



CLIMALAIT

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 :

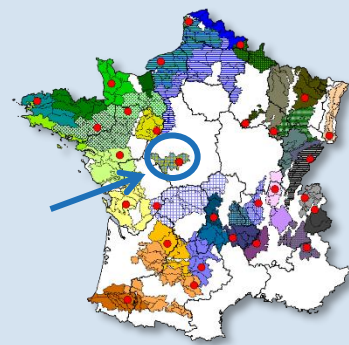
- ✓ Un zonage de la France en une trentaine d'Unités Laitières Agroclimatiques représentatives de la diversité des contextes de production du lait en France (voir ci-contre),
- ✓ Des données sur l'évolution du climat à l'échelle de chacune de ces zones,
- ✓ Les impacts du changement climatique, sur des 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 le Boischaut (36)

DES RÉSULTATS

pour le Boischaut



Carte présentant les 30 unités laitières agroclimatiques

Au sommaire :

La Région du Boischaut.....	2
Climat du Boischaut.....	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.....	12
Annexes.....	13

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 Boischaut

Comme partout en France, la SAU moyenne par exploitation augmente à un rythme soutenu (de l'ordre de + 38 % entre 2000 et 2010), sans que la main d'œuvre augmente au même rythme (+ 8 % entre 2000 et 2010). 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	2.3	130	75	55	22	77	48
Évolution entre 2000 et 2010 (% de 2000)	+8%	+38%	+30%	+54%	+60%	+54%	+53%

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

Le nombre d'animaux par exploitation suit la même tendance : les troupeaux laitiers comme allaitants se sont agrandis entre 2000 et 2010. La SFP a elle aussi augmenté, à un rythme semblable à celui des effectifs de bovins. De

ce fait, le chargement apparent, de 1,4 UGB/ha de SFP, n'a pas évolué.

Les derniers quotas (campagne 2014-2015) atteignaient en moyenne 389 000 litres par exploitation, soit environ 8 100 L/VL.

Avec environ 60 % de la SAU occupée par des grandes cultures, la zone est une de celles dans lesquelles la polyculture-élevage est dominante. La SFP est en grande partie occupée par des prairies temporaires et du maïs fourrage. On trouve également des prairies permanentes, des prairies artificielles... Les surfaces en céréales apportent aussi des possibilités d'utilisation directe, via l'ensilage de céréales immatures, ou d'implantation de cultures intermédiaires.

Le Boischaut n'échappe pas à l'agrandissement des exploitations, et le cheptel laitier suit la même évolution. Les systèmes laitiers en polyculture-élevage sont majoritaires, avec une part importante de prairies temporaires et de maïs fourrage, auxquelles s'ajoutent des prairies permanentes et des céréales.

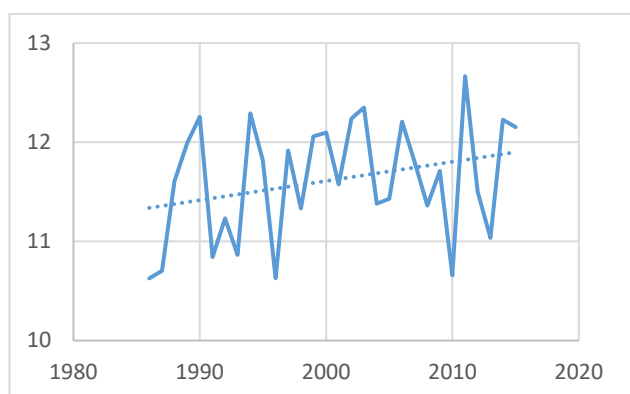
Climat de la zone

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

Le climat du Boischaud est de type océanique dégradé (carte a) avec des températures douces (carte b) entraînant un repos hivernal de la végétation relativement court (carte f) avec une date de mise à l'herbe théorique en deuxième quinzaine de mars (carte d). Le cumul annuel des précipitations est faible (carte c) ; la sécheresse agronomique estivale est donc relativement longue (carte e).

Évolution récente du climat

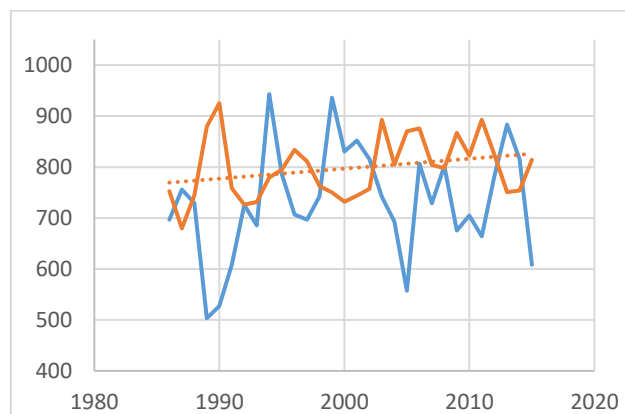
Sur ce site, l'évolution des températures moyennes annuelles est relativement marquée : en 30 ans (de 1986 à 2015), le climat s'est réchauffé d'environ 0,5 °C. La variabilité inter-annuelle demeure importante, avec des moyennes annuelles comprises entre 10,5 °C et 12,5 °C. Cette augmentation de température se retrouve à l'échelle saisonnière. Elle est particulièrement marquée au printemps (+ 1,2 °C) et à l'automne (+ 0,7 °C), alors que les moyennes estivale et hivernale restent stables.



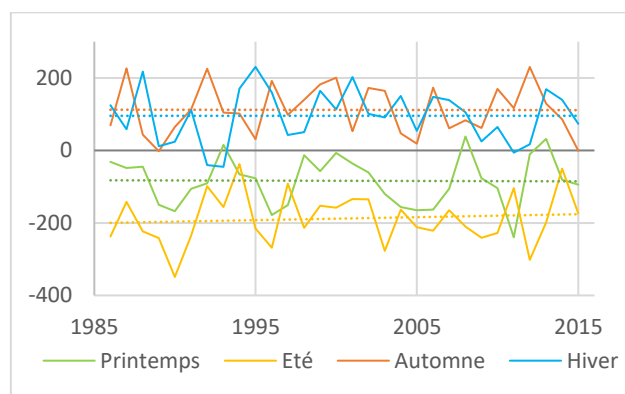
Évolution de la température moyenne annuelle de 1986 à 2015 (Données Météo-France Safran).

