



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. Dans l'Aube, l'étude a été menée en partenariat avec la fromagerie Lincet et l'entreprise Alysé.

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

La méthodologie détaillée est décrite en annexe.

Les attendus peuvent se résumer ainsi :

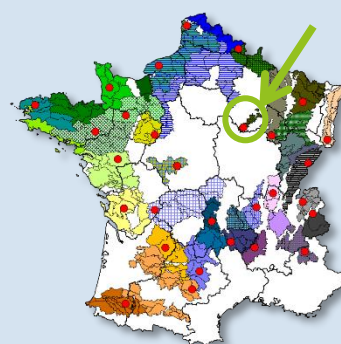
- ✓ Un zonage de la France en une trentaine d'Unités Laitières Agroclimatiques représentatives de la diversité des contextes de production du lait en France (voir ci-contre),
- ✓ Des données sur l'évolution du climat à l'échelle de chacune de ces zones,
- ✓ Les impacts du changement climatique, sur des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

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

Ici, vous trouverez les résultats pour le Chaourçois (10)

DES RÉSULTATS

pour le Chaourçois (A.O.P. Chaource)



Carte présentant les 30 unités laitières agroclimatiques

Au sommaire :

La Région Agricole du Chaourçois.....	2
Climat du Chaourçois.....	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 du Chaourçois

Comme partout en France, la SAU moyenne par exploitation augmente à un rythme soutenu (de l'ordre de + 29 % entre 2000 et 2010), sans que la main-d'œuvre augmente au même rythme (+ 18 % entre 2000 et 2010). Cela condamne les éleveurs, là comme ailleurs, à faire de constants gains de productivité au plan du travail.

	UTA	SAU (ha)	Grandes cultures (ha)	SFP (ha)	Dont maïs fourrage (ha)	Nb total d'UGB	Nb de VL
En 2010	2,3	150	73	77	24	116	59
Évolution entre 2000 et 2010 (% de 2000)	+18%	+29%	+11%	+52%	+96%	+49%	+46%

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

Le nombre d'animaux par exploitation suit la même tendance : les troupeaux laitiers comme allaitants se sont agrandis entre 2000 et 2010. La SFP a elle aussi augmenté, à un rythme semblable à celui des effectifs de bovins. De ce fait, le chargement apparent est resté aux alentours de 1,5 UGB/ha de SFP.

Le quota moyen pour la dernière campagne (2014-2015) a atteint 452 800 litres par exploitation, soit environ 7 700 L/VL.

Avec environ 50 % de la SAU occupée par des grandes cultures, la zone est une de celles dans lesquelles la polyculture-élevage est dominante. La SFP est en grande partie occupée par des prairies permanentes. Cependant, on trouve également des prairies temporaires, du maïs fourrage... Les surfaces en céréales apportent aussi des possibilités d'utilisation directe (via l'ensilage de céréales immatures) ou d'implantation de cultures intermédiaires.

Le cahier des charges de l'AOP Chaource concerne la moitié des élevages du département de l'Aube et une partie de ceux de l'Yonne. Il impose plusieurs contraintes :

- Au moins 80 % du troupeau laitier doit être originaire de la zone AOP.
- 75 % de la ration totale doit être produit sur l'exploitation, et 80 % doit être issu de la zone AOP.
- La qualité des fourrages distribués doit être surveillée.
- L'herbe (fraîche ou conservée) doit occuper une place importante dans l'alimentation du troupeau : au moins 30 % de la matière sèche des fourrages, pour les vaches comme les génisses, toute l'année. Les vaches doivent pâturer au moins 5 mois dans l'année, avec une surface d'herbe fraîche au moins égale à 20 ares par vaches. L'affouragement en vert est possible sous certaines limites. Les génisses doivent pâturer au moins une saison de 4 mois dans la zone AOP avant la première lactation.
- La complémentation, pour les vaches laitières, doit se limiter à 27 % de la ration totale, en moyenne sur l'année.

Le Chaourçois n'échappe pas à l'agrandissement des exploitations. Le cheptel laitier suit la même évolution. Les systèmes laitiers en polyculture-élevage sont majoritaires, avec une part importante de prairies permanentes, auxquelles s'ajoutent des prairies temporaires, du maïs fourrage et des céréales. L'A.O.P. Chaource soutient la production laitière.

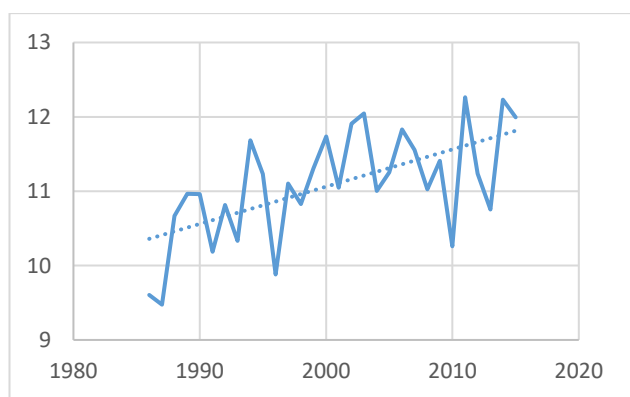
Climat du Chaourçois

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

Le climat du Chaourçois 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 relativement faible (carte c), mais la sécheresse agronomique estivale reste limitée (carte e).

Évolution récente du climat

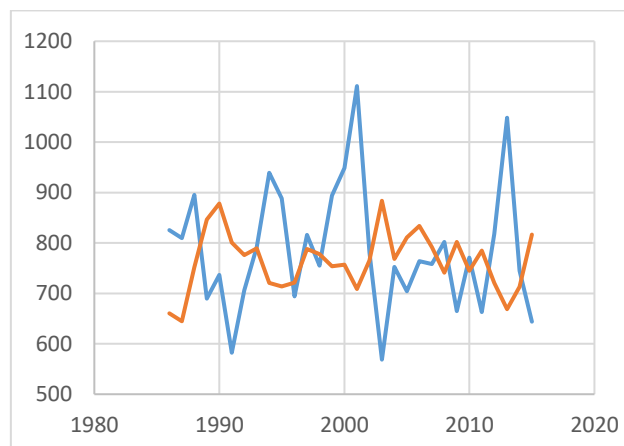
Sur ce site, l'évolution des températures moyennes annuelles est relativement marquée : en 30 ans, le climat s'est réchauffé d'environ 1,4 °C. La variabilité inter-annuelle demeure importante, avec des moyennes annuelles comprises entre 9 et 12 °C. Cette augmentation de température se retrouve à l'échelle saisonnière. Elle est particulièrement marquée au printemps (+ 2,2 °C) et à l'automne (+ 1,2 °C).



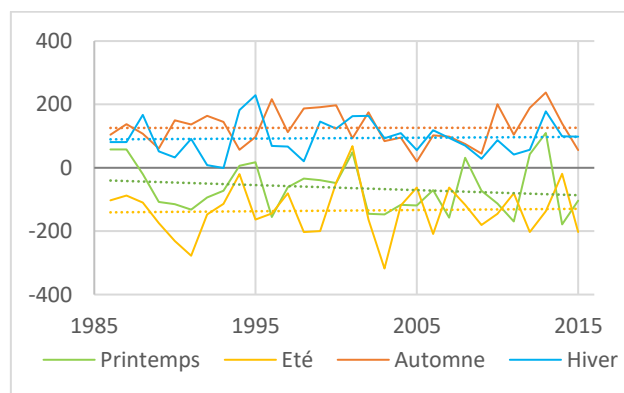
Évolution de la température moyenne annuelle de 1986 à 2015 (Données Météo-France Safran).

