



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 :

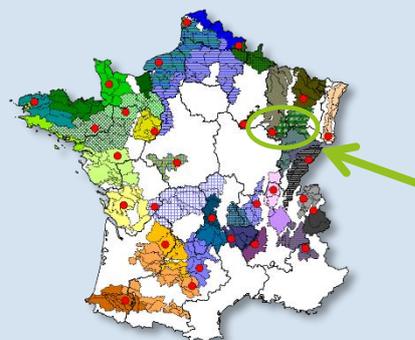
- ✓ Un zonage de la France en une trentaine d'Unités Laitières Agroclimatiques représentatives de la diversité des contextes de production du lait en France (voir ci-contre),
- ✓ Des données sur l'évolution du climat à l'échelle de chacune de ces zones,
- ✓ Les impacts du changement climatique, sur des 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 plateau de Langres (52)

DES RÉSULTATS

pour le plateau de Langres



Carte présentant les 30 unités laitières agroclimatiques

Au sommaire :

La Région Agricole du plateau de Langres : une zone de polyculture-élevage herbager.....	2
Climat du plateau de Langres	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 plateau de Langres : une zone de polyculture-élevage herbager

Parmi les 29 zones étudiées, le plateau de Langres est la PRA dans laquelle la SAU moyenne par exploitation est la plus élevée. Comme partout en France, elle augmente à un rythme soutenu (+ 51 % entre 2000 et 2010, ce qui est la valeur maximale de nos 29 zones d'étude, et largement supérieur à la moyenne des zones de polyculture-élevage), sans que la main d'œuvre augmente au même rythme (+ 13 % seulement pour l'augmentation du nombre d'UTA par exploitation dans la zone, sur la même période), ce qui 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	2,7	272	142	132	23	152	62
Évolution entre 2000 et 2010 (% de 2000)	+13%	+51%	+54%	+49%	+117%	+65%	+55%

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 parmi les plus élevés, et il suit l'évolution de la SAU (+ 55 % entre 2000 et 2010). 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.

La SFP a elle aussi augmenté, mais à un rythme moins soutenu que les effectifs de bovins, entraînant une augmentation du chargement apparent. Celui-ci est passé de 1,05 UGB/ha de SFP en 2000 à 1,15 en 2010.

Le quota moyen pour la dernière campagne (2014-2015) a atteint 363 000 litres par exploitation, soit environ 5 800 L/VL. La production laitière est soutenue par les AOP Langres et Époisses.

Avec plus de la moitié 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 permanentes. Cependant, on trouve également des prairies temporaires, du maïs fourrage... Les surfaces en céréales apportent aussi des possibilités d'utilisation directe, via l'ensilage de céréales immatures, ou d'implantation de cultures intermédiaires.

Le cahier des charges de l'AOP Époisses concerne 44 éleveurs, dont 1/3 sont situés dans l'unité laitière agro-climatique du Plateau de Langres.

Les contraintes du cahier des charges qui pourraient potentiellement être impactées par le changement climatique sont les suivantes :

- Fourrages grossiers (hors coproduits agricoles) strictement issus de la zone AOP,
- Part des aliments issus de la zone AOP dans la ration totale annuelle du troupeau laitier : $\geq 85\%$
- Part des aliments issus de la zone AOP dans la ration totale journalière du troupeau laitier : $\geq 80\%$
- Part des compléments dans la ration totale des vaches laitières : $\leq 30\%$
- Part des aliments secs grossiers et de l'enrubanné (titrant plus de 60 % MS) dans la ration de base des vaches en production (hors période de mise à l'herbe) : $\geq 30\%$
- Part de l'herbe dans la ration de base des vaches en production (de la mise à l'herbe jusqu'au 15 juin minimum) : $\geq 50\%$
- Surface minimale de pâturage par vache laitière (de la mise à l'herbe jusqu'au 15 juin minimum) : ≥ 20 ares
- ou Surface minimale en herbe par vache laitière en cas d'affouragement en vert (de la mise à l'herbe jusqu'au 15 juin minimum) : ≥ 15 ares

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

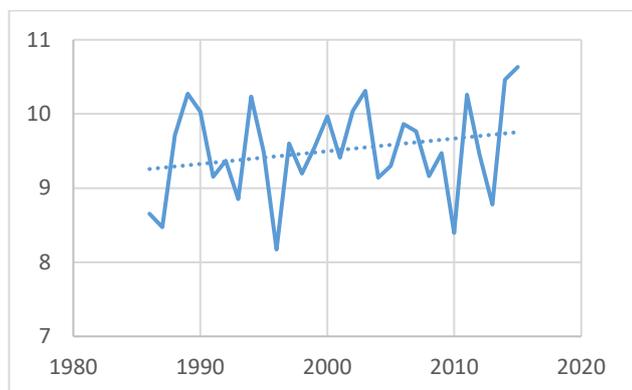
Climat du plateau de Langres

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

Le climat du plateau de Langres s'apparente à celui des zones de montagne (carte a), avec des températures froides (carte b) entraînant un repos hivernal de la végétation parmi les plus longs de France (carte f), et une date de mise à l'herbe tardive (carte d). Le cumul annuel des précipitations est assez élevé (carte c), de ce fait, la sécheresse agronomique estivale reste limitée (carte e).

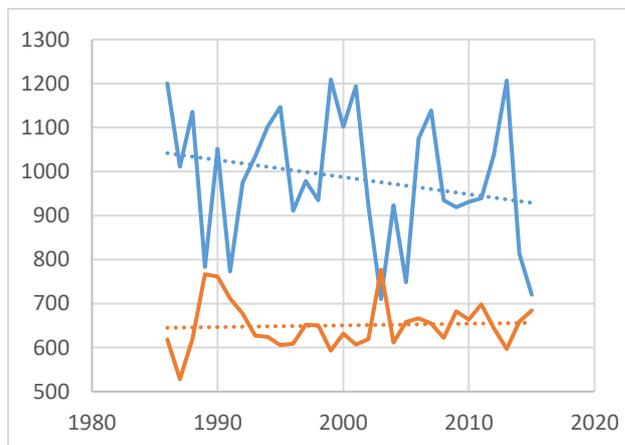
Évolution récente du climat

Sur ce site, l'évolution des températures moyennes annuelles est relativement marquée : en 30 ans, le climat s'est réchauffé d'environ 0,5 °C. La variabilité inter-annuelle demeure importante, avec des moyennes annuelles comprises entre 8 et 11 °C. Cette augmentation de température se retrouve à l'échelle saisonnière. Elle est particulièrement marquée au printemps et à l'automne (respectivement + 1,2 et + 0,7 °C).

