



CLIMALAIT

POUR L'ADAPTATION DES ÉLEVAGES LAITIERS AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

L'élevage bovin laitier est confronté au changement climatique :

- Comment le climat va-t-il 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 :

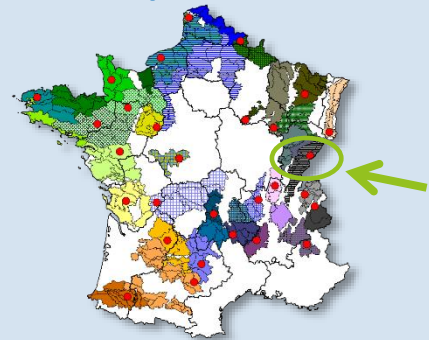
- ✓ Un zonage de la France en une trentaine d'Unités Laitières Agroclimatiques représentatives de la diversité des contextes de production du lait en France (voir ci-contre),
- ✓ Des données sur l'évolution du climat à l'échelle de chacune de ces zones,
- ✓ Les impacts du changement climatique, sur des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

DES RÉSULTATS

pour la zone des seconds plateaux du Jura



Carte présentant les 30 unités laitières agroclimatiques

Au sommaire :

La Région Agricole des seconds plateaux du Jura.....	2
Climat de la zone des seconds plateaux du Jura	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	8
Conclusions	10
Annexes	11

Glossaire

AOP : Appellation d'Origine Protégée
ETP : Évapotranspiration
GES : Gaz à Effet de Serre
RA : Région Agricole
RGA : Recensement Général Agricole
SAU : Surface Agricole Utile / SFP : Surface Fourragère Principale
THI : Temperature Humidity Index
UGB : Unité Gros Bétail
UTA : Unité de Travail Annuel
VA : Vache Allaitante / VL : Vache Laitière

La Région Agricole des seconds plateaux du Jura

Une zone herbagère spécialisée, portée par des signes de qualité

La zone des hauts plateaux du Jura, dans le département du Doubs, s'étend le long de la frontière suisse. L'élevage laitier est l'orientation majeure des exploitations de la région, porté par des productions AOP.

Comme partout en France, la SAU moyenne par exploitation de la zone augmente, mais à un rythme moins soutenu (+ 2 % par an entre 2000 et 2010, contre 4 % en moyenne dans les zones laitières). Les troupeaux se sont eux aussi agrandis (de 35 vaches laitières/exploitation en 2000 à 40 en 2010). Au contraire, la main d'œuvre a légèrement diminué (de l'ordre de - 5 % sur 10 ans). Le quota moyen pour la campagne 2014-2015 atteignait 228 000 litres, soit 5 800 litres par vache (au-dessus de la moyenne des zones de montagne de notre échantillon).

Les productions AOP soutiennent et orientent la production laitière. Leurs cahiers des charges imposent une alimentation à base d'herbe, sans fourrage fermenté, ce qui se répercute sur les surfaces agricoles : presque toute la SAU est consacrée aux cultures fourragères, avec une part importante de prairies permanentes.

Le chargement apparent est resté relativement stable entre 2000 et 2010, autour de 0,9 UGB/ha de SFP.

	UTA	SAU (ha)	Grandes cultures (ha)	SFP (ha)	Dont maïs fourrage (ha)	Nb total d'UGB	Nb de VL
En 2010	1,9	77,4	5,2	76,9	2,8	68,6	39,9
Évolution entre 2000 et 2010 (% de 2000)	-5%	21%	11%	21%	31%	17%	15%

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

La petite région agricole des seconds plateaux du Jura fait partie d'une région dans laquelle l'élevage laitier est la principale activité agricole, portée par des AOP dynamiques qui orientent les usages des sols. Ainsi, une grande partie des surfaces agricoles sont des prairies. La région n'échappe pas à l'agrandissement des exploitations : surfaces comme cheptels ont augmenté entre 2000 et 2010.

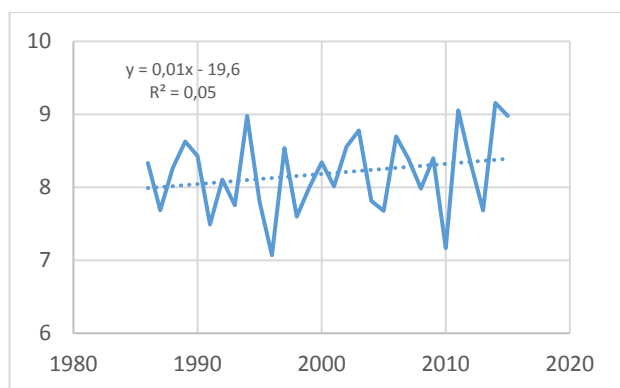
Climat de la zone des seconds plateaux du Jura

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

La zone des seconds plateaux du Jura fait partie des zones de montagne, caractérisées par des températures froides (carte b) et des précipitations élevées (carte c). Par conséquent, et comme dans toutes les zones de montagne, la durée du repos hivernal de végétation (carte f) est parmi les plus élevées de France, avec une date possible de mise à l'herbe (carte d) parmi les plus tardives. Cependant, il n'y a pas, ou très peu, de sécheresse agronomique en été (carte e).

Évolution récente du climat

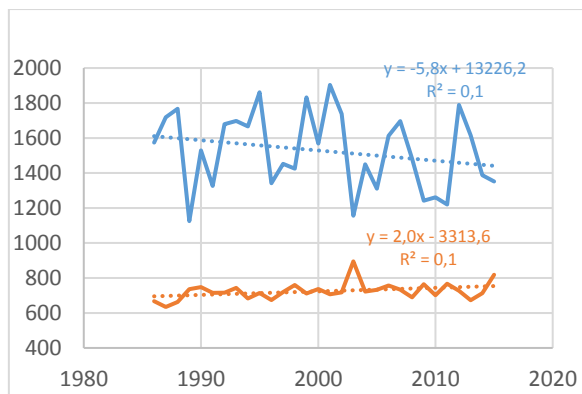
La température moyenne annuelle est en légère augmentation (+ 0,4 °C en 30 ans), de moindre ampleur que dans d'autres zones. Cette augmentation se rencontre surtout au printemps et en automne, très peu l'été et l'hiver.



