes/ha)	Part de la SAU en Guadeloupe (%)
Canne	6 000	65	17
Banane	2 000	25	6

Les systèmes de culture étudiés dans CLIMATOR, représentent 23 % de la SAU 2006 de la Guadeloupe, et 75 % de la SAU de la zone analysée (fig. 2).

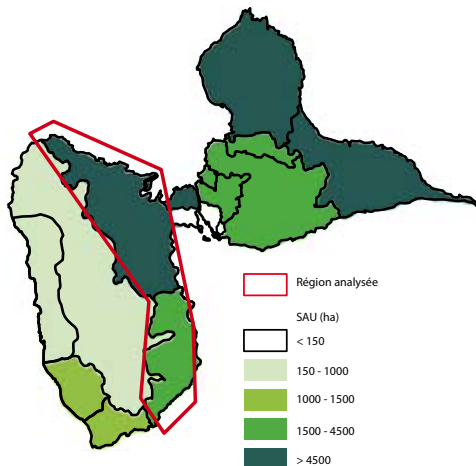


Figure 2 : SAU par zone en Guadeloupe.

C Effets du changement climatique sur quelques systèmes cultivés dans la plaine de la Basse-Terre

Canne

Les résultats correspondent à la variété B69566, sans irrigation, avec une dose de fertilisation de 150 kg d'azote/ha/an et une récolte mécanique.

Les rendements* de canne diminueraient aussi bien dans le FP (-14 %) que dans le FL -23 %) (fig. 3). La réduction de la production en sucre serait plus prononcée en raison d'une teneur plus faible à la récolte : -16 % et -32 % dans le FP et le FL, respectivement. Ces résultats sont à mettre en relation avec le raccourcissement du cycle cultural* (découlant de l'augmentation de la température) et avec la réduction du rayonnement solaire. L'augmentation du CO₂ profitera peu à la canne (plante en C4*).

Banane

Les résultats correspondent à la variété Grande Naine, sans irrigation et avec une dose de fertilisation de 400 kg d'azote/ha/an (50 kg à la plantation et 25 kg tous les dix jours jusqu'à la floraison).

La diminution des rendements devrait être faible dans le FP (-1%), et plus accentuée dans le FL (-7%) (fig. 3). Pour cette culture, il existe une compensation partielle entre l'effet positif lié au CO₂ (plante en C3*) et le raccourcissement du cycle provoqué par une température en augmentation. La diminution du rayonnement solaire n'affecterait pas significativement la production de la banane.



Maïs

Les résultats correspondent à la variété guadeloupéenne Spectral, sans irrigation et avec une dose de fertilisation de 150 kg d'azote/ha/an.

Peu important en Guadeloupe, le maïs constitue un enjeu alimentaire de premier ordre dans les tropiques. Cette raison et aussi le fait qu'il représente un exemple de culture à cycle très court (trois mois) nous ont incités à réaliser quelques tests sur l'effet du changement climatique. Les résultats obtenus (fig. 3) et les facteurs climatiques impliqués sont similaires à ceux évoqués pour la canne (le maïs est une plante C4).

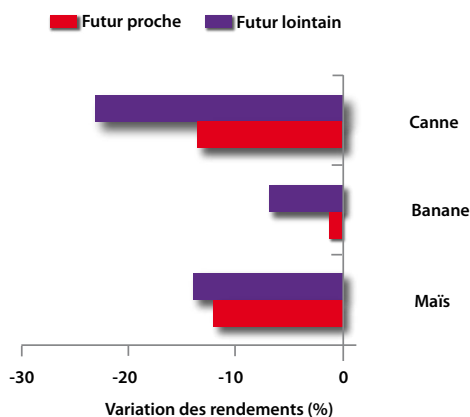


Figure 3 : effet du changement climatique sur les rendements.

D Quelques grands enjeux agri-environnementaux du changement climatique dans la plaine de la Basse-Terre

Qualité de l'eau (concentration en nitrates)

L'augmentation des pluies n'induirait pas nécessairement un renforcement du lessivage de nitrates vers les nappes, à condition que les doses d'engrais ne soient pas incrémentées. Cela est dû à la capacité des sols de la région, notamment les sols de la zone bananière, à retenir une partie des nitrates. En revanche, la saturation de cette capacité de rétention, à cause des doses d'engrais plus élevées, entraînerait une augmentation du lessivage et des concentrations de nitrates dans l'eau de drainage.

Matière organique* du sol

La figure 4 montre que la matière organique diminuerait dans le temps, indépendamment de la culture considérée. En moyenne, la réduction est de 7 % dans le FP et de 13 % dans le FL. Cela est dû, d'une part, à l'accélération de la minéralisation* à cause de l'augmentation de la température et, d'autre part, à la réduction des restitutions *via* les résidus de récolte.