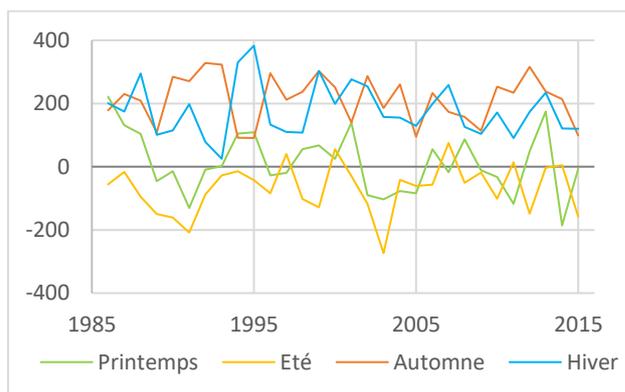


Évolution de la température moyenne annuelle de 1986 à 2015 (Données Météo-France Safran)

Le cumul annuel des précipitations est très variable, entre 700 et 1 200 mm/an, et cette variabilité se retrouve à l'échelle saisonnière. Le calcul du bilan hydrique (P-ETP) saisonnier ne montre pas d'évolution significative sur les 30 dernières années.



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

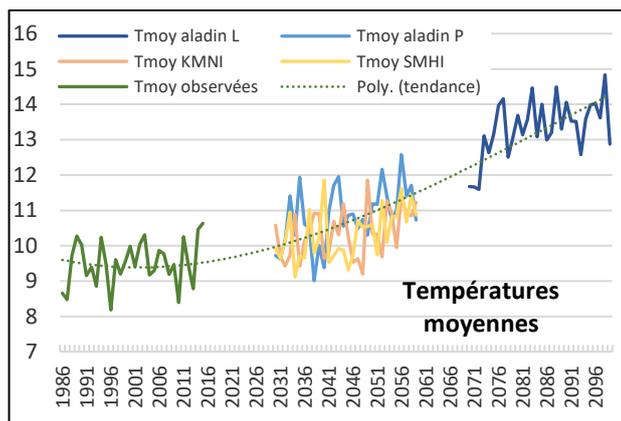


Bilan hydrique (P-ETP) calculé par saison de 1986 à 2015 (Données Météo-France Safran)

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 + 4 °C par rapport au niveau actuel.

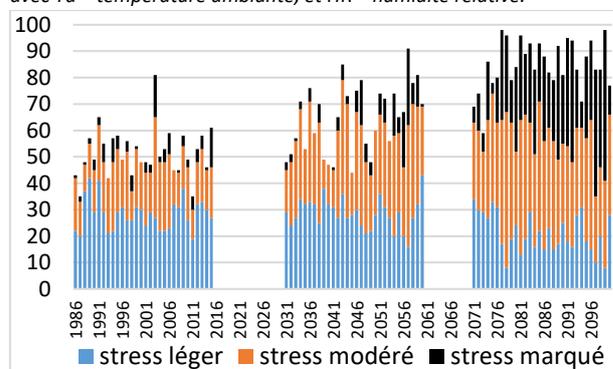
L'analyse des données simulées montre qu'autour de ce niveau, l'hiver se réchaufferait moins (+ 3 °C) que l'été (+ 5,5 °C). Les températures moyennes sont exprimées à partir des minimales et des maximales, l'analyse montre que les maximales progresseraient plus vite que les minimales. Ainsi quand on évoque une température moyenne en hausse de 4 °C à l'échelle de l'année en fin de siècle, ça signifie souvent + 5 à 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 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 4 avril (une année sur deux entre le 24 mars et le 10 avril), elle pourrait passer aux alentours du 29 mars dans le futur proche (entre le 25 mars et le 3 avril selon les modèles), et du 18 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 ...	27/3 10/4	28/3 14/4	28/3 10/4	22/3 6/4	22/3 9/4	16/3 30/3	14/3 23/3
Médiane	4/4	3/4	9/4	29/3	3/4	25/3	18/3

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

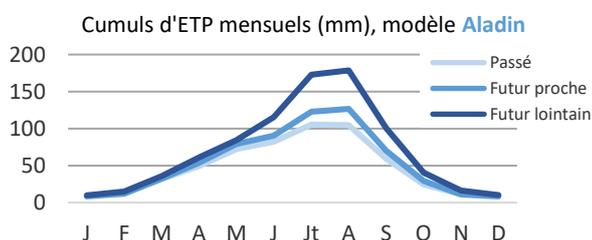
Il n'y a pas de tendance nette quant à l'évolution du cumul annuel de précipitations : aucun des 3 modèles ne prédit pour le futur proche une baisse du cumul annuel de précipitations dans cette zone, sauf peut-être en fin de siècle avec le modèle **Aladin**. Ce qui domine, c'est surtout la très forte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

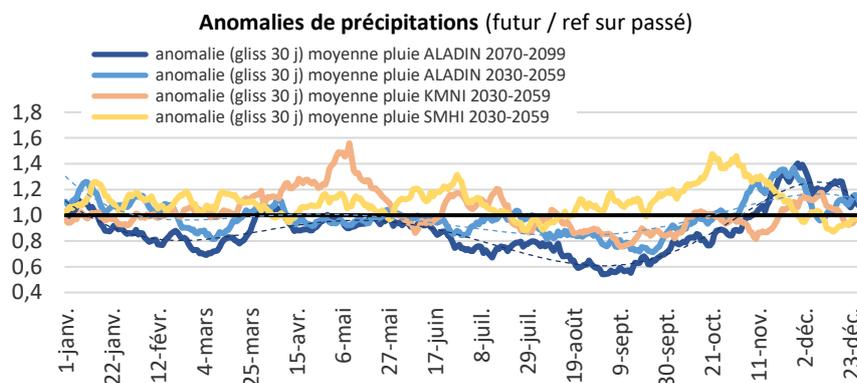
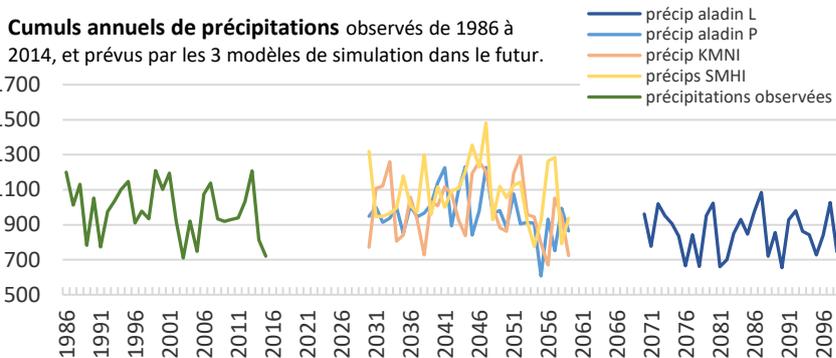
Pour chacune des deux périodes considérées, fréquence d'apparition d'au moins un épisode de sécheresse (en nb années /10) sur les 30 (ou 15) dernières années observées, et évolution possible (futur / passé) dans différentes simulations (modèles **Aladin**, **KMNI** et **SMHI**).

