



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 :

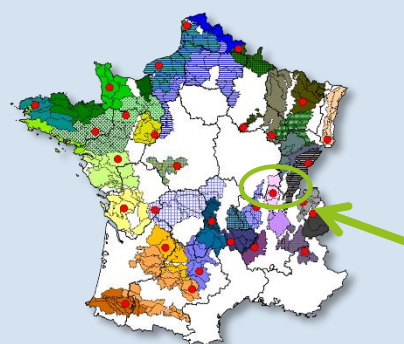
- ✓ Un zonage de la France en une trentaine d'Unités Laitières Agroclimatiques représentatives de la diversité des contextes de production du lait en France (voir ci-contre),
- ✓ Des données sur l'évolution du climat à l'échelle de chacune de ces zones,
- ✓ Les impacts du changement climatique, sur des 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 Bresse (01)

DES RÉSULTATS

pour la Bresse



Carte présentant les 30 unités laitières agroclimatiques

Au sommaire :

La Région Agricole de la Bresse	2
Climat de la Bresse.....	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	13
Annexes.....	14

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 de la Bresse

Comme partout en France, la SAU moyenne par exploitation augmente à un rythme soutenu (+ 46 % entre 2000 et 2010, ce qui est supérieur à la moyenne des 29 zones d'étude), sans que la main d'œuvre augmente au même rythme (+ 7 % seulement pour l'augmentation du nombre d'UTA par exploitation dans la zone, sur la même période). Cela condamne les éleveurs, là comme ailleurs, à faire de constants gains de productivité au plan du travail.

	UTA	SAU (ha)	Grandes cultures (ha)	SFP (ha)	Dont maïs fourrage (ha)	Nb total d'UGB	Nb de VL
En 2010	2,1	110	43	67	16	52	62
Évolution entre 2000 et 2010 (% de 2000)	+7%	+46%	+45%	+47%	+67%	+43%	+55%

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

Le nombre d'animaux par exploitation suit la même tendance : les troupeaux laitiers comme allaitants se sont

agrandis entre 2000 et 2010. La SFP a elle aussi augmenté, à un rythme légèrement plus soutenu que les effectifs de bovins. De ce fait, le chargement apparent est en légère baisse : il est passé de 1,47 UGB/ha de SFP en 2000 à 1,43 en 2010.

Le quota moyen pour la dernière campagne (2014-2015) a atteint 352 500 litres par exploitation, soit environ 6 700 L/VL.

Avec environ 40 % 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.

La Bresse n'échappe pas à l'agrandissement des exploitations. Le cheptel, laitier comme allaitant, suit la même évolution. Les systèmes fourragers présentent une certaine diversité, qui se répercute sur les systèmes d'élevage dans leur ensemble : le maïs est présent, ainsi que les prairies, sous diverses formes (permanente, temporaire, artificielle). Les systèmes laitiers en polyculture-élevage sont majoritaires, ce qui permet la mise en œuvre de plusieurs leviers de sécurisation des systèmes fourragers face aux aléas climatiques.

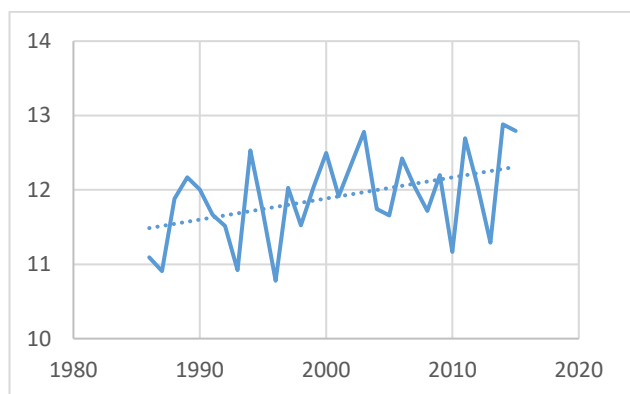
Climat de la Bresse

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

Le climat de la Bresse est de type océanique dégradé (carte a), avec des températures moyennes (carte b) entraînant un repos hivernal de la végétation relativement long (carte f), et une date de mise à l'herbe théorique fin mars (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

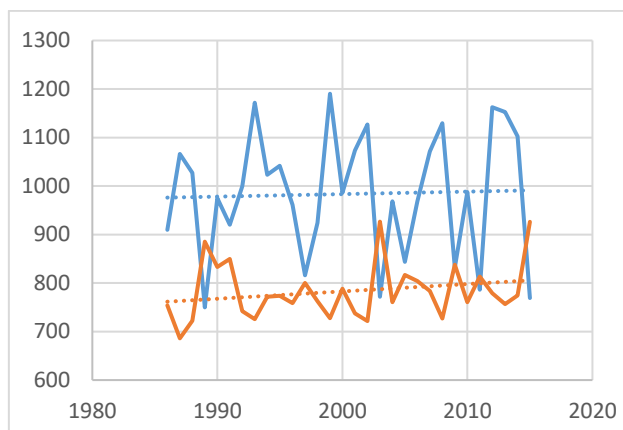
Sur ce site, l'évolution des températures moyennes annuelles est relativement marquée : en 30 ans, le climat s'est réchauffé d'environ 0,8 °C. La variabilité inter-annuelle demeure importante, avec des moyennes annuelles comprises entre 11 et 13 °C. Cette augmentation de température se retrouve à l'échelle saisonnière. Elle est particulièrement marquée au printemps (+ 1,8 °C) et à l'automne (+ 0,9 °C).



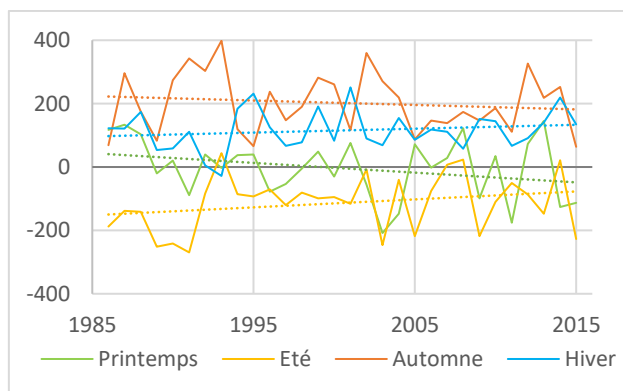
Évolution de la température moyenne annuelle de 1986 à 2015 (Données Météo-France Safran)

Le cumul annuel des précipitations est très variable, entre 700 et 1200 mm/an, sans qu'une tendance à la hausse ou à la baisse puisse être mise en évidence. En revanche, l'évapotranspiration, elle, semble en légère augmentation. Cette variabilité des précipitations se retrouve à l'échelle saisonnière, avec une tendance à la baisse au printemps et en automne, et à la hausse en été et en hiver. Le bilan hydrique (P-ETP) saisonnier semble donc diminuer en automne et surtout au printemps où il devient de plus en plus souvent déficitaire ; au contraire,

la tendance est à la hausse en hiver et en été (bien que le bilan reste globalement déficitaire en été).