Le cumul annuel des précipitations est très variable, entre 500 et 950 mm/an et aucune tendance significative ne se dégage sur les trente dernières années. Cette variabilité des précipitations se retrouve à l'échelle saisonnière. L'évapotranspiration est elle aussi assez variable d'une année sur l'autre, avec une légère tendance à la hausse.

Cette variabilité se retrouve sur le bilan hydrique (P-ETP), tant à l'échelle annuelle que saisonnière.



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

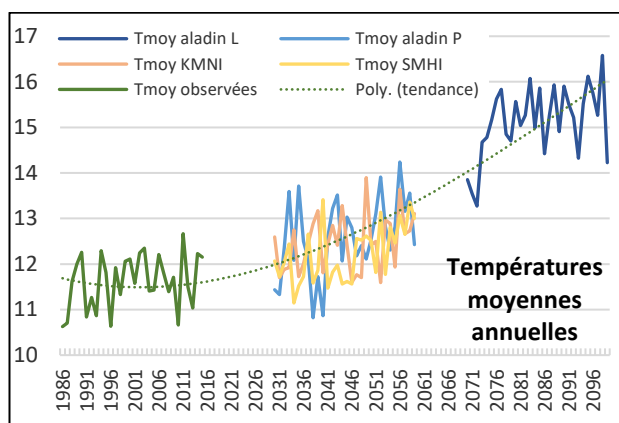


Bilan hydrique (P-ETP) calculé par saison de 1986 à 2015 (Données Météo-France Safran).

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 de 1 °C) dans le futur proche. Ce n'est que dans la seconde moitié du siècle que le réchauffement s'accélérerait rapidement pour atteindre + 3 à 4 °C par rapport au niveau actuel.

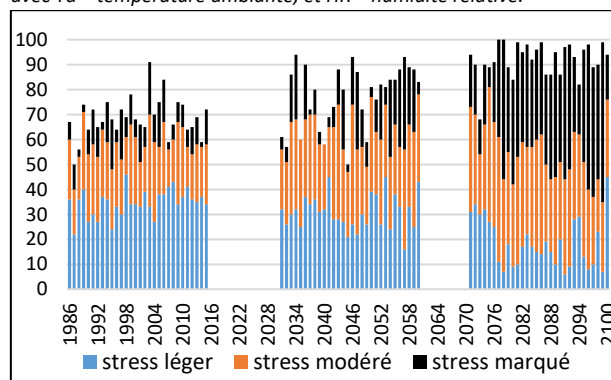
L'analyse des données simulées montre qu'autour de ce niveau, l'hiver se réchaufferait moins (+ 3 °C) que l'été (+ 5 °C). Les températures moyennes sont exprimées à partir des minimales et des maximales, l'analyse montre que les maximales progresseraient plus vite que les minimales. Ainsi quand on évoque une température moyenne en hausse de 3 à 4 °C à l'échelle de l'année en fin de siècle, cela signifie souvent + 6 °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 pour chaque niveau de stress estimé 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 20 mars (une année sur deux entre le 15 et le 27 mars), elle pourrait passer aux alentours du 14 mars dans le futur proche (entre le 13 et le 18 selon les modèles), et du 7 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 ...	15/3 27/3	14/3 27/3	16/3 27/3	10/3 23/3	12/3 24/3	5/3 19/3	4/3 10/3
Médiane	20/3	19/3	24/3	14/3	18/3	13/3	7/3

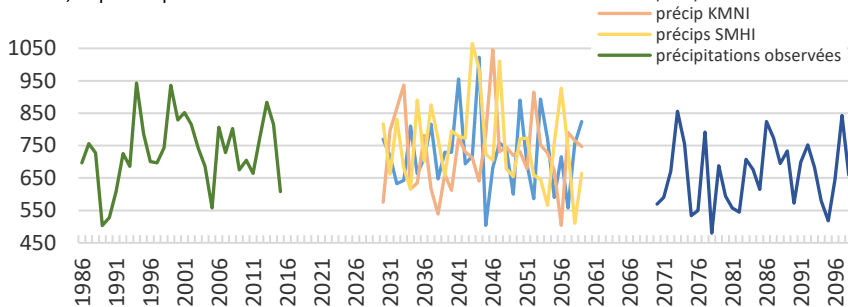
Date de mise à l'herbe (date d'atteinte du seuil de 300 °C cumulés depuis le 1^{er} février), dans le passé (données observées) et dans les différents modèles climatiques.

Évolution des précipitations

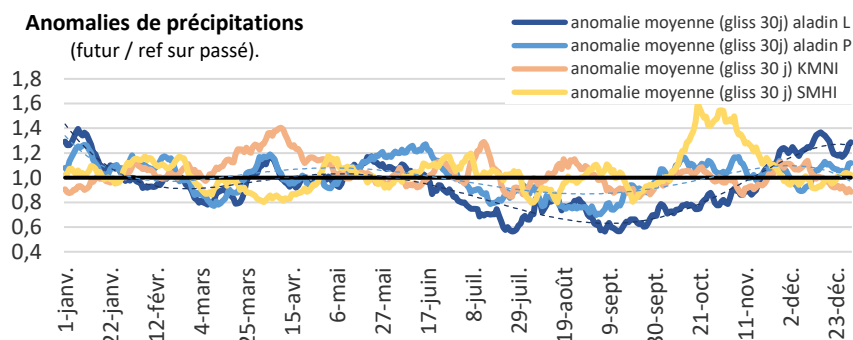
Il n'y a pas de tendance nette quant à l'évolution du cumul annuel de précipitations : aucun des 3 modèles ne prédit pour le futur proche une baisse du cumul annuel de précipitations dans cette zone, sauf peut-être en fin de siècle avec le modèle **Aladin**. Ce qui domine, c'est surtout la très forte 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, il est prévu qu'il pleuve plus, et inversement s'il est inférieur à 1. Ainsi dans le futur proche, le modèle **KMNI** prédit plus de précipitations au printemps. Au contraire, le modèle **SMHI** prévoit moins de précipitations au printemps et plus en automne. Quant au modèle **Aladin**, il prévoit plus de précipitations en hiver et moins en été-automne. Dans le futur lointain, cette diminution des précipitations s'accroîtrait sur toute la durée de l'été et de l'automne. On peut donc s'attendre à des sécheresses météorologiques estivales et automnales 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.

Cumuls annuels de précipitations observés de 1986 à 2014, et prévus par les 3 modèles de simulation dans le futur.