	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	4/10	5/10	3/10	+13%	-23%	+7%	+13%
au moins 20 jours sans pluie entre le 01/07 et le 01/09	2/10	2/10	3/10	+10%	-10%	-3%	+40%



Le climat de la zone se caractérise par des températures froides, et des précipitations élevées. 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.



La sécheresse peut être causée par un manque de précipitations et/ou par 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 problèmes de sécheresses 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.

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 trois types de sols issus de la Base de Données Géographique des Sols de France et représentatifs de ceux de la zone (présentés ci-contre).

	Profondeur	Taux d'argile	Réserve utile
Sol profond	80 cm	20 %	100 mm
Sol moyen	50 cm	24 %	65 mm
Sol superficiel	30 cm	11 %	40 mm

Caractéristiques des sols utilisés dans les simulations

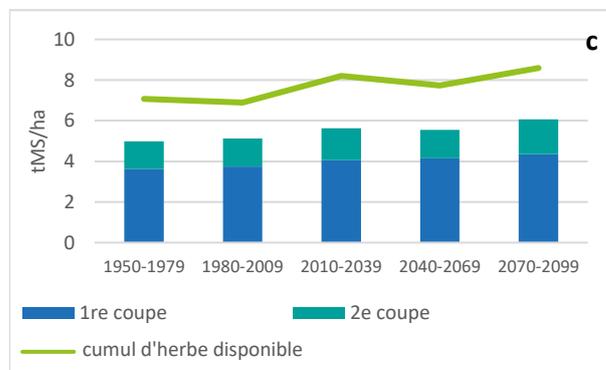
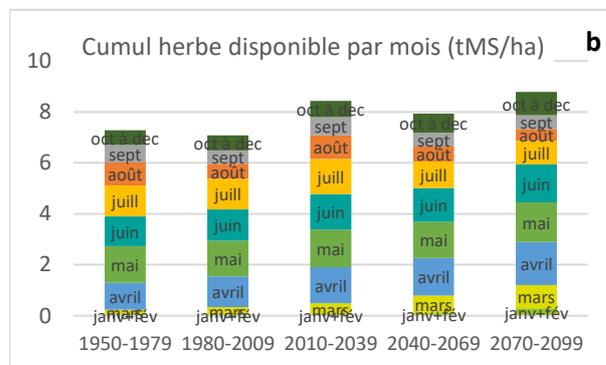
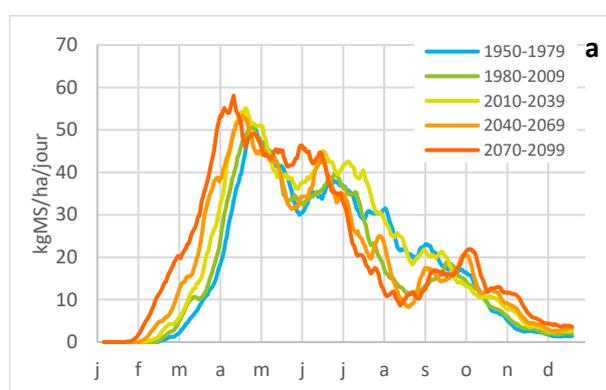
Conséquences du changement climatique sur la pousse de l'herbe

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.

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 ;
 c) rendements moyens des récoltes de foin et ensilage, et cumul d'herbe disponible sur l'année.

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.

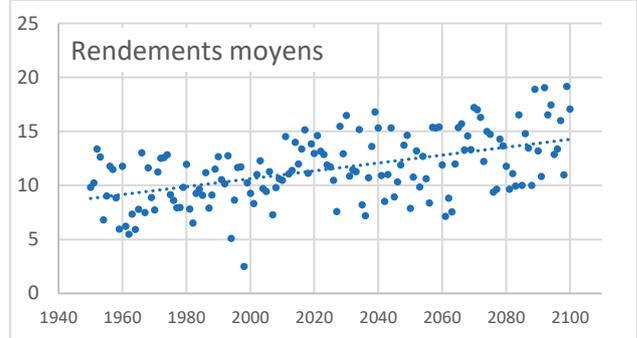
Quel que soit le nombre de coupes visées ou réalisées, les rendements seraient à la hausse. Cependant, si l'ensemble des rendements moyens augmente, la variabilité interannuelle est toujours aussi marquée.

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

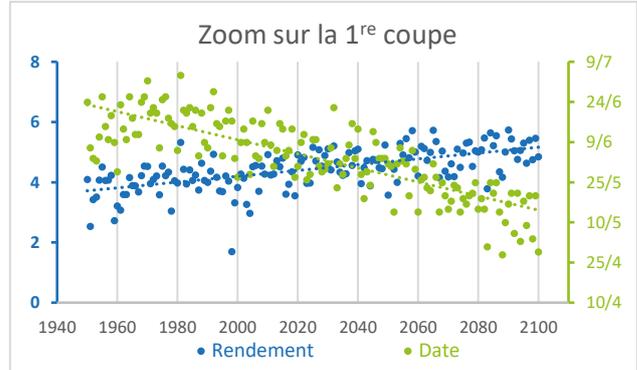
D'autre part, l'augmentation des températures estivales permettrait d'accélérer la croissance des plantes (contrairement aux prairies de graminées, la luzerne est peu affectée par les températures élevées, tant que suffisamment d'eau est disponible) et ainsi bien souvent de faire une coupe supplémentaire.

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.

