



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 :

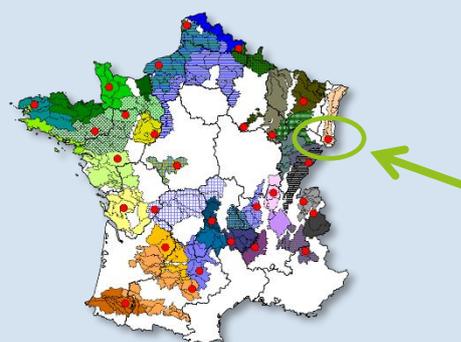
- ✓ Un zonage de la France en une trentaine d'Unités Laitières Agroclimatiques représentatives de la diversité des contextes de production du lait en France (voir ci-contre),
- ✓ Des données sur l'évolution du climat à l'échelle de chacune de ces zones,
- ✓ Les impacts du changement climatique, sur des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

DES RÉSULTATS

pour le Sundgau



Carte présentant les 30 unités laitières agroclimatiques

Au sommaire :

La Région Agricole du Sundgau.....	2
Climat du Sundgau.....	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 Sundgau

Comme partout en France, la SAU moyenne par exploitation augmente à un rythme soutenu (+ 39 % entre 2000 et 2010, ce qui est proche de la moyenne des 29 zones d'étude), sans que la main d'œuvre augmente au même rythme (seulement + 9 % 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	2,4	99	51	48	18	102	61
Évolution entre 2000 et 2010 (% de 2000)	+9%	+39%	+35%	+46%	+49%	+43%	+44%

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

Le nombre de VL par exploitation est supérieur à la moyenne des 29 zones d'étude, et il est en augmentation : en 2010, on trouvait en moyenne 61 VL dans les exploitations de la zone, contre seulement 42 dix ans plus tôt. La « ferme laitière moyenne » de la zone, décrite dans les recensements agricoles, élève aussi des VA, mais leur

nombre reste largement inférieur à celui des VL et tend même à légèrement se réduire.

La SFP a également augmenté, au même rythme que les effectifs de bovins, le chargement apparent est donc resté stable, de l'ordre de 2,1 UGB/ha.

Le quota moyen pour la dernière campagne (2014-2015) a atteint 420 000 litres par exploitation, ce qui est supérieur à la moyenne de nos 29 zones, ainsi qu'à l'ensemble des zones de polyculture-élevage intensives.

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. Les ressources fourragères sont variées et se traduisent par des occupations des sols diverses : prairies permanentes, temporaires ou artificielles, maïs... Entre 2000 et 2010, les surfaces en maïs ont augmenté. La sole en céréales et autres grandes cultures augmente : en 2010, on comptait en moyenne 51 ha de ces cultures dans les exploitations laitières. Ces surfaces en céréales apportent aussi des possibilités d'utilisation directe, via l'ensilage de céréales immatures, ou d'implantation de cultures intermédiaires.

Le Sundgau n'échappe pas à l'agrandissement des exploitations. Le cheptel laitier suit la même évolution. Les systèmes fourragers présentent une certaine diversité, qui se répercute sur les systèmes d'élevage dans leur ensemble : le maïs et le sorgho sont présents, ainsi que les prairies, sous diverses formes (permanente, temporaire, artificielle). Les systèmes laitiers en polyculture-élevage sont majoritaires, avec une sole en céréales loin d'être ridicule.

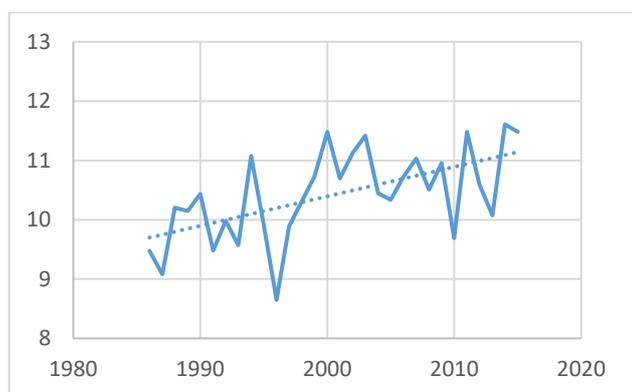
Climat du Sundgau

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

Situé au sud de l'Alsace, la zone bénéficie d'un climat dit « semi-continental » (carte a). Les températures sont assez 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 plutôt tardive (carte d). Les précipitations sont modérées (carte c), mais la sécheresse agronomique estivale reste limitée (carte e) du fait de la profondeur des sols.

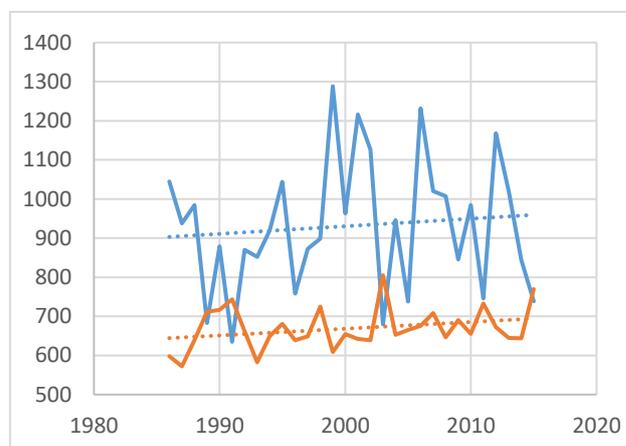
Évolution récente du climat

Sur ce site, l'évolution des températures moyennes annuelles est marquée : en 30 ans, le climat s'est réchauffé d'environ 1,4 °C. La variabilité inter-annuelle demeure importante, avec des moyennes annuelles comprises entre 8,5 et 11,5 °C. Cette augmentation de température se retrouve à l'échelle saisonnière. Elle est particulièrement marquée au printemps et à l'automne (respectivement + 2,1 et + 1,6 °C).