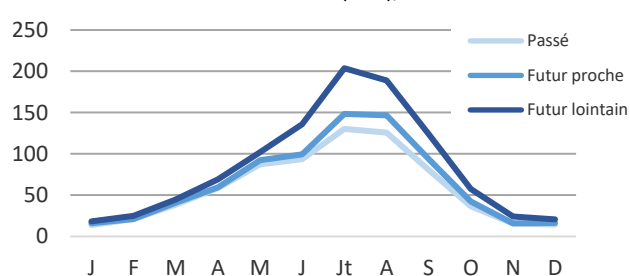
Anomalies de précipitations (futur / ref sur passé).



	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	3/10	4/10	1/10	-3%	+0%	+0%	+0%
au moins 20 jours sans pluie entre le 01/07 et le 01/09	2/10	2/10	1/10	+10%	+3%	+10%	+47%

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**).

Cumuls d'ETP mensuels (mm), modèle **Aladin**



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 évoluerait 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.

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 douces, et des précipitations faibles. Les températures, déjà en légère 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. On note cependant, à la fin du siècle, une diminution des précipitations en été, ainsi qu'une augmentation de l'évapotranspiration. Ces deux phénomènes contribuent à accentuer les situations de sécheresse en été.

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 profond	120 cm	25 %	140 mm
Sol moyen	80 cm	25 %	80 mm

Caractéristiques des sols utilisés dans les simulations.

Conséquences du changement climatique sur la pousse de l'herbe

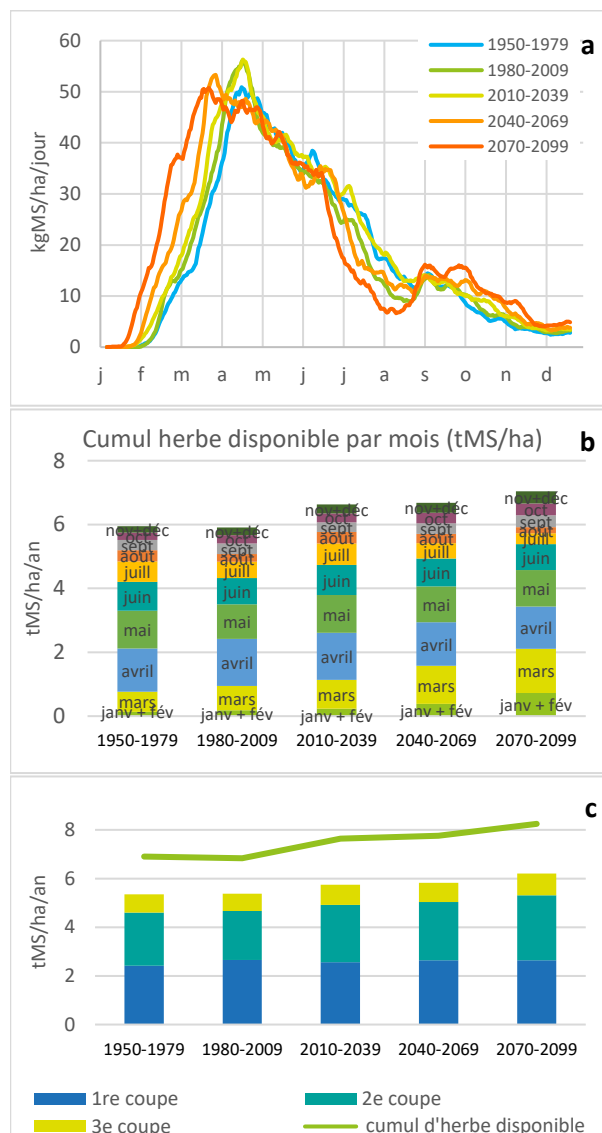
Les simulations ont été réalisées pour plusieurs itinéraires techniques combinant récoltes (en foin ou en ensilage) et pâturage, sur deux types de sol. Les courbes de croissance présentées ci-dessous ne concernent que les itinéraires de type pâturage.

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 sur sol profond. Ainsi, une mise à l'herbe plus précoce pourrait être envisagée, sous réserve de bonnes conditions de portance. 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 plus tôt dans les mêmes conditions qu'actuellement.

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.

Au total, la quantité d'herbe produite sur l'année serait en légère 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'accentuerait 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 sur sol profond, en kg de MS/ha/jour, selon la période de 30 ans simulée (en moyenne pour 2 sols et 3 niveaux d'azote) ;
b) cumul d'herbe disponible par mois, en moyenne pour 2 sols et 3 niveaux d'azote ;
c) rendements moyens des récoltes de foin et ensilage, et cumul d'herbe disponible sur l'année sur sol profond avec apport d'azote.

Luzerne

Les simulations ont été réalisées sur les sols profond et moyen décrits précédemment, pour un itinéraire technique de 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.

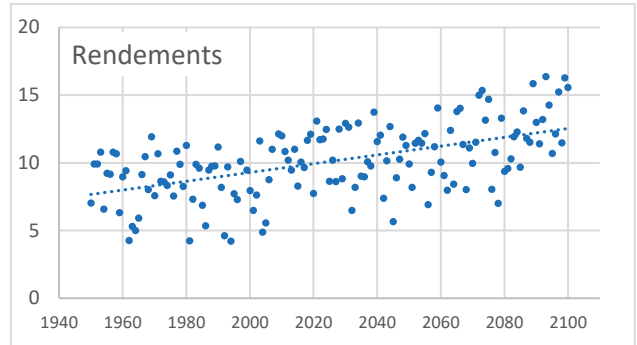
Quel que soit le nombre de coupes réalisées, les rendements seraient à la hausse. Cependant, si l'ensemble des rendements augmente, la variabilité interannuelle est toujours aussi marquée.

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 encore une semaine dans la période 2040-2069, et quinze jours dans la période 2070-2099.

