



POUR L'ADAPTATION DES ÉLEVAGES LAITIERS AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

L'élevage bovin laitier est confronté au changement climatique :

- Comment le climat va évoluer ?
- Avec quelles conséquences sur les cultures fourragères, sur l'alimentation des animaux ?
- Comment s'adapter à ces évolutions ?

Le 5^e rapport du GIEC établit que le changement climatique est dorénavant sans équivoque. Dans cette perspective, il convient donc d'anticiper les changements et de proposer des pistes d'adaptation.

Les instances dirigeantes du CNIEL ont demandé un programme d'accompagnement de la filière laitière pour s'adapter aux évolutions climatiques. En réponse, l'Institut de l'Élevage, en partenariat avec Arvalis, le BTPL, les Chambres d'Agriculture, l'Inra et Météo France, a proposé un programme sur cette thématique essentielle pour l'avenir de la production laitière.

L'objectif de CLIMALAIT est d'évaluer les impacts du changement climatique, à moyen et/ou long terme, sur les différents systèmes d'élevages laitiers français et de fournir aux éleveurs et aux conseillers des pistes d'adaptation. Le principe de l'étude est de travailler sur un nombre limité d'Unités Laitières, représentant les principales zones de production laitière en France, d'y décrire les évolutions du climat dans le passé récent et dans le futur (à l'aide de sorties de modèles climatiques), puis d'évaluer les impacts du changement climatique sur les cultures et de proposer des adaptations.

La méthodologie détaillée est décrite en annexe.

Les attendus peuvent se résumer ainsi :

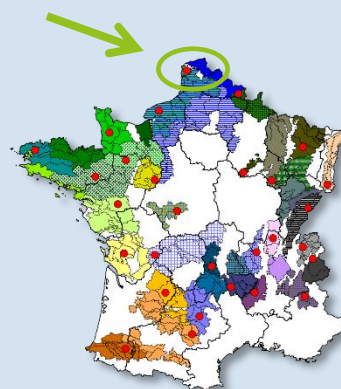
- ✓ Un zonage de la France en une trentaine d'Unités Laitières Agroclimatiques représentatives de la diversité des contextes de production du lait en France (voir ci-contre),
- ✓ Des données sur l'évolution du climat à l'échelle de chacune de ces zones,
- ✓ Les impacts du changement climatique, sur des systèmes d'élevage de chacune de ces zones,
- ✓ Des pistes d'adaptation possibles pour les différents systèmes d'élevage.

Les travaux ont été menés en partenariat étroit avec des conseillers et des éleveurs de chacune des Unités Laitières Agroclimatiques.

Ici, vous trouverez les résultats pour la région du Boulonnais (62)

DES RÉSULTATS

pour le Boulonnais



Carte présentant les 30 unités laitières agroclimatiques

Au sommaire :

La Région Agricole du Boulonnais.....	2
Climat du Boulonnais.....	3
L'évolution prévue des rendements des cultures fourragères (et de la saisonnalité de la production pour les prairies).....	6
Conséquences à l'échelle des systèmes et adaptations possibles.....	9
Conclusions.....	11
Annexes.....	12

Glossaire

ETP : Évapotranspiration
GES : Gaz à Effet de Serre
MCPI : Mélanges Céréales Protéagineux Immatures
RA : Région Agricole
RGA : Recensement Général Agricole
SAU : Surface Agricole Utile / SFP : Surface Fourragère Principale
THI : <i>Temperature Humidity Index</i>
UGB : Unité Gros Bétail
UTA : Unité de Travail Annuel
VA : Vache Allaitante / VL : Vache Laitière

La Région Agricole du Boulonnais

Comme partout en France, la SAU moyenne par exploitation augmente à un rythme soutenu (+ 32 % entre 2000 et 2010, ce qui est proche de la moyenne des 29 zones d'étude), sans que la main d'œuvre augmente au même rythme (dans cette zone, le nombre d'UTA par exploitation est en baisse : 1,9 en 2010, contre 2,1 en 2000). Cela condamne les éleveurs, là comme ailleurs, à faire de constants gains de productivité au plan du travail.

	UTA	SAU (ha)	Grandes cultures (ha)	SFP (ha)	Dont maïs fourrage (ha)	Nb total d'UGB	Nb de VL
En 2010	1,9	77	27	50	16	95	45
Évolution entre 2000 et 2010 (% de 2000)	-9%	+32%	+24%	+37%	+41%	+29%	+29%

Caractéristiques structurelles moyennes des exploitations laitières de la zone (d'après RGA SSP, traitement Idele, C. Perrot)

Le nombre de VL par exploitation est lui aussi en augmentation (+ 29 % en dix ans). Cette hausse reste cependant modérée en comparaison aux autres zones.

La « ferme laitière moyenne » de la zone, décrite dans les recensements agricoles, élève aussi des VA, et leur nombre a également augmenté entre les deux derniers recensements agricoles.

Le quota moyen pour la dernière campagne (2014-2015) a atteint 300 700 litres par exploitation, soit environ 6 800 L/VL.

Les surfaces en maïs occupent environ 30 % de la SFP, cette part est supérieure à la moyenne des 29 zones

d'étude (l'échantillon comporte aussi des zones herbagères).

La SFP ayant augmenté à un rythme légèrement plus soutenu que les effectifs de bovins, le chargement apparent a un peu diminué : il passe de 1,99 UGB/ha de SFP en 2000 à 1,86 en 2010.

La sole en céréales et autres grandes cultures augmente, mais dans une moindre proportion que la taille des exploitations : en 2010, on comptait en moyenne 27 ha de ces cultures dans les exploitations laitières.

Au final, la zone offre en matière de cultures fourragères une forte diversité :

- le maïs est présent et occupe une part importante des surfaces,
- la prairie est présente également, principalement sous forme de prairies permanentes,
- la sole en céréales apporte aussi des possibilités d'utilisation directe en transformation fourragère (ensilage de céréales immatures), et permet la production et l'autoconsommation des concentrés énergétiques,
- la proximité de la zone de culture de la betterave sucrière permet de cultiver des betteraves fourragères, et d'acheter des pulpes de betteraves pour compléter les rations.

Le Boulonnais n'échappe pas à l'agrandissement des exploitations. Le cheptel laitier suit la même évolution, sans pour autant réduire le troupeau allaitant. Les systèmes fourragers présentent une certaine diversité, qui se répercute sur les systèmes d'élevage dans leur ensemble : le maïs est présent, ainsi que les prairies, sous diverses formes (permanente, temporaire, artificielle).

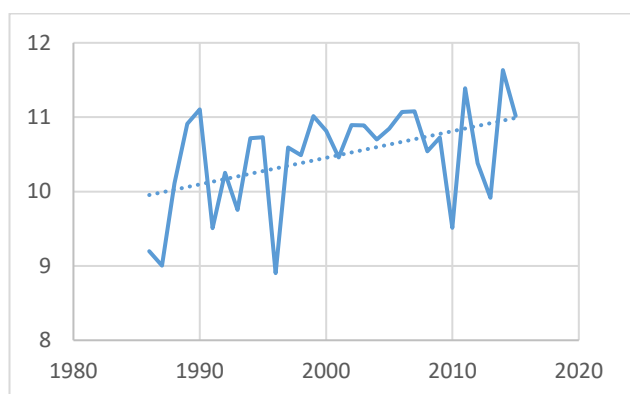
Climat du Boulonnais

Le climat actuel de la zone (voir cartes en annexe 2)

Le Boulonnais, comme toute la côte de la Manche, bénéficie d'un climat océanique (carte a) caractérisé par des températures moyennes annuelles plutôt fraîches dans l'ensemble (carte b) mais avec des variations d'amplitude modérée entre les saisons : les hivers sont doux, et les étés frais. Par conséquent, le repos hivernal de la végétation (carte f) reste relativement court, tandis que la date théorique de mise à l'herbe (carte d) est du même ordre que dans l'ensemble des zones de plaine du bassin parisien et du nord de la France. La bordure de la Manche est dans l'ensemble bien arrosée (carte c), avec des précipitations réparties sur l'année. De ce fait, la sécheresse agronomique estivale est courte voire inexistante (carte e).

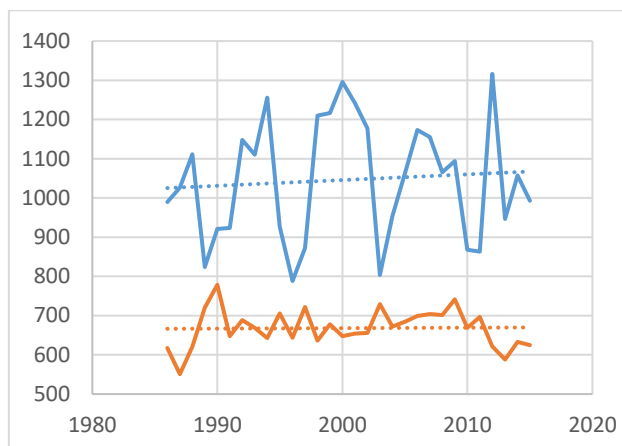
Évolution récente du climat

Sur ce site, l'évolution des températures moyennes annuelles est relativement marquée : en 30 ans, le climat s'est réchauffé d'environ 1 °C. Cette augmentation de température se retrouve à l'échelle saisonnière. Elle est particulièrement marquée au printemps et à l'automne (respectivement + 1,3 et + 1,2 °C).