Le cumul annuel des précipitations est très variable, entre 600 et 1100 mm/an, sans qu'une tendance à la hausse ou à la baisse ne puisse être mise en évidence. Le cumul annuel d'évapotranspiration non plus ne semble pas avoir augmenté au cours des 30 dernières années malgré la nette tendance à la hausse des températures dans la région. La variabilité interannuelle des précipitations se retrouve à l'échelle saisonnière, avec une tendance à la baisse au printemps. Le bilan hydrique (P-ETP) saisonnier

semble donc diminuer au printemps. Pour les autres saisons, aucune évolution du bilan hydrique n'est visible sur les 30 dernières années.



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

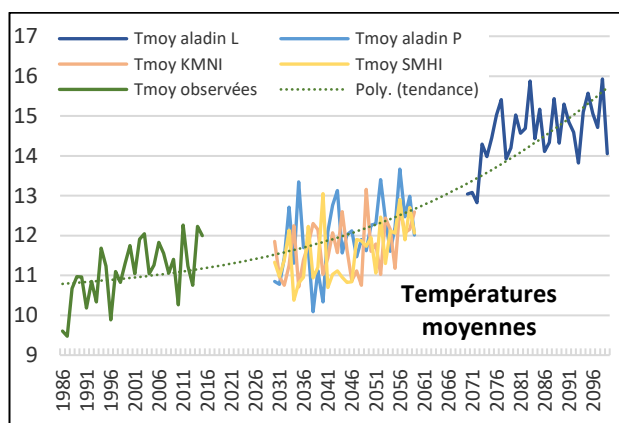


Bilan hydrique (P-ETP) calculé par saison de 1986 à 2015 (Données Météo-France Safran).

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 5 °C par rapport au niveau actuel.

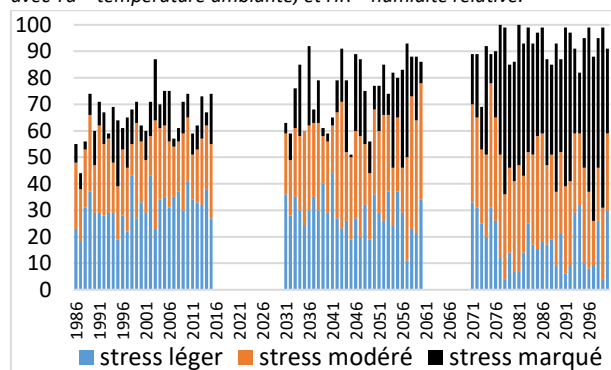
L'analyse des données simulées montre qu'autour de ce niveau, l'hiver se réchaufferait moins (+ 3 °C) que l'été (+ 5,5 °C). Les températures moyennes sont exprimées à partir des minimales et des maximales, l'analyse montre que les maximales progresseraient plus vite que les minimales. Ainsi quand on évoque une température moyenne en hausse de 3 à 5 °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 pour chaque niveau de stress estimé avec le THI, de 1986 à 2014 (sur données observées) et sur le futur (**modèle Aladin**)

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



L'augmentation des températures n'aura pas que des effets négatifs : l'une de ses conséquences peut être la possibilité de mettre à l'herbe plus tôt. Ainsi, si la date à laquelle on atteint une somme de températures de 300 °C se situe actuellement aux alentours du 24 mars (une année sur deux entre le 18 mars et le 1^{er} avril), elle pourrait passer aux alentours du 19 mars dans le futur proche (entre le 14 et le 23 selon les modèles), et du 10 mars dans le futur lointain. Reste à savoir si les conditions climatiques du début de printemps permettront l'accès à cette pousse précoce.

	Obs 30 ans	1986- 2000	2001- 2015	Aladin 2030- 2059	KMNI 2030- 2059	SMHI 2030- 2059	Aladin 2070- 2099
1 année sur 2 entre le... et le ...	18/3 1/4	20/3 5/4	17/3 31/3	15/3 27/3	15/3 31/3	7/3 23/3	7/3 13/3
Médiane	24/3	22/3	27/3	19/3	23/3	14/3	10/3

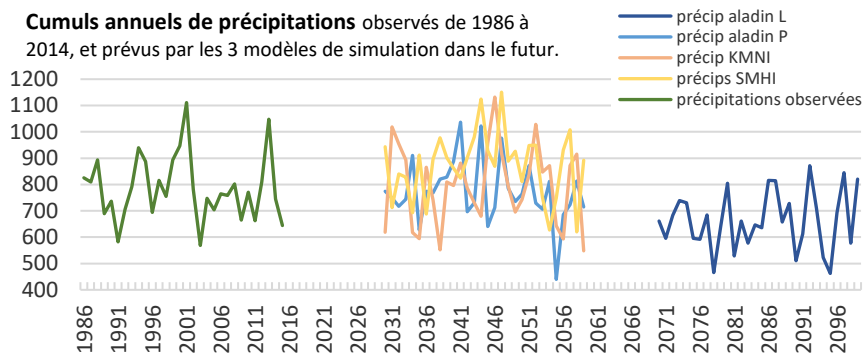
Date de mise à l'herbe (date d'atteinte du seuil de 300 °C cumulés depuis le 1^{er} février), dans le passé (données observées) et dans les différents modèles climatiques.

Évolution des précipitations

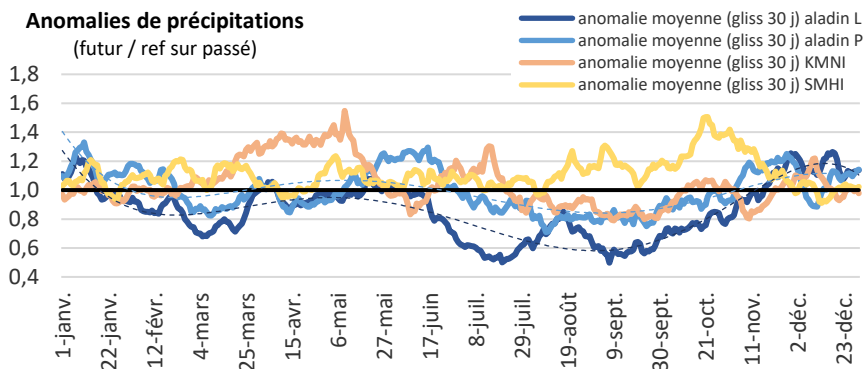
Il n'y a pas de tendance nette quant à l'évolution du cumul annuel de précipitations : aucun des 3 modèles ne prédit pour le futur proche une baisse du cumul annuel de précipitations dans cette zone, sauf peut-être en fin de siècle avec le modèle **Aladin**. Ce qui domine, c'est surtout la très forte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

Il faut analyser les simulations plus en détail au travers du second graphique qui représente le rapport entre ce qui est simulé sur le futur et ce qui a été simulé par chaque modèle sur le passé. Ce rapport a été calculé chaque jour pour capter d'éventuelles différences saisonnières dans l'évolution des précipitations. Les données ont été moyennées chaque jour par périodes de 30 ans (2030-2059 ou 2070-2099), la base de comparaison étant 1986-2015. Quand ce rapport est supérieur à 1, c'est qu'il est prévu qu'il pleuve plus, et inversement s'il est inférieur à 1. Ainsi dans le futur proche, le modèle **KMNI** prévoit globalement plus de précipitations au printemps, pour le modèle **SMHI** ce serait plutôt en fin d'été et en automne, et pour le modèle **Aladin** en hiver et en mai-juin... A l'opposé, les modèles **Aladin** et **KMNI** prévoient une diminution des précipitations en été et automne. Dans le futur lointain, le modèle **Aladin** prévoit une diminution des précipitations en fin d'hiver et de l'été 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.