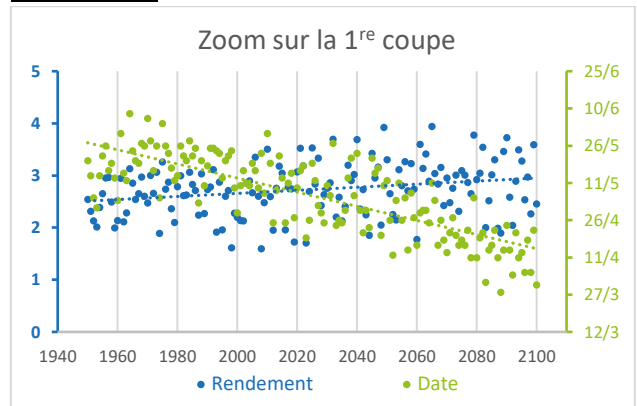
D'autre part, l'augmentation des températures estivales permettrait d'accélérer la croissance des plantes (contrairement aux prairies de graminées, la luzerne est peu affectée par les températures élevées, tant que suffisamment d'eau est disponible) et ainsi de parfois pouvoir faire une coupe supplémentaire.

Le détail des rendements cumulés 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.

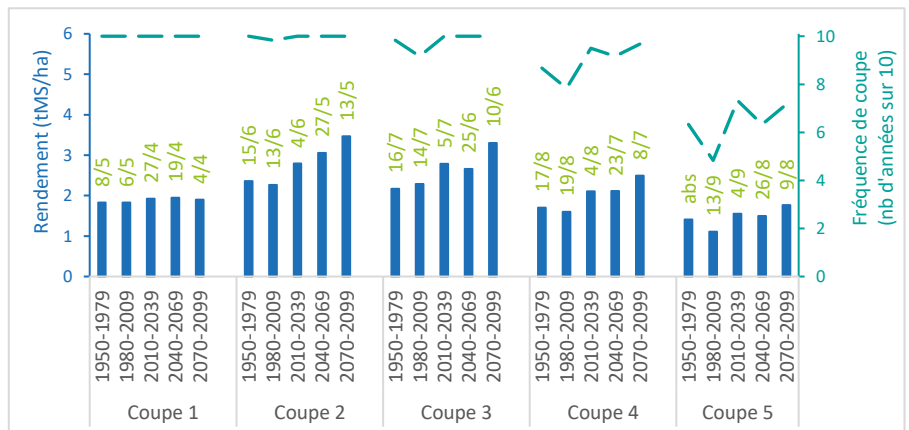
Rendements cumulés moyens obtenus pour les itinéraires techniques utilisés dans les simulations.



Dates de coupe et rendements en 1^{re} coupe, en moyenne sur sol « profond »

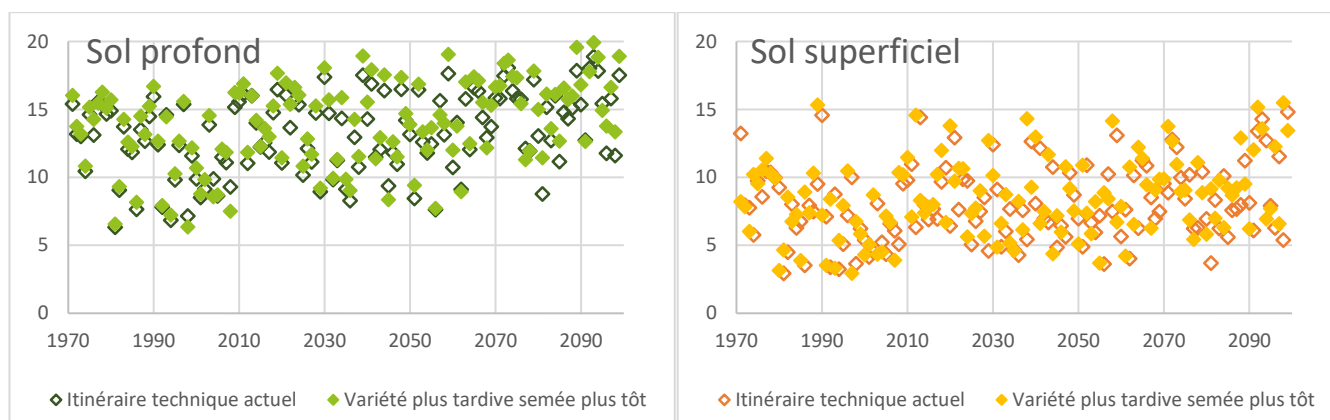


Ci-contre : en moyenne par période de 30 ans, **rendements par coupe, fréquence de réalisation des coupes par le modèle et dates de coupes prévues**, pour l'itinéraire technique à 5 coupes prévues (moyenne des résultats obtenus sur sol « profond » et sol « moyen »).

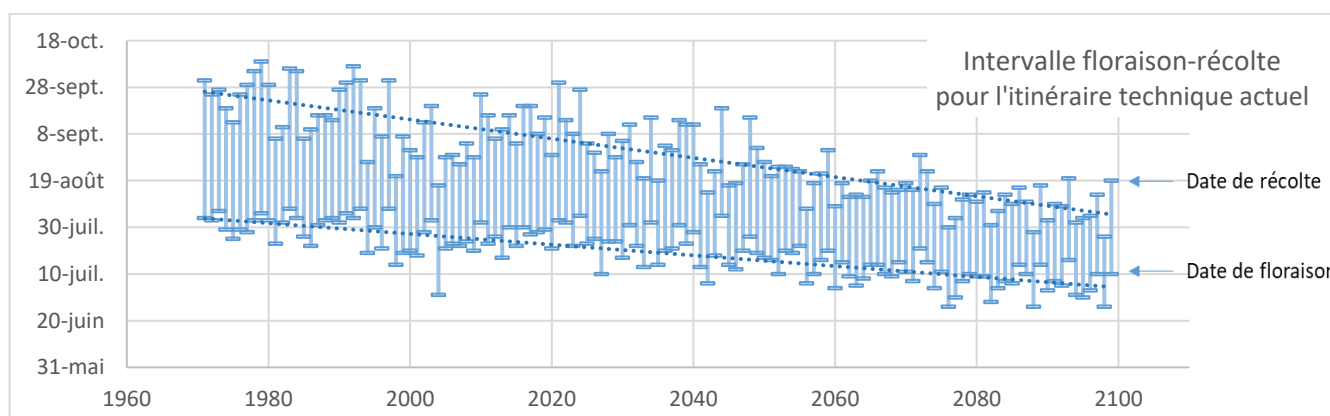


Maïs

Les simulations sont réalisées pour deux groupes de précocité (260-330 et 310-400) et deux dates de semis (10/04 et 25/04), sur les deux sols présentés précédemment. Des simulations combinant une culture dérobée (RGI) puis un maïs ont également été réalisées, soit en récoltant la dérobée le 20 avril puis en semant le maïs début mai, soit en récoltant la dérobée plus tôt (5 avril) pour pouvoir semer le maïs mi-avril. Toutes les simulations ont été déclinées avec et sans irrigation.



