



POUR L'ADAPTATION DES ÉLEVAGES LAITIERS AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

L'élevage bovin laitier est confronté au changement climatique :

- Comment le climat va évoluer ?
- Avec quelles conséquences sur les cultures fourragères, sur l'alimentation des animaux ?
- Comment s'adapter à ces évolutions ?

Le 5^e rapport du GIEC établit que le changement climatique est dorénavant sans équivoque. Dans cette perspective, il convient donc d'anticiper les changements et de proposer des pistes d'adaptation.

Les instances dirigeantes du CNIEL ont demandé un programme d'accompagnement de la filière laitière pour s'adapter aux évolutions climatiques. En réponse, l'Institut de l'Élevage, en partenariat avec Arvalis, le BTPL, les Chambres d'agriculture, l'Inra et Météo France, a proposé un programme sur cette thématique essentielle pour l'avenir de la production laitière.

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

La méthodologie détaillée est décrite en annexe.

Les attendus peuvent se résumer ainsi :

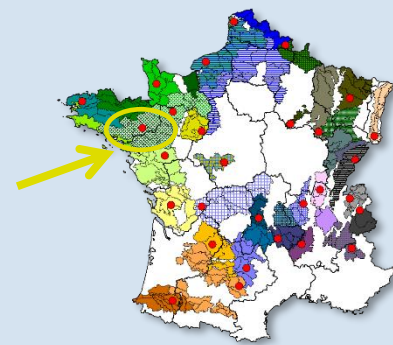
- ✓ Un zonage de la France en une trentaine d'Unités Laitières Agroclimatiques représentatives de la diversité des contextes de production du lait en France (voir ci-contre),
- ✓ Des données sur l'évolution du climat à l'échelle de chacune de ces zones,
- ✓ Les impacts du changement climatique, sur des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

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

Ici, vous trouverez les résultats pour le sud de l'Ille-et-Vilaine.

DES RÉSULTATS

pour le sud de l'Ille-et-Vilaine



Carte présentant les 30 unités laitières agroclimatiques

Au sommaire :

La Région Agricole du sud de l'Ille-et-Vilaine.....	2
Climat de la zone sud de l'Ille-et-Vilaine.....	3
L'évolution prévue des rendements des cultures fourragères (et de la saisonnalité de la production pour les prairies).....	6
Conséquences à l'échelle des systèmes et adaptations possibles.....	9
Conclusions.....	12
Annexes.....	13

Glossaire

ETP : Évapotranspiration
GES : Gaz à Effet de Serre
MCPI : Mélanges Céréales Protéagineux Immatures
RA : Région Agricole
RGA : Recensement Général Agricole
SAU : Surface Agricole Utile / SFP : Surface Fourragère Principale
THI : <i>Temperature Humidity Index</i>
UGB : Unité Gros Bétail
UTA : Unité de Travail Annuel
VA : Vache Allaitante / VL : Vache Laitière

La Région Agricole du sud de l'Ille-et-Vilaine

Comme partout en France, la SAU moyenne par exploitation augmente à un rythme soutenu (+ 44 % entre 2000 et 2010, ce qui est supérieur à la moyenne des 29 zones d'étude), sans que la main d'œuvre augmente au même rythme (+ 8 % seulement pour l'augmentation du nombre d'UTA par exploitation dans la zone, sur la même période), ce qui condamne les éleveurs, là comme ailleurs, à faire de constants gains de productivité au plan du travail.