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



Anomalies de précipitations (futur / ref sur passé)

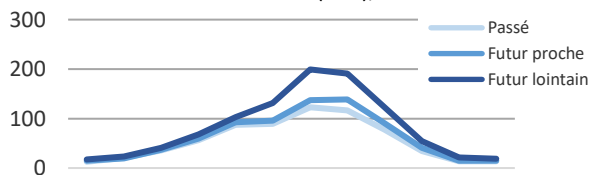


Pour chacune des deux périodes considérées, fréquence d'apparition d'au moins un épisode de sécheresse (en nb années /10) sur les 30 (ou 15) dernières années observées, et évolution possible (futur / passé) dans différentes simulations (modèles **Aladin**, **KMNI** et **SMHI**).

	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 01/03 et le 01/06	6/10	6/10	7/10	+3%	-7%	+10%	+7%
au moins 20 jours sans pluie entre le 15/06 et le 01/09	2/10	2/10	1/10	+13%	-3%	+0%	+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 relativement faibles à moyennes. 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 sous réserve de bonnes conditions de portance. 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 trois types de sols représentatifs de ceux de la zone (présentés ci-contre).

	Profondeur	Taux d'argile	Réserve utile
Sol profond	120 cm	20 %	150 mm
Sol moyen	80 cm	20 %	80 mm
Sol superficiel	80 cm	40 %	65 mm

Caractéristiques des sols utilisés dans les simulations

Conséquences du changement climatique sur la pousse de l'herbe

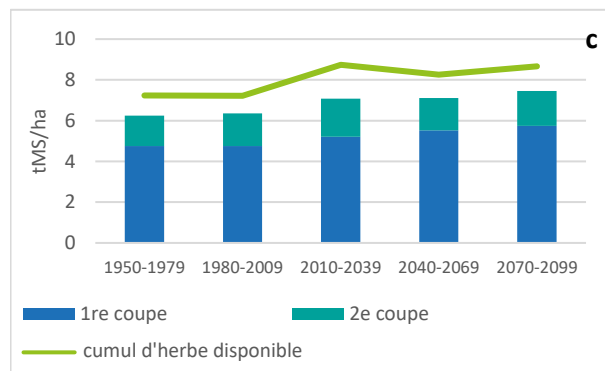
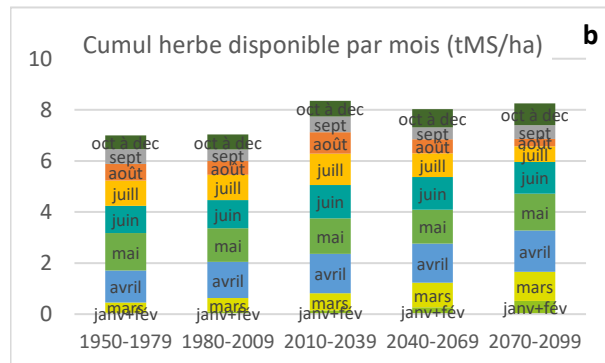
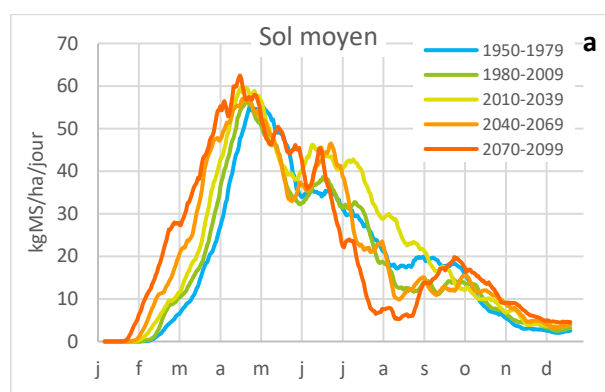
Les simulations ont été réalisées pour plusieurs itinéraires techniques combinant récoltes (en foin ou en ensilage) et pâturage, sur deux types de sol. Les courbes de croissance présentées ci-dessous ne concernent que les itinéraires de type pâturage.

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, sur le sol moyen décrit précédemment ;

b) cumul d'herbe disponible par mois ;

c) rendements moyens des récoltes de foin, 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 et 4 coupes « visées », bien que la luzerne soit peu cultivée dans la zone du Chaourçois. Le modèle est paramétré pour réaliser les coupes lorsque le cumul de températures dépasse un seuil préalablement fixé pour chaque itinéraire technique, à condition que la quantité de fourrage disponible soit suffisante. Par conséquent, les dernières coupes ne sont pas systématiquement réalisées. Par ailleurs, il s'agit de simulations pour une luzernière déjà installée, qui ne prennent donc pas en compte l'année d'installation ni la « fin de vie » de la luzernière

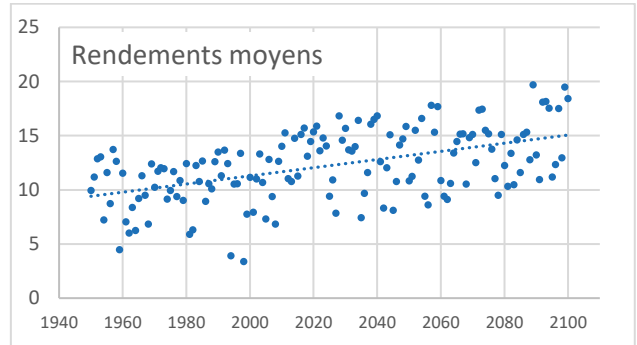
Quel que soit le nombre de coupes visées ou réalisées, les rendements seraient à la hausse. Cependant, si l'ensemble des rendements moyens augmente, la variabilité interannuelle est toujours aussi marquée.

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

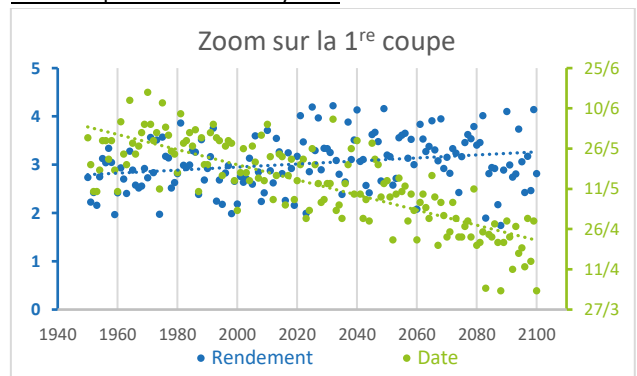
D'autre part, l'augmentation des températures estivales permettrait d'accélérer la croissance des plantes (contrairement aux prairies de graminées, la luzerne est peu affectée par les températures élevées, tant que suffisamment d'eau est disponible) et ainsi bien souvent de faire une coupe supplémentaire.

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

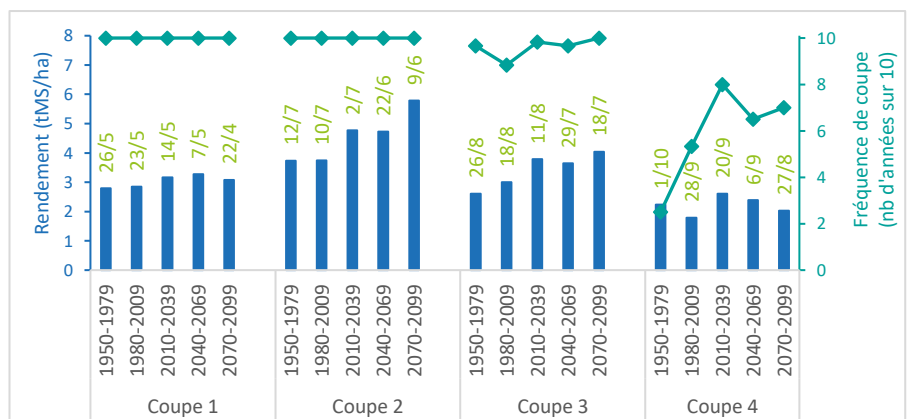
Moyenne des rendements cumulés obtenus pour chacun des deux itinéraires techniques utilisés dans les simulations.