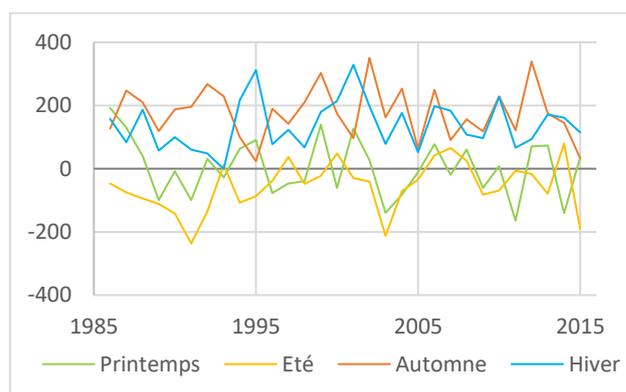


Évolution de la température moyenne annuelle de 1986 à 2015 (Données Météo-France Safran)

Le cumul annuel des précipitations est très variable, entre 600 et 1300 mm/an, et cette variabilité se retrouve à l'échelle saisonnière. Les précipitations sont tendanciellement orientées à la hausse, mais l'ETP aussi. 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)

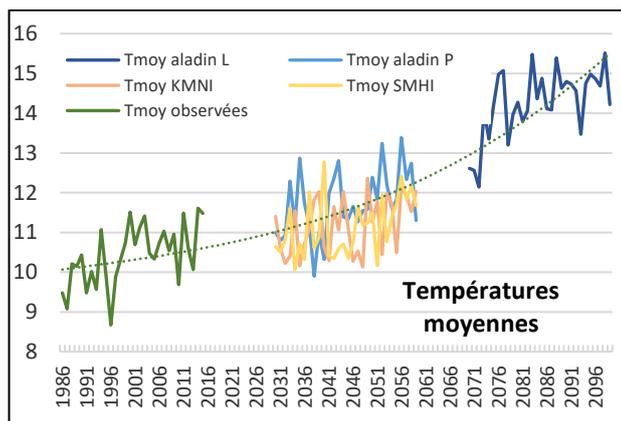


Bilan hydrique (P-ETP) calculé par saison de 1986 à 2015 (Données Météo-France Safran)

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.

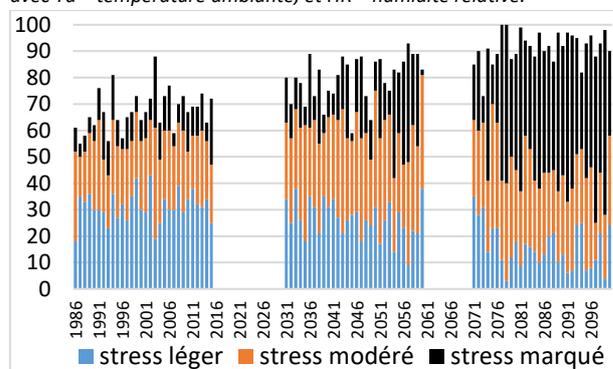
L'analyse des données simulées montre qu'autour de ce niveau, l'hiver se réchaufferait moins (+ 3,3 °C) que l'été (+ 5,2 °C). Les températures moyennes sont exprimées à partir des minimales et des maximales, l'analyse montre que les maximales progresseraient plus vite que les minimales. Ainsi quand on 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 + 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 1^{er} avril (une année sur deux entre le 24 mars et le 6 avril), elle pourrait passer aux alentours du 20 et le 27 selon les modèles), et du 14 mars dans le futur lointain. Reste à savoir si les conditions climatiques du début de printemps permettront l'accès à cette herbe 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 ...	24/3 6/4	25/3 11/4	25/3 4/4	18/3 31/3	18/3 3/4	13/3 25/3	12/3 18/3
Médiane	1/4	2/4	31/3	24/3	27/3	20/3	14/3

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

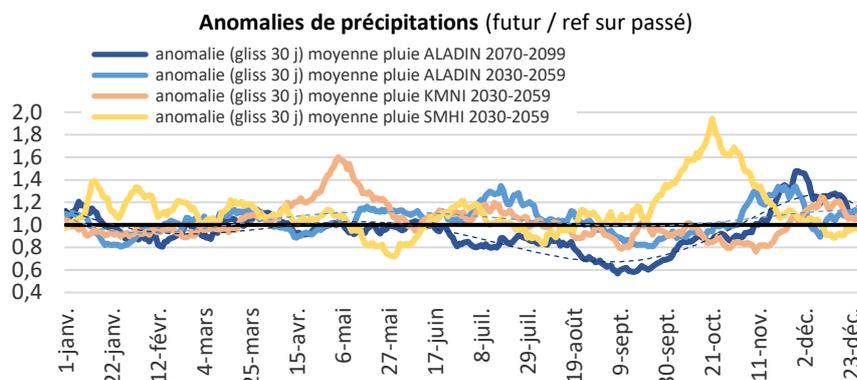
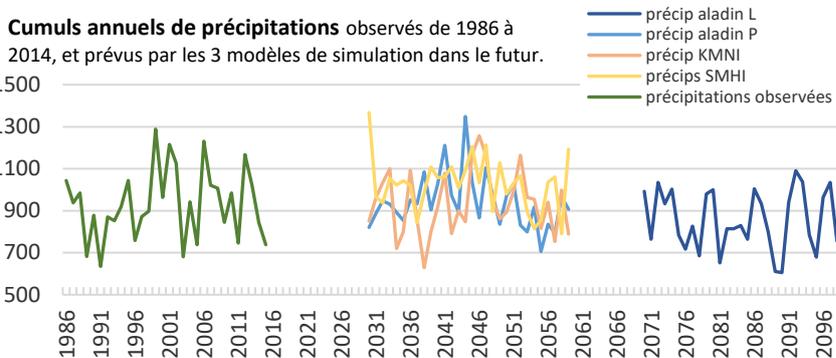
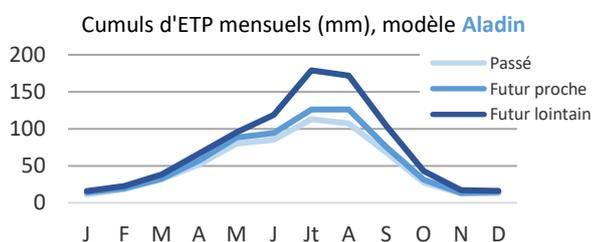
Il n'y a pas de tendance nette quant à l'évolution du cumul annuel de précipitations : aucun des 3 modèles ne prédit pour le futur proche une baisse du cumul annuel de précipitations dans cette zone, sauf peut-être en fin de siècle avec le modèle **Aladin**. Ce qui domine, c'est surtout la très forte 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 au début du printemps, tandis que le modèle **SMHI** situe plutôt cette diminution en plein printemps. Dans le futur lointain, le modèle **Aladin** prévoit une diminution des précipitations dès la fin du 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	1/10	1/10	1/10	+3%	-7%	+0%	+0%
au moins 20 jours sans pluie entre le 01/07 et le 01/09	1/10	1/10	1/10	+10%	+3%	+23%	+43%