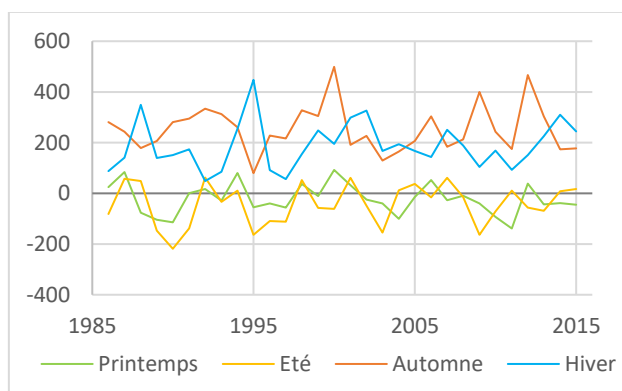


Évolution de la température moyenne annuelle de 1986 à 2015 (Données Météo-France Safran)

Le cumul annuel des précipitations est très variable, entre 800 et 1300 mm/an, et cette variabilité se retrouve à l'échelle saisonnière. Le cumul d'ETP est plus stable, et reste largement inférieur aux précipitations. Le calcul du bilan hydrique (P-ETP) saisonnier ne montre pas d'évolution significative sur les 30 dernières années. Il est négatif certains printemps et certains étés.



Évolution de l'ETP et des précipitations en cumuls annuels (mm) de 1986 à 2015 (Données Météo-France Safran)

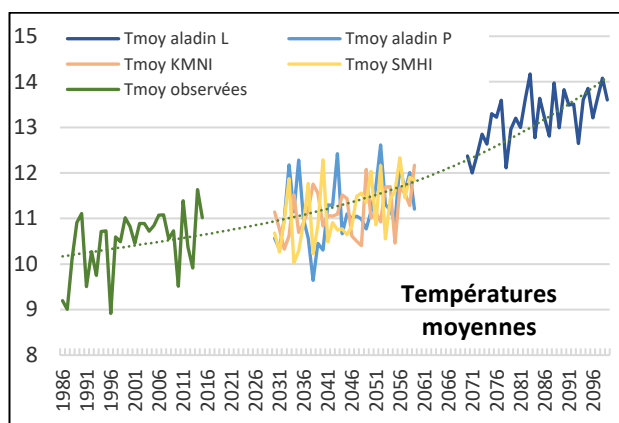


Bilan hydrique (P-ETP) calculé par saison de 1986 à 2015 (Données Météo-France Safran)

Évolutions futures du climat

Le futur climatique peut être estimé soit en prolongeant les tendances constatées, soit **par simulation**. Ce sont les grands laboratoires de recherche climatique du monde qui mettent au point les simulateurs de climat. Avec le soutien de Météo-France, nous avons mobilisé 3 d'entre eux : un français (le CNRM), et c'est ce qui correspond aux données **Aladin**, un Suédois (données **SMHI**), et un Néerlandais (**KMNI**). Nous présentons des calculs faits sur les **périodes 1986-2015** (sert de base de comparaison), **2030-2059** (**futur proche = P**), et **2070-2099** (**futur lointain = L**) pour **Aladin** seulement). Tous les modèles n'indiquent pas exactement la même chose, mais tous vont dans le même sens et prédisent un réchauffement dans le cadre du **RCP 8.5**, un scénario dans lequel les concentrations en gaz à effet de serre feraient plus que doubler d'ici la fin du siècle, ce qui est assez probable si des mesures draconiennes de limitation des émissions ne sont pas prises immédiatement. Ces données simulées sont comparées à des données issues d'observations (désignées par « **obs** ») : il s'agit des données du modèle **SAFRAN**.

Évolution des températures moyennes annuelles



Quel que soit le modèle, il prédit une augmentation de température encore modérée (de l'ordre d'1 °C) dans le futur proche. Ce n'est que dans la seconde moitié du siècle que le réchauffement s'accélérerait rapidement pour atteindre environ + 3 °C par rapport au niveau actuel.

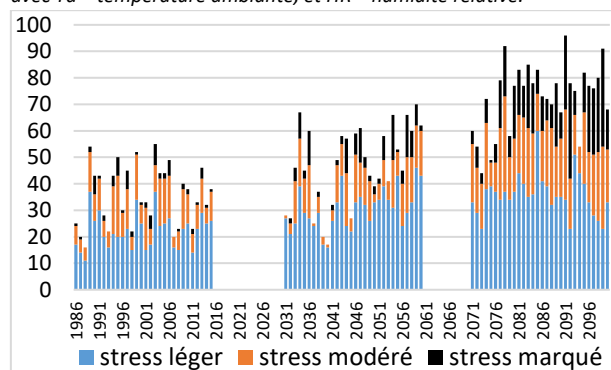
L'analyse des données simulées montre qu'autour de ce niveau, l'hiver se réchaufferait moins (+ 3 °C) que l'été (+ 4 °C). Les températures moyennes sont exprimées à partir des minimales et des maximales, l'analyse montre que les maximales progresseraient plus vite que les minimales. Ainsi quand on évoque une température moyenne en hausse de 3 °C à l'échelle de l'année en fin de siècle, ça signifie souvent + 4 à 5 °C pour les maximales en été, et seulement + 2 à 3 °C pour les minimales en hiver. Il

continuera à geler, mais moins souvent, et le nombre de jours caniculaires sera en forte hausse (cf. annexe 3).

Ces excès de température ont des conséquences sur les cultures mais aussi sur les animaux. On peut les approcher par le calcul d'un index (le THI, pour *Temperature Humidity Index*). Le graphique ci-dessous indique le nombre de jours où les animaux pourraient être en stress thermique léger, modéré, ou marqué dans le futur, en comparaison à ce qui a pu être observé : le nombre de jours de stress et l'intensité de celui-ci augmenteraient dans le futur proche, et plus encore vers la fin du siècle.

Pour chaque année, nombre de jours selon l'intensité du stress tel que mesuré avec le THI, de 1986 à 2014 (sur données observées) et sur le futur (modèle Aladin)

THI (Temperature Humidity Index) = $1,8 * Ta - (1 - HR) * (Ta - 14,3) + 32$
avec Ta = température ambiante, et HR = humidité relative.



L'augmentation des températures n'aura pas que des effets négatifs : l'une de ses conséquences peut être la possibilité de mettre à l'herbe plus tôt. Ainsi, si la date à laquelle on atteint une somme de températures de 300 °C se situe actuellement aux alentours du 25 mars (une année sur deux entre le 17 et le 29 mars), elle pourrait passer aux alentours du 18 mars dans le futur proche (entre le 13 et le 22 mars), et du 10 mars dans le futur lointain. Reste à savoir si les conditions climatiques du début de printemps permettront l'accès à cette pousse précoce.

	Obs 30 ans	1986- 2000	2001- 2015	Aladin 2030- 2059	KMNI 2030- 2059	SMHI 2030- 2059	Aladin 2070- 2099
1 année sur 2 entre le... et le ...	17/3 29/3	17/3 30/3	20/3 29/3	14/3 26/3	12/3 29/3	9/3 19/3	8/3 13/3
Médiane	25/3	25/3	26/3	22/3	17/3	13/3	10/3

Date de mise à l'herbe (date d'atteinte du seuil de 300 °C cumulés depuis le 1^{er} février), dans le passé (données observées) et dans les différents modèles climatiques.