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

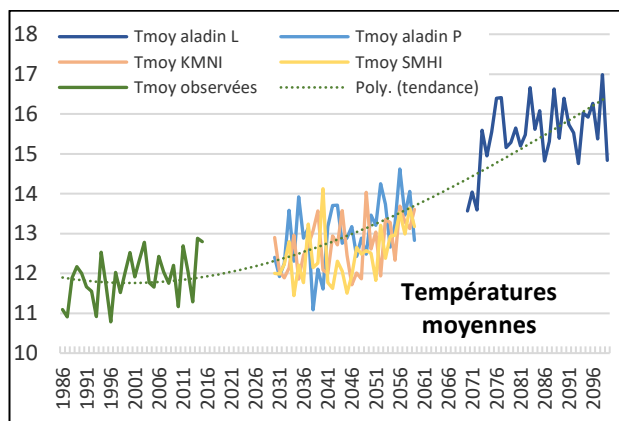


Bilan hydrique (P-ETP) calculé par saison de 1986 à 2015 (Données Météo-France Safran)

Évolutions futures du climat

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

Évolution des températures moyennes annuelles



Quel que soit le modèle, il prédit une augmentation de température encore modérée (de l'ordre 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 + 3 à 4°C par rapport au niveau actuel.

L'analyse des données simulées montre qu'autour de ce niveau, l'hiver se réchaufferait moins (+ 3°C) que l'été (+ 5,5°C). Les températures moyennes sont exprimées à partir des minimales et des maximales, l'analyse montre que les maximales progresseraient plus vite que les minimales. Ainsi quand on évoque une température moyenne en hausse de 3 à 4°C à l'échelle de l'année en fin de siècle, ça signifie souvent + 5 à 6°C pour les maximales en été, et seulement + 2 à 3°C pour les minimales en hiver.

	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 ...	16/3 30/3	17/3 30/3	15/3 30/3	12/3 25/3	12/3 27/3	7/3 20/3	6/3 13/3
Médiane	23/3	20/3	26/3	17/3	20/3	14/3	9/3

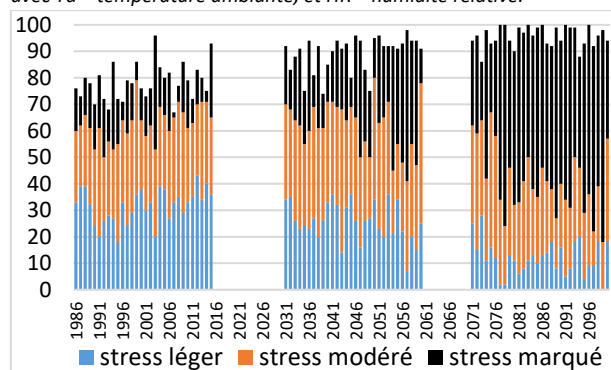
Date de mise à l'herbe (date d'atteinte du seuil de 300°C cumulés depuis le 1^{er} février), dans le passé (données observées) et dans les différents modèles climatiques.

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 23 mars (une année sur deux entre le 16 et le 30 mars), elle pourrait passer aux alentours du 14 et le 20 selon les modèles), et du 9 mars dans le futur lointain. Reste à savoir si les conditions climatiques du début de printemps permettront l'accès à cette pousse précoce.

Évolution des précipitations

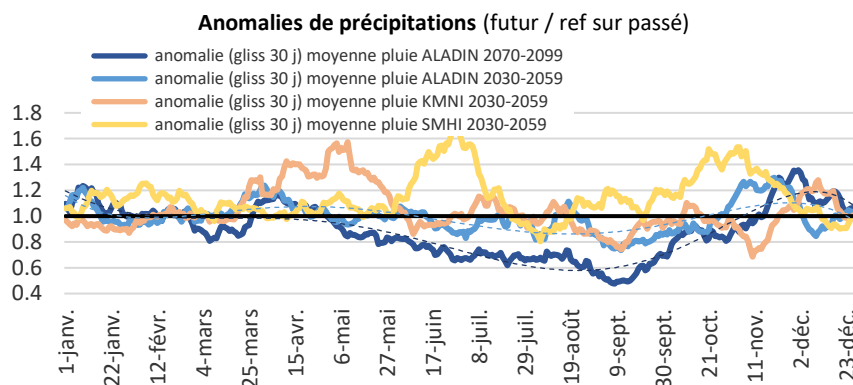
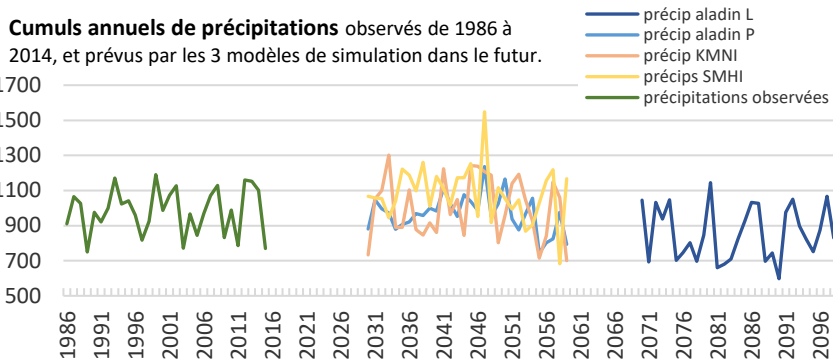
Il n'y a pas de tendance nette quant à l'évolution du cumul annuel de précipitations : aucun des 3 modèles ne prédit pour le futur proche une baisse du cumul annuel de précipitations dans cette zone, sauf peut-être en fin de siècle avec le modèle **Aladin**. Ce qui domine, c'est surtout la très forte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

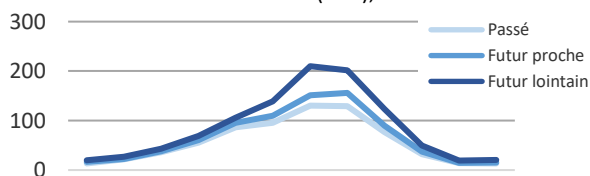
Pour chacune des deux périodes considérées, fréquence d'apparition d'au moins un épisode de sécheresse (en nb années /10) sur les 30 (ou 15) dernières années observées, et évolution possible (futur / passé) dans différentes simulations (modèles **Aladin**, **KMNI** et **SMHI**).

	Obs 30 ans	1986- 2000	2001- 2015	Aladi n 2030- 2059	KMNI 2030- 2059	SMHI 2030- 2059	Aladi n 2070- 2099
au moins 15 jours sans pluie entre le 20/04 et le 10/06	2/10	3/10	1/10	-7%	-3%	-3%	-3%
au moins 20 jours sans pluie entre le 01/07 et le 01/09	1/10	1/10	0/10	+17%	-3%	+10%	+37%



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.

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



Le climat de la zone se caractérise par des températures moyennes, et des précipitations assez 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.