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

	UTA	SAU (ha)	Grandes cultures (ha)	SFP (ha)	Dont maïs fourrage (ha)	Nb total d'UGB	Nb de VL
En 2010	2,0	87	34	53	21	85	50
Évolution entre 2000 et 2010 (% de 2000)	+8%	+44%	+52%	+40%	+66%	+42%	+45%

Le nombre de VL par exploitation est légèrement supérieur à la moyenne des 29 zones d'étude. La « ferme moyenne » de la zone, décrite dans les recensements agricole, élève aussi des VA, mais leur nombre reste largement inférieur à celui des VL ainsi qu'au nombre moyen de VA dans les 29 zones. Les deux catégories d'animaux ont vu leurs effectifs augmenter fortement entre 2000 et 2010 : en moyenne, on trouvait 50 VL et 16 VA par exploitation en 2010, contre seulement 34 VL et 12 VA dix ans plus tôt.

La SFP a également augmenté, au même rythme que les effectifs de bovins, le chargement apparent est donc resté stable, de l'ordre de 1,6 UGB/ha.

Le quota moyen pour la dernière campagne (2014-2015) a atteint 328 000 litres par exploitation, soit environ 6 500 litres par vache. Ces valeurs sont légèrement supérieures à la moyenne de nos 29 zones, et inférieures aux moyennes calculées pour le bassin laitier de l'Ouest de la France.

Avec presque 40 % de la SAU occupée par des grandes cultures, la zone est une des celles dans lesquelles la polyculture-élevage est dominante. Les ressources fourragères sont variées et se traduisent par des occupations des sols diverses : le maïs fourrage occupe une part importante de la SFP (40 % en 2010), et on trouve également des prairies permanentes, temporaires ou artificielles, des méteils... Comme dans toutes les autres zones de l'Ouest, la sole en céréales et autres grandes cultures augmente : en 2010, on comptait en moyenne 34 ha de ces cultures dans les exploitations laitières, ce qui correspond à presque 40 % de la SAU. Ces surfaces en céréales apportent aussi des possibilités d'utilisation directe pour l'alimentation du troupeau, via l'ensilage de céréales immatures, ou d'implantation de cultures intermédiaires.

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

Climat de la zone sud de l'Ille-et-Vilaine

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

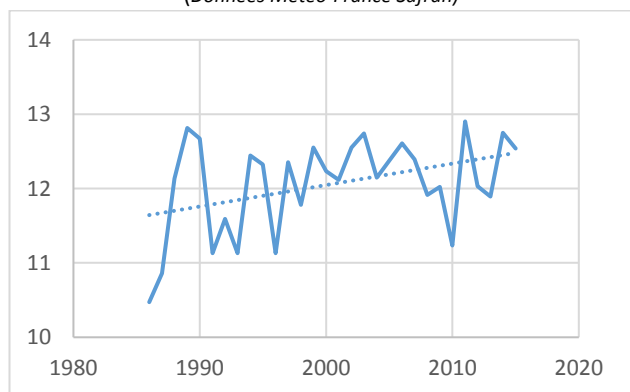
Située à l'est de la Bretagne, la zone bénéficie d'un climat océanique altéré (carte a), avec des températures plutôt douces (carte b) qui permettent un arrêt de végétation hivernal assez faible (carte f) et donc un démarrage de la végétation (caractérisé par la date d'arrivée à 300 °C cumulés depuis le 1^{er} février, carte d) assez précoce : un atout pour la valorisation de la prairie. Le cumul annuel des précipitations est plutôt faible (carte c), et la sécheresse estivale est relativement longue (carte e).

Évolution récente du climat

Les données climatiques présentées ci-dessous correspondent à un point situé sur la commune de Maure-de-Bretagne.

Sur ce site, l'évolution des températures moyennes annuelles est marquée : en 30 ans, le climat s'est réchauffé d'environ 0,8 °C. La variabilité inter-annuelle demeure importante, avec des moyennes annuelles comprises entre 10,5 et 13 °C. Cette augmentation de température se situe principalement à l'automne et au printemps (respectivement + 1,3 et + 1,1 °C).