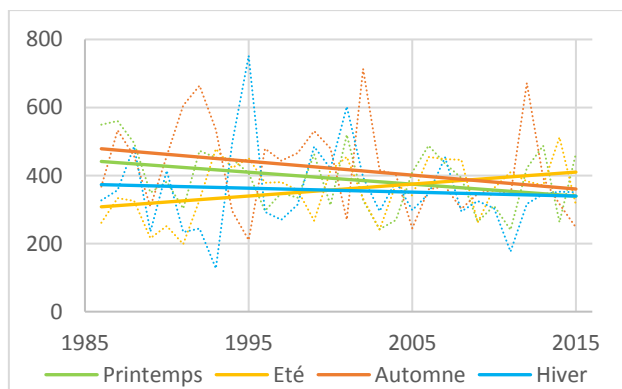
Évolution de la température moyenne annuelle de 1986 à 2015 (Données Météo-France Safran)

Le cumul annuel des précipitations (sous forme de pluie ou de neige), lui, est en baisse, de l'ordre de - 170 mm sur 30 ans, tandis que l'évapotranspiration (eau perdue par évaporation depuis le sol et transpiration par les plantes), est en légère augmentation (+ 60 mm en 30 ans). La variabilité interannuelle est marquée, notamment pour le cumul des précipitations.

Le détail par saison montre également une variabilité importante. La baisse globale des précipitations cache des différences entre saisons : cette diminution se situe surtout au printemps et en automne, tandis que l'hiver reste relativement stable. Au contraire, les précipitations en été sont en augmentation. L'augmentation de l'évapotranspiration, elle, se situe principalement au printemps.



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



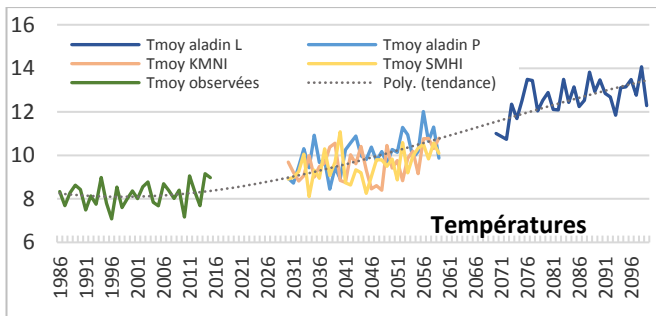
Évolution des précipitations (mm), cumulées par saison (Données Météo-France Safran)

Évolutions futures du climat

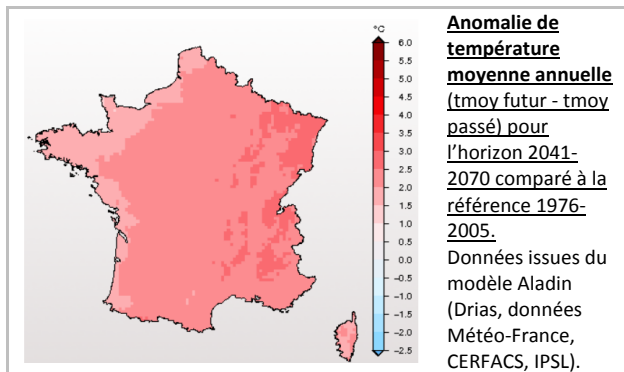
Le futur climatique peut être estimé soit en prolongeant les tendances constatées, soit **par simulation**. Ce sont les grands laboratoires de recherche climatique du monde qui mettent au point les simulateurs de climat. Avec le soutien de Météo-France, nous avons mobilisé 3 d'entre eux : un français (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 (« 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 de l'ordre d'1,5 à 2 °C dans le futur proche, et jusqu'à 4 °C à la fin du siècle.



De façon générale, les différents modèles prédisent un réchauffement de plus grande ampleur dans la moitié Est de la France, comme le montre la carte ci-dessous.



L'analyse des données simulées montre que l'hiver se réchaufferait moins (+ 3 °C en fin de siècle) que l'été (+ 5 °C). Les températures moyennes sont exprimées à partir des minimales et des maximales, l'analyse montre que les maximales progresseraient plus vite que les minimales. Ainsi, quand on évoque une température

Date moyenne d'atteinte d'une somme de températures de 300 °C en base 1^{er} février, avec les données observées (1986-2015) et dans les différentes séries simulées.

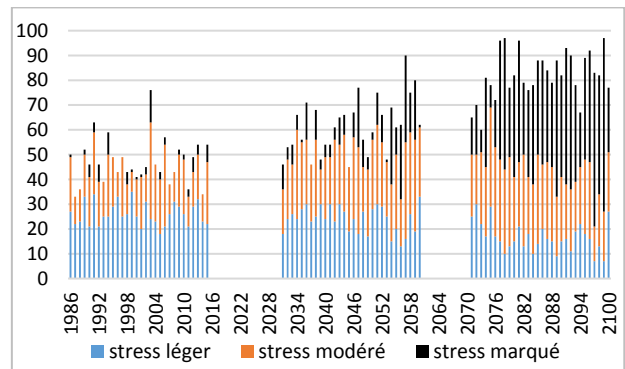
	Obs 30 ans	1986-2000	2001-2015	Aladin 2030-2059	KMNI 2030-2059	SMHI 2030-2059	Aladin 2070-2099
1 année sur 2 entre le... et le ...	8/4 24/4	14/4 24/4	7/4 24/4	3/4 18/4	1/4 22/4	22/3 12/4	23/3 5/4
Médiane	20/4	22/4	20/4	11/4	13/4	2/4	29/3

moyenne en hausse de 4 °C à l'échelle de l'année en fin de siècle, cela peut signifier jusqu'à + 6 à 7 °C pour les maximales en été, et seulement + 3 °C pour les minimales en hiver. Il continuera à geler, mais moins, et on verra apparaître des journées caniculaires qui se multiplieront vers la fin du siècle (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