Évolution des précipitations

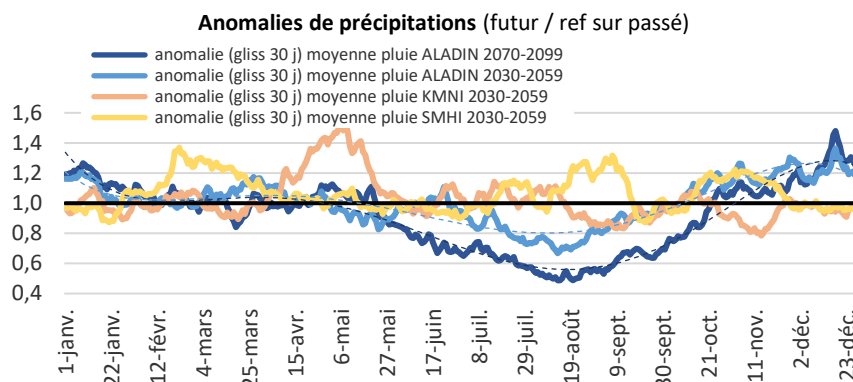
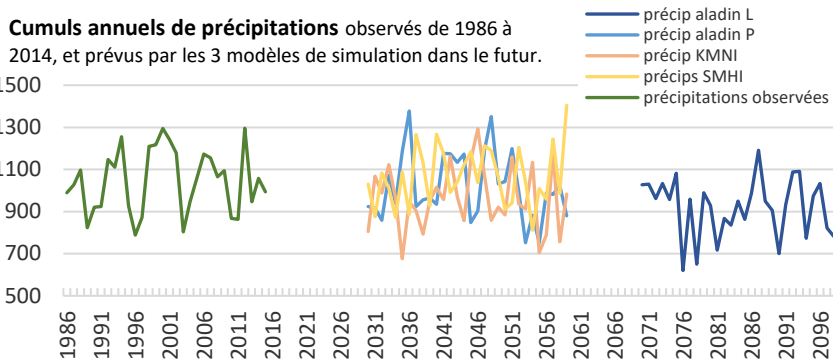
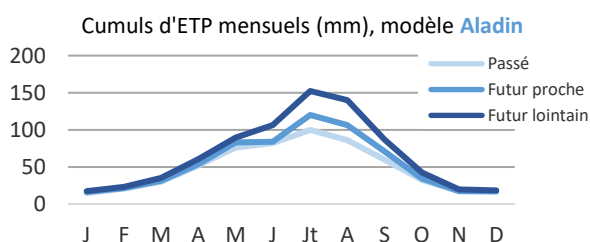
Il n'y a pas de tendance nette quant à l'évolution du cumul annuel de précipitations : aucun des 3 modèles ne prédit pour le futur proche une baisse du cumul annuel de précipitations dans cette zone, sauf peut-être en fin de siècle avec le modèle **Aladin**. Ce qui domine, c'est surtout la très forte variabilité inter-annuelle, réelle dans le passé et qui se poursuit de la même façon dans le futur.

Il faut analyser les simulations plus en détail au travers du second graphique qui représente le rapport entre ce qui est simulé sur le futur et ce qui a été simulé par chaque modèle sur le passé. Ce rapport a été calculé chaque jour pour capter d'éventuelles différences saisonnières dans l'évolution des précipitations. Les données ont été moyennées chaque jour par périodes de 30 ans (2030-2059 ou 2070-2099), la base

de comparaison étant 1986-2015. Quand ce rapport est supérieur à 1, c'est qu'il est prévu qu'il pleuve plus, et inversement s'il est inférieur à 1. Ainsi dans le futur proche, le modèle **KMNI** prévoit globalement plus de précipitations au printemps, pour le modèle **SMHI** ce serait plutôt en fin d'hiver et fin d'été, et pour le modèle **Aladin** en hiver... Ce dernier prévoit à l'opposé une diminution des précipitations en été. Dans le futur lointain, le modèle **Aladin** prévoit une diminution des précipitations dès le printemps et jusqu'en automne. On peut donc s'attendre à des sécheresses météorologiques estivales, voire printanières, plus fréquentes. Le tableau ci-dessous indique la fréquence possible de tels aléas climatiques, dans le passé et pour le futur, selon le modèle climatique.

Pour chacune des deux périodes considérées, fréquence d'apparition d'au moins un épisode de sécheresse (en nb années /10) sur les 30 (ou 15) dernières années observées, et évolution possible (futur / passé) dans différentes simulations (modèles **Aladin**, **KMNI** et **SMHI**).

	Obs 30 ans	1986-2000	2001-2015	Aladin 2030-2059	KMNI 2030-2059	SMHI 2030-2059	Aladin 2070-2099
au moins 15 jours sans pluie entre le 20/04 et le 10/06	2/10	4/10	1/10	+7%	-3%	+23%	+3%
au moins 20 jours sans pluie entre le 01/07 et le 01/09	2/10	3/10	1/10	+13%	+3%	-10%	+27%



La sécheresse agronomique est le résultat d'un manque de précipitations et d'une ETP intense. Le graphique ci-contre indique pour le modèle climatique **Aladin** comment augmenterait l'ETP au cours de l'année. En augmentant plus fortement et plus tôt, l'ETP créera un état de sécheresse non seulement plus fréquent et plus prononcé, mais aussi plus précoce. On risque donc de voir apparaître, certaines années, des épisodes de sécheresses plus fréquents et/ou plus intenses, tels que ceux que d'autres régions connaissent déjà. Le modèle **Aladin** est le seul pour lequel nous disposons des calculs d'ETP, aussi c'est le seul à partir duquel nous avons réalisé les simulations de culture qui permettent d'intégrer tous les effets du changement climatique sur la plante : augmentation des températures et de l'ETP, modifications du régime de précipitations, effets directs du CO₂.

Le climat de la zone se caractérise par des températures clémentes, et des précipitations relativement élevées. Les températures, déjà en augmentation par le passé, le seraient encore plus dans le futur. Au printemps, cela pourrait permettre d'avancer la mise à l'herbe. En été, les épisodes caniculaires se multiplieraient, entraînant un ralentissement voire l'arrêt de la croissance de certaines espèces prairiales (ou même leur disparition), et un stress thermique pour les animaux.

Les précipitations sont variables d'une année sur l'autre, dans le passé comme dans le futur. Leur répartition dans l'année diffère selon les modèles. L'évapotranspiration, elle, augmenterait dès le printemps et jusqu'à l'automne, ce qui accentuerait l'importance du déficit hydrique estival et donc les risques de sécheresse.

L'évolution prévue des rendements des cultures fourragères (et de la saisonnalité de la production pour les prairies)

Les rendements présentés ici ne prennent pas en compte les adaptations possibles par choix de variétés (sauf pour le maïs), ni l'évolution des variétés. En revanche, le modèle utilisé tient compte de l'effet de l'augmentation de la concentration en CO₂ sur l'efficacité de la photosynthèse et l'intensité des échanges entre la plante et l'atmosphère via l'ouverture des stomates. Ainsi, toutes choses étant égales par ailleurs, les résultats des simulations sont la conséquence de l'évolution du climat et de l'augmentation du taux de CO₂ dans l'atmosphère. Une précédente étude a montré que cet effet du CO₂ est à l'origine d'une augmentation des rendements pouvant aller jusqu'à 10 voire 20% (Etude ACTA-MIRES Ruget Moreau).

Les simulations ont été réalisées grâce au modèle de culture STICS, à partir des données climatiques issues du modèle **Aladin**, des itinéraires techniques locaux, et sur deux types de sols représentatifs de ceux de la zone (présentés ci-contre).

	Profondeur	Taux d'argile	Réserve utile
Sol argileux	80 cm	40 %	65 mm
Sol superficiel	30 cm	11 %	40 mm

Caractéristiques des sols utilisés dans les simulations

Conséquences du changement climatique sur la pousse de l'herbe

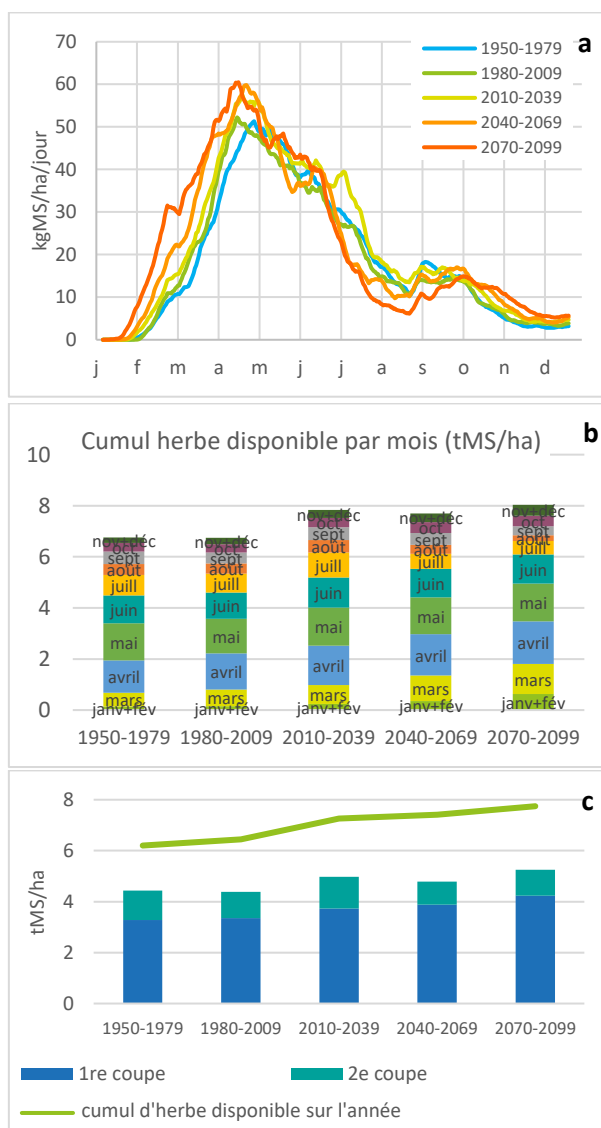
Les simulations ont été réalisées pour plusieurs itinéraires techniques combinant récoltes (en foin ou en ensilage) et pâturage, sur deux types de sol. Les courbes de croissance présentées ci-dessous ne concernent que les itinéraires de type pâturage.