La sécheresse agronomique est le résultat d'un manque de précipitations et d'une ETP intense. Le graphique ci-contre indique pour le modèle climatique **Aladin** comment augmenterait l'ETP au cours de l'année. En augmentant plus fortement et plus tôt, l'ETP créera un état de sécheresse non seulement plus fréquent et plus prononcé, mais aussi plus précoce. Bien que la profondeur des sols de la région limite les impacts de ce phénomène, 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.

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

Les précipitations sont variables d'une année sur l'autre, dans le passé comme dans le futur. 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 faire apparaître des 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	140 cm	25 %	165 mm
Sol moyen	120 cm	20 %	130 mm

Caractéristiques des sols utilisés dans les simulations

Conséquences du changement climatique sur la pousse de l'herbe

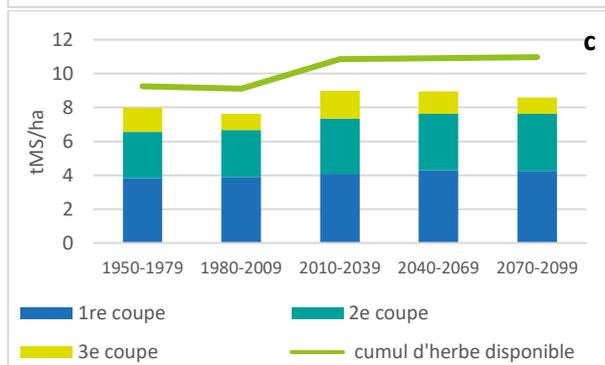
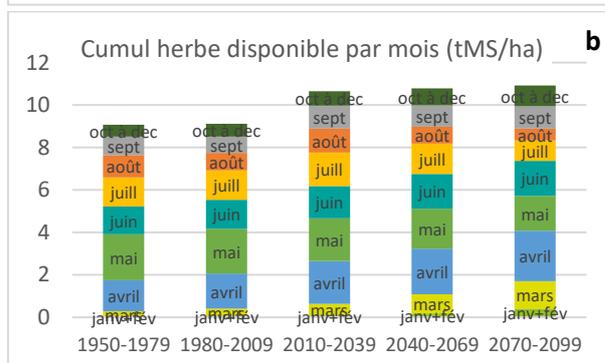
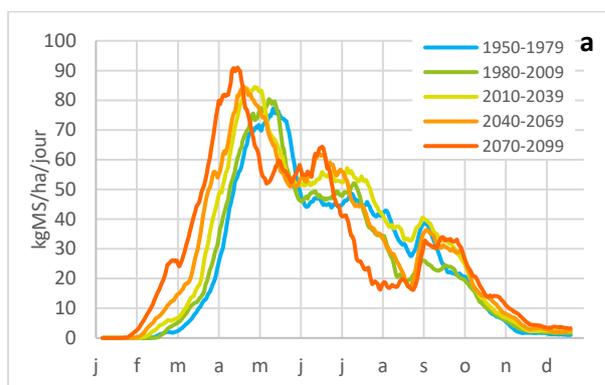
Les simulations ont été réalisées pour plusieurs itinéraires techniques combinant récoltes (en foin ou en ensilage) et pâturage, sur deux types de sol. Les courbes de croissance présentées ci-dessous ne concernent que les itinéraires de type pâturage.

Conséquence de l'augmentation des températures au début du printemps, les simulations STICS mettent en évidence un démarrage en végétation des prairies de plus en plus précoce. Cela confirme le fait qu'une mise à l'herbe plus précoce pourrait être envisagée, sous réserve de bonnes conditions climatiques. Le calcul d'autres indicateurs, construits à partir de la pluviométrie autour de la mise à l'herbe (présentés en annexe 3) montre que les épisodes de fortes précipitations autour de la date théorique de mise à l'herbe ne seraient pas plus fréquents à l'avenir que par le passé, et ce malgré l'avancée de cette date : cette herbe de printemps pourrait donc être utilisée dans de bonnes conditions certaines années seulement.

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 foins, 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.

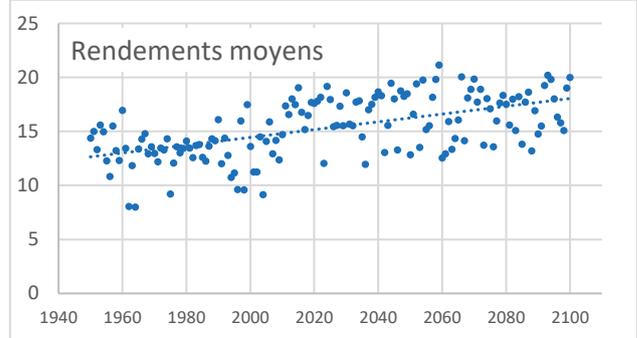
Quel que soit le nombre de coupes visées ou réalisées, les rendements seraient à la hausse. Cependant, si l'ensemble des rendements moyens augmente, la variabilité interannuelle est toujours aussi marquée.

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 dizaine de jours dans la période 2040-2069, et presque deux semaines dans la période 2070-2099.