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

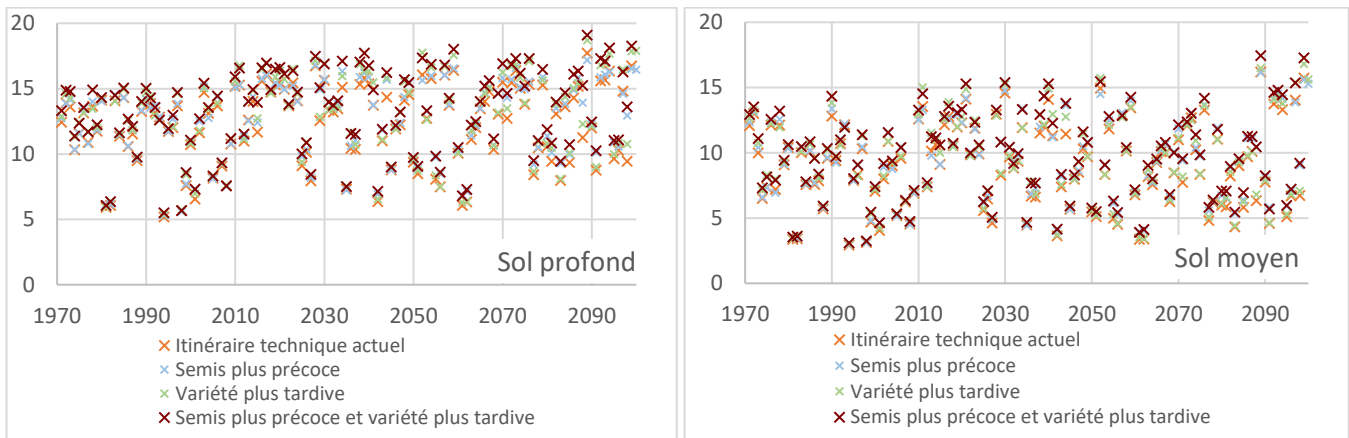


Ci-contre : en moyenne par période de 30 ans et pour deux sols, rendements par coupe, fréquence de réalisation des coupes par le modèle et dates de coupes prévues, pour l'itinéraire technique à 4 coupes prévues.

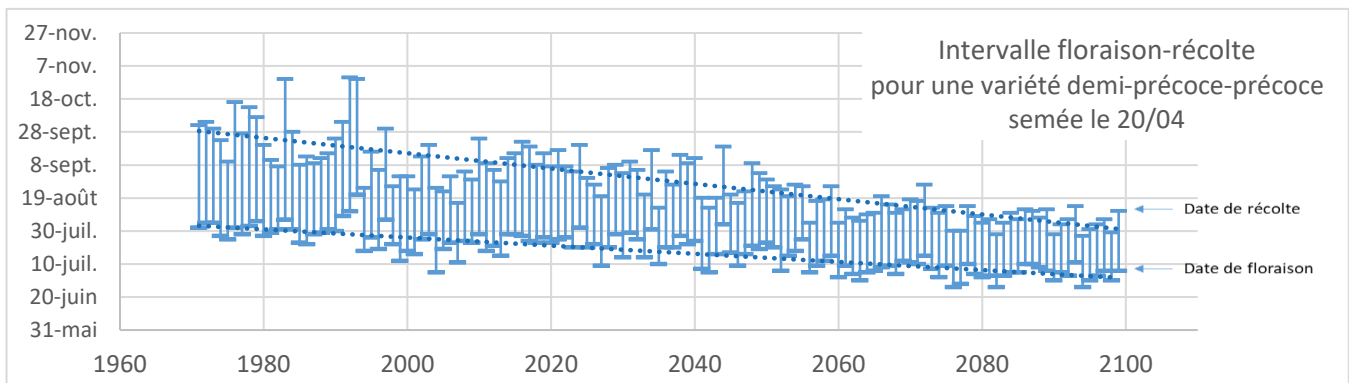


Maïs

Les simulations sont réalisées pour plusieurs groupes de précocité (précoce d'indice 140 à 230, demi-précoce-précoce d'indice 260 à 330, demi-tardif d'indice 400 à 480) et dates de semis (5 et 20 avril, 5 mai), sur sol nu ou après une dérobée (RGI), sur les sols « profond » et « moyen » présentés précédemment. L'hypothèse est faite que les conditions de semis sont réunies à la date visée. L'itinéraire dit « actuel » présenté ici correspond à une variété demi-précoce-précoce semée le 20/04, les mêmes tendances sont observées pour un maïs semé début mai (non présenté ici).



Rendements obtenus (tMS/ha) pour 4 itinéraires techniques, sur deux types de sol.



Évolution des dates de floraison et récolte.

Les simulations mettent en évidence des différences entre les sols : sur le sol profond, les rendements seraient globalement en augmentation, tandis que sur sol moyen aucune tendance n'est perceptible. Cela peut s'expliquer par les effets opposés de l'augmentation du CO₂ dans l'atmosphère (effet positif), et de l'accentuation des sécheresses estivales (effet négatif), auxquelles le sol « moyen » est plus sensible. Cette tendance cache cependant une importante variabilité des rendements d'une année sur l'autre, variabilité toujours présente dans le futur.

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

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

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

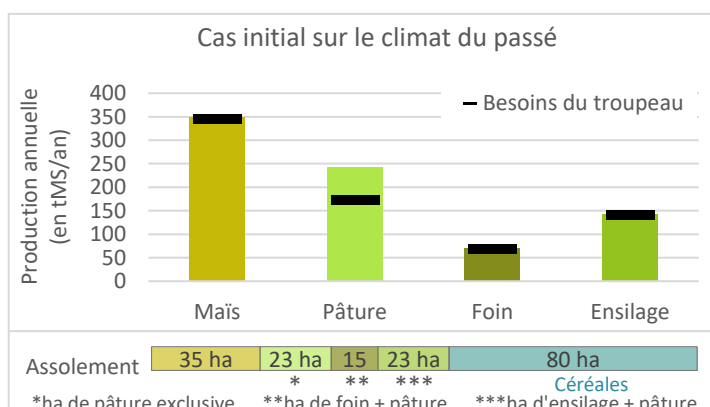
Les conditions climatiques prévues pour le futur sont favorables à la luzerne : les rendements cumulés augmentent, avec une nette avancée des dates de coupes. Cependant, cette plante fourragère ne peut se développer sur tous les sols de la région, pour partie hydromorphes.