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

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

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

	Profondeur	Taux d'argile	Réserve utile
Sol profond	120 cm	20 %	120 mm
Sol moyen	80 cm	15 %	80 mm

Caractéristiques des sols utilisés dans les simulations

Conséquences du changement climatique sur la pousse de l'herbe

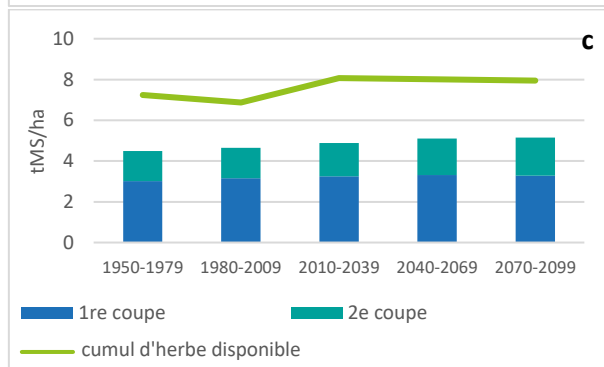
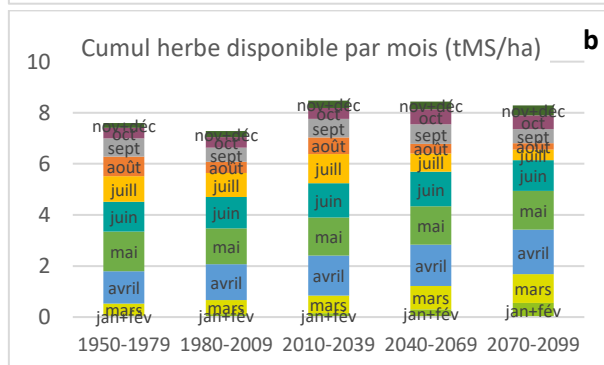
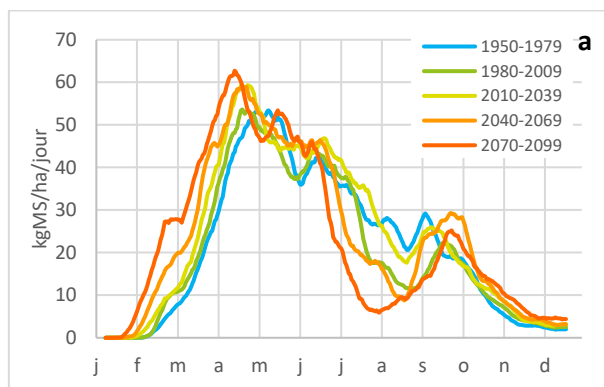
Les simulations ont été réalisées pour plusieurs itinéraires techniques combinant récoltes (en foin ou en ensilage) et pâturage, sur deux types de sol. Les courbes de croissance présentées ci-dessous ne concernent que les itinéraires de type pâturage.

Conséquence de l'augmentation des températures au début du printemps, les simulations STICS mettent en évidence un démarrage en végétation des prairies de plus en plus précoce. 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 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 4 et 5 coupes « visées ». Le modèle est paramétré pour réaliser les coupes lorsque le cumul de températures dépasse un seuil préalablement fixé pour chaque itinéraire technique, à condition que la quantité de fourrage disponible soit suffisante. Par conséquent, les dernières coupes ne sont pas systématiquement réalisées. Par ailleurs, il s'agit de simulations pour une luzernière déjà installée, qui ne prennent donc pas en compte l'année d'installation ni la « fin de vie » de la luzernière.

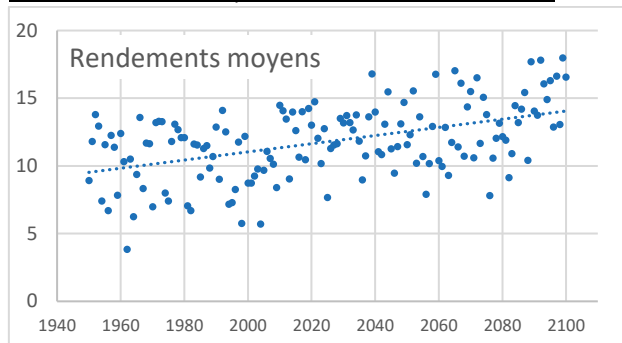
Quel que soit le nombre de coupes visées ou réalisées, les rendements seraient à la hausse. Cependant, si l'ensemble des rendements moyens augmente, la variabilité interannuelle est toujours aussi marquée.

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

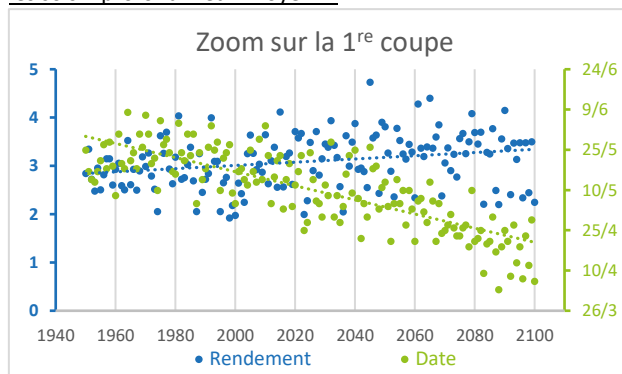
D'autre part, l'augmentation des températures estivales permettrait d'accélérer la croissance des plantes (contrairement aux prairies de graminées, la luzerne est peu affectée par les températures élevées, tant que suffisamment d'eau est disponible) et ainsi bien souvent de faire une coupe supplémentaire.

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.

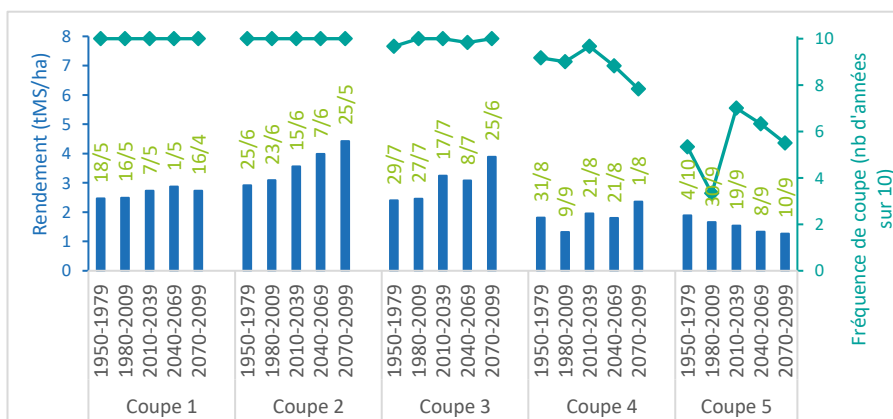
Moyenne des rendements cumulés obtenus pour chacun des deux itinéraires techniques utilisés dans les simulations.