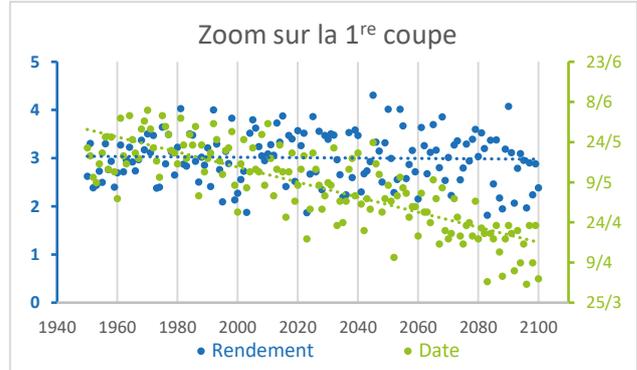
D'autre part, l'augmentation des températures estivales permettrait d'accélérer la croissance des plantes (contrairement aux prairies de graminées, la luzerne est peu affectée par les températures élevées, tant que suffisamment d'eau est disponible) et ainsi bien souvent de faire une coupe supplémentaire.

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.

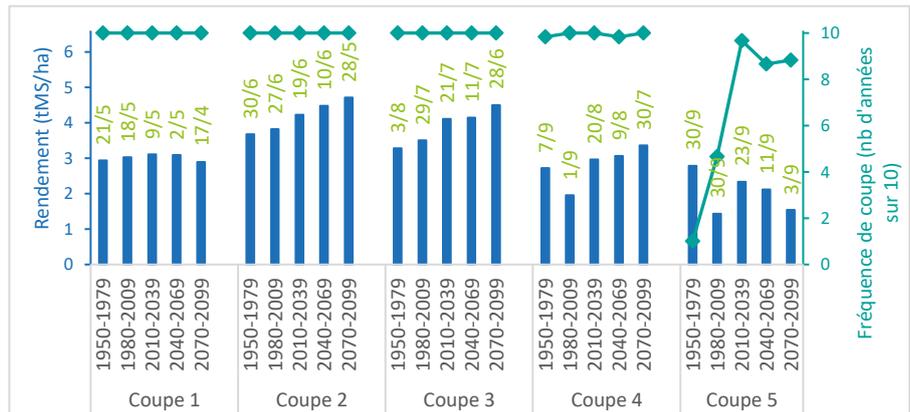
Moyenne des rendements cumulés obtenus pour chacun des deux itinéraires techniques utilisés dans les simulations.



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



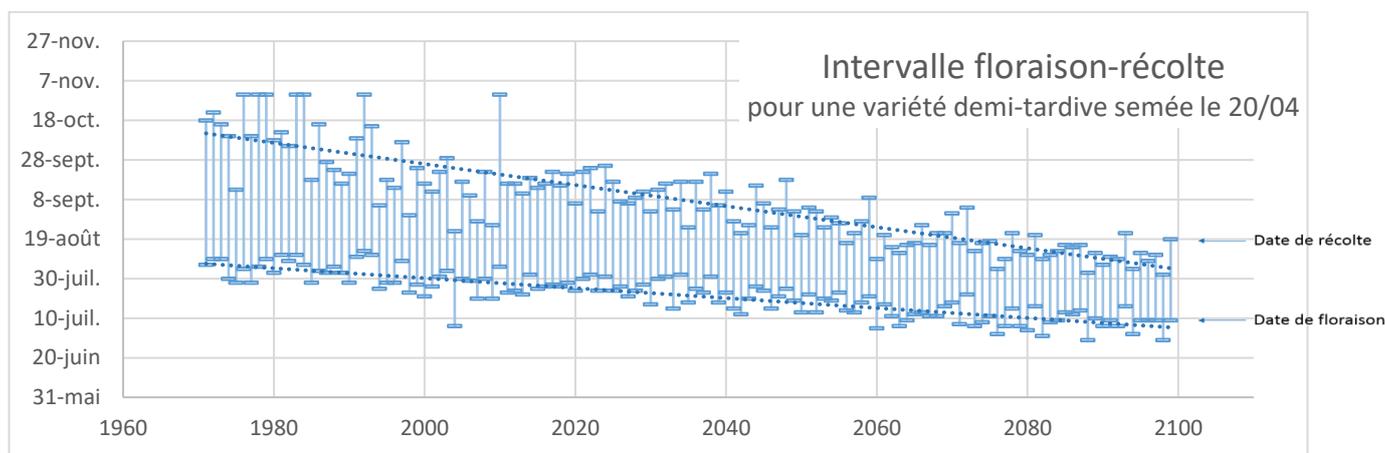
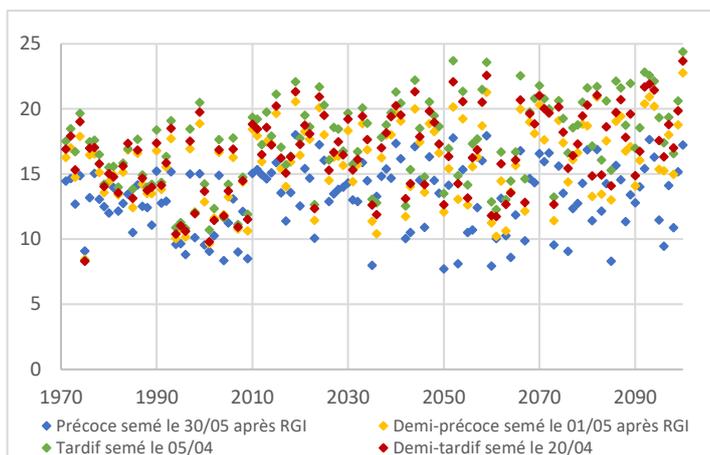
Ci-contre : en moyenne par période de 30 ans et pour les deux sols, rendements par coupe, fréquence de réalisation des coupes par le modèle et dates de coupes prévues, pour l'itinéraire technique à 5 coupes prévues.



Maïs

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

Rendements obtenus pour 4 itinéraires techniques, sur le sol « moyen ».