Rendements obtenus pour deux itinéraires techniques, sur sol profond et sur sol superficiel, sans dérobée et sans irrigation (tMS/ha).



Évolution des dates de floraison et récolte.

Les simulations mettent en évidence des rendements stables voire en légère augmentation, notamment sur sol profond. Cette augmentation est liée à la hausse du taux de CO₂ dans l'atmosphère et à son effet direct sur la croissance des plantes. Cette tendance cache cependant une importante variabilité des rendements, déjà observée actuellement et qui se poursuivrait à l'avenir. L'adaptation des itinéraires techniques (variétés plus tardives et/ou semis plus précoces) permettrait souvent une légère augmentation des rendements.

Les dates de floraison et de récolte seraient de plus en plus précoces. À condition que les ressources en eau soient suffisantes, des variétés plus tardives pourraient donc être semées sans risque. Ces variétés profiteraient mieux de l'augmentation des températures.

Les simulations combinées RGI+maïs montrent des résultats globalement similaires, mais avec une variabilité encore plus importante des rendements.

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 sont globalement à la hausse, mais leur variabilité reste importante. Là aussi, l'avancée des dates de floraison et récolte est nette.

Conséquences à l'échelle des systèmes et adaptations possibles

Le système traité

Le cas étudié a été construit par un groupe d'éleveurs du département de l'Indre et leurs conseillers. Il s'agit d'une ferme disposant de 133 ha de SAU dont 83 ha de SFP : 33 ha de maïs ensilage (dont 10 ha avec dérobée) et 50 ha de prairies (13 ha de prairies pâturées et 37 ha de prairies fauchées une ou deux fois puis éventuellement pâturées).

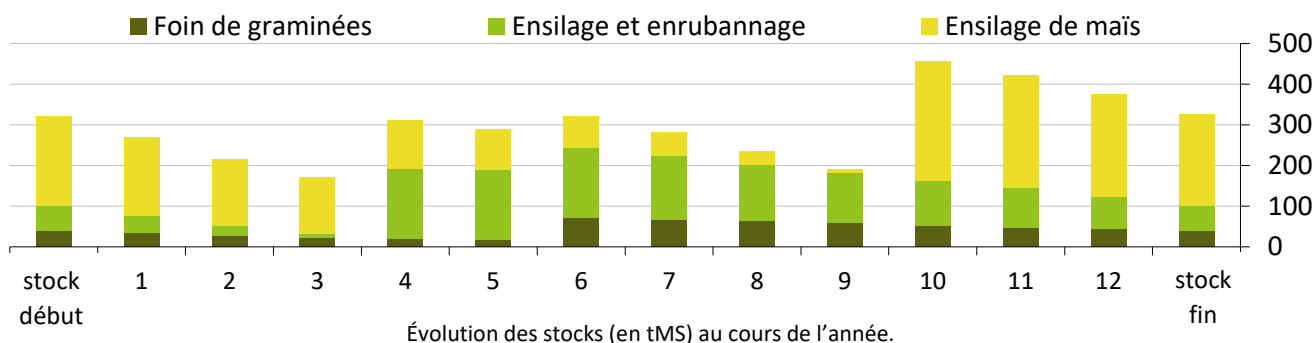
Le troupeau est constitué de 72 vaches laitières à 8 500 kg de lait produits, avec un taux de renouvellement de 33 % et des vêlages étalés. Le premier vêlage est à 28 mois, comme c'est le cas en moyenne sur la zone. 25 génisses sont élevées chaque année.

La ration hivernale des vaches est constituée aux deux tiers d'ensilage de maïs, et d'ensilage d'herbe pour le tiers restant. Elles sortent au printemps, et la place de la pâture dans la ration augmente en suivant la courbe de production de l'herbe, jusqu'à couvrir la moitié des besoins en plein printemps. En été, la même ration qu'en hiver est distribuée, puis on introduit à nouveau du pâturage en automne.

Les génisses sont nourries de foin et de concentrés jusqu'à la première mise à l'herbe (le premier ou le deuxième été selon leur période de naissance). À partir du deuxième hiver, leur ration se compose de foin et d'ensilage d'herbe, jusqu'à basculer sur la ration des vaches laitières.

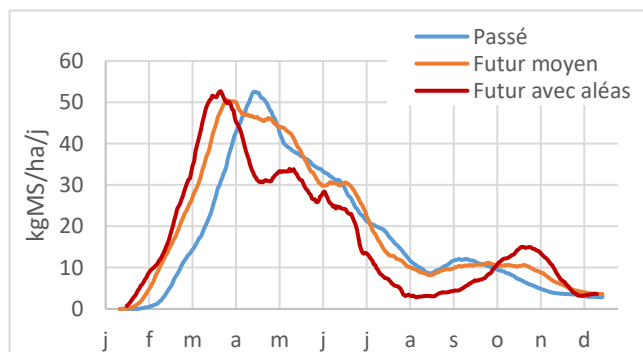
Ce système nécessite 9,5 tonnes de concentrés énergétiques (céréales) et 145 tMS de paille, l'un comme l'autre étant produits sur place. Par ailleurs, 95 tonnes de tourteaux de colza sont nécessaires. Le chargement corrigé s'élève à 1,52 UGB/ha SFP.

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 y ait de rupture au cours de l'année. La dynamique des stocks est la suivante :



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 2040-2075](#). Ce système déjà adapté aux conditions climatiques du futur a ensuite été confronté à un type d'année particulier, caractérisé par un [printemps particulièrement sec, suivi d'un été chaud et sec](#) et de conditions favorables à la pousse de l'herbe en automne.



Pousse moyenne d'une prairie à base de graminées sur sol profond, selon la période d'étude envisagée.