Conséquence de l'augmentation des températures au début du printemps, les simulations STICS mettent en évidence un démarrage en végétation des prairies de plus en plus précoce. Cela confirme le fait qu'une mise à l'herbe plus précoce pourrait être envisagée, sous réserve de bonnes conditions climatiques. Le calcul d'autres indicateurs, construits à partir de la pluviométrie autour de la mise à l'herbe (présentés en annexe 3) montre que les épisodes de fortes précipitations autour de la date théorique de mise à l'herbe ne seraient pas plus fréquents à l'avenir que par le passé, et ce malgré l'avancée de cette date : cette herbe de printemps pourrait donc être utilisée dans de bonnes conditions certaines années seulement. Dans le cas contraire, l'augmentation de la quantité d'herbe disponible au printemps permettrait de diminuer les apports de fourrages conservés après la mise à l'herbe, et pourrait ainsi compenser une sortie retardée par de mauvaises conditions météorologiques. Cependant, une mise à l'herbe retardée aurait des conséquences plus importantes qu'actuellement : du fait de la rapidité de la croissance de l'herbe, le risque de « gaspillage » serait plus important.

Dès la fin du printemps et tout l'été, les simulations montrent une croissance de l'herbe ralentie, notamment dans le futur lointain. Au contraire, les conditions automnales permettraient une reprise de la croissance de l'herbe à l'automne. Cette situation est déjà la norme dans d'autres régions, dans lesquelles le creux d'été et le rebond d'automne s'accroissent.

Au total, la quantité d'herbe produite sur l'année serait en augmentation, notamment du fait du démarrage plus précoce.

En résumé, l'herbe pousserait de plus en plus tôt au printemps et de plus en plus tard à l'automne, mais un ralentissement d'été apparaîtrait dans le futur proche et s'accroîtrait dans le futur lointain. Ces résultats sont conformes à ce qui a été vu dans des études antérieures sur le changement climatique (ACTA-CC, Climator).



a) pousse d'une prairie à base de graminées, en kg de MS/ha/jour, selon la période de 30 ans simulée ;
 b) cumul d'herbe disponible par mois, en moyenne sur les deux sols et pour plusieurs niveaux de fertilisation ;
 c) rendements moyens des récoltes de foin, et cumul d'herbe disponible sur l'année, dans le cas d'une prairie naturelle non fertilisée.

Luzerne

Les simulations ont été réalisées sur les mêmes sols que précédemment, pour des itinéraires techniques à 3, 4 et 5 coupes « visées ». Le modèle est paramétré pour réaliser les coupes lorsque le cumul de températures dépasse un seuil préalablement fixé pour chaque itinéraire technique, à condition que la quantité de fourrage disponible soit suffisante. Par conséquent, les dernières coupes ne sont pas systématiquement réalisées. Par ailleurs, il s'agit de simulations pour une luzernière déjà installée, qui ne prennent donc pas en compte l'année d'installation ni la « fin de vie » de la luzernière.

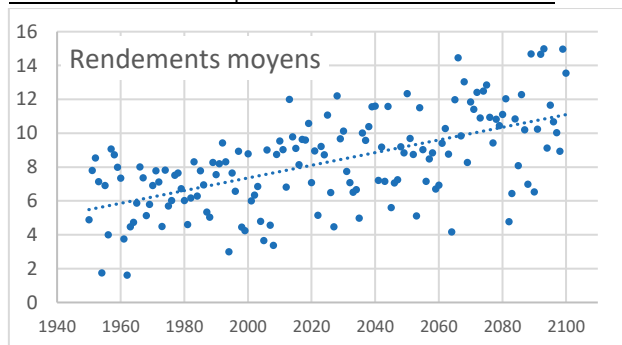
Quel que soit le nombre de coupes visées ou réalisées, les rendements seraient à la hausse. Cependant, si l'ensemble des rendements moyens augmente, la variabilité interannuelle est toujours aussi marquée.

Le gain de rendement cumulé est à relier à l'évolution des conditions de printemps qui, comme pour la prairie, permettraient un démarrage en végétation et donc une exploitation des luzernières plus précoces : en moyenne, dans la période 2010-2039, la première coupe interviendrait environ dix jours plus tôt que par le passé ; on gagnerait presque une semaine de plus dans la période 2040-2069, et encore quinze jours supplémentaires dans la période 2070-2099.

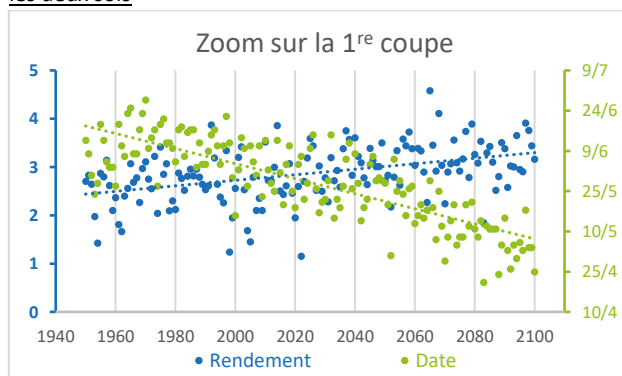
D'autre part, l'augmentation des températures estivales permettrait d'accélérer la croissance des plantes (contrairement aux prairies de graminées, la luzerne est peu affectée par les températures élevées, tant que suffisamment d'eau est disponible) et ainsi bien souvent de faire une coupe supplémentaire.

Le détail des rendements cumulé en fonction du nombre de coupes et de leur espacement dans la saison (non présenté ici) montre des rendements assez proches. Les différences se situent au niveau de la qualité du fourrage récolté, et du temps de travail nécessaire.

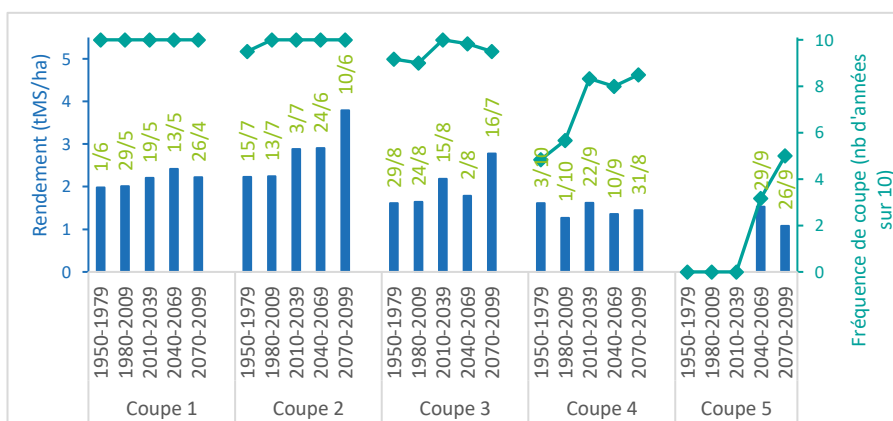
Moyenne des rendements cumulés obtenus pour chacun des deux itinéraires techniques utilisés dans les simulations.