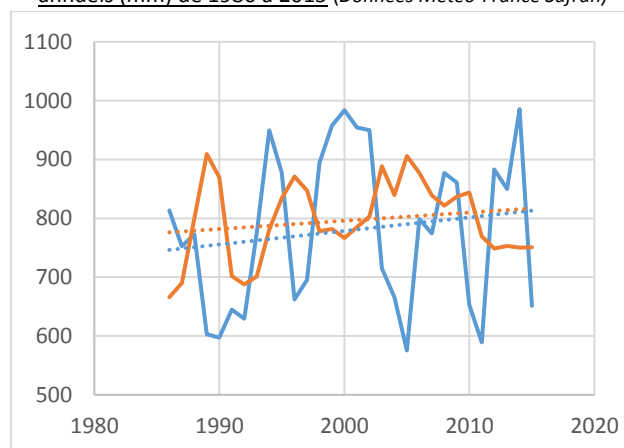
Évolution de la température moyenne annuelle de 1986 à 2015
(Données Météo-France Safran)



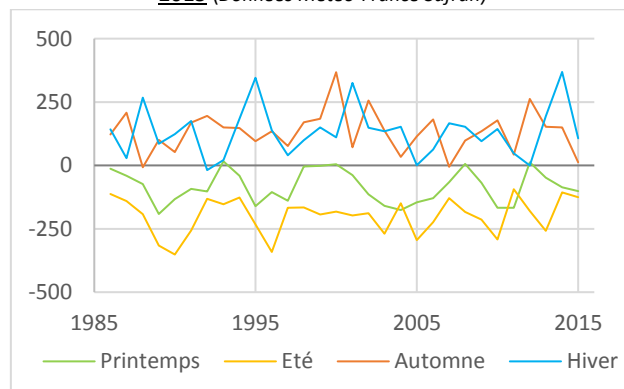
Le cumul annuel des précipitations est très variable, entre 600 et 1000 mm/an, tout comme le cumul de l'évapotranspiration. Le calcul du bilan hydrique (P-ETP) saisonnier ne montre pas d'évolution significative sur les 30 dernières années. Ce bilan hydrique est toujours

déficitaire au printemps et en été, mais l'ampleur du déficit est très variable.

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



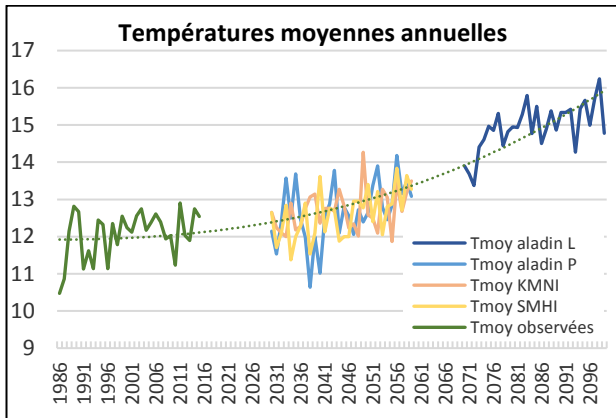
Bilan hydrique (P-ETP, en mm) calculé par saison de 1986 à 2015
(Données Météo-France Safran)



Évolutions futures du climat

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

Évolution des températures moyennes annuelles



Quel que soit le modèle, il prédit une augmentation de température encore modérée (de l'ordre d'1 °C) dans le futur proche. Ce n'est que dans la seconde moitié du siècle que le réchauffement s'accélérerait rapidement pour atteindre + 3 à 4 °C par rapport au niveau actuel.