Évolution des dates de floraison et récolte.

Les rendements seraient globalement en augmentation, à relier aux effets directs de l'augmentation du taux de CO₂ dans l'atmosphère. 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 rendement du maïs qui les suit serait elle aussi accrue. En fin de siècle, la dérobée produirait même parfois plus que le maïs qui la suit, notamment lorsque l'eau est limitée.

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

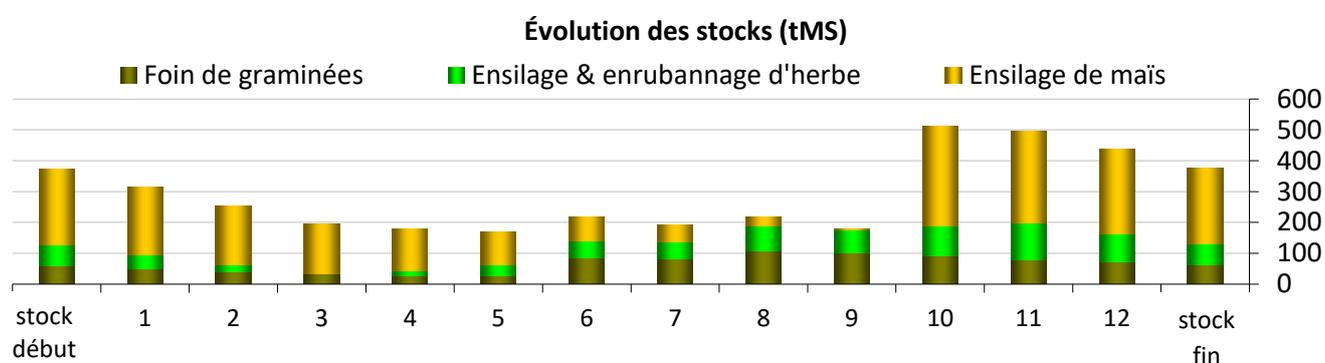
Le système traité

Le cas étudié a été construit par le groupe (éleveurs de la zone et conseillers). Il s'agit d'une ferme disposant de 85 ha de SAU dont 65 ha de SFP : 22 ha de maïs avec ou sans dérobée, 43 ha de prairies (dont 9 ha de prairies multi-espèces). Les 20 ha restants sont occupés par du blé, en rotation avec le maïs, ce qui permet d'implanter des cultures intermédiaires (RGI, mélange vesce-avoine...)

Le troupeau est constitué de 80 vaches laitières à 8 500 kg de lait produits, avec un taux de renouvellement de 32 % et des vêlages étalés. Le premier vêlage est à 31 mois, comme c'est le cas en moyenne sur la zone. 40 génisses sont élevées chaque année : 30 pour le renouvellement et 10 croisées. La ration des vaches laitières est composée de 60% de maïs ensilage toute l'année, complété par de l'herbe pâturée ou ensilée/enrubannée selon la saison. La ration des génisses est constituée de foin et d'ensilage d'herbe en hiver, et d'herbe pâturée en été.

Ce système nécessite 60 tonnes de concentrés protéiques, 17 t de céréales et 135 tonnes de paille. Les parcelles en blé produisent 160 t de grain, mais seulement 100 tMS de paille. Le chargement corrigé s'élève à 2,38 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 2050-2080. Ce système déjà adapté aux conditions climatiques du futur a ensuite été confronté à un type d'année particulier, caractérisé par un printemps précoce mais pluvieux (ce qui retarde les premières récoltes d'herbe et les semis du maïs), suivi d'un été particulièrement chaud et de conditions favorables à la pousse de l'herbe en automne.

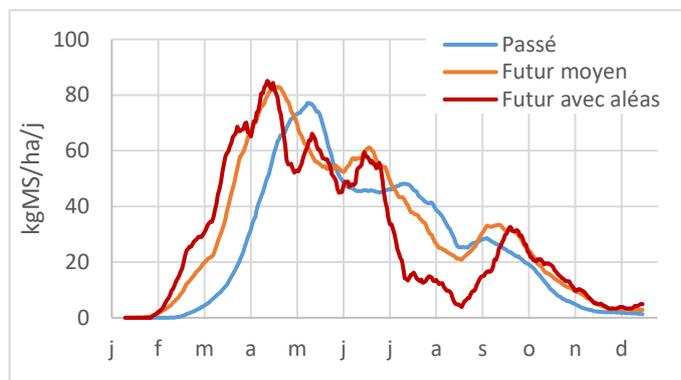
	1971-2000	2050-2080	Année avec aléas
Date de mise à l'herbe (Date à laquelle on a cumulé 300 °C depuis le 1 ^{er} février)	5 avril	21 mars	12 mars
Bilan hydrique au pic de croissance des prairies (mm) (Cumul Précipitations - ETP, entre 400 et 1100 °C cumulés)	35,8	13	23
Températures élevées en fin de printemps (Nombre de jours avec $T_{max} > 28$ °C, entre 1100 °C cumulés et le 5/07)	1	10	15
Bilan hydrique à la floraison du maïs (mm) (Cumul Précipitations - ETP entre l'allongement des soies et le stade limite d'avortement des grains)	- 52	- 150	- 240
Précipitations fin d'été et début automne (mm) (Cumul pluviométrique entre le 21 août et le 1 ^{er} octobre)	43	38	31

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

Les adaptations envisagées

Dans le futur (année moyenne 2050-2080)

La production globale augmente, pour toutes les cultures (+ 46 tMS pour le foin de graminées, + 11 tMS pour les ensilages de prairies multi-espèces et de dérobées, + 36 tMS pour l'ensilage de maïs). La répartition de la pousse de l'herbe est modifiée : un surplus apparaît au printemps tandis qu'un léger déficit se dessine en été. Le chargement corrigé augmente et atteint 2,68 UGB/ha SFP.