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

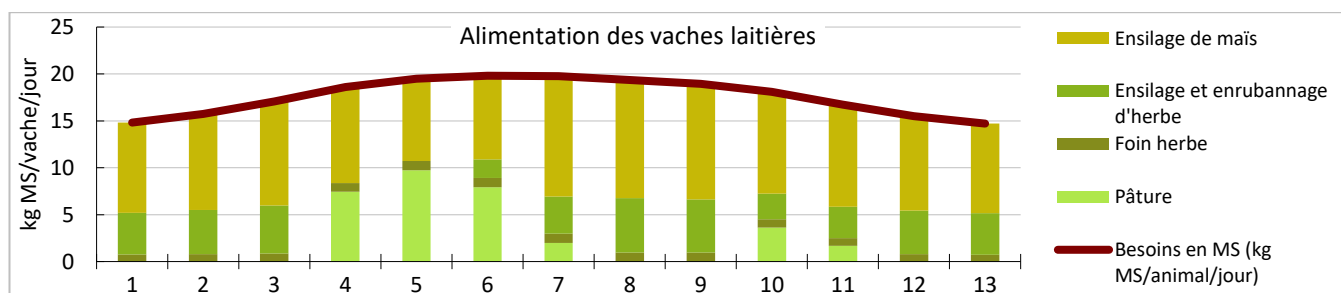
Conséquences à l'échelle des systèmes et adaptations possibles

Le système traité

Le cas étudié a été construit par un groupe d'éleveurs de l'A.O.P. Chaource et leurs conseillers. Il s'agit d'une ferme disposant de 176 ha de SAU dont 96 ha de SFP : 35 ha de maïs avec ou sans dérobée, 61 ha de prairies permanentes et temporaires. Les 80 ha restants sont occupés par du blé, en rotation avec le maïs, ce qui permet d'implanter des cultures intermédiaires.



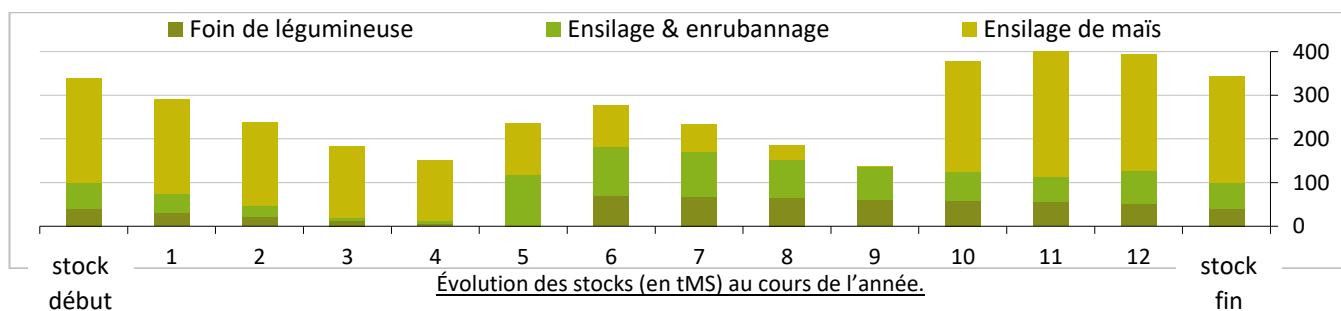
Le troupeau est constitué de 80 vaches laitières à 8 700 kg de lait produits, avec un taux de renouvellement de 30 % et des vêlages groupés en automne. Le premier vêlage est à 33 mois, comme c'est le cas en moyenne sur la zone. 27 génisses sont élevées chaque année. La ration des vaches laitières est composée de 45 à 65 % de maïs ensilage toute l'année, complété au printemps et en automne par de l'herbe pâturée et par de l'herbe ensilée ou enrubannée en été et hiver. La ration des génisses est constituée de foin et d'ensilage d'herbe en hiver, et d'herbe pâturée le reste de l'année. Les vaches laitières en production pâturent plus de 5 mois de l'année et la part de l'herbe dans la ration des vaches et des génisses est supérieure à 30 % de la matière sèche, à tout moment de l'année, comme demandé par le cahier des charges de l'A.O.P. Chaource.



Matière sèche apportée par les fourrages pour remplir les besoins en matière sèche du lot de vaches laitières du système étudié sur les treize périodes de 4 semaines du Rami Fourrager®.

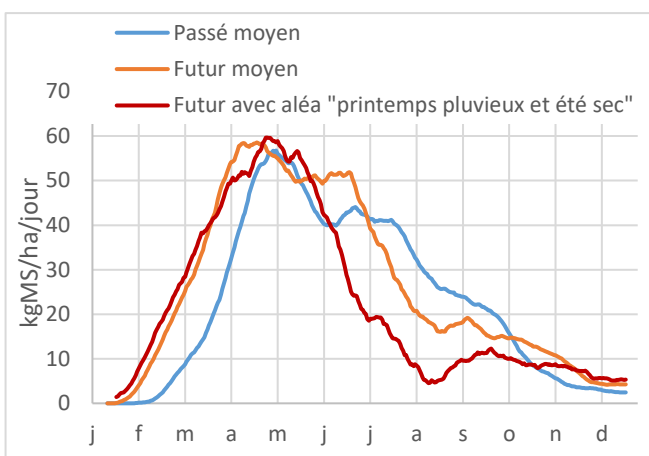
Ce système nécessite 85 tonnes de concentrés protéiques, 38 tonnes de céréales et 350 tonnes de paille. Les parcelles en blé permettent d'atteindre l'autonomie en concentrés énergétiques et en paille. Ainsi les conditions d'autonomie du cahier des charges sont remplies (autonomie alimentaire sur l'exploitation $\geq 75\%$ de la matière sèche de la ration totale et autonomie alimentaire sur la zone A.O.P. $\geq 85\%$ de la matière sèche de la ration totale). Le chargement corrigé s'élève à 1,5 UGB/ha SFP et la surface de pâture disponible par vache laitière est supérieure aux 20 ares minimum attendus pour l'A.O.P. Chaource. Dans le cas du système décrit ici, on voit apparaître de légers excédents d'herbe en été.

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 2050-2090**. 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.



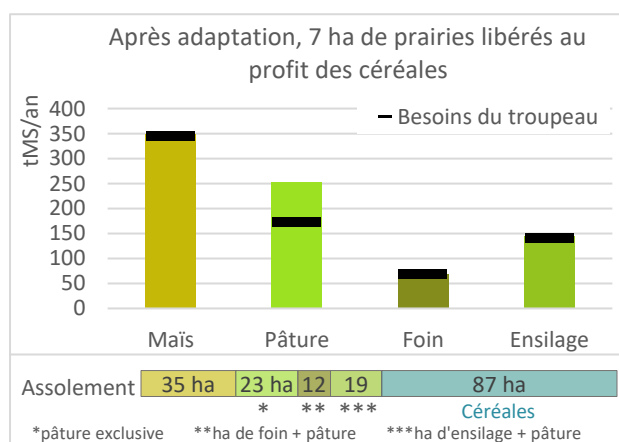
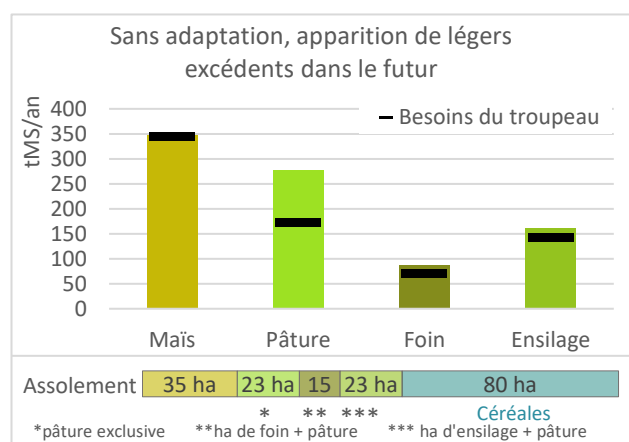
Pousse moyenne d'une prairie à base de graminées selon la période d'étude envisagée.