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

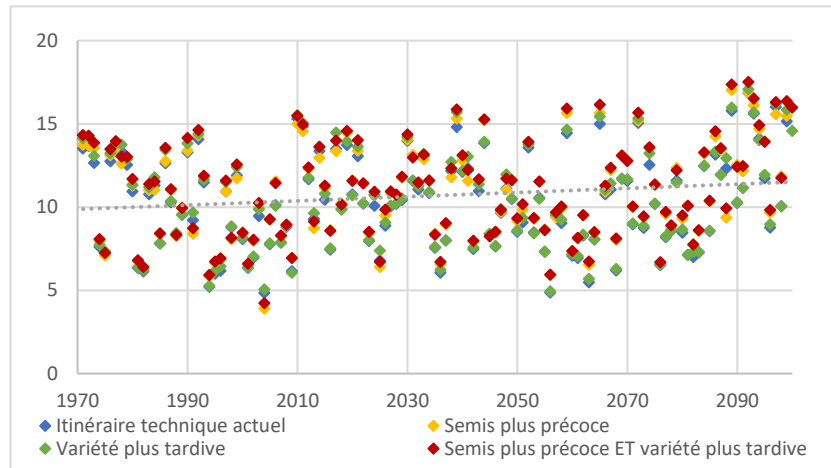


Ci-contre : en moyenne par période de 30 ans et pour deux sols, rendements par coupe, fréquence de réalisation des coupes par le modèle et dates de coupes prévues, pour l'itinéraire technique à 4 coupes prévues.

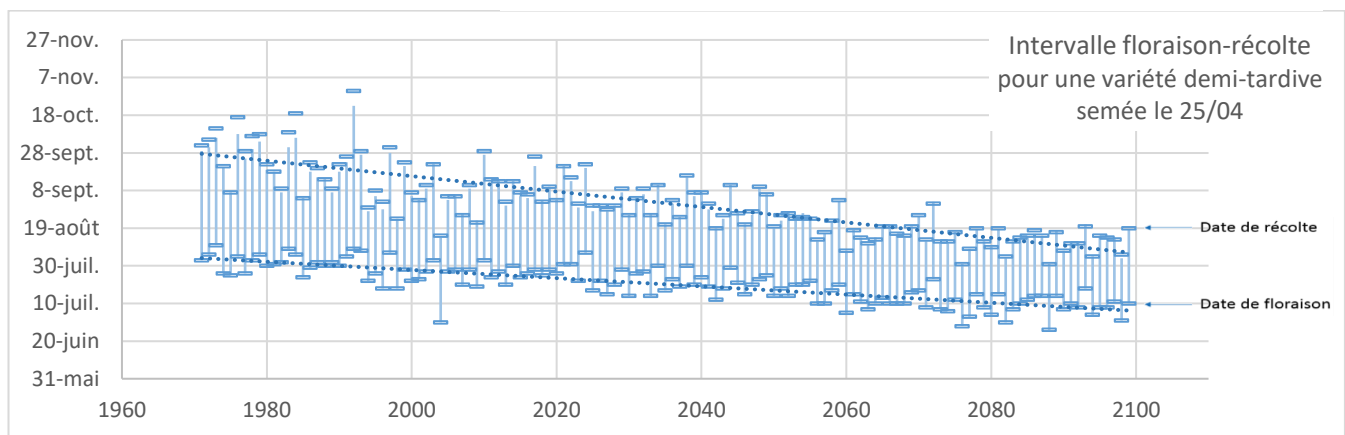


Maïs

Les simulations sont réalisées pour plusieurs itinéraires techniques correspondants aux pratiques des éleveurs de la zone. Des variétés demi-tardives et tardives ont été testées, pour des dates de semis entre le 10 et le 25 avril et sur les sols « profond » et « moyen » présentés précédemment.



Rendements obtenus pour 4 itinéraires techniques, en moyenne sur deux types de sol.



Évolution des dates de floraison et récolte.

Conséquence directe de l'augmentation des températures et du taux de CO₂, sans déficit hydrique marqué, les rendements seraient en augmentation, avec une importante variabilité interannuelle. Les dates de floraison et de récolte seraient de plus en plus précoces. Des variétés plus tardives pourraient donc être semées sans risquer de problème à la récolte, avec un gain de rendement par rapport à l'itinéraire technique actuel.

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.

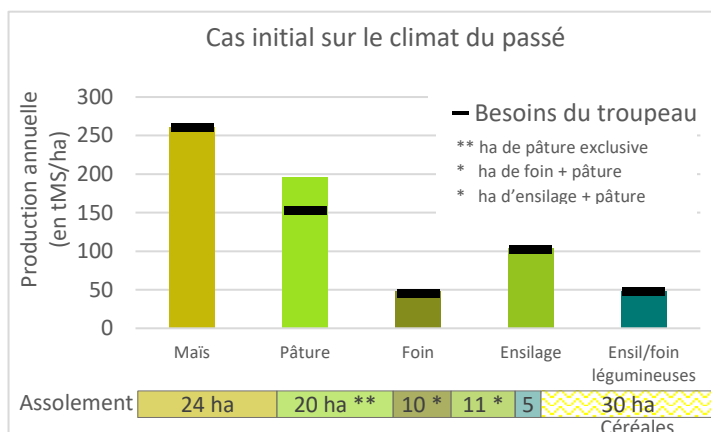
Les conditions climatiques prévues pour le futur sont favorables à la luzerne : les rendements cumulés augmentent, avec une nette avancée des dates de coupes.

En ce qui concerne le maïs, les rendements augmentent dans l'ensemble, tout en restant 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

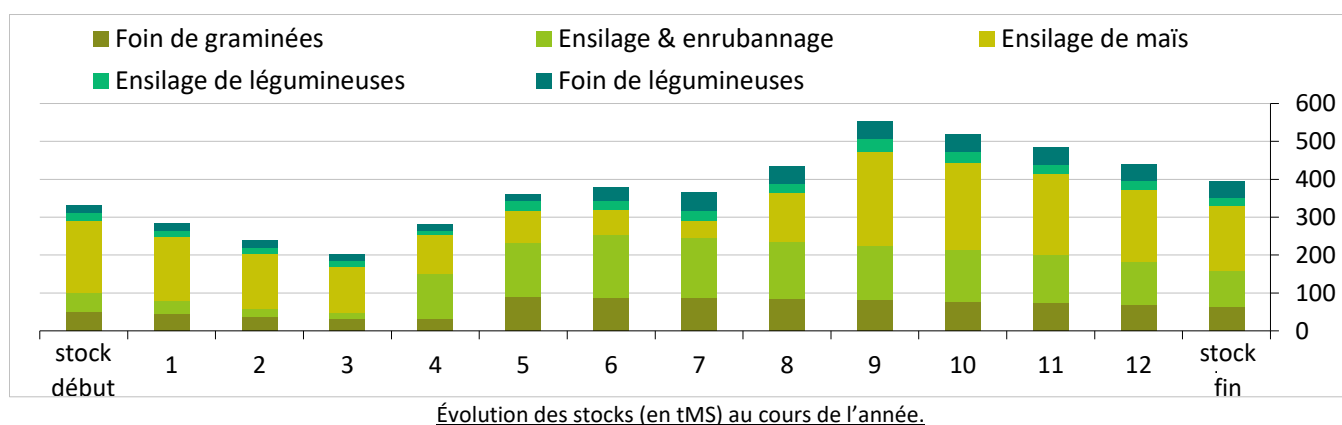
Le cas étudié a été construit par le groupe d'éleveurs et conseillers de la Bresse. Il s'agit d'une ferme disposant de 100 ha de SAU dont 70 ha de SFP : 24 ha de maïs avec ou sans dérobée, 46 ha de prairies (dont 10 ha de prairies multi-espèces, 5 ha de luzerne et 20 ha de prairies permanentes). Les 30 ha restants sont occupés par de l'orge, en rotation avec le maïs, ce qui permet d'implanter des cultures intermédiaires (RGI, méteils...).