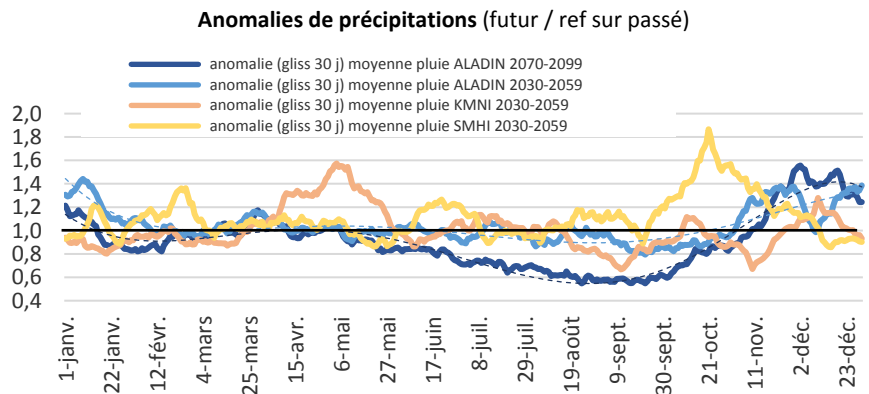
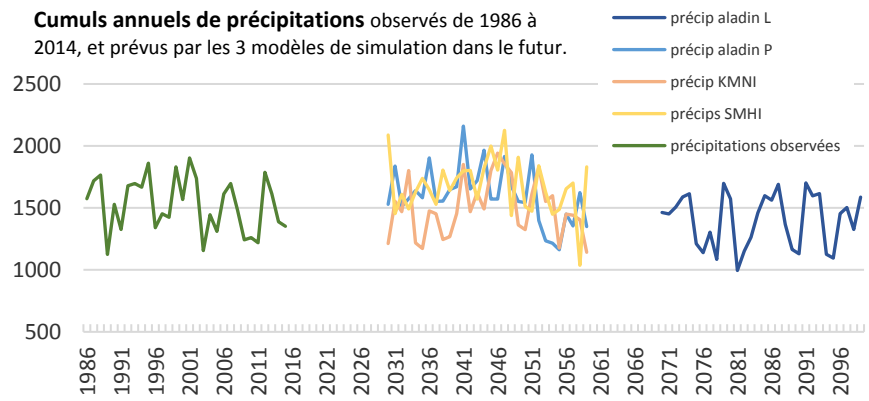
L'augmentation des températures n'aura pas que des effets négatifs : l'une de ses conséquences peut être la possibilité de mettre à l'herbe plus tôt. Ainsi, si la date à laquelle on atteint une somme de températures de 300 °C se situe actuellement aux alentours du 20 avril (une année sur deux entre le 8 et le 24 avril), elle pourrait passer aux alentours de la fin mars dans le futur proche, et du 3 mars dans le futur lointain.

Évolution des précipitations

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

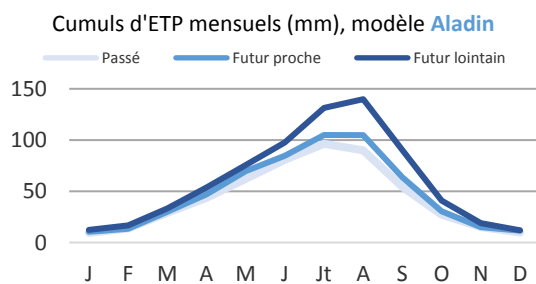
Il faut analyser les simulations plus en détail au travers du second graphique qui représente le rapport entre ce qui est simulé sur le futur et ce qui a été simulé par chaque modèle sur le passé. Ce rapport a été calculé chaque jour pour capter d'éventuelles différences saisonnières dans l'évolution des précipitations. Les données ont été moyennées chaque jour par périodes de 30 ans (2030-2059 ou 2070-2099), la base de comparaison étant 1986-2015. Quand ce rapport est supérieur à 1, c'est qu'il est prévu qu'il pleuve plus, et inversement s'il est inférieur à 1.

Ainsi, dans le futur proche, le modèle **KMNI** prévoit globalement plus de précipitations au printemps, pour le modèle **SMHI** ce serait plutôt en automne, et pour le modèle **Aladin** en hiver... Les trois modèles prévoient moins de précipitations en juillet, et même en août et septembre pour **Aladin** et **KMNI**. On peut donc s'attendre à des sécheresses météorologiques estivales, voire printanières, plus fréquentes. Le tableau ci-contre indique la fréquence possible de tels aléas climatiques, dans le passé et pour le futur, selon le modèle climatique.



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

	Obs 30 ans	1986-2000	2001-2015	Aladin 2030-2059	KMNI 2030-2059	SMHI 2030-2059	Aladin 2070-2099
au moins 15 jours sans pluie entre le 15/05 et le 01/07	3/10	3/10	3/10	-3%	-3%	+3%	+17%
au moins 20 jours sans pluie entre le 01/07 et le 15/08	3/10	3/10	3/10	+10%	-7%	+7%	+30%



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. Actuellement, dans la région, l'évapotranspiration est presque toujours compensée par les précipitations et la réserve d'eau du sol. À l'avenir, l'augmentation plus précoce et plus prononcée de l'ETP, combinée aux variations de la pluviométrie, pourrait créer une situation de sécheresse agronomique estivale, ce qui n'existe pas ou très peu à l'heure actuelle dans la zone, mais se rencontre déjà fréquemment dans d'autres régions.

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.

Comme toutes les zones de montagne, les hauts plateaux du Jura se caractérisent par des températures froides et des précipitations élevées. Les températures, déjà en légère augmentation sur les dernières décennies, tendent à augmenter, notamment en été.

L'évolution des précipitations est moins marquée, elles restent variables d'une année sur l'autre. On note cependant, à la fin du siècle, une diminution des précipitations en été, ainsi qu'une augmentation de l'évapotranspiration. Ces deux phénomènes contribuent à faire apparaître des situations de sécheresse en été plus fréquentes.

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 (luzerne), 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 superficiel	10 cm	22 %	15 mm
Sol moyen	30 cm	16 %	40 mm
Sol profond	70 cm	22 %	85 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) et pâturage, sur trois types de sol. Les courbes de croissance présentées ci-contre ne concernent que les itinéraires de type pâturage.