Deux options sont alors envisagées : réduire la SFP au profit des céréales ou du maïs grain, ou profiter des évolutions favorables des rendements pour réorienter le système en y intégrant plus d'herbe, afin de répondre aux enjeux de protection des zones de captage, d'autonomie protéique.... Dans le groupe, les avis sont divisés : certains choisiraient de diminuer leurs surfaces en herbe pour faire du maïs grain, tandis que d'autres préféreraient garder leurs prairies, notamment celles en mélanges avec des légumineuses, pour aller vers l'autonomie protéique.

Option « céréales »	Option « herbe »
<p>La SFP est réduite de 8 ha (- 2 ha de maïs, - 6 ha de prairies temporaires) au profit des céréales. La mise à l'herbe est anticipée de quelques semaines, pour tirer profit de la pousse de l'herbe au début du printemps. Ainsi, 7 tMS de concentré énergétique et 18 tMS de concentré protéique peuvent être économisés. Par ailleurs, l'augmentation des surfaces en céréales permet presque d'atteindre l'autonomie en paille. Le chargement corrigé passe à 2,72 UGB/ha SFP.</p>	<p>L'option « herbe » a été étudiée au bureau et n'a pas fait l'objet d'échanges avec les éleveurs.</p> <p>Dans cette option et par rapport au cas initial, la SFP est réduite de 7 ha (- 4 ha de maïs ensilage qui pourront continuer à être semés pour le grain et - 3 ha de prairies), une part plus grande des prairies est affectée au pâturage au détriment de la production de foin et ensilage. La part d'herbe pâturée dans la ration suit la courbe de croissance (elle n'est pas fixe comme dans l'autre option), et la durée de pâturage est rallongée. Ceci permet de baisser encore de 6 tonnes le besoin en concentré protéique par rapport à l'option céréales, tout en maintenant l'autonomie en paille (il y a moins de paille produite, mais aussi moins de besoin). Le chargement est un peu moins élevé : 2,67 UGB/ha SFP.</p>

D'autres idées ont été évoquées :

- Faire des cultures intermédiaires pour la méthanisation plutôt que pour l'alimentation du troupeau,
- Faire du sorgho ou du maïs à cycle court après le blé,
- Conserver les surfaces en herbe, et vendre l'éventuel excès de foin dans des zones moins favorisées (montagne vosgienne...)

Dans le cas de l'année « sèche »

Option « céréales »	Option « herbe »
<p>Sans adaptation, le système devient déficitaire : il manque 22 tMS d'ensilage de maïs et 27 tMS d'enrubannage. Les premières coupes de foins sont réalisées tardivement et dans de mauvaises conditions, la qualité est donc médiocre et les besoins énergétiques et protéiques des génisses ne sont plus couverts. La sécheresse estivale empêche d'implanter autant de cultures intermédiaires qu'habituellement. De plus, la mise à l'herbe doit être retardée et la production d'herbe des prairies n'est pas suffisante pour couvrir les besoins des génisses au pâturage, dès la mi-juillet et jusqu'à fin août.</p> <p>Face à cela, 2 ha de maïs grain sont ensilés, et une ration paille-concentrés est distribuée aux génisses en été. Leur ration hivernale est également ajustée (augmentation de la part d'ensilage de maïs et de foin pour compenser le manque d'ensilage d'herbe). La complémentation est ajustée pour compenser la perte de qualité du foin. La consommation de concentrés augmente en conséquence : 35 tMS de céréales et 71 t de tourteaux de soja sont nécessaires. Le chargement corrigé diminue légèrement, à 2,58 UGB/ha SFP.</p>	<p>Sans adaptation, il manque 30 tMS d'ensilage de maïs et 8 tMS d'ensilage d'herbe. Les autres conséquences sont les mêmes que dans l'option céréales, notamment par rapport à la qualité, avec toutefois moins de gravité dans la mesure où le besoin de récolte d'ensilage et de foins est moindre. La pénurie de prairies à pâturer sur juillet-août est moindre car on dispose d'une surface plus grande.</p> <p>Le chargement réel (avant ajustement) est moins affecté que dans l'option céréales.</p> <p>Les solutions d'ajustement des stocks peuvent être les mêmes, mais la conduite du pâturage au printemps peut être rendue plus difficile.</p>

D'autres leviers agronomiques ont par ailleurs été évoqués.

Certaines parcelles de blé pourraient être remplacées par des mélanges de céréales et protéagineux, afin d'augmenter l'autonomie protéique. Les éleveurs ont évoqué la possibilité, lorsque les conditions de printemps le permettent, de faire une première récolte en ensilage avant l'épiaison, puis une deuxième récolte en grain.

Concernant les prairies, l'enjeu majeur sera de choisir des variétés permettant d'échelonner la production, notamment au printemps. Pour aider dans ce choix, la Chambre d'Agriculture d'Alsace dispose depuis 1999 d'une collection fourragère, qui inclut entre autres les « mélanges suisses ».

La pratique de l'affouragement en vert pourrait se développer, pour accéder aux prairies en cas de printemps trop humide pour pâturer.

D'autres espèces fourragères ont également été évoquées. Le sorgho (BMR) se pratique parfois en dérobée après une céréale, mais reste anecdotique en culture principale.

Conclusions

Évolutions tendanciennes

Dans cette zone, l'effet du changement climatique est globalement positif, notamment grâce à la profondeur des sols, qui limite les impacts d'un éventuel 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 aléas climatiques et la production fourragère : les vertus des systèmes à ressources diversifiées

Les aléas testés (printemps pluvieux suivi d'une sécheresse estivale d'une ampleur encore jamais rencontrée) ont affecté le système étudié. 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...

Valoriser l'herbe comme elle se présente

La reconfiguration des systèmes fourragers vers plus d'herbe permettrait de répondre aux enjeux environnementaux (protection des zones de captages) et sociétaux. Le choix des espèces et des mélanges est aussi un levier pour augmenter l'autonomie protéique et pour étaler la production dans la saison, en associant des espèces précoces avec d'autres plus tardives. Ainsi, l'introduction de la luzerne peut permettre de répartir les risques par rapport aux attentes sur la qualité des foin et ensilages.