	1971-2000	2050-2090	Année avec aléas
Date de mise à l'herbe (Date à laquelle on a cumulé 300 °C depuis le 1 ^{er} février)	30 mars	16 mars	11 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	4	0
Températures élevées en fin de printemps (Nombre de jours avec $T_{max} > 28$ °C, entre 1100 °C cumulés et le 5/07)	1	9	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)	- 75	- 211	- 296
Précipitations fin d'été et début automne (mm) (Cumul pluviométrique entre le 21 août et le 1 ^{er} octobre)	48	28	1

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

Les adaptations envisagées

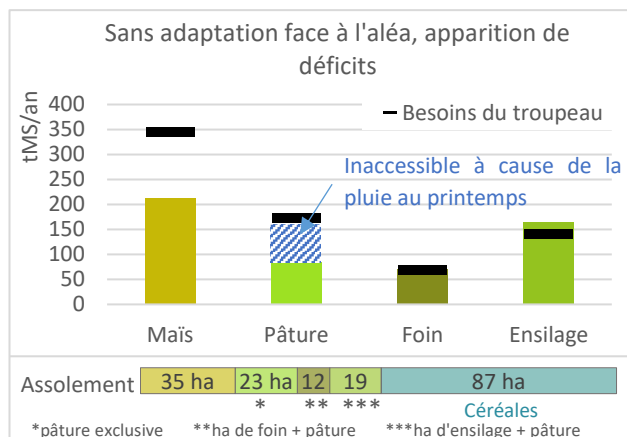
Dans le futur (année moyenne 2050-2090)



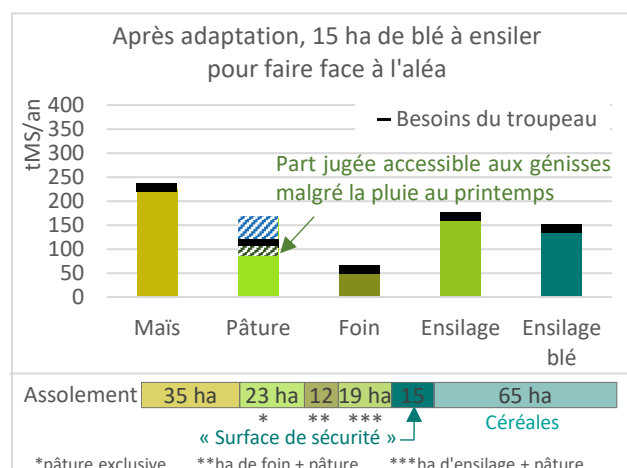
La production des prairies augmente (+ 15 tMS de foin de graminées, + 18 tMS d'ensilage d'herbe) du fait de l'effet CO₂ et des plus fortes températures. Si l'on conserve le fonctionnement décrit précédemment, apparaissent alors des excédents d'herbe, surtout au printemps, la pousse démarrant plus tôt et plus fort que par le passé. Ainsi, 7 ha de prairies peuvent être libérés pour la production de céréales. Comme les rations n'ont pas été modifiées, les contraintes liées au cahier des charges de l'AOP Chaource sont toujours respectées, notamment la durée minimale de pâturage de 5 mois.

Enfin, 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 qui réduit le besoin en pâture et grâce à la sous-valorisation des pâtures que l'on observait en été. Un système plus 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 des années à « printemps pluvieux et été sec » du futur



Sans adaptation, le système devient déficitaire : les conditions météorologiques empêchent de mettre à l'herbe les animaux au printemps lorsque l'herbe pousse en quantité, et en été l'herbe ne pousse plus suffisamment pour couvrir les besoins des génisses au pâturage. De plus, les premières coupes de foin et d'ensilage sont réalisées tardivement et dans de mauvaises conditions, la qualité des fourrages récoltés est donc médiocre et les besoins énergétiques et protéiques des animaux 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 1^{er} juin, souffre du manque d'eau. On observe alors un déficit en ensilage de maïs de 135 tMS, soit un déficit équivalent au tiers des besoins du troupeau.



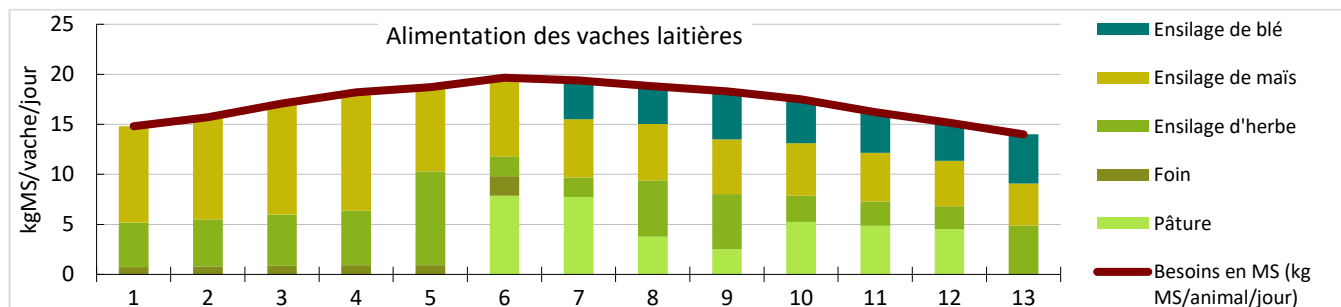
Face à de tels déficits, certains éleveurs proposent de tout de même faire pâturer les génisses au printemps, avec un très faible chargement et en les changeant de parcelle très régulièrement (tous les jours) afin de minimiser les dégâts sur les parcelles. Cependant, cela ajoute une charge de travail conséquente et n'est possible que sur les parcelles les plus portantes, limitées dans la zone.

Les vaches laitières ne pouvant pas pâturer au printemps, la faire pâturer en arrière-saison devient nécessaire pour remplir la condition du cahier des charges de 5 mois de pâturation minimum dans l'année. Du fait de l'allongement de la période de pâturation, le déficit en ensilage de maïs est réduit à 90 tMS.

Pour combler ce déficit, les éleveurs proposent d'ensiler une partie du blé et d'introduire l'ensilage en accompagnement du maïs dans la ration des vaches laitières, en augmentant les concentrés énergétiques.

Les génisses sont rentrées fin juin – lorsque les vaches laitières sont mises à l'herbe – pour laisser le peu de pâturation disponible à celles-ci. Les génisses consomment alors de l'ensilage de blé et du foin.

Enfin, il faut ensiler une quinzaine d'hectares de blé à environ 9-10 tMS/ha pour combler les besoins dus au déficit en herbe. Du fait de la substitution du maïs par le blé, mais aussi du fait de la qualité médiocre des fourrages, et de la part moins importante d'herbe pâturée dans les rations, 4 tonnes de concentrés protéiques et 20 tonnes de concentrés énergétiques supplémentaires sont nécessaires. Le système est toujours autonome en concentrés énergétiques, cependant il devient déficitaire en paille : 100 tMS doivent être achetés.



Matière sèche apportée par les fourrages pour remplir les besoins en matière sèche du lot de vaches laitières du système étudié sur les treize périodes de 4 semaines du Rami Fourrager® après adaptation lors d'une année à aléa du futur.

Des **leviers d'urgence** ont aussi été évoqués ; ils consisteraient en l'achat de fourrages produits sur la zone A.O.P. (dans l'hypothèse de l'accord d'une dérogation concernant l'autonomie en fourrages), et/ou la vente d'animaux, et/ou la diminution des objectifs de production laitière. Concernant l'achat d'aliments sur la zone, les éleveurs redoutent l'arrivée des méthaniseurs qui concurrenceront directement les élevages laitiers, surtout lors de telles années peu propices à la production de biomasse.