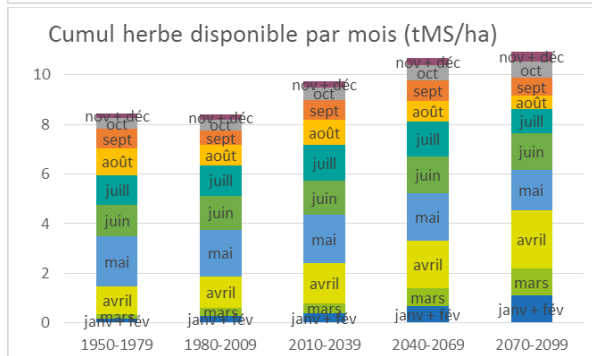
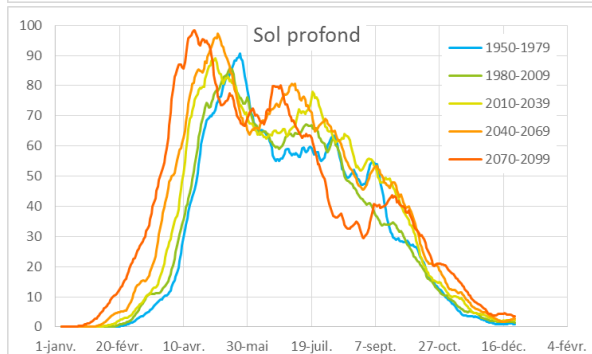
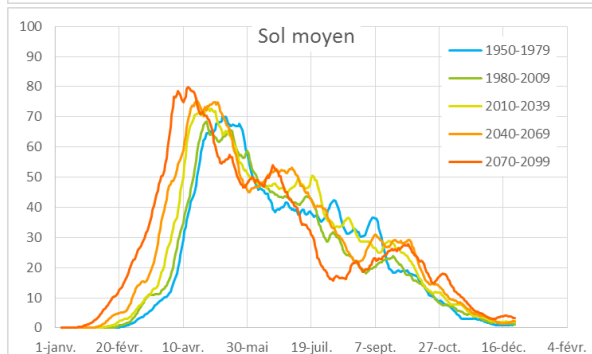
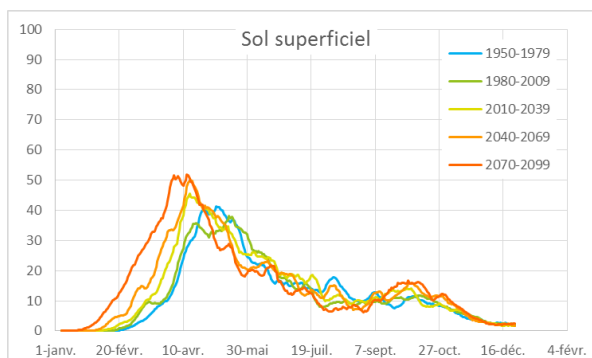
Conséquence de l'augmentation des températures au début du printemps, les simulations STICS mettent en évidence un démarrage en végétation des prairies plus précoce. Cela confirme le fait qu'une mise à l'herbe plus précoce pourrait être envisagée, sous réserve de bonnes conditions climatiques. Le calcul d'autres indicateurs, construits à partir de la pluviométrie autour de la mise à l'herbe (présentés en annexe 3), montre une légère amélioration des conditions climatiques autour de cette date, qui permettrait de tirer profit de cette herbe de début de printemps.

Dès la fin du printemps et tout l'été, les simulations montrent une croissance de l'herbe ralentie, et ce d'autant plus tôt qu'on va vers le futur lointain. Au contraire, les conditions automnales permettraient une reprise de la croissance de l'herbe à l'automne et au début de l'hiver. 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, et cette augmentation concernerait essentiellement le printemps, notamment du fait du démarrage plus précoce.

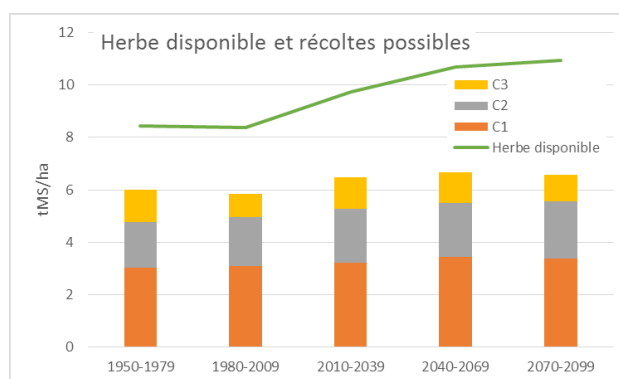
En résumé, l'herbe pousserait de plus en plus tôt au printemps et de plus en plus tard à l'automne, mais un ralentissement d'été apparaîtrait dans le futur proche et s'accroîtrait dans le futur lointain. Ces résultats sont conformes à ce qui a été vu dans des études antérieures sur le changement climatique (ACTA-CC, Climator).

Ci-contre : pousse d'une prairie à base de graminées, en kg de MS/ha/jour, selon la période de 30 ans simulée, en itinéraire « pâturage », et cumul d'herbe disponible (dans le cas du sol moyen).



Si le cumul annuel d'herbe disponible augmente, la répartition de la production ne permet pas forcément de récolter des quantités plus importantes de foin. Le pâturage prend alors toute sa place pour profiter de cette herbe supplémentaire.

Ci-contre : rendements moyens des récoltes de foin et cumul d'herbe disponible, pour un sol moyen et une prairie à bas niveau de fertilisation azotée.



Luzerne

Les simulations ont été réalisées sur les mêmes sols que précédemment, pour des itinéraires techniques à 3 et 4 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 3 ou 4 coupes visées ne sont pas systématiquement réalisées par le modèle. 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.

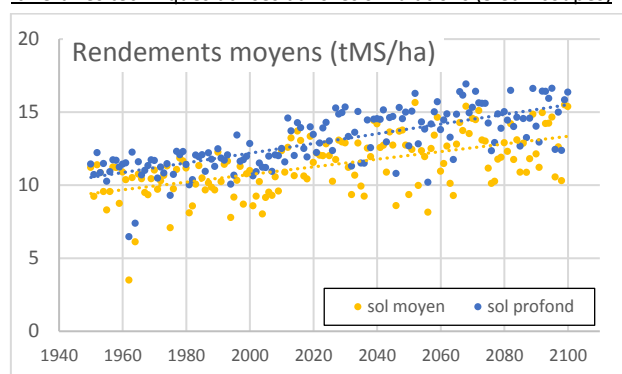
Quel que soit le nombre de coupes visées ou réalisées, les rendements seraient à la hausse. D'autre part, si l'ensemble des rendements moyens augmente, la variabilité interannuelle est toujours aussi marquée, notamment sur un sol de profondeur moyenne.

Ce gain de rendement cumulé est à relier d'une part 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 une semaine 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.

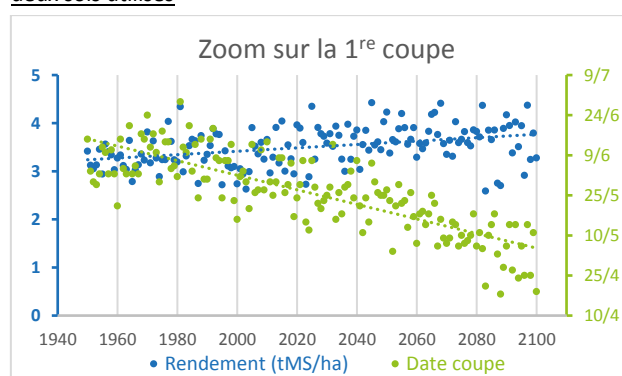
D'autre part, l'augmentation des températures estivales permettrait d'accélérer la croissance des plantes (contrairement aux prairies de graminées, la luzerne est peu affectée par les températures élevées, tant que suffisamment d'eau est disponible) et ainsi bien souvent de faire une coupe supplémentaire. Une quatrième coupe, qui n'était jamais réalisée avant 1980, est possible 3 années sur 10 entre 1980 et 2009, et le serait 6 années sur 10 entre 2010 et 2039, et quasiment tous les ans après 2040. Dans cette seconde moitié du siècle, la disponibilité de l'eau en été semble devenir le facteur limitant : la quatrième coupe serait toujours possible sur un sol avec d'importantes réserves en eau, mais seulement 8 à 9 années sur 10 sur un sol de plus faible profondeur. Cependant, les simulations ne prennent pas en compte les conditions pratiques au moment de récolter. Ainsi, es

années, les coupes d'automne pourraient être théoriquement faisables (suffisamment de biomasse produite) mais techniquement impossibles du fait de mauvaises conditions de pluviométrie.