Dates de coupe et rendements en 1^{re} coupe, en moyenne sur les deux sols

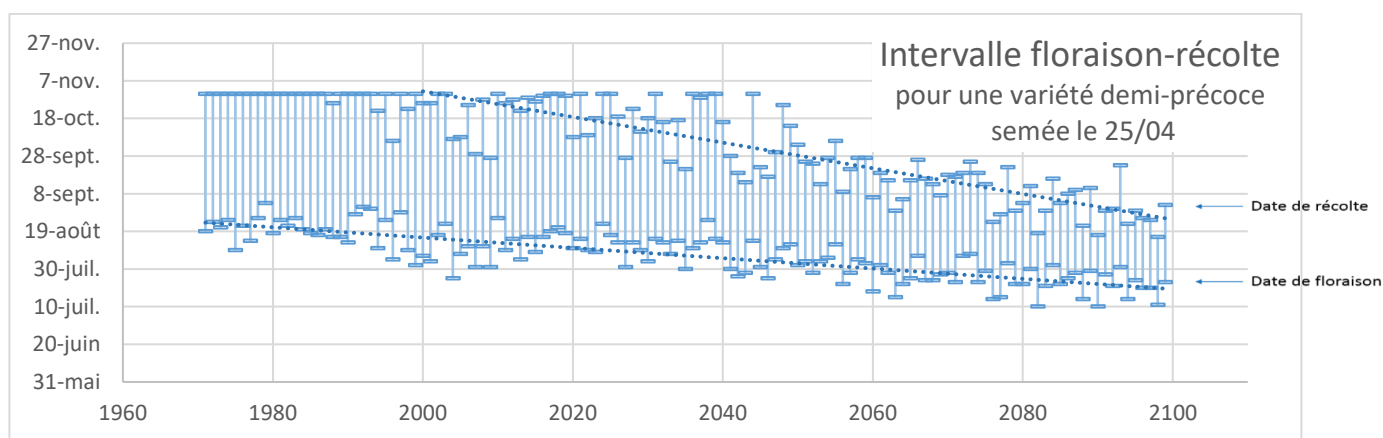
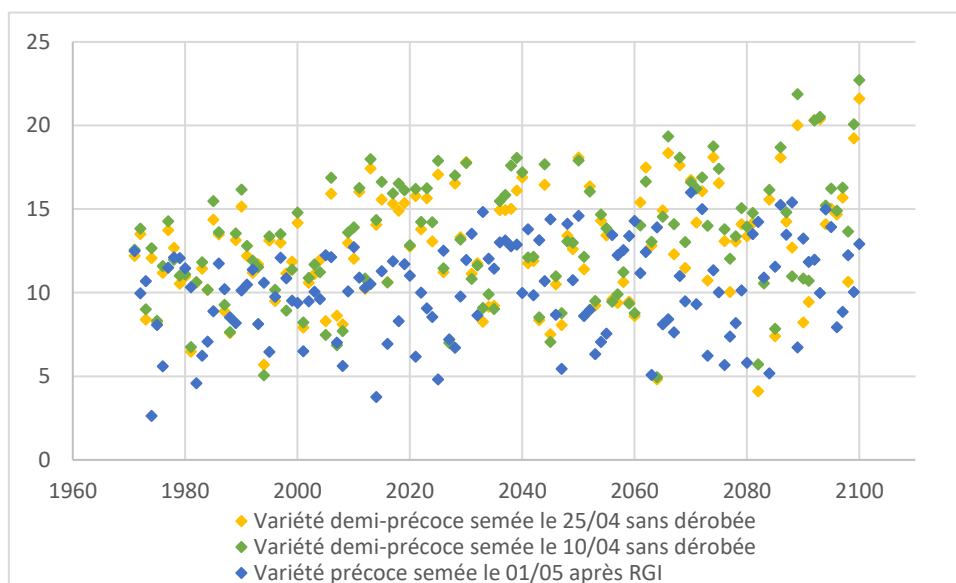


Ci-contre : en moyenne par période de 30 ans et pour les deux sols, rendements par coupe, fréquence de réalisation des coupes par le modèle et dates de coupes prévues, pour l'itinéraire technique à 5 coupes prévues.



Maïs

Les simulations sont réalisées pour plusieurs groupes de précocité et dates de semis, sur sol nu ou après une dérobée (RGI), et le sol « argileux » présenté précédemment. La figure ci-contre présente les résultats des simulations dans deux cas sans dérobée et un cas après RGI.



Évolution des dates de floraison et récolte.

Les simulations mettent en évidence des rendements qui seraient globalement à la hausse, mais resteraient très variables d'une année sur l'autre. Cette variabilité tendrait même à s'accroître vers la fin du siècle. Cette hausse de la production de biomasse s'explique notamment par l'augmentation du taux de CO₂ dans l'atmosphère, qui pourrait compenser d'autres effets négatifs du changement climatique.

Lorsque le maïs est implanté après une dérobée, son rendement est plus faible, et l'augmentation tendancielle est moins marquée. Cependant, avec l'augmentation des températures au printemps, le rendement des dérobées augmente et compense souvent le moindre rendement du maïs.

Les dates de floraison et de récolte seraient de plus en plus précoces. Ainsi, à condition que les ressources en eau soient suffisantes, des variétés plus tardives pourraient donc être semées sans risque.

Les simulations réalisées mettent en évidence une évolution de la répartition de l'herbe disponible au cours de l'année : le démarrage en végétation est de plus en plus précoce, tandis qu'un creux de production en été et une légère reprise à l'automne apparaissent. La saison de pâturage s'allonge donc au début du printemps et à l'automne, mais avec une rupture en été.

Les conditions climatiques prévues pour le futur sont favorables à la luzerne : les rendements cumulés augmentent, avec une nette avancée des dates de coupes.

En ce qui concerne le maïs, les rendements restent variables. Là aussi, l'avancée des dates de floraison et récolte est nette.

Conséquences à l'échelle des systèmes et adaptations possibles

Cette dernière phase a été menée en lien avec le projet « Complémentarités cultures-élevage ». Cette étude, pilotée par Agro-Transfert Ressources et Territoires, vise à faire émerger des solutions de complémentarités entre activités d'élevage et cultures afin de renforcer d'une part la performance, la résilience et l'intérêt des systèmes de polyculture-élevage, et d'autre part la concertation et les liens de coopération des territoires à l'interface entre cultures et élevage. Dans le cadre de ce projet, auquel participe également la Chambre d'Agriculture Nord-Pas de Calais, des ateliers de réflexion sont organisés et rassemblent des éleveurs, des conseillers, des enseignants...



Le système traité

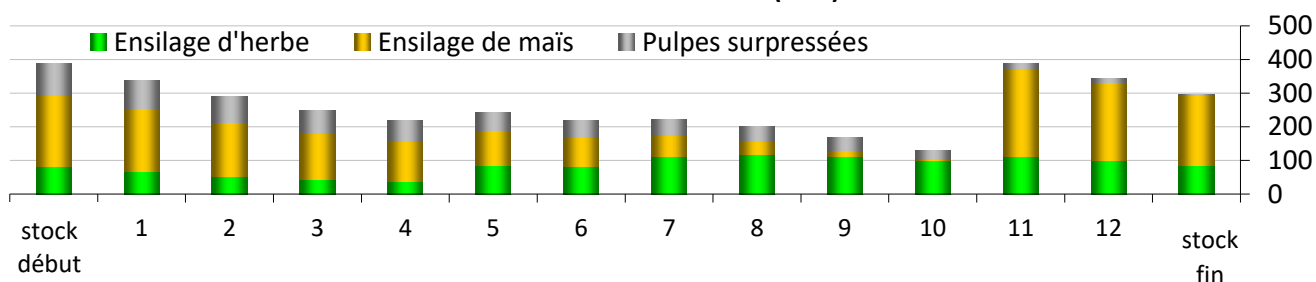
Le système étudié est celui d'un des éleveurs du groupe. Il s'agit d'une ferme de 105 ha de SAU, dont 64 ha de SFP (42 ha de prairies, dont une trentaine d'hectares de prairies permanentes, et 22 ha de maïs ensilage sur les sols les plus profonds). On trouve également des cultures de vente (céréales, colza, féverole).

Le troupeau est constitué de 80 vaches laitières à 7 500 kg de lait produits, avec un taux de renouvellement de 32 % et des vêlages étalés. L'âge moyen au premier vêlage est de 30 mois. 30 génisses sont élevées chaque année. Une dizaine de bœufs est également élevée chaque année (mais n'a pas été prise en compte dans le système modélisé avec le Rami Fourrager® car l'éleveur ne tient pas à les garder). La ration des vaches laitières est composée pour moitié de maïs toute l'année, complétée en hiver par de l'ensilage d'herbe, des pulpes de betterave surpressées et de la paille, et en été par de l'herbe pâturée et des pulpes de betterave. La ration des génisses est constituée d'ensilage d'herbe, de pulpes de betterave et de paille en hiver, et d'herbe pâturée en été.

Ce système nécessite 95 tMS de pulpes de betterave surpressées, 60 tonnes de tourteaux de soja, 20 tonnes de céréales et 190 tonnes de paille (alimentaire et non-alimentaire). Le chargement corrigé s'élève à 1,8 UGB/ha SFP.

Le système a été calibré dans le climat du passé pour que le stock de fourrages en fin d'année soit au même niveau qu'en début, sans qu'il n'y ait de rupture au cours de l'année. La dynamique des stocks est la suivante :

Évolution des stocks (tMS)



Le climat

Ce système a été confronté à trois contextes climatiques différents. Dans un premier temps, il a été paramétré et équilibré dans le climat moyen de la période de référence 1971-2000. Ensuite, à l'aide du Rami Fourrager®, il a été adapté au climat moyen de la période 2030-2050. Une fois adapté aux conditions climatiques du futur, ce système a ensuite été confronté à un type d'année particulier, caractérisé par un printemps précoce mais pluvieux (ce qui retarde la mise à l'herbe, les premières récoltes d'herbe et les semis du maïs), suivi d'un été particulièrement chaud.