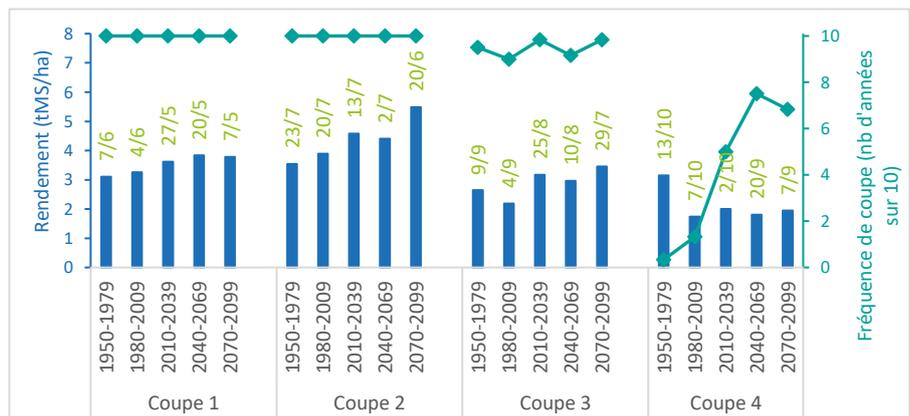
Moyenne des rendements cumulés obtenus pour chacun des deux itinéraires techniques utilisés dans les simulations.



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

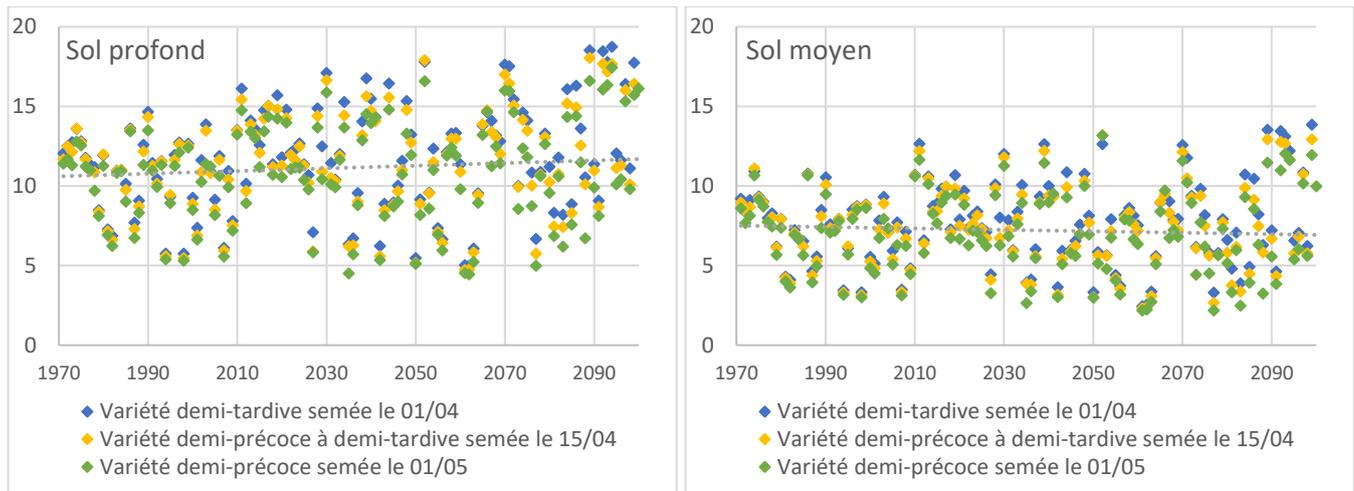


Ci-contre : en moyenne par période de 30 ans et pour deux sols, rendements par coupe, fréquence de réalisation des coupes par le modèle et dates de coupes prévues, pour l'itinéraire technique à 4 coupes prévues.

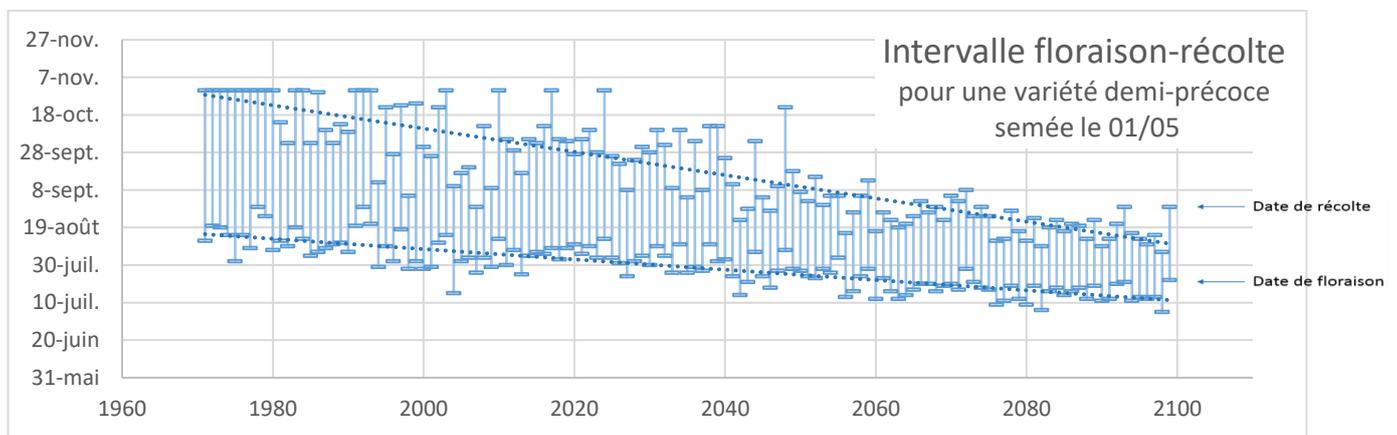


Maïs

Les simulations sont réalisées pour plusieurs groupes de précocité et dates de semis, sur sol nu ou après une dérobée (RGI), et sur les sols « profond » et « moyen » présentés précédemment.



Rendements obtenus pour 3 itinéraires techniques, sur deux types de sol



Évolution des dates de floraison et récolte.

Les simulations mettent en évidence des différences entre les sols : sur le sol profond, les rendements seraient globalement en augmentation, tandis qu'ils seraient plutôt à la baisse sur le sol moyen. Cela peut s'expliquer par les effets opposés de l'augmentation du CO₂ dans l'atmosphère (effet positif), et par l'accroissement des sécheresses estivales (effet négatif), auxquelles le sol « moyen » est logiquement plus sensible. Cette tendance cache cependant une importante variabilité des rendements, qui tendrait même à s'accroître dans le futur.