Moyenne des rendements cumulés obtenus pour chacun des deux itinéraires techniques utilisés dans les simulations (3 et 4 coupes)



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



Les simulations réalisées mettent en évidence une augmentation de la productivité des prairies, accompagnée d'une évolution de la répartition de l'herbe disponible au cours de l'année. La production d'herbe de début de printemps tend à augmenter, tandis que la croissance est ralentie en été.

La luzerne semble être une ressource fourragère d'avenir pour la région, avec des rendements cumulés en constante hausse et des possibilités de coupes plus fréquentes donc plus nombreuses.

Conséquences à l'échelle des systèmes et adaptations possibles

Le système traité

Le groupe, constitué d'éleveurs des CETA et CETAF de Pontarlier, de leur animatrice et de conseillers des réseaux d'élevage Franche-Comté, s'est appuyé sur un cas précis pour constituer le système à étudier.

Il s'agit d'une ferme disposant de 105 ha de prairies, dont 40 ha sur sol superficiel utilisés pour le pâturage, et 65 ha destinés aux récoltes de foin. Le troupeau est constitué de 54 vaches montbéliardes à 6 000 kg de lait produits, avec un taux de renouvellement de 30 % et des vêlages étalés à 36 mois. La ration des vaches laitières est constituée exclusivement de foin en hiver, et d'herbe pâturée et de foin en été. Les génisses, elles, sont nourries de foin en hiver et d'herbe pâturée en été.

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, grâce au Rami Fourrager®, il a été adapté au climat moyen de la période 2020-2049. Ce système déjà adapté aux conditions climatiques du futur a ensuite été confronté à un type d'année particulier, construit avec une partie du groupe d'éleveurs pour combiner plusieurs aléas climatiques susceptibles de poser problème. Cette année « atypique » se caractérise par :

- de mauvaises conditions de printemps (pluviométrie importante) qui limitent l'utilisation précoce du pâturage et le déprimage des parcelles destinées aux foins et rendent la réalisation des premières coupes difficile, pour un fourrage récolté de mauvaise qualité ;
- un manque d'eau en été, avec un bilan hydrique déficitaire.

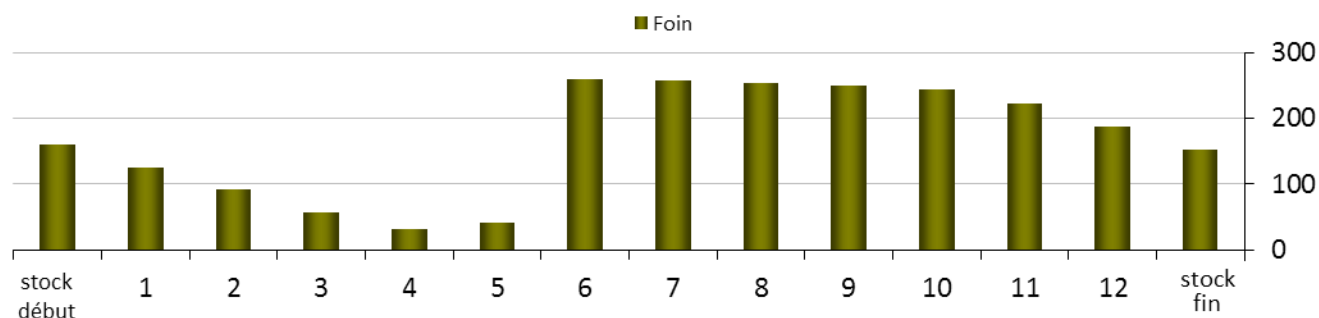
Ce type d'année devrait apparaître dans le futur proche. D'après les participants, il se rencontre déjà dans une moindre ampleur.

	1971-2000	2020-2049	Année avec aléas
Date de mise à l'herbe (Date à laquelle on a cumulé 300 °C depuis le 1er février)	19 avril	9 avril	7 avril
Précipitations saturantes autour de la mise à l'herbe (Nombre de jours où la somme des précipitations sur les 5 jours précédents est > 40 mm, entre 10 jours avant et 10 jours après la mise à l'herbe)	1	1	5
Faisabilité de récoltes précoces (Nombre de jours où la portance des sols est correcte, autour de 700 °C cumulés depuis le 1er février.)	2	1	0
Bilan hydrique en été (Cumul Précipitations-ETP entre le 5 juillet et le 20 août)	41	- 4	- 111
Précipitations fin d'été et début automne (mm) (Cumul des précipitations entre le 21 août et le 1er octobre)	47	45	36

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

Les adaptations envisagées

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. Les cahiers des charges des AOP imposant une alimentation sans fourrages fermentés, les stocks sont exclusivement constitués de foin. Leur dynamique est la suivante :



Le chargement corrigé (celui qui rend compte de la productivité réelle de la SFP) est de l'ordre de 0,92 UGB/ha SFP. Le système nécessite par ailleurs 86 tonnes de concentré (60 tonnes de concentré énergétique et 26 tonnes de concentré protéique, soit 231 g/L), et 115 tMS de paille.

Dans le futur (année moyenne 2020-2049)

Sans adaptation, le système génère 90 tMS de foin supplémentaire, avec un surplus d'herbe disponible à l'automne pour le pâturage. Le chargement augmente pour atteindre 1,12 UGB/ha SFP (+ 21 %).