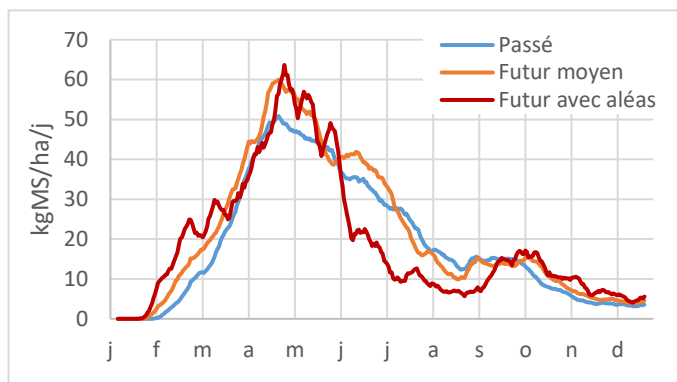
	1971-2000	2030-2050	Année avec aléas
Date de mise à l'herbe (Date à laquelle on a cumulé 300 °C depuis le 1 ^{er} février)	29 mars	23 mars	17 mars
Bilan hydrique au pic de croissance des prairies (mm) (Cumul Précipitations - ETP, entre 400 et 1100 °C cumulés)	25	3	- 4
Jours caniculaires en été (Nombre de jours avec $T_{max} > 35$ °C, entre le 5/07 et le 20/08)	< 1	< 1	4
Bilan hydrique en été (mm) (Cumul Précipitations - ETP, entre le 5/07 et le 20/08)	- 20	- 86	- 180
Précipitations fin d'été et début automne (mm) (Cumul pluviométrique entre le 21 août et le 1 ^{er} octobre)	43	42	33

Caractérisation des trois contextes climatiques retenus pour les parties de Rami Fourrager® (valeurs moyennes).

Les adaptations envisagées

Dans le futur (année moyenne 2030-2050)

Le rendement du maïs augmente : (+ 27 tMS au total, ce qui correspond à + 1,2 tMS/ha) tandis que les rendements des ensilages d'herbe restent constants (mais plus précoces). L'herbe disponible pour le pâturage augmente au printemps et au début de l'été, mais un léger déficit apparaît en fin d'été.



Des modifications mineures pourraient être envisagées (diminuer les surfaces en maïs de 2 ha et pratiquer des reports d'herbe sur pied en fin de printemps-début d'été), mais le groupe a choisi de réorienter le système pour allonger les rotations et augmenter la productivité par vache. Cela correspond aux objectifs visés par l'éleveur. Les surfaces en maïs ont été réduites de 22 à 10 ha, et des prairies temporaires ont été introduites. Les surfaces destinées au pâturage des vaches laitières ont été augmentées, afin de pouvoir limiter la complémentation au printemps. Des betteraves fourragères sont également introduites pour remplacer une partie des pulpes surpressées. Les rations ont ensuite été ajustées : une partie de l'ensilage de maïs distribué aux vaches est remplacée par de l'ensilage d'herbe, et les betteraves sont distribuées en hiver, après leur récolte. La ration des génisses reste inchangée. Les effectifs sont réduits à 70 VL à 9000 L, et 24 génisses de renouvellement. La consommation globale de tourteaux de soja diminue de 15 % tandis que la consommation de céréales double, car des céréales sont distribuées en hiver pour remplacer l'énergie apportée par le maïs. Le chargement corrigé diminue légèrement, à 1,7 UGB/ha SFP.

Ce second système, plus herbager, risque de demander plus de travail car il implique de récolter régulièrement l'herbe des prairies. L'équilibre des rations pourrait être plus difficile à atteindre, car les ensilages réalisés à différentes périodes et sur différents types de prairies n'ont pas la même valeur alimentaire.

Dans le cas de l'année « avec aléas »

Système ajusté (modifications mineures)	Système réorienté (allongement rotations)
Il manque 16 tMS d'ensilage d'herbe, 8 tMS de maïs, de l'herbe pour le pâturage des VL en fin d'été et pour les génisses de mi-juin à début septembre (ce déficit représente l'équivalent de 25 tMS). De plus, la qualité des ensilages de 1 ^{re} coupe est médiocre.	Sans adaptation, il manque 31 tMS d'ensilage d'herbe, 13 tMS de maïs, et de l'herbe pour le pâturage en été (l'équivalent de 12 tMS). La qualité des premières coupes est médiocre. La betterave, elle, est peu affectée car elle peut être semée tardivement sans impact fort sur le rendement. Elle supporte bien la chaleur et peut rester en terre assez tard à l'automne si les conditions ne permettent pas la récolte. En pratiquant des reports sur pied et en modifiant la complémentation pour compenser la perte de qualité de l'herbe liée au report sur pied, on peut passer la période estivale sans réduire la production laitière. Cependant, les stocks de fourrages n'ont pas été entièrement reconstitués.

Plusieurs leviers ont été évoqués pour faire face à de tels aléas. À court terme, des achats supplémentaires de pulpes surpressées et une modification des rations peuvent permettre de maintenir la production de lait.

À plus long terme, l'implantation de dérobées (entre une orge et un maïs par exemple) permet de reconstituer son stock fourrager sans empiéter sur les autres cultures. Les méteils assurent également de récolter une certaine quantité de fourrage. Le choix des espèces dans les prairies temporaires et le sursemis des prairies permanentes avec des espèces adaptées sont aussi un levier pour assurer une production d'herbe quel que soit le contexte climatique. Par exemple, d'après les éleveurs du groupe, des prairies temporaires dactyle-luzerne résistent bien à la sécheresse et peuvent rester en place 3 à 5 ans suivant l'évolution de la flore.

Une variable d'ajustement pourrait être d'engraisser les vaches de réforme : elles valoriseraient ainsi les prairies à l'automne sans augmenter l'effectif en hiver. Les mauvaises années, elles pourraient être réformées sans être engraisées.

Finalement, les participants ont évoqué le fait qu'une telle année peut être surmontée si on dispose de suffisamment de stocks. Ce sont surtout les années suivantes qui seraient plus difficiles, car il faudrait reconstituer les stocks. Une succession de plusieurs années défavorables poserait également problème.

Conclusions

Évolutions tendancielles

Sans l'effet CO₂, dans le futur moyen, la zone serait affectée par une baisse des rendements : l'effet de l'évolution moyenne du climat est défavorable. En intégrant l'effet CO₂, l'effet du changement climatique devient globalement positif malgré le déficit estival. Cependant, la variabilité des rendements reste importante voire s'amplifie, et les conditions d'accès à la ressource restent elles aussi variables d'une année sur l'autre.

Les simulations réalisées ont toutes été faites « à matériel végétal constant » mais celui-ci va évoluer, probablement dans le sens d'une meilleure résistance à la sécheresse ou d'une meilleure efficacité par rapport à l'eau disponible.

Introduction de nouvelles cultures

La betterave fourragère est une culture que maîtrisent les éleveurs de la zone. La limite à son développement est le temps de travail, mais cette plante peut aussi être pâturée si les conditions de portance sont bonnes.

La présence de surfaces destinées aux grandes cultures est aussi un important levier de sécurisation : en mauvaise année, des surfaces de céréales, peuvent être ensilées plutôt que récoltées en grain. Ces surfaces offrent par ailleurs des possibilités d'implantation d'intercultures, qui peuvent être récoltées au printemps et contribuer à la constitution du stock fourrager. Actuellement, cette pratique n'est pas très répandue dans la zone, ou seulement après une orge. Cependant, les évolutions climatiques prévues pourraient, à l'avenir, faciliter la réalisation de cultures dérobées.

Valoriser l'herbe comme elle se présente

L'allongement de la période de pousse de l'herbe pourra permettre des mises à l'herbe plus précoces, et des fins de pâturage plus tardives, avec, entre les deux, de fortes fluctuations. Il sera essentiel de savoir configurer les systèmes de façon à bien valoriser la pousse quand elle se présente. Cela pourra impliquer des fauches parfois tardives, et cela milite pour préserver des surfaces accessibles importantes autour des bâtiments. De ce point de vue-là, maintenir dans chaque exploitation un troupeau susceptible de valoriser l'herbe en toutes saisons (génisses ou autres) resterait un atout.

Le choix des espèces et des mélanges est aussi un levier pour augmenter l'autonomie protéique et pour étaler la production dans la saison, en associant des espèces précoces avec d'autres plus tardives. Ainsi, l'introduction de la luzerne peut permettre de répartir les risques par rapport aux attentes sur la qualité des foin et ensilages.

Annexe 1 : Description de la méthodologie de l'étude CLIMALAIT**Quatre grandes phases d'étude.****1/ Définir des Unités Laitières AgroClimatiques.**

L'objectif est de définir des zones d'études pertinentes pour le programme. Une Unité Laitière présente une homogénéité pédoclimatique ainsi qu'en termes de potentiel fourrager, de systèmes d'élevage et d'évolution climatique. Ce zonage est une photographie de la diversité de la France :

- diversité climatique avec par exemple 710 mm seulement de précipitations annuelles pour certaines zones (plateau Calaisien, Boischaut), et 1 500 mm pour les plateaux du Jura
- diversité des structures d'exploitations laitières, illustrée par une taille moyenne de SAU (au RGA de 2010) de 50 ha (Monts du Lyonnais) à 271 (Plateau de Langres), ou un quota moyen (le dernier connu) allant de 90 000 litres (Beaufortin) à 453 000 (Chaurouge)
- diversité des modes de production : pratiquement que des prairies dans la zone des AOP savoyardes, et jusqu'à 65 % de maïs ou de sorgho dans la SFP des exploitations laitières béarnaises.