Pour prévenir le manque de fourrage lié à ce type d'année ou à d'autres aléas climatiques, les éleveurs ont abordé plusieurs **leviers à moyen terme** :

- Le **stockage**, la région mettant en œuvre des démarches afin de développer les silos et hangars pour « sur-stocker » les « bonnes années » et ainsi prévenir les déficits des « mauvaises années ». Pour les éleveurs, un stock de sécurité représente 6 mois à 1 an d'avance.
- L'**irrigation**, qui pourrait être un atout considérable lors des années sèches. Les éleveurs regrettent le manque de décisions politiques concernant le stock d'eau dans la région.
- Des **leviers zootechniques** : changements de race, évolutions génétiques en lien avec la valorisation du pâturage et la rusticité...
- D'**autres cultures fourragères**, telles que la betterave fourragère qui aurait une production intéressante. Mais les sols de la région, situés en zone humide, rendraient la récolte ou le pâturage de celle-ci difficile en automne (ou au printemps pour d'autres cultures, notamment les dérobées).
- Des **mélanges céréales-protéagineux immatures** (MCPI). Semés fin octobre, ils sont à récolter au stade gonflement (avant même que l'on aperçoive l'épiaison, entre avril et mai selon le mélange et les conditions climatiques) et offrent alors de bonnes valeurs alimentaires (aux alentours de 0,9 UFL et 160 % de MAT selon le mélange choisi). Ils peuvent être suivis d'un sorgho, plus adapté que le maïs à un semis tardif et plus résistant aux périodes de sécheresse de juillet et août.
- L'utilisation de **co-produits** : les éleveurs estiment qu'il serait intéressant de revoir le cahier des charges de l'A.O.P. Chaource afin de rendre possible l'utilisation de co-produits présents sur la zone : drèche de blé, pomme de terre,...

Enfin, certains éleveurs remarquent que les terres actuellement en herbe dans la zone sont les « mauvaises » terres, à savoir les terres inondables ou humides. **Une piste à plus long terme** pourrait être de réinvestir les bonnes terres pour la production d'herbe afin d'augmenter les chances de pouvoir pâturer et faucher lors de printemps humides. Mais cela implique de réduire l'assolement en céréales.

Conclusions

Évolutions tendanciennes

Dans cette zone, l'effet du changement climatique est globalement positif, notamment grâce à l'effet CO₂, à l'augmentation des températures, et 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. La forte proportion de sols hydromorphes dans la surface en herbe pose problème les années à printemps pluvieux, aléa qui serait toujours fréquent dans le futur.

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

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

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

Le choix des espèces et des mélanges est aussi un levier pour augmenter l'autonomie protéique et pour étaler la production dans la saison, en associant des espèces précoces avec d'autres plus tardives.

Les vaches aussi vont souffrir

Les vaches laitières souffriront de plus en plus souvent du stress thermique. Différents leviers (adaptation des bâtiments, génétique, croisements...) devront être mobilisés pour y faire face.

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

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

- diversité climatique avec par exemple 710 mm seulement de précipitations annuelles pour certaines zones (plateau Calaisien, Boischaut), et 1 500 mm pour les plateaux du Jura
- diversité des structures d'exploitations laitières, illustrée par une taille moyenne de SAU (au RGA de 2010) de 50 ha (Monts du Lyonnais) à 271 (Plateau de Langres), ou un quota moyen (le dernier connu) allant de 90 000 litres (Beaufortin) à 453 000 (Chaurouze)
- 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.

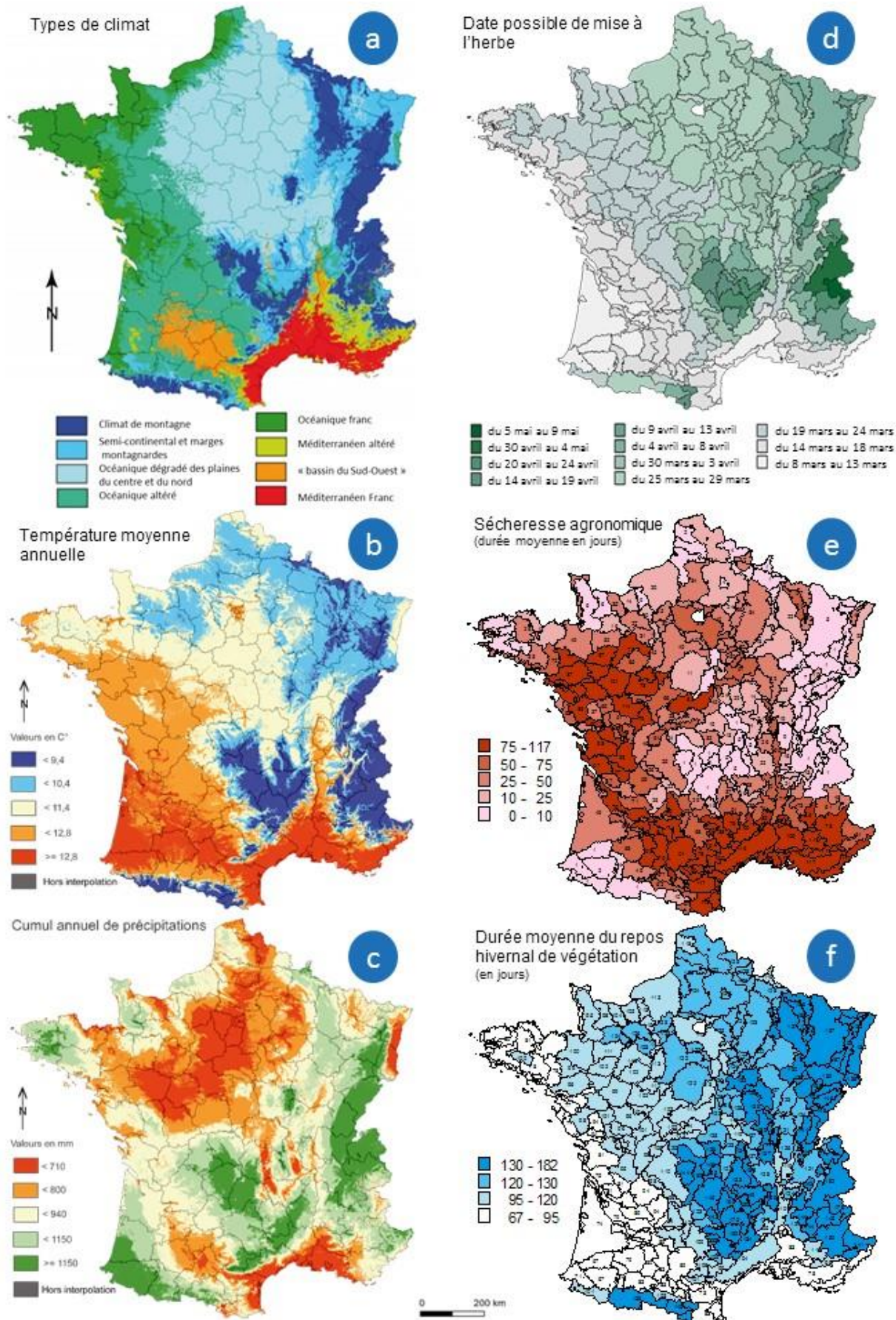
Un outil très apprécié des éleveurs est utilisé, le Rami Fourrager®. Il s'agit d'un jeu de plateau qui permet de modéliser un système fourrager et de le confronter à diverses contraintes. Les joueurs (éleveurs, conseillers...) peuvent alors reconfigurer le système pour l'adapter à ces contraintes. L'outil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