	1971-2000	2040-2075	Année avec aléas
Date de mise à l'herbe (Date à laquelle on a cumulé 300°C depuis le 1 ^{er} février)	24 mars	15 mars	11 mars
Bilan hydrique au pic de croissance des prairies (mm) (Cumul Précipitations - ETP, entre 400 et 1100°C cumulés)	- 21	- 32	- 87
Températures élevées en fin de printemps (Nombre de jours avec $T_{max} > 28^{\circ}\text{C}$, entre 1100°C cumulés et le 5/07)	1	6	12
Bilan hydrique en été (mm) (Cumul Précipitations - ETP entre le 5 juillet et le 20 août)	- 120	- 190	- 236
Précipitations fin d'été et début automne (mm) (Cumul pluviométrique entre le 21 août et le 1 ^{er} octobre)	46	39	28

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

Les adaptations envisagées

Dans le futur (année moyenne 2040-2075)

En année moyenne, les effets du changement climatique sont globalement positifs, du fait de l'augmentation du taux de CO₂ dans l'atmosphère. La production globale augmente pour toutes les cultures (+ 10 tMS pour le foin, + 12 tMS pour l'ensilage d'herbe, et jusqu'à + 62 tMS pour l'ensilage de maïs).

Cependant, les fortes températures inquiètent les éleveurs qui ont déjà remarqué que leurs animaux ne sortent pas (ou seulement la nuit) lors des épisodes de canicule. Cela va à l'opposé des attentes sociétales autour du pâturage.

Les bâtiments étant le plus souvent déjà saturés, il n'est pas possible d'augmenter le nombre d'animaux pour utiliser les fourrages supplémentaires. Plutôt que de réduire la SFP au profit de cultures de vente, les éleveurs préfèrent faire des stocks pour les mauvaises années, comme ils en ont déjà l'habitude. Une partie de l'excédent de maïs pourra être récoltée en grain.

Les éleveurs se demandent aussi si des épisodes de fortes chaleurs et/ou de sécheresse une année ne risquent pas d'endommager durablement les prairies en favorisant certaines espèces adventices (l'effet de l'année précédente n'était pas pris en compte dans les simulations STICS), ce qui minorerait l'augmentation de rendement simulée sur les prairies. La diversification des espèces et des variétés pourrait permettre de faire face à ce problème en améliorant la capacité de résilience des prairies.

Par ailleurs, les éleveurs font l'hypothèse que les prix des engrais vont augmenter, ce qui les conduirait à réduire leur utilisation et tempérerait également l'augmentation de rendement en maïs. Face à l'avancée des stades au printemps, ils choisissent d'ensiler les dérobées plus tôt pour maintenir la qualité, ce qui permet d'implanter les maïs de façon plus précoce.

Dans le cas de l'année « sèche »

La stratégie consistant à faire des stocks et à cultiver plus de maïs que nécessaire se révèle efficace mais pas toujours suffisant. Dans le cadre de cette année « sèche », il manque environ 85 tMS d'ensilage de maïs par rapport à l'année moyenne du futur, ce qui correspond à 5 mois de consommation d'ensilage de maïs distribué à hauteur de 2/3 de la ration. Actuellement, les éleveurs travaillent plutôt avec une marge équivalant à 2 mois d'avance.

Les éleveurs de la zone craignent que l'implantation des prairies, des dérobées et des cultures en général devienne plus difficile si l'eau se raréfie, rendant plus compliquée la reconstitution du stock.

Plusieurs leviers ont ensuite été évoqués :

- Différents types de **sorghos** ont été testés par les éleveurs du groupe, qui préconisent de mélanger du sorgho BMR avec du sucrier, pour limiter les risques de verse. Le sorgho peut ensuite être ajouté en couche superficielle au-dessus d'un silo de maïs, mais il faut faire en sorte que les deux arrivent à maturité en même temps ou rouvrir le silo. Plus généralement, les évolutions du climat, combinées à une nécessaire sélection génétique, pourraient, de l'avis du groupe, rendre le sorgho plus intéressant à l'avenir. Ils évoquent également l'association au champ de maïs et de sorgho, qui nécessite aussi une maturité simultanée des deux espèces.

- Le **pâturage de betterave** au fil va être testé prochainement dans le cadre du programme régional Herbe et Fourrages, avec des variétés semi-enterrées pour limiter la dégradation des sols. Dans la zone, il n’y a pas de matériel accessible pour la récolter, mais une acquisition en commun pourrait être envisagée si plusieurs éleveurs étaient intéressés. Dans ce cas, le groupe estime qu’il faudrait implanter 3 à 4 ha pour pouvoir en distribuer pendant 150 jours en hiver.
- Les **dérobées d’automne** (colza fourrager, RGI-trèfle, ray-grass alternatifs...) sont une ressource intéressante, à condition de réussir l’implantation. Le groupe estime qu’il faut 20 à 25 mm d’eau pour réussir la levée.
- La **luzerne** est, de l’avis du groupe « une plante de sécheresse », mais il faut disposer de terres adaptées pour amortir le coût de la semence sur 3 ou 4 années. Le groupe évoque aussi la possibilité d’acheter de la luzerne chez des céréaliers voisins, qui pourraient devoir allonger leurs rotations à l’avenir, avec des difficultés liées à l’organisation, l’estimation du prix...
- Les **mélanges céréales-protéagineux immatures (MCPI)** peuvent être récoltés tôt si on cherche de la qualité, ou plus tard si on vise plutôt une récolte en quantités importantes. Dans le second cas, il est préférable de les distribuer aux génisses ou aux vaches taries pour éviter de perdre en production et de devoir augmenter la complémentation. Cependant la récolte est parfois difficile. Au niveau économique, c’est une culture intéressante si on peut utiliser de la semence de ferme, ou bien s’organiser à plusieurs pour produire les différents constituants du mélange.
- Les **prairies multi-espèces**, et l’adaptation de leur composition au contexte pédoclimatique et aux objectifs de chacun, sont des leviers importants dans la zone. Elles demandent cependant une certaine technicité pour maintenir l’équilibre entre les différentes espèces et entre graminées et légumineuses.

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 deviendrait neutre ou globalement positif malgré le déficit hydrique estival. Cependant, la variabilité des rendements reste importante, 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.

Les aléas climatiques et la production fourragère : les vertus des systèmes à ressources diversifiées

Les aléas testés (printemps sec suivi d'une sécheresse estivale d'une ampleur encore jamais rencontrée) ont affecté les systèmes étudiés. Cependant, les systèmes de la région disposent d'une conséquente sole en céréales, ce qui offre de nombreuses possibilités d'adaptation, à court ou long terme : dérobées, méteils, ensilage de céréales immatures, maïs à double fin...

Les éleveurs de la zone ont l'habitude de travailler avec un stock de sécurité, ce qui permet de compenser un déficit fourrager, tant qu'il reste limité.