Une trentaine d'unités laitières agro-climatiques ont ainsi été définies.

2/ Décrire les évolutions du climat, dans chacune des unités laitières agroclimatiques au travers d'indicateurs météorologiques et agroclimatiques (température, pluie, bilan hydrique...).

Le futur climatique s'approche soit en prolongeant les tendances constatées, soit par simulation. Ce sont les grands laboratoires de recherche climatique du monde qui mettent au point les simulateurs de climat.

Avec le soutien de Météo-France, 3 d'entre eux ont été mobilisés : un français (le CNRM) – qui correspond aux données **Aladin** –, un Suédois (données **SMHI**), et un Néerlandais (**KMNI**). Nous présentons des calculs faits sur les périodes 1986-2015 (sert de base de comparaison), 2030-2059 (futur proche = P), et 2070-2099 (futur lointain = L) pour **Aladin** seulement.

Tous les modèles n'indiquent pas exactement la même chose, mais tous vont dans le même sens et prédisent un réchauffement dans le cadre du RCP 8.5, un scénario dans le cadre duquel les concentrations en gaz à effet de serre feraient plus que doubler d'ici la fin du siècle. Ces données simulées sont comparées à des données issues d'observations (désignées par « **obs** ») : il s'agit des données du modèle **SAFRAN**.

3/ Évaluer les impacts concrets du changement climatique sur les cultures fourragères et les systèmes d'élevage de chaque unité laitière agroclimatique.

C'est le cœur du programme. Grâce aux simulations STICS (Simulateur multIdisciplinaire pour les Cultures Standard), l'évolution prévue des rendements de cultures fourragères est analysée. STICS simule le fonctionnement d'un système comprenant le couvert végétal et le sol (la partie de sol colonisée par les racines). L'atmosphère au voisinage du système est représentée par un ensemble de variables climatiques.

Le paramétrage du modèle est adapté à chaque zone : les données climatiques sont issues du modèle **Aladin** pour un point choisi dans la zone étudiée, les itinéraires techniques sont définis et validés avec les conseillers du secteur, et les sols sont issus d'une base nationale. Ainsi sont évalués les impacts concrets du changement climatique sur les cultures fourragères principales (maïs, prairie, luzerne).

4/ Proposer des stratégies d'adaptation pour les systèmes d'élevages laitiers.

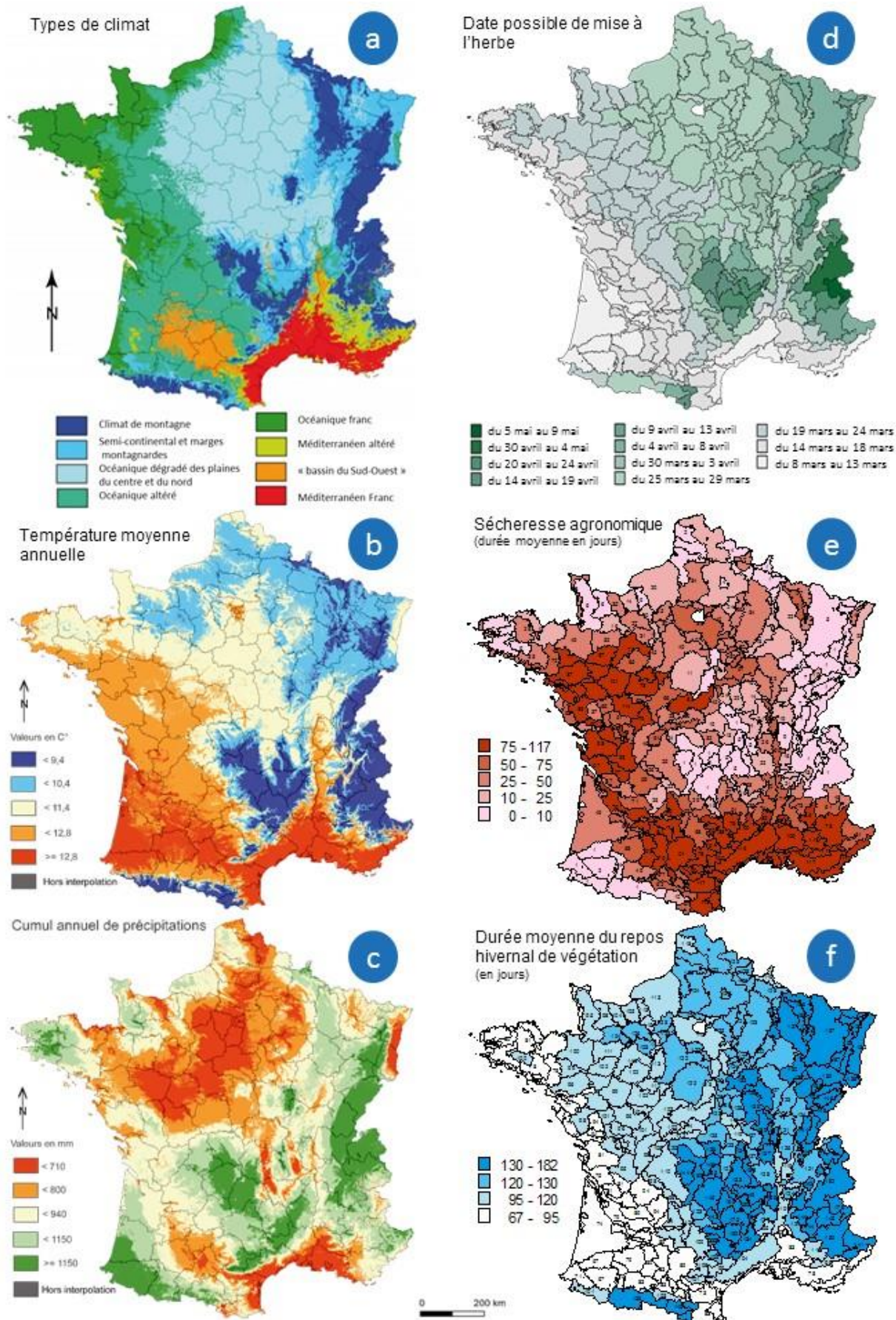
Un outil très apprécié des éleveurs est utilisé, le Rami Fourrager®. Il s'agit d'un jeu de plateau qui permet de modéliser un système fourrager et de le confronter à diverses contraintes. Les joueurs (éleveurs, conseillers...) peuvent alors reconfigurer le système pour l'adapter à ces contraintes. L'outil est donc un support de discussion pour le groupe, qui peut alors envisager des leviers d'adaptation et en visualiser les conséquences.

Pour les systèmes d'exploitation de chaque unité laitière agroclimatique, les besoins du troupeau laitier et les apports des cultures fourragères sont définis. Les équilibres sont analysés au travers de différents indicateurs.

Ce travail permet également de confronter les hypothèses émises par les experts de Climalait aux réflexions des éleveurs et des conseillers.

Les résultats de l'étude se présentent sous forme de fiches de synthèse.