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

Les vaches aussi vont souffrir

Les éleveurs de la zone redoutent le stress thermique que vivront les VL de plus en plus souvent. Ils regrettent le manque de recul sur les différents moyens de protection contre la chaleur qui sont actuellement sur le marché.

De ce fait et en réaction à cette lacune, des élevages d'Alsace ont été introduits récemment dans l'étude *Bâtiments d'élevage de bovins laitiers de demain* qui s'intéresse aux moyens de lutte contre le stress climatique subi par les vaches laitières en été.

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.

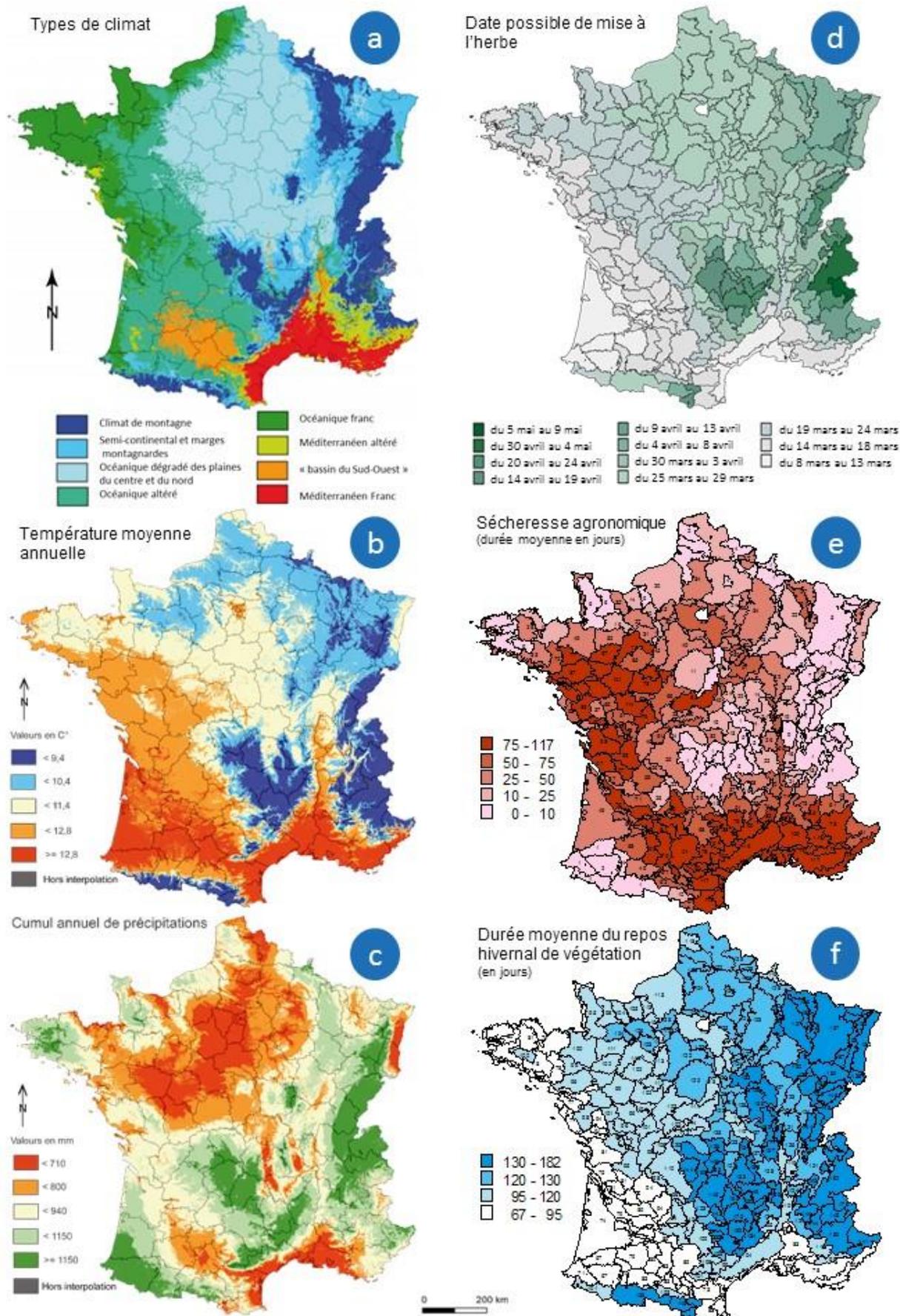
Un outil très apprécié des éleveurs est utilisé, le Rami Fourrager®. Il s'agit d'un jeu de plateau qui permet de modéliser un système fourrager et de le confronter à diverses contraintes. Les joueurs (éleveurs, conseillers...) peuvent alors reconfigurer le système pour l'adapter à ces contraintes. L'outil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