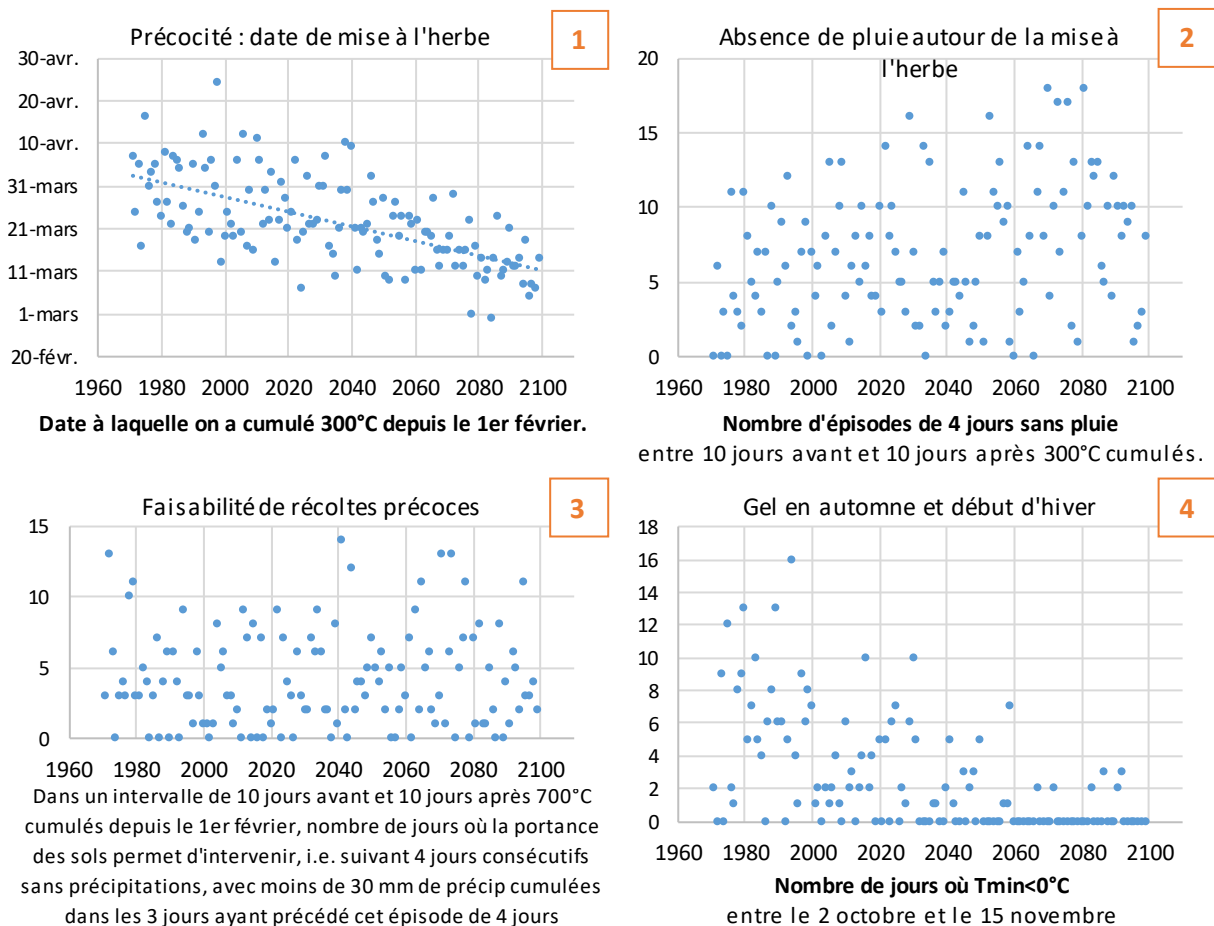
Sources et méthodes a, b, c : INRA, CNRS, Université de Bourgogne ; d, e, f : données Météo France, SSP, INRA calculées pour ISOP, traitement Institut de l'Élevage pour 228 régions fourragères. d. La date possible de mise à l'herbe est estimée par la date d'atteinte d'un seuil de 300°C cumulés depuis le 1^{er} février. e. La sécheresse agricole 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.

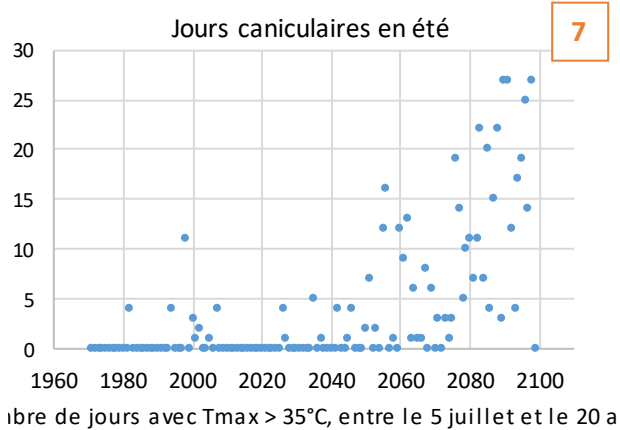
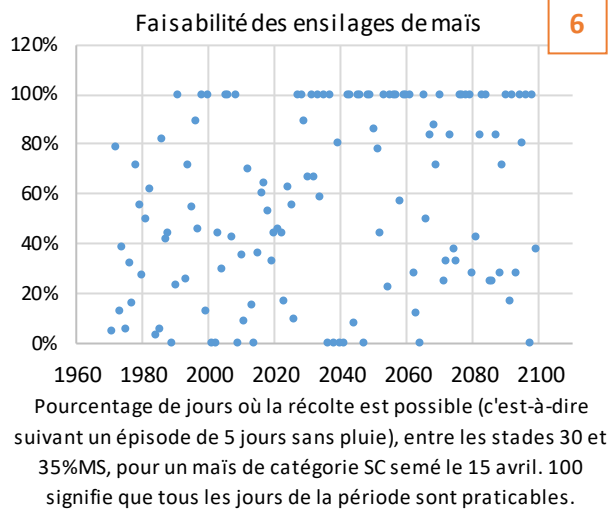
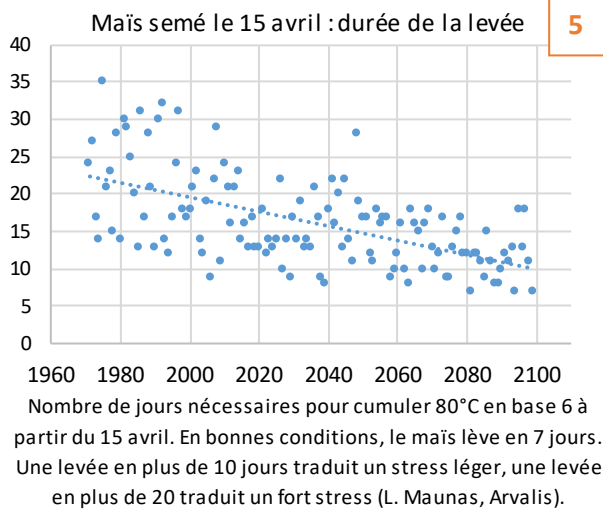
Annexe 3 : Évolution climatique et conséquences pour la mise en place et l'accès aux ressources fourragères (à partir du modèle de climat ALADIN)

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 souvent 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).





Rédaction : Jean-Christophe Moreau (*Idele*) Aurélie Madrid (*Idele*) et Marie Lecarme (*Idele*).

Avec la participation de : Magali Bergot (*Météo-France*), Thierry Brun (*Idele*), Ophélie Collard (*Alysé*), Françoise Ruget (*INRA*), Franck Souverain (*Météo-France*), Emilie Verguet (*Fromagerie Lincet*).

Crédits photos : Jean-Renaud Tourneur

Version : Avril 2019

Remerciements aux éleveurs qui ont participé aux groupes de travail.

Les informations contenues dans cette publication ont été obtenues dans le cadre d'un Projet de recherche initié par le CNIEL, mené conjointement avec Alysé, ARVALIS, le BTPL, les Chambres d'agriculture, l'INRA, l'Institut de l'Élevage, la fromagerie Lincet 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