Annexe 2 : Climats de France et conséquences agronomiques



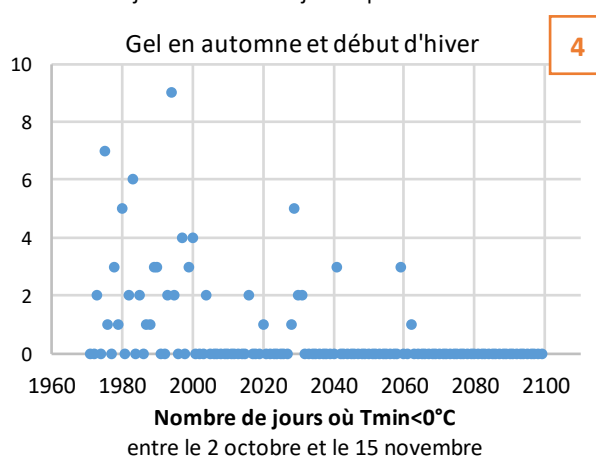
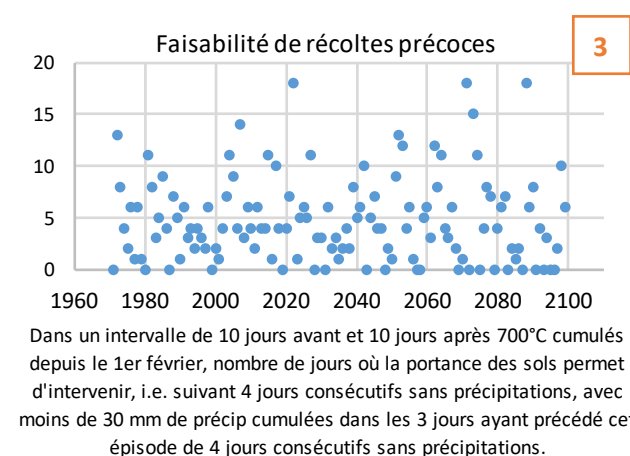
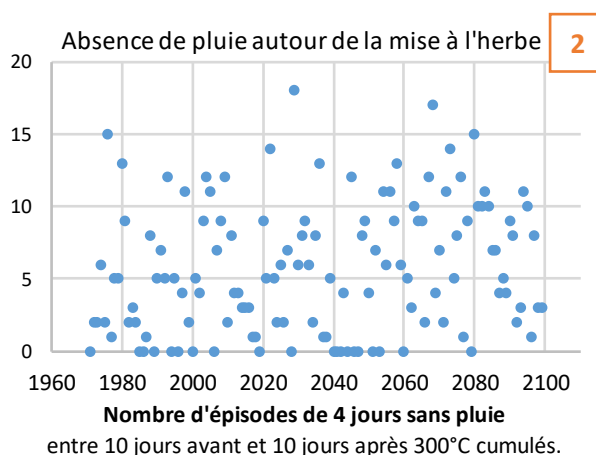
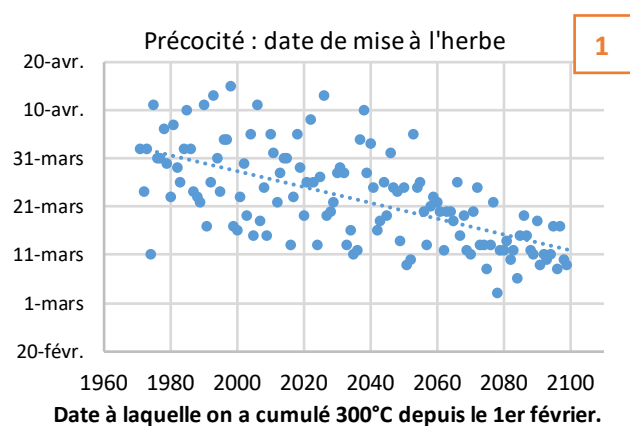
Sources et méthodes a, b, c : INRA, CNRS, Université de Bourgogne ; d, e, f : données Météo France, SSP, INRA calculées pour ISOP, traitement Institut de l'Élevage pour 228 régions fourragères. d. La date possible de mise à l'herbe est estimée par la date d'atteinte d'un seuil de 300°C cumulés depuis le 1^{er} février. e. La sécheresse agronomique est définie comme la période durant laquelle la réserve utile est inférieure à 20% de la capacité au champ (point de flétrissement). f. La durée du repos hivernal de végétation est définie comme l'écart en jours entre la date d'arrêt de la pousse de végétation (température moyenne < 7°C) et la date de démarrage de végétation.

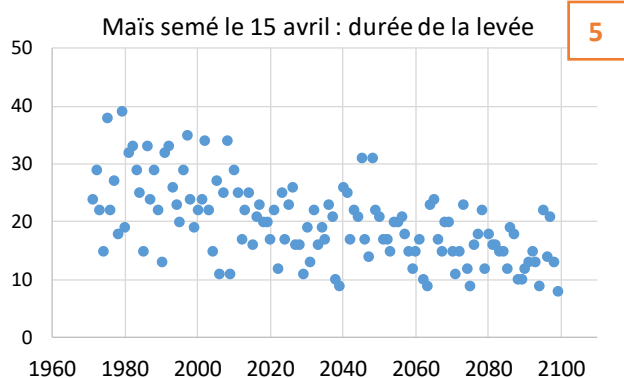
Annexe 3 : Évolution climatique et conséquences pour la mise en place et l'accès aux ressources fourragères (à partir du modèle de climat ALADIN)

Au-delà des conséquences sur l'évolution des rendements des différentes cultures fourragères ou de la prairie, l'évolution du climat a aussi un impact sur les conditions d'accès à la ressource (facilitation du pâturage, réalisation des fauches ou de l'ensilage du maïs), ou sur les conditions de semis et de levée (maïs). On peut approcher ces impacts par le calcul d'indicateurs agroclimatiques, dans le passé comme dans le futur. On peut ainsi préciser ces impacts saison par saison.

Les conditions de début du printemps semblent évoluer favorablement : l'herbe pousserait plus tôt [1], et la pluviométrie permettrait de réaliser les mises à l'herbe dans des conditions similaires [2]. En plein printemps, les récoltes précoces pourraient être réalisées dans des conditions similaires à celles connues actuellement [3]. En fin de saison (du 2 octobre au 15 novembre), les journées de gel deviendront de moins en moins fréquentes, permettant de maintenir les animaux au pâturage (s'il y a de l'herbe) [4]... En ce qui concerne le maïs, l'augmentation des températures diminuerait les risques de stress lié au froid lors de la levée [5], ce qui pourrait permettre des semis plus précoces. En fin de cycle, les conditions de récolte s'améliorent [6], alors que l'augmentation des températures accélère le dessèchement des grains et donc raccourcit la période optimale de récolte.

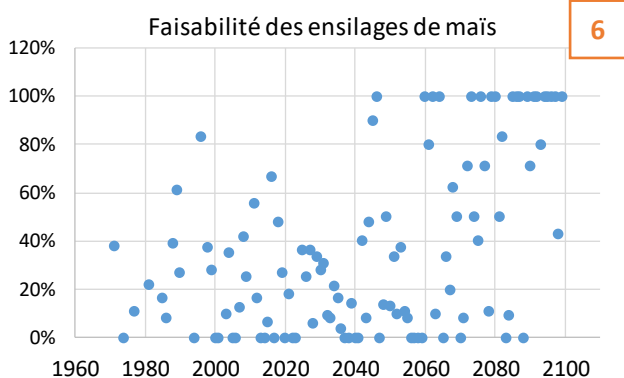
Enfin, il ne faut pas oublier les conséquences directes du climat sur les animaux eux-mêmes : lors d'épisodes caniculaires, les vaches réduisent leurs déplacements et leur ingestion, l'herbe au pâturage est alors moins bien exploitée, alors même que sa senescence est accélérée et sa pousse stoppée (voir [7] : évolution des épisodes caniculaires).





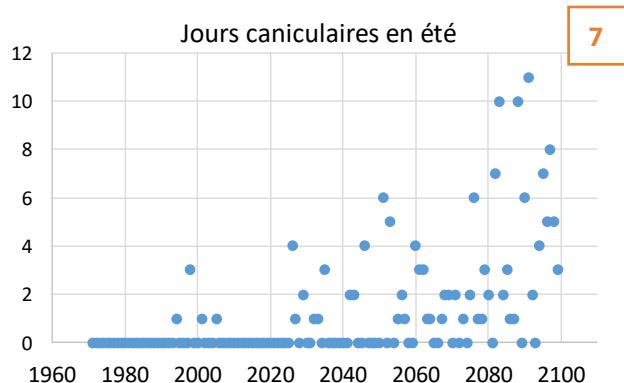
5

Nombre de jours nécessaires pour cumuler 80°C en base 6 à partir du 15 avril. En bonnes conditions, le maïs lève en 7 jours. Une levée en plus de 10 jours traduit un stress léger, une levée en plus de 20 traduit un fort stress (L. Maunas, Arvalis).



6

Pourcentage de jours où la récolte est possible (c'est-à-dire suivant un épisode de 5 jours sans pluie), entre les stades 30 et 35%MS, pour un maïs de catégorie SC semé le 15 avril. 100 signifie que tous les jours de la période sont praticables.



7

Nombre de jours avec Tmax > 35°C, entre le 5 juillet et le 20 août.



Rédaction : Jean-Christophe Moreau (*Idele*) et Aurélie Madrid (*Idele, CNIEL*).

Avec la participation de : Magali Bergot (*Météo-France*), Thierry Brun (*Idele*), Élisabeth Castellan (*Chambre d'Agriculture du Nord-Pas de Calais*), Marie Flament (*Agro-Transfert Ressources et Territoires*), Françoise Ruget (*INRA*), Franck Souverain (*Météo-France*).

Crédits photos : L. Page /CNIEL

Version : Août 2019

Remerciements aux éleveurs qui ont participé aux groupes de travail.

Les informations contenues dans cette publication ont été obtenues dans le cadre d'un Projet de recherche initié par le CNIEL, mené conjointement avec ARVALIS, le BTPL, les Chambres d'Agriculture (ici, du Nord-Pas de Calais, en collaboration avec Agro-Transfert Ressources et Territoires), l'INRA, l'Institut de l'Élevage et Météo France, avec le concours financier du CNIEL et de l'Agence de l'eau Seine-Normandie.

Climalait, un projet de recherche initié par le CNIEL et mené par



Avec le concours financier de