L'analyse des données simulées montre qu'autour de ce niveau, l'hiver se réchaufferait moins (+ 2,5 °C) que l'été (+ 4,5 °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 3,5 °C à l'échelle de l'année en fin de siècle, cela signifie souvent + 5 à 6 °C pour les maximales en été, et seulement + 2 à 2,5 °C pour les minimales en hiver. Il continuerait à geler, mais beaucoup

Date de mise à l'herbe

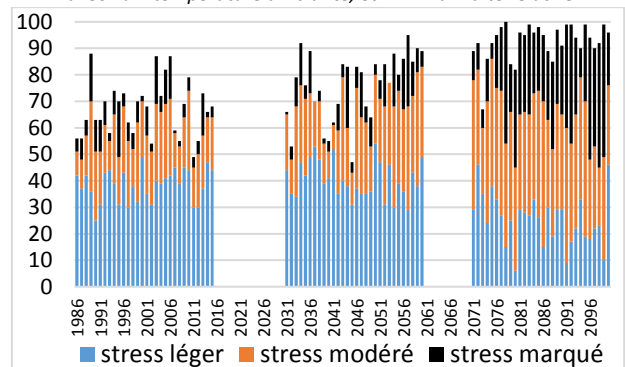
(date d'atteinte du seuil de 300 °C cumulés depuis le 1^{er} février), dans le passé (données observées) et dans les différents modèles climatiques.

	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 ...	10/3	10/3	10/3	5/3	5/3	4/3	1/3
	22/3	22/3	21/3	18/3	18/3	14/3	5/3
Médiane	16/3	13/3	17/3	11/3	11/3	9/3	3/3

moins souvent, et le nombre de jours caniculaires serait en forte hausse (cf. annexe 3). Ces excès de température ont des conséquences sur les cultures mais aussi sur les animaux. On peut les approcher par le calcul d'un index (le THI, pour *Temperature Humidity Index*). Le graphique ci-dessous indique le nombre de jours où les animaux pourraient être en stress thermique léger, modéré, ou marqué dans le futur, en comparaison à ce qui a pu être observé : le nombre de jours de stress et l'intensité de celui-ci augmenteraient dans le futur proche, et plus encore vers la fin du siècle.

Pour chaque année, nombre de jours selon l'intensité du stress tel que mesuré avec le THI, de 1986 à 2014 (sur données observées) et sur le futur (modèle Aladin)

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



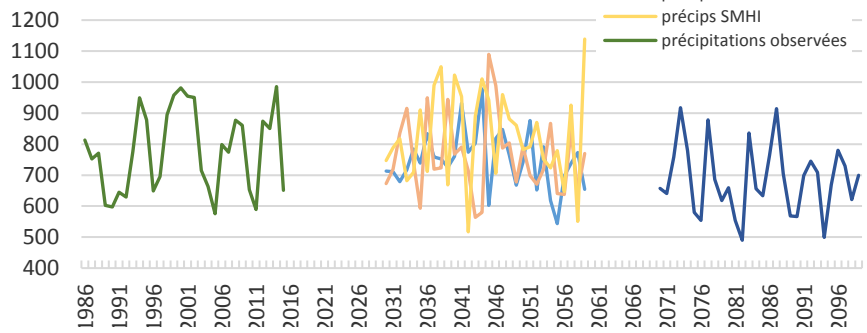
L'augmentation des températures n'aura pas que des effets négatifs : l'une de ses conséquences peut être la possibilité de mettre à l'herbe plus tôt. Ainsi, si la date à laquelle on atteint une somme de températures de 300 °C se situe actuellement aux alentours du 16 mars (une année sur deux entre le 10 et le 22 mars), elle pourrait passer aux alentours du 10 mars dans le futur proche (entre le 9 et le 11 selon les modèles), et du 3 mars dans le futur lointain. Reste à savoir si les conditions climatiques (en particulier la pluviométrie du début de printemps) permettront l'accès à cette pousse précoce.