Le troupeau est constitué de 70 vaches laitières à 7 500 kg de lait produits, avec un taux de renouvellement de 30 % et des vêlages étalés. Le premier vêlage est à 30 mois, comme c'est le cas en moyenne sur la zone. 25 génisses sont élevées chaque année. La ration des vaches laitières est composée de 50 à 60 % de maïs ensilage toute l'année, complété par du foin ou de l'ensilage de légumineuse et de l'herbe pâturée ou ensilée selon la saison. La ration des génisses est constituée de foin et d'ensilage d'herbe en hiver et d'herbe pâturée le reste de l'année.

Ce système, lorsqu'il est optimisé (bonnes valeurs alimentaires), nécessite 40 tonnes de tourteau de soja (dont 550kg/VL/an), 5 tonnes de céréales et 90 tonnes de paille par an. Le chargement corrigé s'élève à 1,73 UGB/ha SFP.

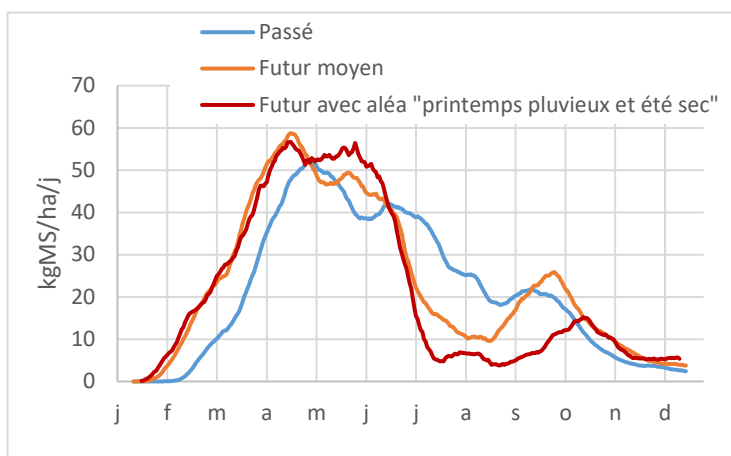
Le système a été calibré dans le climat du passé pour que le stock de fourrages en fin d'année soit proche du niveau de début d'année, sans qu'il n'y ait de rupture au cours de l'année. La dynamique des stocks est la suivante :



Il faut noter que la culture de luzerne n'est pas possible pour tous dans la région, en raison de la présence de sols hydromorphes, ou de drains sur les parcelles.

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 pluvieux** (ce qui retarde les premières récoltes d'herbe et les semis du maïs), **suivi d'un été particulièrement chaud et sec**. Ce type de déroulement climatique est voisin de celui connu en 2018, à une différence près : en 2018, la date théorique de mise à l'herbe avait été plus tardive du fait de températures froides en mars. Dans la seconde moitié du siècle, selon le modèle climatique Aladin, ce type d'aléa apparaîtrait avec une occurrence d'environ une année sur 12.



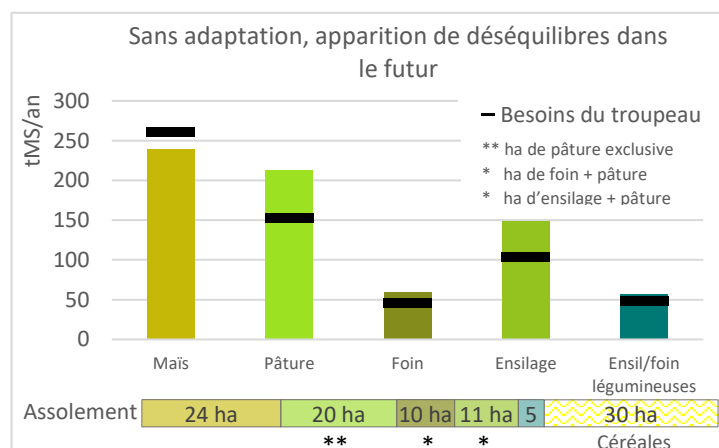
Pousse moyenne d'une prairie à base de graminées selon la période d'étude envisagée.

	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)	26 mars	15 mars	19 mars
Faisabilité de récoltes précoces (Nombre de jours où la somme des précipitations sur les 5 jours précédents est supérieure à 40 mm, entre 10 jours avant et 10 jours après la mise à l'herbe)	4	3	0
Températures élevées en fin de printemps (Nombre de jours avec $T_{max} > 28^{\circ}C$, entre 1100°C cumulés et le 5/07)	2	14	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)	-82	-218	-257
Précipitations fin d'été et début automne (mm) (Cumul pluviométrique entre le 21 août et le 1 ^{er} octobre)	5	4	43

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

Les adaptations envisagées

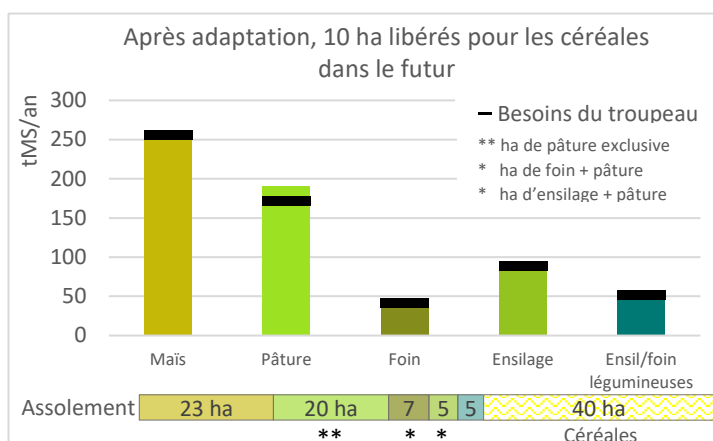
Dans le futur (année moyenne 2050-2080)



La production des prairies augmente (+ 11 tMS de foin de graminées, + 46 tMS d'ensilage d'herbe) du fait de l'effet CO2 et des plus fortes températures. Si l'on conserve le fonctionnement décrit précédemment, apparaissent alors des excédents d'herbe, surtout au printemps, la pousse démarrant plus tôt et plus fort que par le passé. A l'inverse, la production d'ensilage de maïs diminue de 21 tMS, provoquant un déficit dans le bilan fourrager.