La première piste évoquée est celle de **constituer des stocks**, afin de pouvoir faire face à une mauvaise année climatique, ou à des dégâts causés par le campagnol terrestre, ravageur qui cause d'importants dégâts dans les prairies de la région et qui est une des principales préoccupations des éleveurs. La possibilité de **cultiver des céréales** a été envisagée, pour gagner en autonomie (au niveau des concentrés et de la paille) et lutter contre le campagnol. Cependant, les grandes cultures sont très peu présentes dans la zone, leur introduction dans les systèmes de culture mobiliserait des compétences techniques que les éleveurs n'ont pas forcément. Toujours pour gagner en autonomie, une autre option pourrait être de **désintensifier** : élever plus de vaches moins productives pour réduire les intrants, avec ou sans recentrage des vêlages sur la fin de l'hiver. Cependant, il faut de la place dans le bâtiment pour loger les animaux supplémentaires, et un recentrage des vêlages implique une pointe de travail. Enfin, le surplus d'herbe à l'automne pourrait être utilisé pour **engraisser les vaches de réforme**, ou **diversifier avec un petit lot de génisses à l'herbe**, voire même d'animaux croisés avec une race à viande, qu'on peut toujours vendre à 15 jours lorsqu'on n'a pas les stocks nécessaires pour les élever. L'idée d'**élever toutes les génisses** et de vendre des amouillantes, afin d'augmenter la pression de sélection, ne convainc pas vraiment le groupe : les coûts de production (bâtiment, alimentation) seraient élevés, pour un marché imprévisible. La culture du maïs pour affourager en vert (pratique autorisée par le cahier des charges, contrairement à l'ensilage), envisagée par les conseillers de la zone, est rejetée en bloc par les éleveurs : ils n'y voient pas d'avantage convaincant par rapport au foin. La **luzerne** pourrait être introduite dans les systèmes, mais cette culture est (pour l'instant) peu développée et peu maîtrisée dans la région.

Finalement, l'option testée dans le Rami Fourrager combine deux de ces leviers : 10 ha de triticales sont cultivés à la place d'une partie des prairies de fauche. Une dizaine d'animaux est engraisnée à l'herbe, de la mi-août à début novembre. Les stocks de fourrages retrouvent alors un équilibre. Le chargement augmente de 16 % par rapport à la situation initiale dans le climat passé. La production de céréales couvre les deux tiers des besoins en concentré énergétique et le tiers des besoins en paille.

Dans le cas de l'année « avec aléas climatiques »

La mise à l'herbe est retardée, car bien que l'herbe pousse, les parcelles ne sont pas praticables. Il y a donc un surplus d'herbe disponible au printemps, mais elle n'est pas accessible. Pour les mêmes raisons, les fauches précoces ne sont pas possibles. Par conséquent, les besoins en foin augmentent, et les stocks ne permettent pas de les couvrir : il manque une douzaine de tonnes au printemps, et la production de l'année ne permet pas de reconstituer les stocks (en fin d'année, il manque une cinquantaine de tonnes pour retrouver le niveau de début d'année). Le chargement corrigé diminue d'environ 16 % par rapport au système adapté dans le climat moyen du futur. Là encore, plusieurs leviers sont envisagés :

- anticiper les réformes, sans engraissement préalable,
- réduire les besoins alimentaires, et donc la production laitière,
- diminuer les effectifs de génisses.

Le choix entre ces différents leviers dépend de la situation : lorsqu'il y a des investissements à rembourser, la troisième solution sera privilégiée pour maintenir la production de lait. Dans cette zone, grâce aux AOP, le lait est suffisamment bien payé pour qu'il soit possible, dans certains cas, de réduire la production.

Le levier le plus sûr, qui est privilégié par le groupe, reste de stocker plus de foin que nécessaire les bonnes années. Et lorsqu'il faut reconstituer les stocks suite à une mauvaise année climatique, comme celle testée ici, il est toujours possible de réformer les vaches sans les engraisser.

Conclusions

Évolutions tendanciennes

L'effet du changement climatique (évolutions des températures, des précipitations et du taux de CO₂ dans l'atmosphère) sur les rendements moyens des cultures fourragères est globalement positif. La répartition de l'herbe disponible dans l'année va évoluer, nécessitant des modifications de pratiques. Les simulations réalisées ici ne prenaient pas en compte l'évolution prévisible de la génétique des variétés des espèces fourragères pour les prairies temporaires. Par ailleurs, il est possible que les évolutions du climat puissent favoriser certaines espèces plutôt que d'autres dans les prairies permanentes, et modifier ainsi leur composition.

Les aléas climatiques

La combinaison d'aléas testée rappelle des déroulements climatiques déjà rencontrés dans les années passées. C'est l'intensité et/ou la fréquence des aléas qui risque d'être modifiée à l'avenir. Le principal levier pour y faire face reste la gestion des stocks, et la nécessité de travailler avec un important stock de sécurité. Ce point mériterait d'être étudié plus en profondeur pour déterminer les quantités à stocker pour faire face à différents niveaux de risque, les conséquences de la reconstitution du stock sur l'utilisation des surfaces et notamment le pâturage, ainsi que sur la gestion d'une succession de plusieurs « mauvaises » années.

Spécificité de la zone, liée à la présence d'AOP rémunératrices, la diminution de la production de lait lorsque les ressources fourragères diminuent est aussi un levier envisageable.

L'aléa campagnol

Dans le Jura comme dans d'autres massifs de montagnes avec une importante part de prairies permanentes, le campagnol terrestre est un problème récurrent. S'assurer un important stock de sécurité permettrait aussi de faire face aux dégâts causés par ce ravageur. La mise en place d'une sole en céréales (envisagée par les éleveurs) est le pilier de la lutte raisonnée contre ce ravageur (d'après la FREDON).

Valoriser l'herbe

L'herbe est déjà la principale ressource des exploitations de la zone, et sa gestion est bien maîtrisée. Les évolutions de la courbe de production des prairies vont nécessiter des adaptations de leur conduite, voire des changements de pratiques au niveau de la conduite du troupeau, pour valoriser au mieux l'herbe. Certains animaux (vaches de réforme, veaux) pourront servir de « variable d'ajustement » pour utiliser l'herbe en cas de surplus.

De nouvelles pratiques à accompagner

L'introduction de la luzerne dans les systèmes pourrait être un véritable atout. Elle présente des rendements à la hausse, et permet d'augmenter l'autonomie protéique des systèmes, et a un effet fertilisant sur les sols. Cependant la luzerne seule est peu répandue dans la région, et demanderait un accompagnement technique. Il reste possible de l'associer à d'autres espèces dans des prairies temporaires multi-espèces.

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

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

- diversité climatique avec par exemple 710 mm seulement de précipitations annuelles pour certaines zones (plateau Calaisien, Boischaut), et 1 500 mm pour les plateaux du Jura
- diversité des structures d'exploitations laitières, illustrée par une taille moyenne de SAU (au RGA de 2010) de 50 ha (Monts du Lyonnais) à 271 (Plateau de Langres), ou un quota moyen (le dernier connu) allant de 90 000 litres (Beaufortin) à 453 000 (Chaource)
- diversité des modes de production : pratiquement que des prairies dans la zone des AOP savoyardes, et jusqu'à 65 % de maïs ou de sorgho dans la SFP des exploitations laitières béarnaises.