Évolution des précipitations

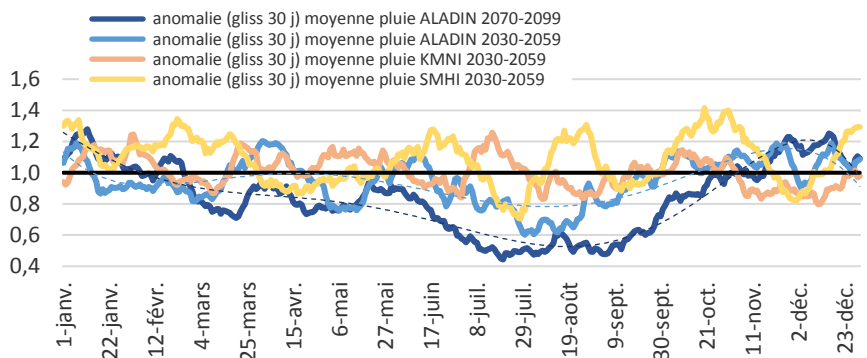
Il n'y a pas de tendance nette quant à l'évolution du cumul annuel de précipitations : aucun des 3 modèles ne prédit pour le futur proche une baisse du cumul annuel de précipitations dans cette zone. Ce qui domine, c'est surtout la très forte variabilité inter-annuelle, réelle dans le passé et qui se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

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

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



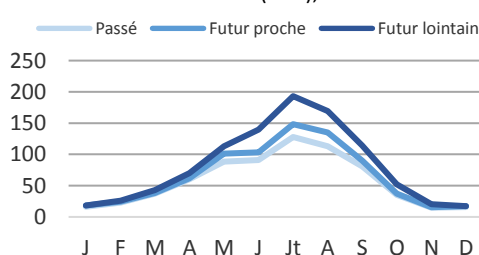
Anomalies de précipitations (futur / ref sur passé)



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 20/04 et le 10/06	4/10	3/10	5/10	+13%	+0%	-10%	+3%
au moins 20 jours sans pluie entre le 01/07 et le 01/09	5/10	7/10	3/10	+27%	+7%	+10%	+37%

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



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 créerait un état de sécheresse non seulement plus fréquent et plus prononcé, mais aussi plus précoce. Le modèle **Aladin** est le seul pour lequel nous disposons des calculs d'ETP. De ce fait, c'est le seul à partir duquel nous avons réalisé les simulations avec le modèle de culture. Celles-ci permettent d'intégrer tous les effets du changement climatique sur la plante : augmentation des températures et de l'ETP, modifications du régime de précipitations, effets directs du CO₂.

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

Les précipitations sont variables d'une année sur l'autre, dans le passé comme dans le futur. Leur répartition dans l'année diffère selon les modèles. L'évapotranspiration, elle, augmenterait dès le printemps et jusqu'à l'automne, ce qui accentuerait l'importance du déficit hydrique estival et donc les risques de sécheresse.

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 plusieurs types de sols représentatifs de ceux de la zone.

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.

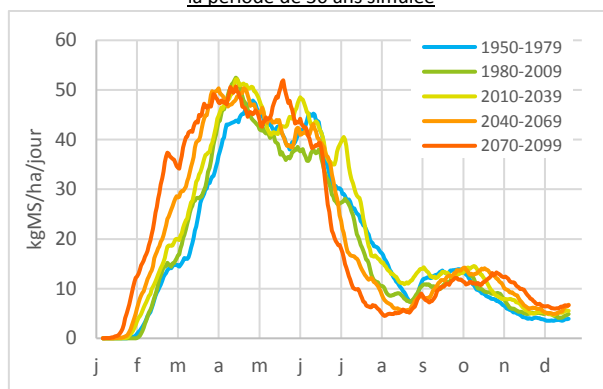
Conséquence de l'augmentation des températures au début du printemps, les simulations STICS mettent en évidence un démarrage en végétation des prairies de plus en plus précoce. Cela confirme le fait qu'une mise à l'herbe plus précoce pourrait être envisagée, sous réserve de bonnes conditions climatiques. 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.

Le ralentissement de la croissance de l'herbe en été serait lui aussi plus précoce, et de plus en plus marqué. Le léger rebond à l'automne, lui, serait de plus en plus tardif et se prolongerait vers le début de l'hiver.