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.

L'augmentation des températures au printemps permettrait également une augmentation de la production des dérobées, toujours avec une certaine variabilité. Cependant, la variabilité du maïs qui les suit serait elle aussi accrue. En fin de siècle, la dérobée produirait parfois autant voire même plus que le maïs qui la suit, notamment lorsque le sol est superficiel et/ou le semis est tardif.

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

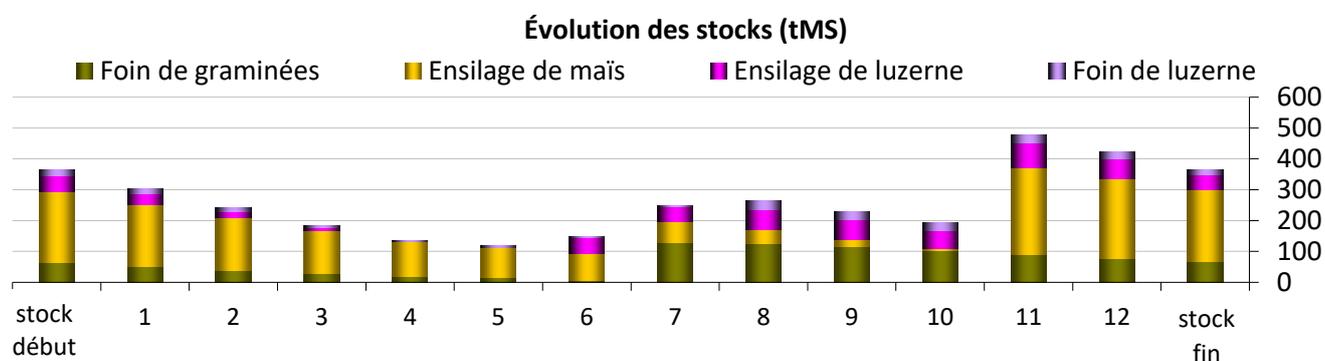
Le système traité

Le cas étudié a été construit par le groupe (éleveurs de l'AOP Époisses et conseillers). Il s'agit d'une ferme disposant de 200 ha de SAU dont la moitié sont des surfaces fourragères : 57 ha de prairies, 30 ha de maïs et 12 ha de luzerne.

Le troupeau est constitué de 80 vaches laitières à 7 000 kg de lait produits, avec un taux de renouvellement de 30 % et des vêlages étalés. Le premier vêlage est à 30 mois. Toutes les génisses sont élevées chaque année, et les vaches de réformes sont engraisées quelques mois. La ration des vaches laitières est constituée d'ensilage de maïs, de foin (de graminées et de luzerne) et d'ensilage de luzerne en hiver ; au printemps, l'herbe pâturée couvre 50 à 60 % des besoins, le complément est apporté par de l'ensilage de maïs et du foin de graminées ; en été et en automne, la place occupée par la pâture dans la ration diminue au profit de l'ensilage de maïs et de luzerne. Cette ration est conforme au cahier des charges de l'AOP Époisses, qui impose au moins 50 % d'herbe pâturée ou en vert dans la ration de la mise à l'herbe au 15 juin. Les génisses sont nourries de foin et de concentrés du sevrage à la première mise à l'herbe, puis d'herbe pâturée (en été) ou de foin et d'ensilage de luzerne (en hiver). La ration des vaches de réforme à l'engraissement est à 80 % constituée d'ensilage de maïs, complété par du foin de graminées pour les 20 % restants.

Ce système nécessite 60 tonnes de tourteaux par an, 8 tonnes de céréales et 125 tonnes de paille. Le chargement corrigé s'élève à 1,47 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 :



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 2055-2084. Ce système déjà adapté aux conditions climatiques du futur a ensuite été confronté à un type d'année particulier, caractérisé par une sécheresse marquée dès le printemps et jusqu'à l'automne.

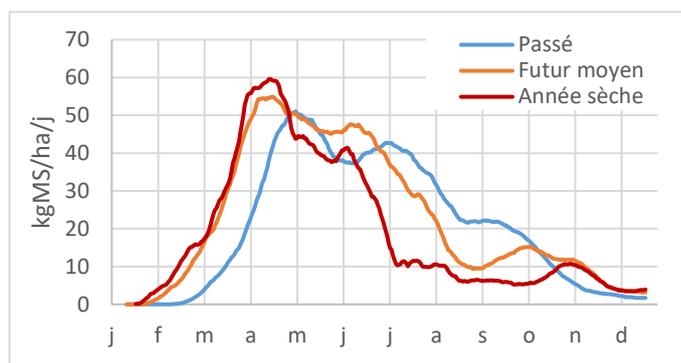
	1971-2000	2055-2084	Année « sèche »
Date de mise à l'herbe (Date à laquelle on a cumulé 300 °C depuis le 1 ^{er} février)	10 avril	25 mars	17 mars
Bilan hydrique au pic de croissance des prairies (mm) (Cumul Précipitations - ETP, entre 400 et 1100 °C cumulés)	+ 32	- 5	- 58
Températures élevées en fin de printemps (Nombre de jours avec $T_{max} > 28$ °C, entre 1100 °C cumulés et le 5/07)	0,5	6	13
Bilan hydrique à la floraison du maïs (mm) (Cumul Précipitations - ETP entre l'allongement des soies et le stade limite d'avortement des grains)	- 40	- 160	- 245
Précipitations fin d'été et début automne (mm) (Cumul pluviométrique entre le 21 août et le 1 ^{er} octobre)	50	29	9

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

Les adaptations envisagées

Dans le futur (année moyenne 2055-2084)

En lien avec l'augmentation des températures au printemps, la production des prairies et de la luzerne augmente (+ 23 tMS de foin de graminées, + 22 tMS d'ensilage de luzerne et + 6 tMS de foin de luzerne). En revanche, la production du maïs diminue (- 18 tMS). Plus grave encore, il manque de l'herbe pour le pâturage des génisses de mi-août à début octobre, alors que des excédents apparaissent au printemps (au moment du pic de production) et en été lorsque les prairies fauchées sont intégrées aux surfaces à pâturer. La production des prairies début juin permet encore de répondre aux exigences du cahier des charges de l'Époisses (au moins 50 % d'herbe pâturée dans la ration des vaches laitières jusqu'au 15 juin).