Une trentaine d'unités laitières agro-climatiques ont ainsi été définies.

2/ Décrire les évolutions du climat, dans chacune des unités laitières agroclimatiques au travers d'indicateurs météorologiques et agroclimatiques (température, pluie, bilan hydrique...).

Le futur climatique s'approche soit en prolongeant les tendances constatées, soit par simulation. Ce sont les grands laboratoires de recherche climatique du monde qui mettent au point les simulateurs de climat.

Avec le soutien de Météo-France, 3 d'entre eux ont été mobilisés : un français (le CNRM) – qui correspond aux données **Aladin** –, un Suédois (données **SMHI**), et un Néerlandais (**KMNI**). Nous présentons des calculs faits sur les périodes 1986-2015 (sert de base de comparaison), 2030-2059 (futur proche = P), et 2070-2099 (futur lointain = L) pour **Aladin** seulement.

Tous les modèles n'indiquent pas exactement la même chose, mais tous vont dans le même sens et prédisent un réchauffement dans le cadre du RCP 8.5, un scénario dans le cadre duquel les concentrations en gaz à effet de serre feraient plus que doubler d'ici la fin du siècle. Ces données simulées sont comparées à des données issues d'observations (désignées par « **obs** ») : il s'agit des données du modèle **SAFRAN**.

3/ Évaluer les impacts concrets du changement climatique sur les cultures fourragères et les systèmes d'élevage de chaque unité laitière agroclimatique.

C'est le cœur du programme. Grâce aux simulations STICS (Simulateur multIdisciplinaire pour les Cultures Standard), l'évolution prévue des rendements de cultures fourragères est analysée. STICS simule le fonctionnement d'un système comprenant le couvert végétal et le sol (la partie de sol colonisée par les racines). L'atmosphère au voisinage du système est représentée par un ensemble de variables climatiques.

Le paramétrage du modèle est adapté à chaque zone : les données climatiques sont issues du modèle **Aladin** pour un point choisi dans la zone étudiée, les itinéraires techniques sont définis et validés avec les conseillers du secteur, et les sols sont issus d'une base nationale. Ainsi sont évalués les impacts concrets du changement climatique sur les cultures fourragères principales (maïs, prairie, luzerne).

4/ Proposer des stratégies d'adaptation pour les systèmes d'élevages laitiers.

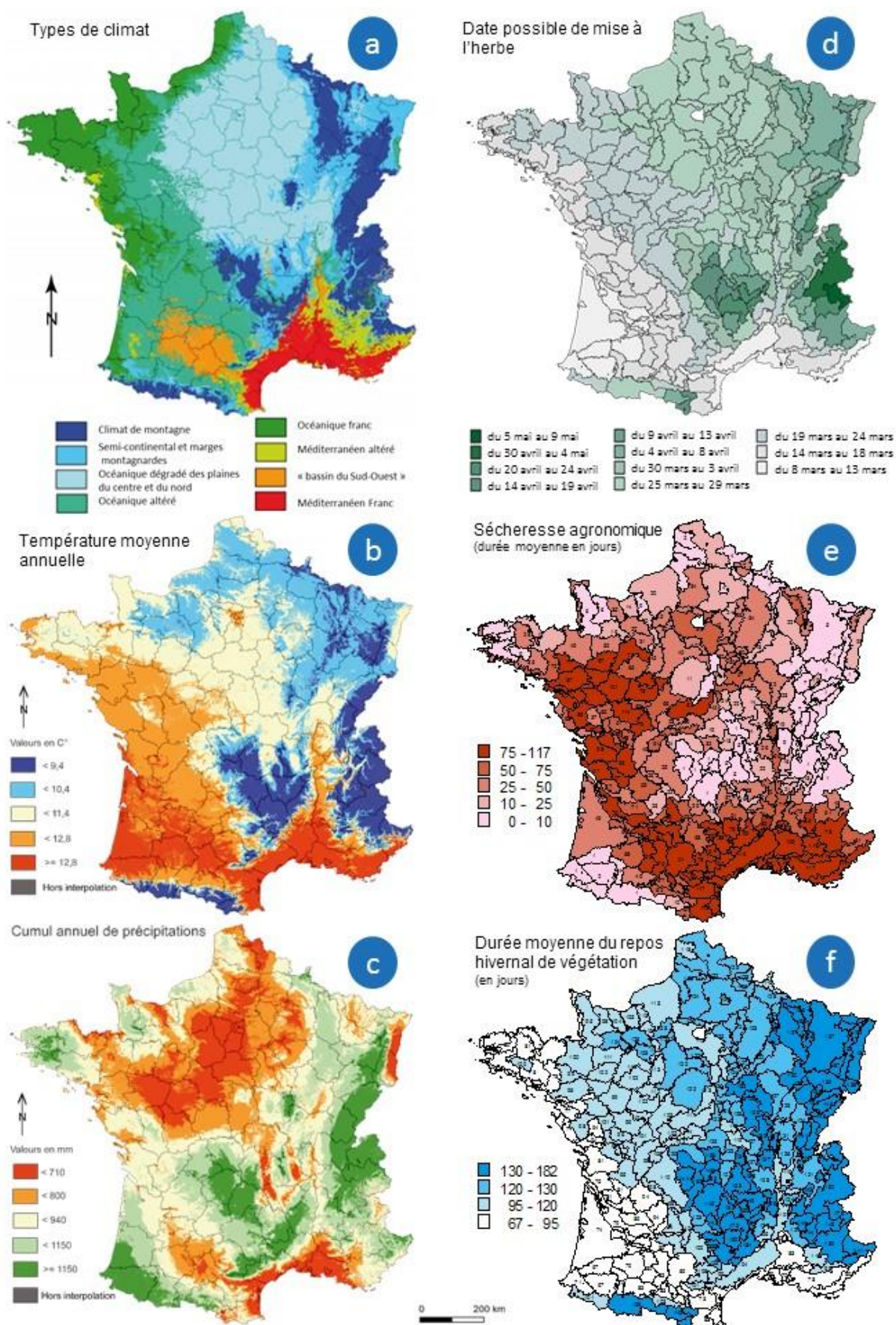
Un outil très apprécié des éleveurs est utilisé, le Rami Fourrager®. Il s'agit d'un jeu de plateau qui permet de modéliser un système fourrager et de le confronter à diverses contraintes. Les joueurs (éleveurs, conseillers...) peuvent alors reconfigurer le système pour l'adapter à ces contraintes. L'outil est donc un support de discussion pour le groupe, qui peut alors envisager des leviers d'adaptation et en visualiser les conséquences.