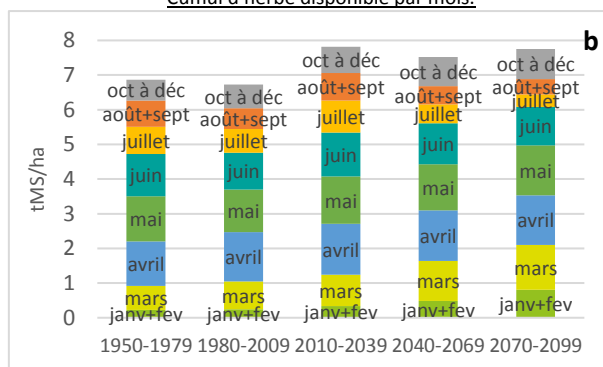
Au total, la quantité d'herbe produite sur l'année serait en légère augmentation, essentiellement du fait de la pousse de printemps plus abondante. Dans un système herbager cela obligerait à accentuer le pourcentage de surfaces à faucher au printemps.

En résumé, l'herbe pousserait de plus en plus tôt au printemps et de plus en plus tard à l'automne, mais le ralentissement d'été s'accroîtrait dès le futur proche et encore plus 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).

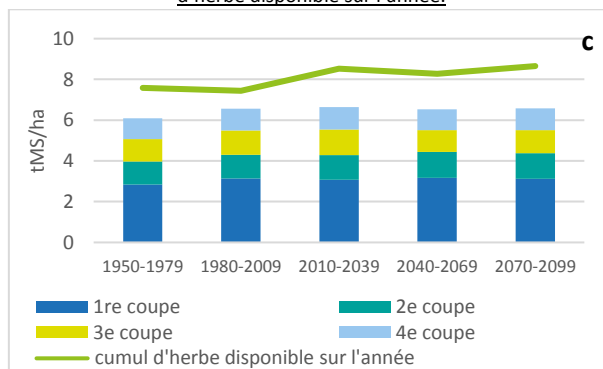
Pousse d'une prairie à base de graminées, en kg de MS/ha/jour, selon la période de 30 ans simulée



Cumul d'herbe disponible par mois.



Rendements moyens des récoltes d'ensilage et foins, et cumul d'herbe disponible sur l'année.



Luzerne

Les simulations ont été réalisées sur les mêmes sols que précédemment, pour des itinéraires techniques à 3, 4 et 5 coupes « visées ». Le modèle est paramétré pour réaliser les coupes lorsque le cumul de températures dépasse un seuil préalablement fixé pour chaque itinéraire technique, à condition que la quantité de fourrage disponible soit suffisante. Par conséquent, les dernières coupes ne sont pas systématiquement réalisées. Par ailleurs, il s'agit de simulations pour une luzernière en pleine production (qui ne prennent donc pas en compte l'année d'installation ni la dernière année).

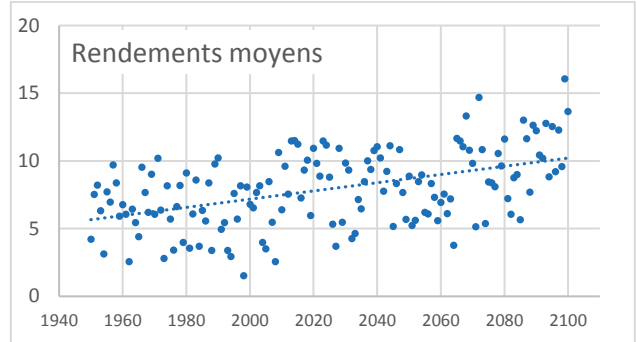
Quel que soit le nombre de coupes visées ou réalisées, les rendements seraient à la hausse. Cependant, si l'ensemble des rendements moyens augmente, la variabilité interannuelle est toujours aussi marquée.

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.