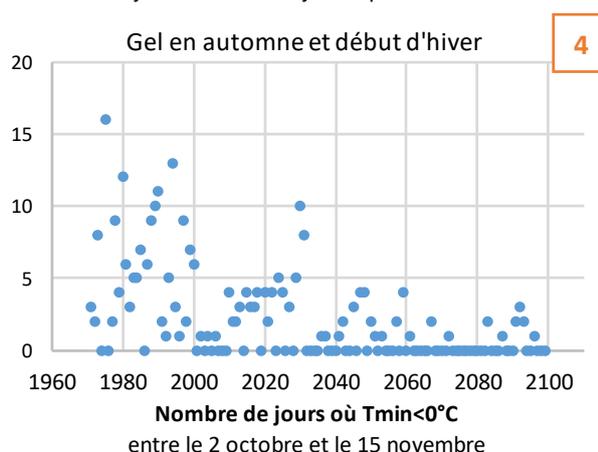
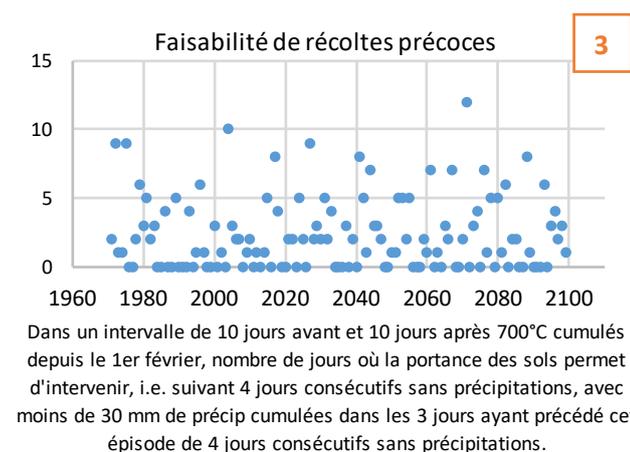
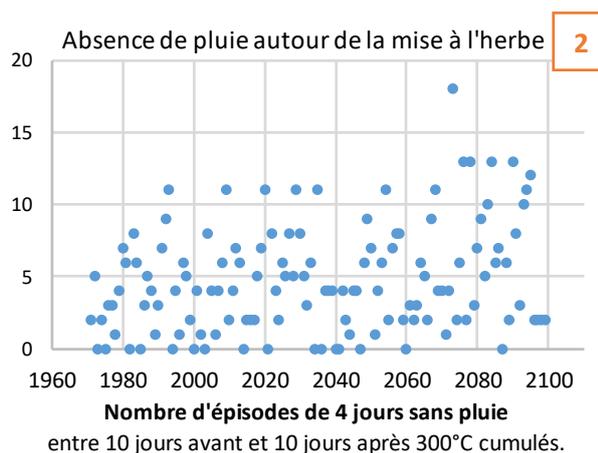
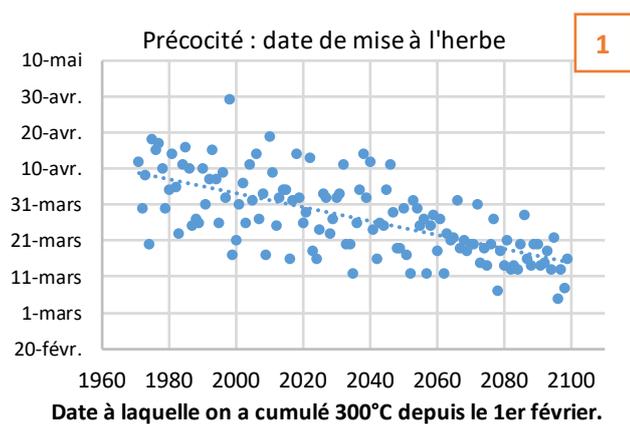
Sources et méthodes a, b, c : INRA, CNRS, Université de Bourgogne ; d, e, f : données Météo France, SSP, INRA calculées pour ISOP, traitement Institut de l'Élevage pour 228 régions fourragères. d. La date possible de mise à l'herbe est estimée par la date d'atteinte d'un seuil de 300°C cumulés depuis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

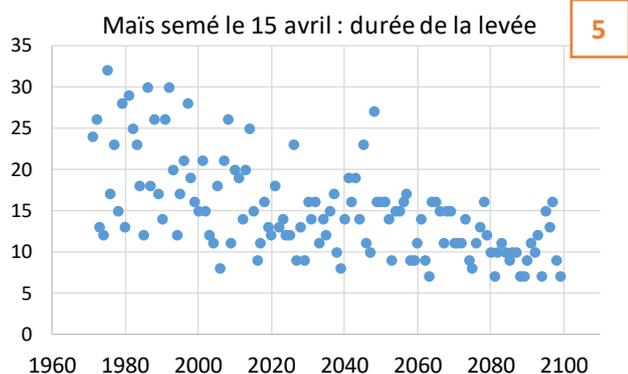
Annexe 3 : Évolution climatique et conséquences pour la mise en place et l'accès aux ressources fourragères (à partir du modèle de climat ALADIN)

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 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.

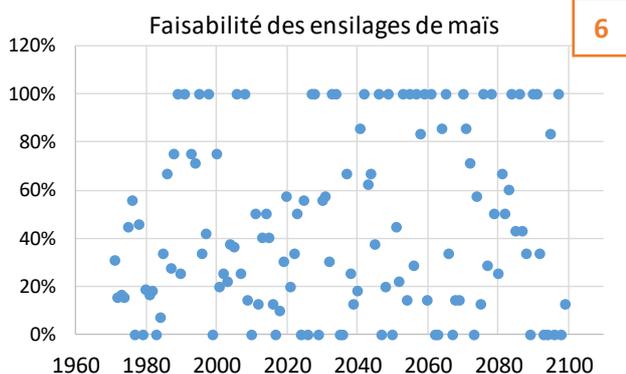
Enfin, il ne faut pas oublier les conséquences directes du climat sur les animaux eux-mêmes : lors d'épisodes caniculaires, les vaches réduisent leurs déplacements et leur ingestion, l'herbe au pâturage est alors moins bien exploitée, alors même que sa senescence est accélérée et sa pousse stoppée (voir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





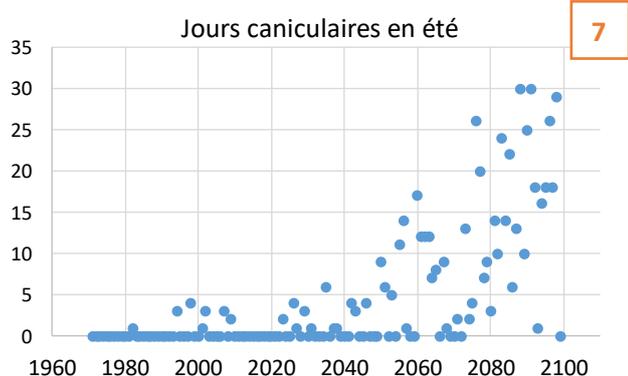
5

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*), Françoise Ruget (*INRA*), Franck Souverain (*Météo-France*), Jean-François Strehler et Dominique Wolfer (*Chambre d'agriculture d'Alsace*).

Crédits photos : C. Helsly / *CNIEL*

Version : Déc. 2018

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, d'Alsace), 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