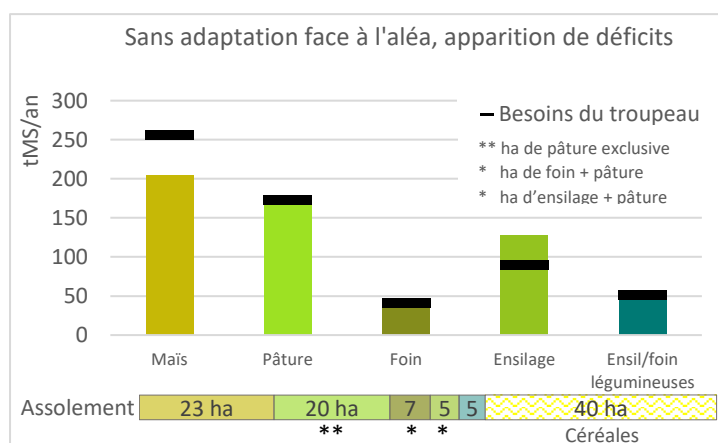
Plusieurs adaptations sont alors envisagées :

1. Faire pâturer plus tôt les différents lots d'animaux et augmenter le chargement pour suivre au mieux la pousse de l'herbe et limiter les gaspillages sur les pâtures (- 10 % de pertes d'herbe). Ceci accentue les excédents de foin et d'ensilage et permet de libérer 6 ha de prairies dédiées à l'ensilage et 3 ha dédiés à la production de foin. Afin de rendre possible ce pâturage précoce pour les génisses, le mois principal de vêlage est légèrement avancé.
2. Réaliser des reports sur pied en été pour faire face au ralentissement de la pousse de l'herbe et augmenter les concentrés des génisses pour compenser la baisse de qualité engendrée.
3. Arrêter les dérobées sur 5 ha pour semer plus tôt une variété de maïs plus tardive. De cette manière, le système devient légèrement excédentaire en ensilage de maïs et 1 ha peut être libéré pour la production de culture de vente.
4. Ainsi, grâce à l'augmentation du chargement (le chargement corrigé atteint 2,02 UGB/ha de SFP) et la modification des itinéraires techniques du maïs permises par le climat du futur, 10 ha de moyennes et bonnes terres pourraient être libérés pour la production de cultures. Cela pourrait permettre la production de maïs double fin qui constituerait un stock de sécurité pour l'éleveur.



Finalement, pour le système étudié -dont la ration repose à 60 % sur le maïs ensilage-, le futur climatique n'apparaît pas comme néfaste, du fait d'un printemps plus productif. L'effet négatif sur la production en été ne se fait pas ressentir car le système y est déjà adapté grâce à l'utilisation du maïs. Un système herbager, en revanche, devrait mettre en place des adaptations plus conséquentes afin de constituer les stocks nécessaires au passage de l'hiver et de l'été.

Dans le cas de l'année « printemps pluvieux et été sec »



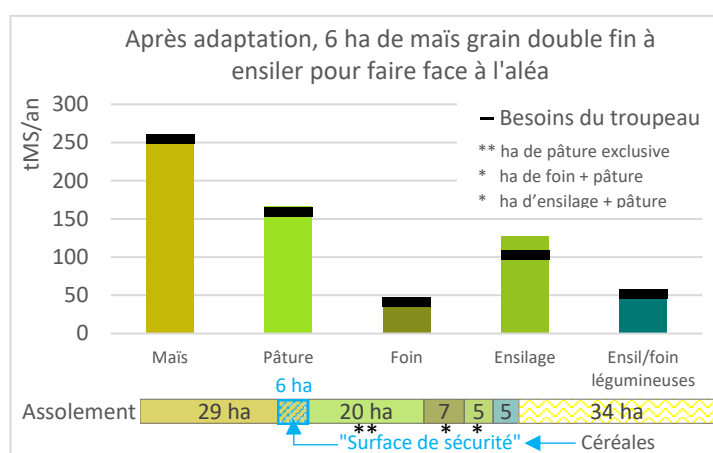
Sans adaptation, le système devient déficitaire : il manque 52 tMS d'ensilage de maïs et la production d'herbe des prairies n'est pas suffisante pour couvrir les besoins des génisses au pâturage, depuis la mi-juillet jusque mi-octobre. De plus, la mise à l'herbe doit être retardée, les premières coupes de foin et d'ensilage 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. D'autre part, la sécheresse estivale empêche d'implanter autant de cultures intermédiaires qu'habituellement, et le maïs, qui ne peut être semé avant le 25 avril, souffre du manque d'eau.

De nouvelles adaptations sont proposées :

Pour combler le déficit en maïs ensilage, 6 ha de maïs double fin sont ensilés. En termes de sécurisation du système fourrager, cela signifie dédier 20 % de la sole en maïs à la constitution d'un stock de sécurité sur pied. Les éleveurs se questionnent sur les solutions alternatives : substituer au maïs de l'ensilage d'herbe les années à aléa (mais le coût en concentrés serait élevé), accepter d'avoir un niveau de production variable ou décaler les mises-bas, mais cela semble peu crédible vis-à-vis des laiteries.

Face au manque d'herbe, les vaches laitières sont rentrées en bâtiment en juillet, libérant ainsi les surfaces nécessaires au pâturage des génisses. L'herbe pâturée est remplacée par l'ensilage d'herbe qui, bien qu'étant de mauvaise qualité du fait

de la récolte tardive, est produit en quantités suffisantes pour couvrir les besoins. La complémentation est ajustée pour compenser la perte de qualité de l'herbe, de l'ensilage et du foin. La consommation de concentrés évolue en conséquence : + 1 tonne de céréales et - 1 tonne de concentrés protéiques sont nécessaires. Le besoin en paille augmente légèrement. Le chargement corrigé diminue à 1,91 UGB/ha SFP.



Ainsi, le futur exigerait une meilleure gestion de l'herbe et une souplesse plus importante qu'aujourd'hui quant à sa valorisation. À cela, les éleveurs opposent la question du temps de travail engendré et de sa répartition.

D'autres idées ont été abordées :

Des espèces fourragères autres que celles étudiées précédemment ont été évoquées. Le sorgho BMR et le sorgho grain ensilé commencent à se répandre, mais restent marginaux dans les essais des Chambres d'agriculture. Le sorgho a l'avantage de repartir vite après les épisodes de sécheresse, mais son implantation semble difficile sur certains sols de la région. La betterave fourragère a également été évoquée par les éleveurs, qui lui accordent une production intéressante. Mais sa récolte nécessite un matériel particulier que peu de CUMA possèdent dans la région. De plus, certains sols, trop argileux, rendraient la récolte ou le pâturage de celle-ci difficile en automne.

Le méteil a aussi retenu l'attention des éleveurs pour sa productivité, mais ils notent des valeurs alimentaires variables. Aussi, ils préfèrent réserver cet aliment pour les génisses et ne pas risquer de variation de la qualité du lait produit. La conservation de ce fourrage et son intégration dans les rotations restent des freins à son utilisation.

Les prairies permanentes ou multi-espèces de plus de 7 ans produisent moins mais sont plus souples d'utilisation. Selon les éleveurs, au printemps, elles portent mieux que les autres prairies et il est possible de les valoriser même en conditions climatiques limites. En cela, posséder ce type de prairies est un atout face à l'aléa « printemps pluvieux » et constitue un levier de sécurité pour le système fourrager.

Quant à l'aspect zootechnique et à la gestion des canicules, les éleveurs suggèrent la ventilation du bâtiment et la douche des animaux. Ils sont en attente vis-à-vis de la recherche et demandeurs de solutions pour faire face aux canicules concernant l'optimisation des bâtiments d'élevage, la conduite du troupeau ou encore l'agroforesterie.