Valoriser l'herbe comme elle se présente

La période de production des prairies sera plus longue (mise à l'herbe plus précoce, fin de pâturages plus tardive), mais avec de fortes fluctuations : la valorisation des prairies passera nécessairement par des modifications de pratiques de façon à valoriser l'herbe lorsqu'elle se présente, notamment en fin de saison (fauche tardive, pâturage d'automne...). Ceci implique une forte réactivité des éleveurs (et des structures de conseils) pour adapter la conduite de l'herbe en fonction de la dynamique de pousse observée.

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. L'introduction de la luzerne peut aussi permettre de répartir les risques par rapport aux attentes sur la qualité des foin et ensilages.

Les vaches aussi vont souffrir

Les éleveurs de la zone redoutent le stress thermique que vivront les vaches laitières de plus en plus souvent, et les pertes de production laitière que celui-ci entraîne. Différents leviers (adaptation des bâtiments, génétique, croisements...) devront être mobilisés pour y faire face.

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.

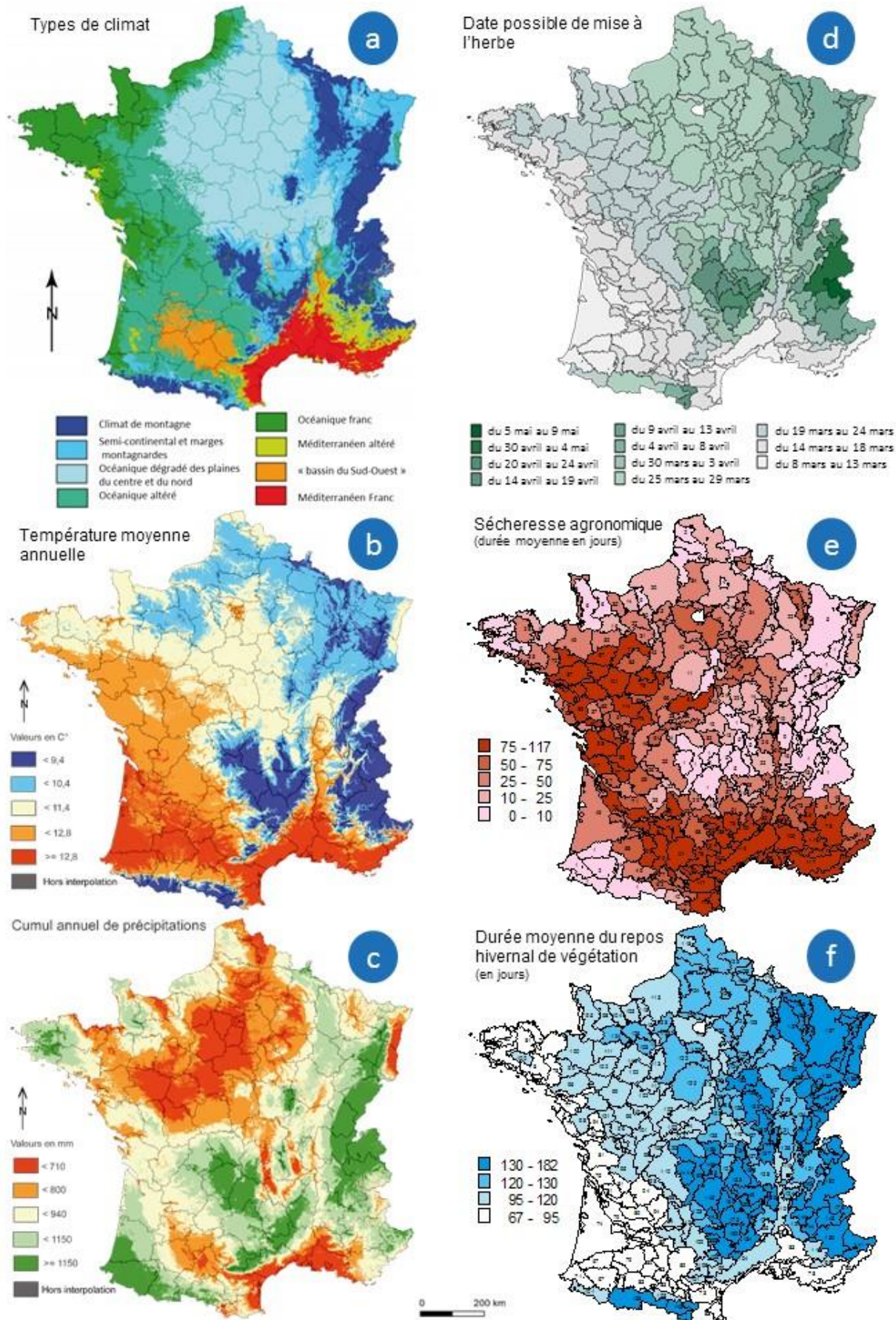
Un outil très apprécié des éleveurs est utilisé, le Rami Fourrager®. Il s'agit d'un jeu de plateau qui permet de modéliser un système fourrager et de le confronter à diverses contraintes. Les joueurs (éleveurs, conseillers...) peuvent alors reconfigurer le système pour l'adapter à ces contraintes. L'outil 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