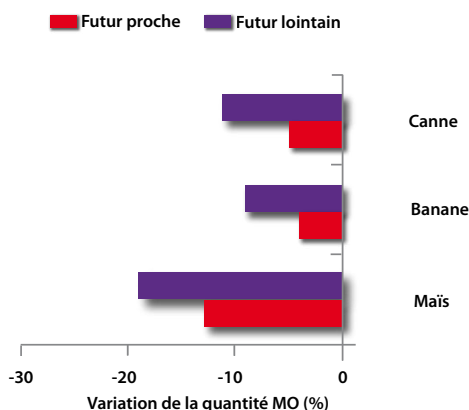


Figure 4 : effet du changement climatique sur la quantité de MO du sol.

Adaptations identifiées

Il n'y a pas « une » stratégie d'adaptation pour faire face au changement climatique, mais des mesures à prendre en considération afin de nuancer et/ou d'éviter les aspects négatifs (par exemple, effet de la température sur la durée du cycle) et de profiter des aspects positifs (par exemple, CO₂, pluies en carême). Dans ce sens, l'augmentation de la biodiversité cultivée (rotations, cultures et variétés associées, cultures des légumineuses, pluriactivité agriculture/élevage) serait utile pour minimiser les risques et diversifier les sources de revenus. En même temps, ces pratiques vont dans le sens d'une plus grande protection de la ressource sol, en réduisant le risque de dégradation et en augmentant l'entrée de matière organique dans le sol. Une généralisation de l'utilisation des mulchs végétaux (diminution de la température du sol) et de l'application de composts contribuera aussi au maintien des teneurs en matière organique.

Du point de vue des calendriers culturaux, la tactique consisterait à décaler le cycle de végétation vers des périodes où le climat est plus favorable à la production (par exemple, carême plus humide). Il peut s'agir, par exemple, d'éviter l'exposition à des facteurs limitants (température en hivernage) ou encore d'allonger la durée du cycle, ce qui entraînerait une augmentation du potentiel de production.

L'amélioration génétique a un rôle essentiel à jouer dans l'adaptation, aussi bien en ce qui concerne des variétés avec des seuils de température plus élevés que dans l'augmentation des indices de récolte (c'est-à-dire accroître l'efficacité de transformation de biomasse végétale en rendement), notamment pour les espèces à cycle court (maraîchage).

Nouvelles potentialités agricoles introduites par le changement climatique

Les plantes à tubercules (plantes en C3) pourraient être davantage cultivées, notamment au nord de la région analysée (sans la contrainte liée au chlordécone). Des dates de plantations plus précoces, en faisant jouer l'effet photopériodique et le rallongement de la période végétative, favoriseraient la croissance postérieure du tubercule. Des cultures comme le maïs et les maraîchères, très sensibles au stress hydrique, pourront être réalisées à la faveur d'une meilleure alimentation en eau, pourvu que la disponibilité des variétés adaptées à des températures plus élevées soit assurée.



Ce qu'il faut retenir

- ✓ Parmi les cultures d'exportation, la canne semble la plus affectée par le changement climatique : elle ne devrait pas profiter de l'augmentation de la concentration en CO₂ et subirait l'effet de la température sur le raccourcissement du cycle. Les cultures à cycle court (par exemple, maraîchage) seraient particulièrement touchées par l'effet de l'accroissement de la température, à cause de la réduction des périodes de croissance et de remplissage des organes récoltés. L'aspect environnemental le plus délicat concernerait la dégradation des sols à cause de la perte en matière organique.

Ce qu'il faut approfondir...

- ✓ La plupart des modèles de culture* actuellement disponibles ne formulent pas d'hypothèses sur l'évolution des risques de bioagresseurs suffisamment précises pour les intégrer dans un schéma adaptatif plus complet. Cela comprend la dynamique des mauvaises herbes, des champignons et des ravageurs dans un climat plus chaud et humide. De même, les scénarios climatiques ne tiennent pas compte de l'évolution du risque cyclonique (fréquence, intensité et distribution géographique dans la Caraïbe). Ces deux facteurs pourraient affecter notamment la banane et modifier les considérations évoquées ci-dessus pour cette culture. En ce qui concerne les maladies, il reste à améliorer nos connaissances sur l'évolution des pathogènes actuellement présents en Guadeloupe et aussi sur la migration et l'introduction de nouveaux bioagresseurs.
- ✓ Il existe actuellement un large débat scientifique sur l'importance de l'adaptation thermique des micro-organismes du sol et son effet sur la dégradation de la matière organique. Ce sujet a commencé à être exploré depuis une dizaine d'années en milieu tempéré, mais très peu d'information est aujourd'hui disponible pour les sols tropicaux. L'enjeu d'une telle adaptation concerne la réduction des conséquences de l'augmentation de la température sur les teneurs en matière organique. Accroître nos connaissances sur ce thème est essentiel pour déterminer si oui ou non le changement induira une forte perte de qualité des sols guadeloupéens.