Pour pallier le déficit de maïs fourrage, il est possible de profiter des évolutions du climat pour semer plus tôt des variétés plus tardives, et ainsi augmenter le rendement. Une autre possibilité consiste à avancer la mise à l'herbe, ce qui diminue les besoins en maïs. C'est cette seconde option qui a été choisie par le groupe de travail. En parallèle, les surfaces en prairies temporaires et luzerne sont réduites (respectivement de 5 et 2,5 ha). Des reports d'herbe sur pied permettent d'atténuer le déficit d'herbe à pâturer en fin d'été. Malgré cela, des apports de fourrages conservés supplémentaires sont nécessaires à cette période. Les besoins en concentrés évoluent avec ces nouvelles rations : 9 tonnes de céréales et 58 tonnes de tourteaux sont maintenant nécessaires. Le chargement corrigé augmente et atteint 1,58 UGB/ha SFP.

Dans le cas de l'année « sèche »

Le système adapté au futur « moyen » a ensuite été projeté dans l'année « sèche » décrite précédemment. Il manque alors 65 tMS de maïs ensilage et 12 tMS d'ensilage de luzerne par rapport à la production en année moyenne. De plus, même en donnant la priorité aux vaches laitières pour l'accès aux prairies, la production ne permet pas de couvrir leurs besoins de début août à début octobre. Concernant les génisses, dont la ration estivale est, en année normale, intégralement constituée d'herbe pâturée, c'est encore pire.

Dans le cas où la situation n'a pas été anticipée, la seule solution envisagée par le groupe consiste à ne pas engraisser les vaches de réforme, voire à vendre une partie des génisses. Mais en mauvaise année, la plupart des éleveurs risque de vendre des génisses, entraînant une baisse des prix voire des difficultés pour trouver des acheteurs.

Une année de ce type peut cependant être surmontée si on dispose de suffisamment de stocks (ou de trésorerie disponible). Pour passer cette année en conservant tous les animaux et en maintenant la production de lait, il fallait avoir un stock de l'ordre de 20 % des besoins annuels. Cela semble possible aux éleveurs, mais la reconstitution de ce stock nécessitera des adaptations du système fourrager. De plus, ce levier ne permet pas de surmonter plusieurs années défavorables enchaînées. Or, une sécheresse de l'ampleur et de la durée de celle étudiée pourrait se rencontrer assez fréquemment à l'avenir (4 années sur 10 dans la décennie 2075-2085, selon le modèle Aladin). Actuellement, les éleveurs considèrent qu'avoir en permanence 6 mois de stock permet de gérer la variabilité inter-annuelle, et de « diluer » une récolte de mauvaise qualité.

D'autres leviers d'adaptation, s'ils sont mis en place en amont, peuvent rendre le système plus résistant aux aléas.

➤ Leviers zootechniques

- ✓ Avancer l'âge au vêlage (28 mois au lieu de 30 à 32 actuellement) pour diminuer la période d'élevage.
- ✓ Déléguer l'élevage des génisses, mais tout en respectant le cahier des charges.
- ✓ Utiliser des semences sexées pour avoir seulement le nombre de génisses nécessaires pour le renouvellement, et des veaux croisés pour le reste. Ainsi, on évite d'avoir des veaux laitiers à vendre. On peut aussi faire naître les génisses par lots, de façon à pouvoir les élever ensemble. Cela ne permet peut-être pas d'économiser de fourrage, mais peut permettre d'organiser le travail différemment.

➤ **Leviers agronomiques**

- ✓ Avec l'augmentation des températures, le séchage du maïs grain devient plus facile. On peut alors implanter plus de maïs que nécessaire, et, en bonne année, récolter le surplus en grain. Pour pallier un déficit tel que celui de l'année étudiée, il faudrait au moins 7 à 9 ha de maïs supplémentaires, voire plus si du maïs est distribué en été pour faire face au manque d'herbe disponible. Sur le même principe, on peut aussi semer plus de prairies temporaires que nécessaire, et stocker ou vendre le surplus.
- ✓ Le sorgho pourrait remplacer le maïs sur les terres les moins profondes.
- ✓ Pour reconstituer les stocks, l'implantation de dérobées en été ou en automne est un important levier, typique des zones de polyculture-élevage.
- ✓ L'ensilage de céréales immatures peut également compléter les ensilages plus « classiques » lorsque la production n'est pas suffisante.

Dans l'ensemble, les récoltes de printemps semblent moins affectées que celles d'été ou d'automne : sécuriser son système fourrager passerait donc par des adaptations permettant de récolter un maximum au printemps. Les dérobées avant maïs pourraient ainsi être implantées dès que possible. De même, la composition des prairies semées devra être adaptée, avec des espèces qui se développent plutôt au printemps, comme la fléole. Cette répartition des récoltes nécessite de bonnes conditions pour pouvoir réaliser les différents travaux au printemps. L'analyse montre que malgré l'avancée des dates d'atteinte des différents stades (mise à l'herbe, première coupe), les conditions sembleraient s'améliorer légèrement à l'avenir (voir annexe 3) : il resterait des années lors desquelles les coupes précoces seront difficiles, mais dans une proportion un peu plus faible qu'actuellement.

Conclusions

Évolutions tendanciennes

Dans cette zone, les effets du changement climatique sont nombreux. L'augmentation des températures entraîne une accélération des cycles végétatifs, mais contribue également à l'augmentation de l'évapotranspiration et donc à l'accentuation du déficit hydrique estival. Par conséquent, les rendements sont globalement à la hausse pour les récoltes de printemps, et très variables pour les récoltes d'été et automne, avec une tendance à la baisse lorsque les sols sont peu profonds.

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

L'aléa pris en compte dans l'étude (sécheresse d'une ampleur et durée encore jamais rencontrées) a fortement affecté le système étudié. Cependant, s'il ne se reproduit pas plusieurs années de suite, il reste surmontable en mobilisant différents leviers complémentaires. 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... La luzerne, déjà présente dans les systèmes, contribue également à la résilience des systèmes.

La combinaison de ces leviers permet de répartir les récoltes – et donc les risques – sur l'année, et ainsi d'obtenir des compensations entre saisons.

La culture du maïs « à double fin » pourrait se développer dans la région grâce à l'augmentation des températures : on cultive plus de maïs que le besoin ordinaire et, en mauvaise année, on récolte moins pour le grain et plus en ensilage.