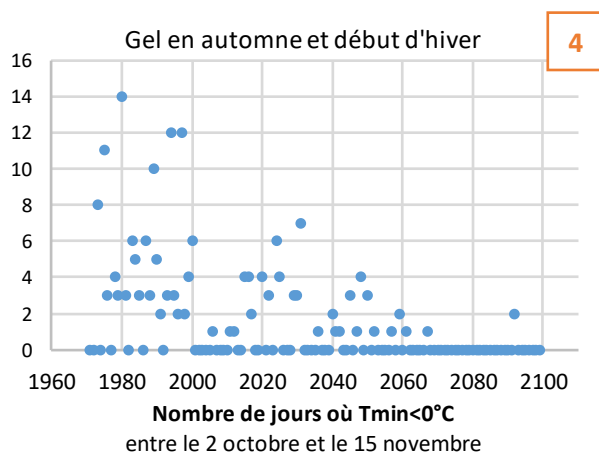
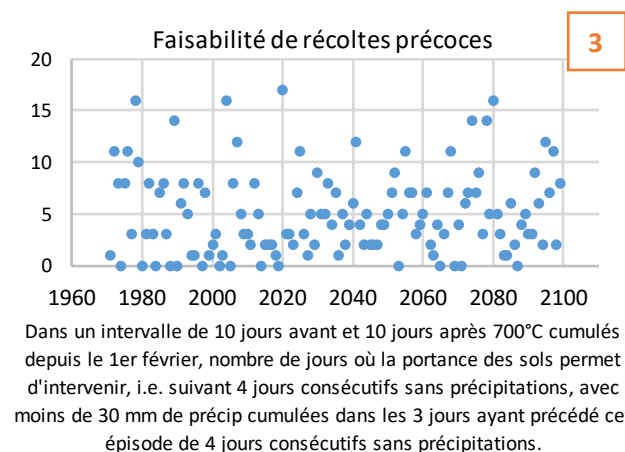
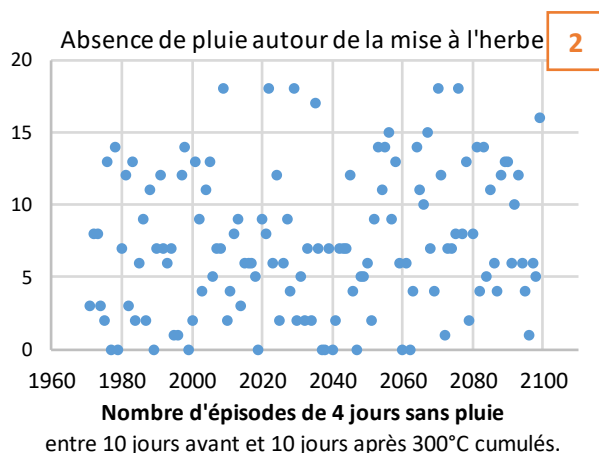
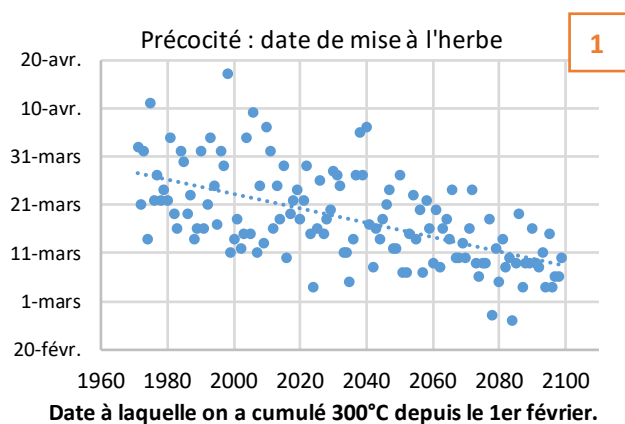
Sources et méthodes a, b, c : INRA, CNRS, Université de Bourgogne ; d, e, f : données Météo France, SSP, INRA calculées pour ISOP, traitement Institut de l'Élevage pour 228 régions fourragères. d. La date possible de mise à l'herbe est estimée par la date d'atteinte d'un seuil de 300°C cumulés depuis 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.

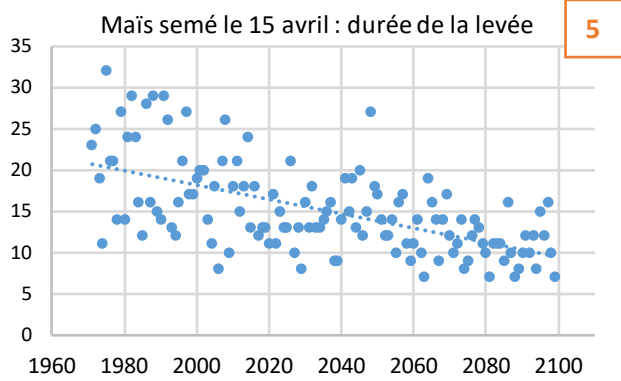
Annexe 3 : Évolution climatique et conséquences pour la mise en place et l'accès aux ressources fourragères (à partir du modèle de climat ALADIN)

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.

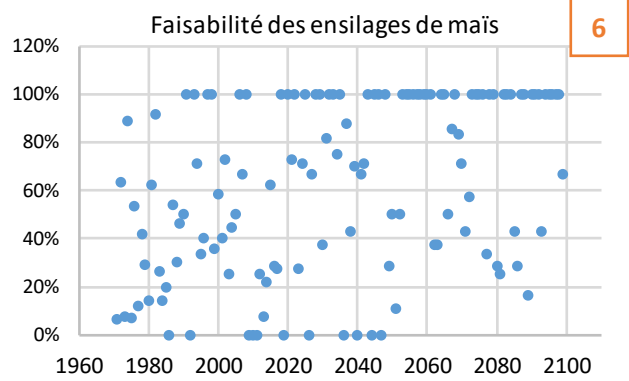
Les conditions de début du printemps semblent évoluer favorablement : l'herbe pousserait plus tôt [1], et la pluviométrie permettrait de réaliser les mises à l'herbe dans des conditions similaires [2]. En plein printemps, les récoltes précoces pourraient être réalisées dans des conditions similaires 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, voire même absentes, 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).





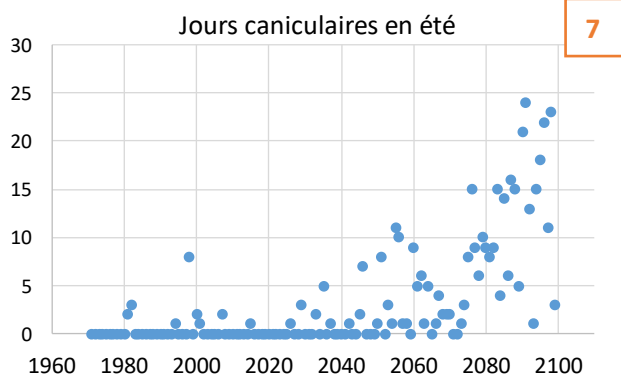
5



6

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).

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.

Retrouvez tous les résultats du projet CLIMALAIT sur :

cniel-infos.com
(rubrique « Environnement »
puis « Changement
climatique »)

climalait.idele.fr



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

Avec la participation de : Magali Bergot (*Météo France*), Thierry Brun (*Idele*), Claire Gigot (*Chambre d'agriculture de l'Indre*), Pauline Hernandez (*Chambre d'agriculture de l'Indre*), Françoise Ruget (*INRA*), Jean-Claude Sabourin (*Chambre d'agriculture de l'Indre*), Franck Souverain (*Météo-France*).

Crédits photos : C. Helsly / *CNIEL*

Version : Mars 2021

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, de l'Indre), 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