Conclusions

Évolutions tendanciennes

Dans cette zone, l'effet du changement climatique est globalement positif pour les prairies et les cultures qui profiteront des températures plus élevées au printemps et de l'effet CO₂, malgré une sécheresse estivale de plus en plus importante. Cependant, la variabilité des rendements reste importante, et les conditions d'accès à la ressource restent elles aussi variables d'une année sur l'autre. Les simulations réalisées ont toutes été faites « à matériel végétal constant » mais celui-ci va évoluer, probablement dans le sens d'une meilleure résistance à la sécheresse ou d'une meilleure efficacité par rapport à l'eau disponible.

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

Le système étudié repose en grande partie sur l'utilisation d'ensilage de maïs. Celui-ci est fortement affecté par la sécheresse estivale de plus en plus fréquente dans le futur. Les prairies (de graminées et/ou légumineuses), les méteils et les dérobées pourraient améliorer la résilience de ce système face au déficit hydrique estival, en répartissant la production de fourrage et en profitant de la hausse de température sur les autres périodes.

L'augmentation des températures entraîne un raccourcissement des cycles de végétation, ce qui pourrait faciliter la pratique des cultures dérobées, mais seulement dans les cas où les ressources en eau sont suffisantes.

La culture du maïs « à double fin » continuerait à être un des piliers de la sécurisation des systèmes : on cultive plus de maïs que le besoin ordinaire et, en mauvaise année, on récolte moins pour le grain et plus en ensilage. En plus de ce puissant levier, les cultures de vente permettent de sécuriser le système, en apportant la trésorerie nécessaire à l'achat de fourrage les mauvaises années.

Mieux valoriser l'herbe : pas si simple...

Les surfaces en prairies sont souvent dévolues aux génisses, avec un niveau de valorisation très perfectible. Il y a beaucoup de raisons techniques à cela, comme le morcellement du parcellaire, la présence de sols peu portants, mais la raison principale est le manque de temps disponible pour l'éleveur. La reconfiguration des systèmes fourragers vers plus d'herbe permettrait pourtant de répondre aux enjeux climatiques, environnementaux (protection des zones de captages) et sociétaux.

Les vaches aussi vont souffrir

Les éleveurs de la zone redoutent le stress thermique que vivront les vaches laitières 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.

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.

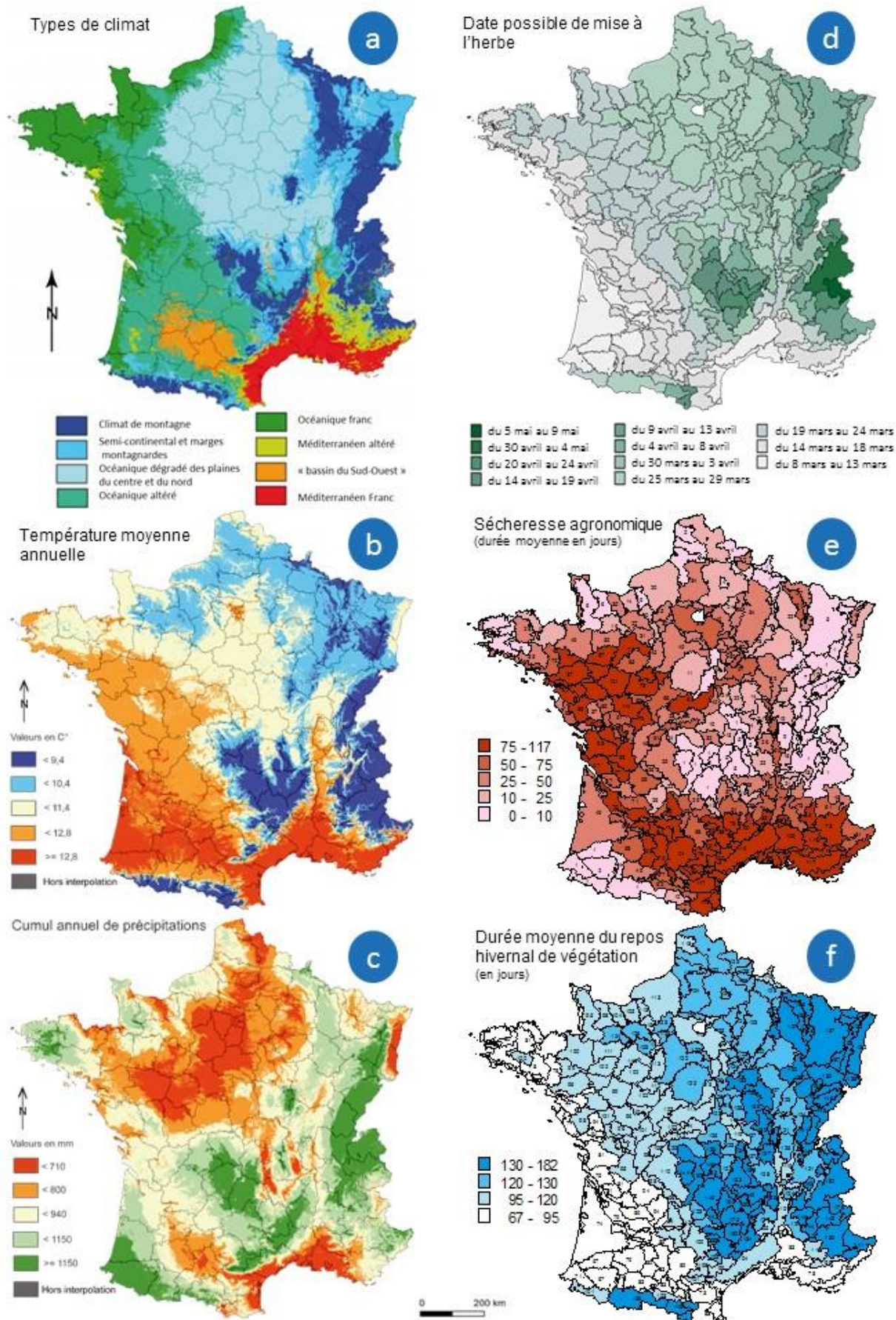
Un outil très apprécié des éleveurs est utilisé, le Rami Fourrager®. Il s'agit d'un jeu de plateau qui permet de modéliser un système fourrager et de le confronter à diverses contraintes. Les joueurs (éleveurs, conseillers...) peuvent alors reconfigurer le système pour l'adapter à ces contraintes. L'outil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