Les évolutions prévues du climat remettent en question la tendance à l'intensification, et mettent en évidence l'intérêt de travailler avec un stock de sécurité afin de pouvoir faire face à des aléas climatiques qui pourraient être plus fréquents et/ou plus intenses à l'avenir. Ce dernier levier devrait faire l'objet d'une étude spécifique : avec quel fourrage, pour quel niveau de risque, quel coût, et quelles répercussions sur la conduite des surfaces y compris pâturées...

Valoriser l'herbe comme elle se présente

Tout le monde a compris que la période de pousse de l'herbe sera plus longue (mise à l'herbe plus précoces, fins de pâturage plus tardives), avec, entre le début et la fin, de fortes fluctuations : il sera essentiel de savoir configurer les systèmes de façon à bien valoriser la pousse quand elle se présente tout en respectant les contraintes des cahiers des charges des AOP. Cela pourra impliquer des fauches parfois très tardives (ce qui se fait très peu actuellement), et cela milite pour préserver des surfaces accessibles importantes autour des bâtiments, pour le pâturage « à temps partiel ».

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. L'affouragement en vert, bien que plus coûteux que le pâturage, peut aussi aider à faire face à de mauvaises conditions de portance.

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 (Chaource)
- 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.

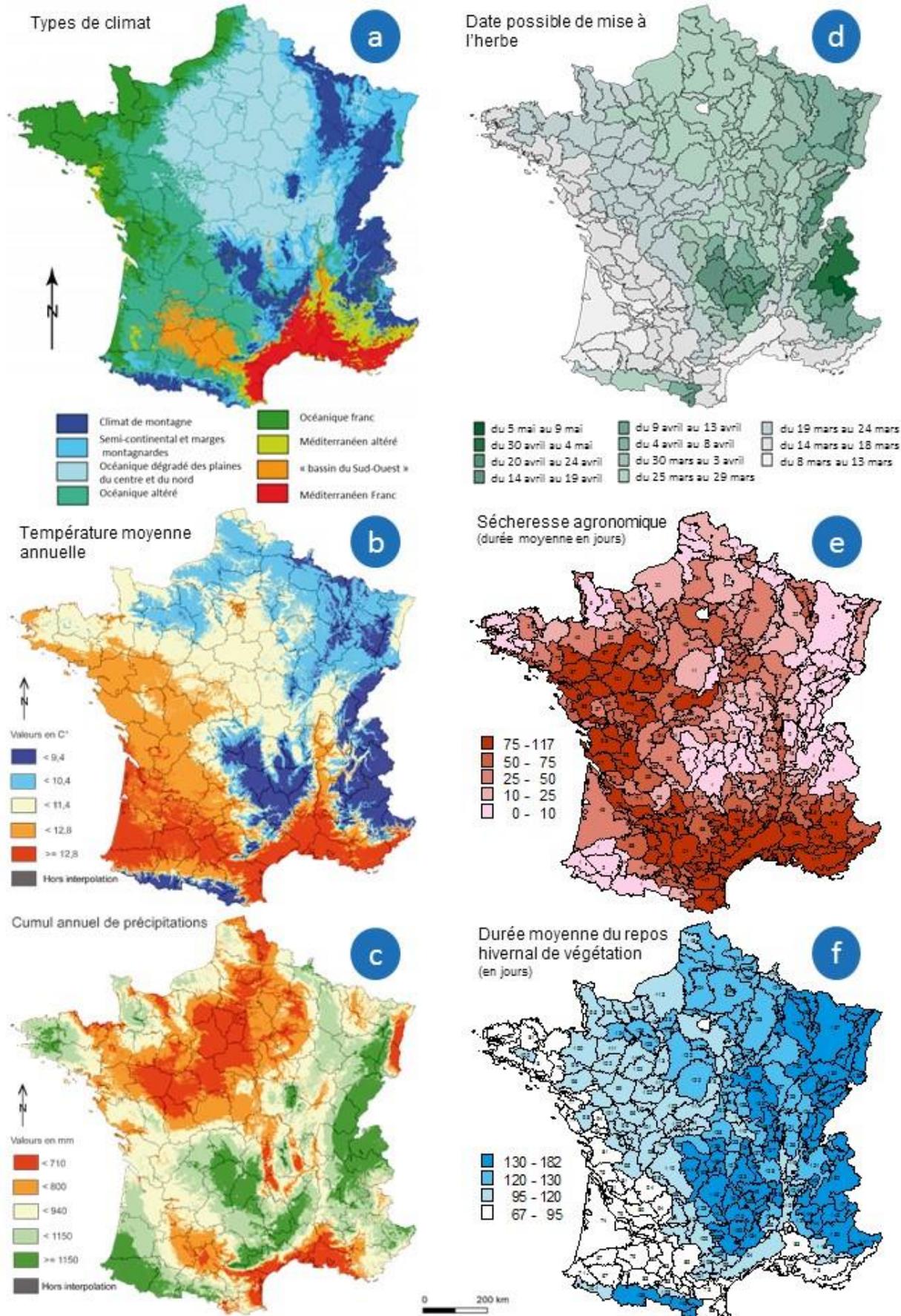
Un outil très apprécié des éleveurs est utilisé, le Rami Fourrager®. Il s'agit d'un jeu de plateau qui permet de modéliser un système fourrager et de le confronter à diverses contraintes. Les joueurs (éleveurs, conseillers...) peuvent alors reconfigurer le système pour l'adapter à ces contraintes. L'outil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