Pour les systèmes d'exploitation de chaque unité laitière agroclimatique, les besoins du troupeau laitier et les apports des cultures fourragères sont définis. Les équilibres sont analysés au travers de différents indicateurs.

Ce travail permet également de confronter les hypothèses émises par les experts de Climalait aux réflexions des éleveurs et des conseillers.

Les résultats de l'étude se présentent sous forme de fiches de synthèse.

Annexe 2 : Climats de France et conséquences agronomiques



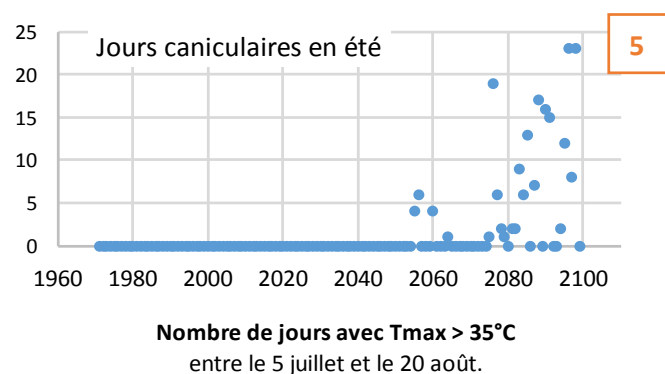
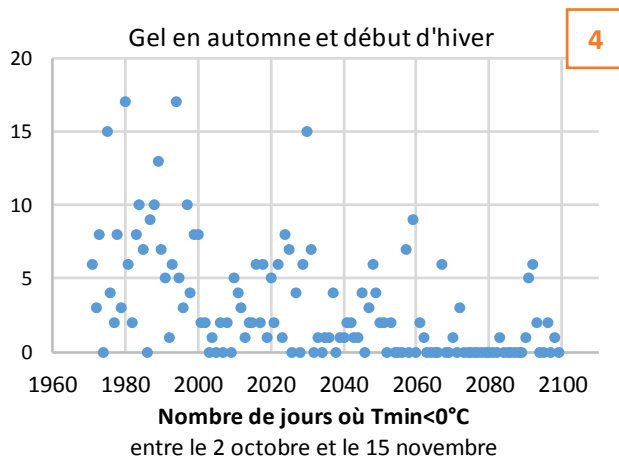
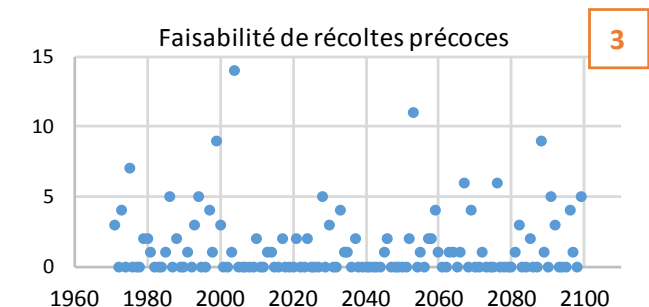
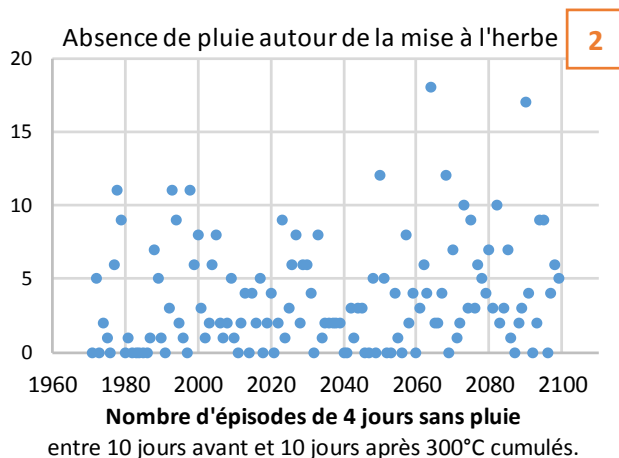
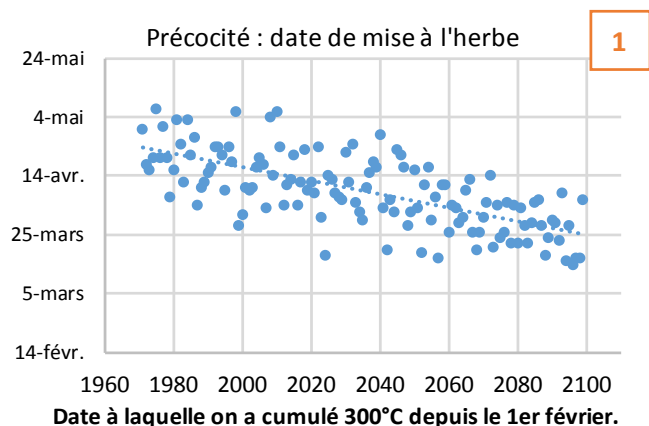
Sources et méthodes a, b, c : INRA, CNRS, Université de Bourgogne ; d, e, f : données Météo France, SSP, INRA calculées pour ISOP, traitement Institut de l'Élevage pour 228 régions fourragères. d. La date possible de mise à l'herbe est estimée par la date d'atteinte d'un seuil de 300°C cumulés depuis le 1^{er} février. e. La sécheresse agronomique est définie comme la période durant laquelle la réserve utile est inférieure à 20% de la capacité au champ (point de flétrissement). f. La durée du repos hivernal de végétation est définie comme l'écart en jours entre la date d'arrêt de la pousse de végétation (température moyenne < 7°C) et la date de démarrage de végétation.

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

Au-delà des conséquences sur l'évolution des rendements des différentes cultures fourragères ou de la prairie, l'évolution du climat a aussi un impact sur les conditions d'accès à la ressource (facilitation du pâturage, réalisation des fauches), ou sur les conditions de semis et de levée des cultures annuelles. 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 plutôt plus faciles [2]. En plein printemps, les conditions pour réaliser des récoltes précoces seraient similaires à celles connues actuellement [3]. En fin de saison (du 2 octobre au 15 novembre), les journées de gel deviendront de moins en moins fréquentes, permettant de maintenir les animaux au pâturage (s'il y a de l'herbe) [4]...

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 [5] : évolution des épisodes caniculaires).



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

Avec la participation de : Pierre-Emmanuel Belot (*Idele*) et l'équipe Inosys de Franche-Comté, Magali Bergot (*Météo-France*), Thierry Brun (*Idele*), Aurore Guy (*Chambre d'Agriculture du Doubs*), Françoise Ruget (*INRA*), Franck Souverain (*Météo-France*).

Crédits photos : F. Joly / *CNIEL*

Version : Nov. 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 du Doubs)*, 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