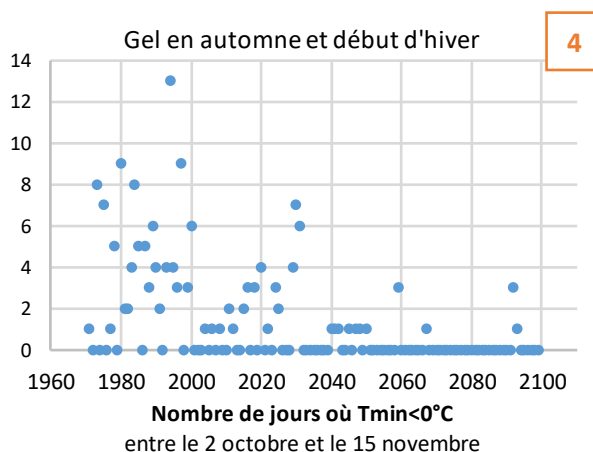
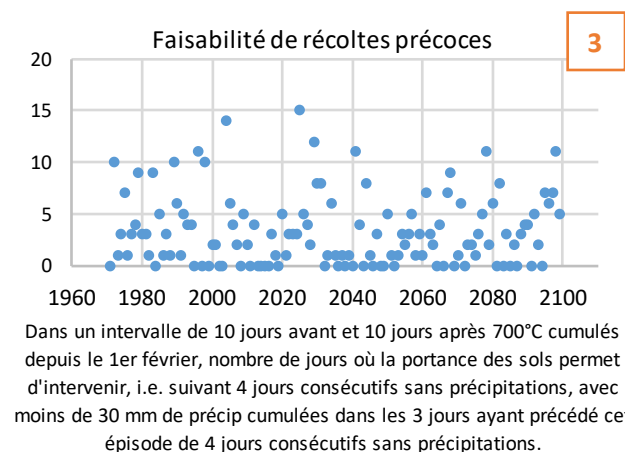
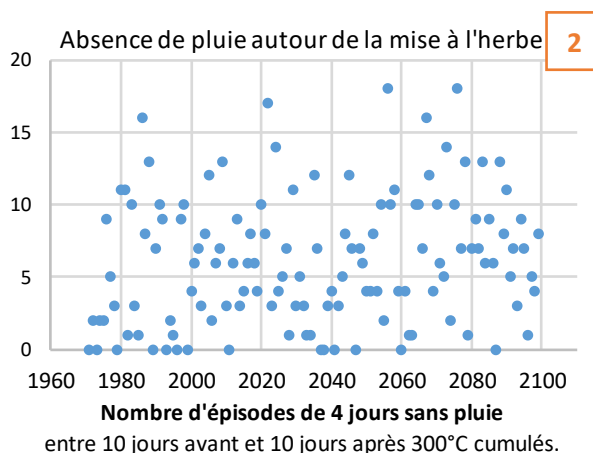
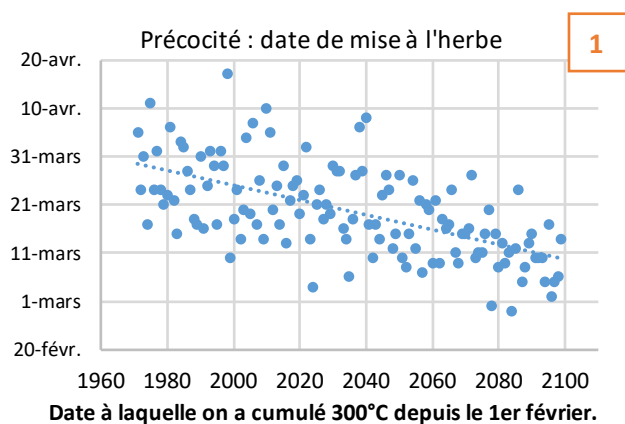
Sources et méthodes a, b, c : INRA, CNRS, Université de Bourgogne ; d, e, f : données Météo France, SSP, INRA calculées pour ISOP, traitement Institut de l'Élevage pour 228 régions fourragères. d. La date possible de mise à l'herbe est estimée par la date d'atteinte d'un seuil de 300°C cumulés depuis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

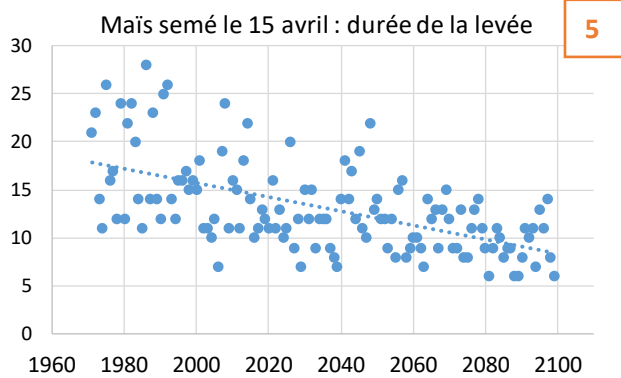
Annexe 3 : Évolution climatique et conséquences pour la mise en place et l'accès aux ressources fourragères (à partir du modèle de climat ALADIN)

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, voire même absentes, permettant de maintenir les animaux au pâturage (s'il y a de l'herbe) [4]... En ce qui concerne le maïs, l'augmentation des températures diminuerait les risques de stress lié au froid lors de la levée [5], ce qui pourrait permettre des semis plus précoces. En fin de cycle, les conditions de récolte s'améliorent [6], alors que l'augmentation des températures accélère le dessèchement des grains et donc raccourcit la période optimale de récolte.

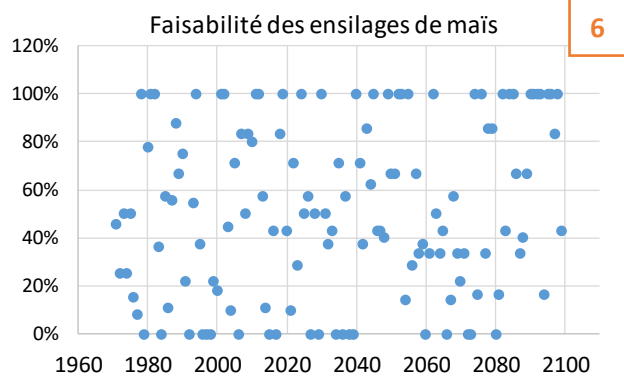
Enfin, il ne faut pas oublier les conséquences directes du climat sur les animaux eux-mêmes : lors d'épisodes caniculaires, les vaches réduisent leurs déplacements et leur ingestion, l'herbe au pâturage est alors moins bien exploitée, alors même que sa senescence est accélérée et sa pousse stoppée (voir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





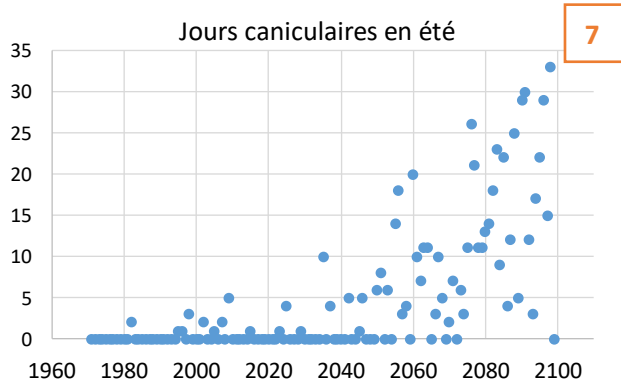
5

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*), Aurélie Madrid (*Idele*), Marie Lecarme (*Idele*)

Avec la participation de : Magali Bergot (*Météo-France*), Thierry Brun (*Idele*), Béatrice Chazal (*Chambre d'agriculture de l'Ain*), Françoise Ruget (*INRA*), Franck Souverain (*Météo-France*)

Crédits photos : Chambre d'agriculture de l'Ain

Version : Janv. 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, de l'Ain), 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