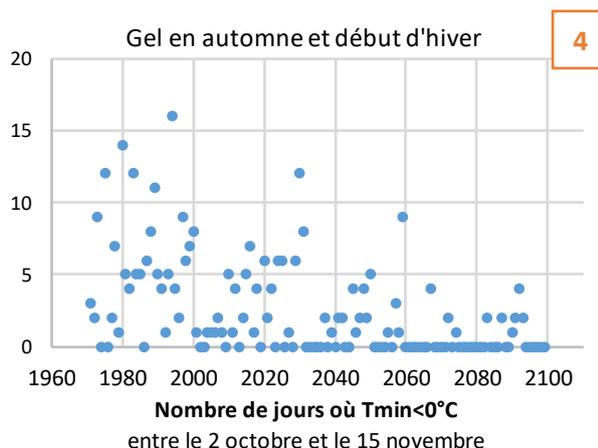
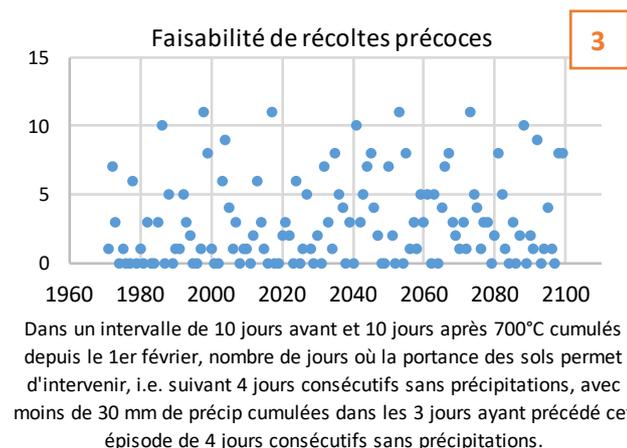
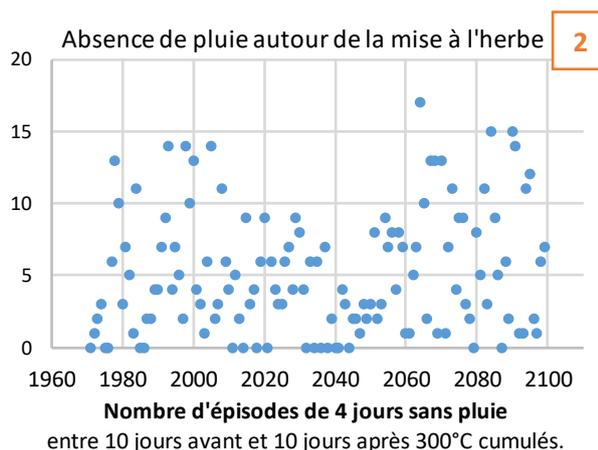
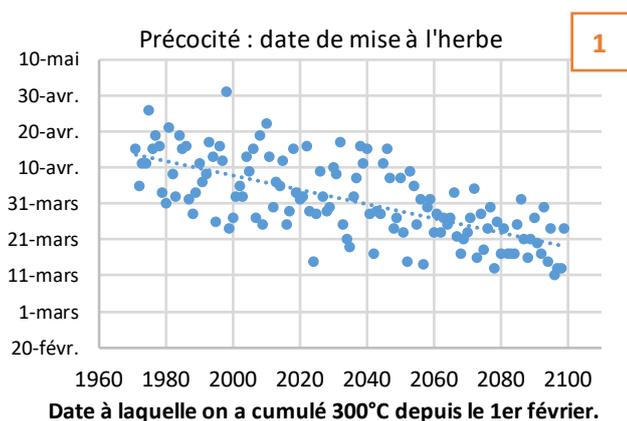
Sources et méthodes a, b, c : INRA, CNRS, Université de Bourgogne ; d, e, f : données Météo France, SSP, INRA calculées pour ISOP, traitement Institut de l'Élevage pour 228 régions fourragères. d. La date possible de mise à l'herbe est estimée par la date d'atteinte d'un seuil de 300°C cumulés depuis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

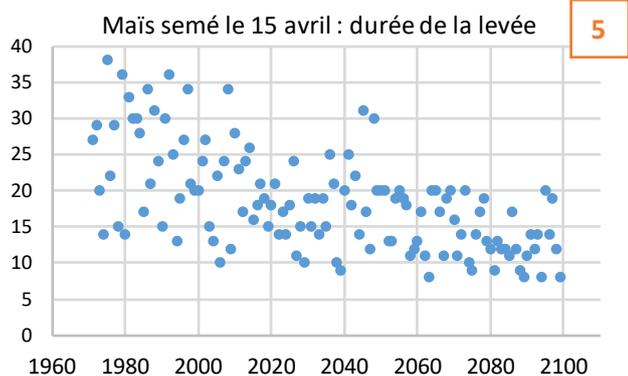
Annexe 3 : Évolution climatique et conséquences pour la mise en place et l'accès aux ressources fourragères (à partir du modèle de climat ALADIN)

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 voire légèrement améliorées [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.

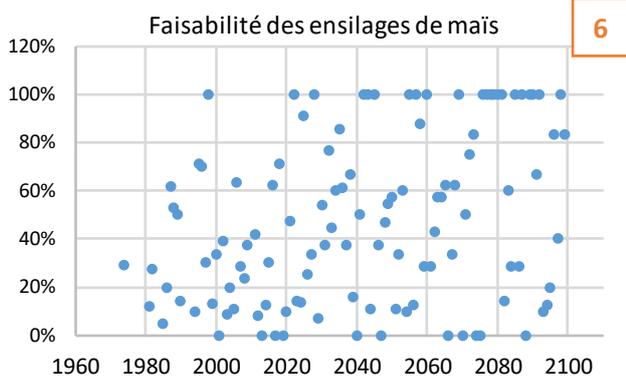
Enfin, il ne faut pas oublier les conséquences directes du climat sur les animaux eux-mêmes : lors d'épisodes caniculaires, les vaches réduisent leurs déplacements et leur ingestion, l'herbe au pâturage est alors moins bien exploitée, alors même que sa senescence est accélérée et sa pousse stoppée (voir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





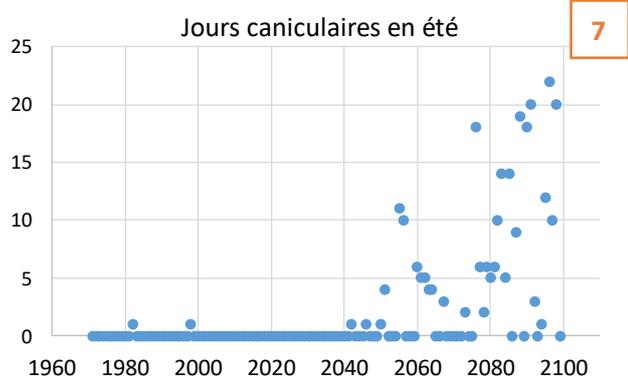
5

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*), Bertrand Dufresnoy (*Chambre d'Agriculture de Haute-Marne*), Alexandra Jacquot (*ODG Syndicat de Défense de l'Époisses*), Aline Rondot (*Chambre d'Agriculture de Haute-Marne*), Françoise Ruget (*INRA*), Franck Souverain (*Météo-France*).

Crédit photo : Syndicat de défense de l'Époisses

Version : Mai 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, de Haute-Marne, en partenariat avec le syndicat de défense de l'Époisses), 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