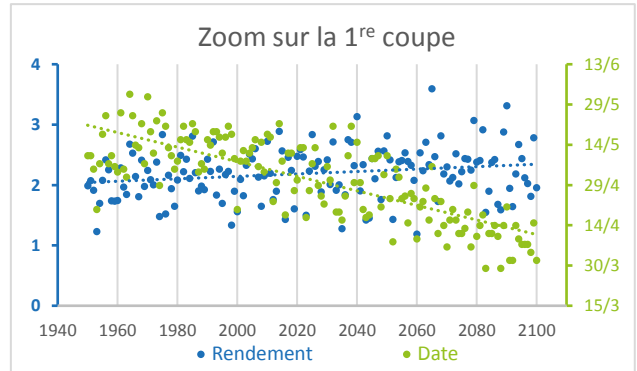
D'autre part, l'augmentation des températures au printemps et en été permettrait d'accélérer la croissance des plantes et ainsi, parfois, de faire une coupe supplémentaire avant la sécheresse estivale.

Les différents itinéraires techniques testés montrent des rendements cumulés assez proches. Les différences se situent au niveau du temps de repousse entre deux coupes, et donc de la qualité du fourrage récolté. Le temps de travail nécessaire est également impacté.

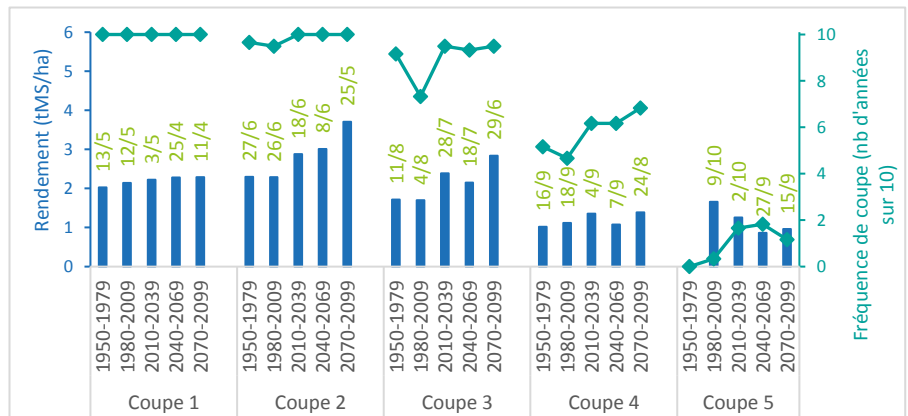
Moyenne des rendements cumulés obtenus pour chacun des deux itinéraires techniques utilisés dans les simulations.



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



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

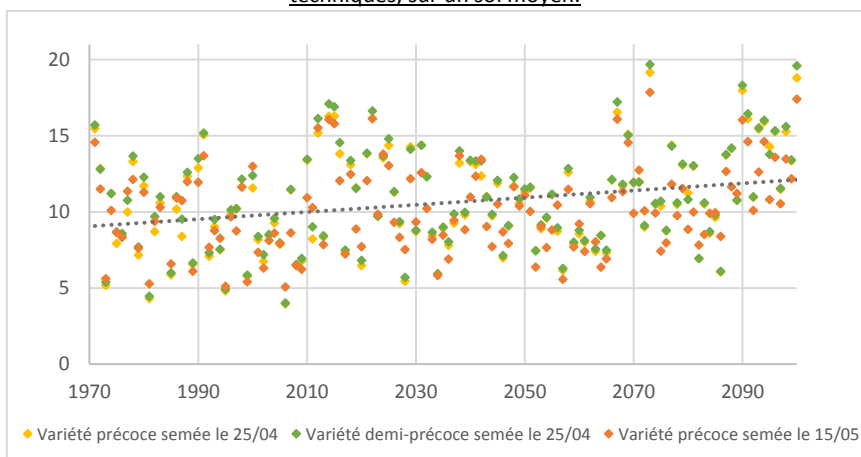


Maïs

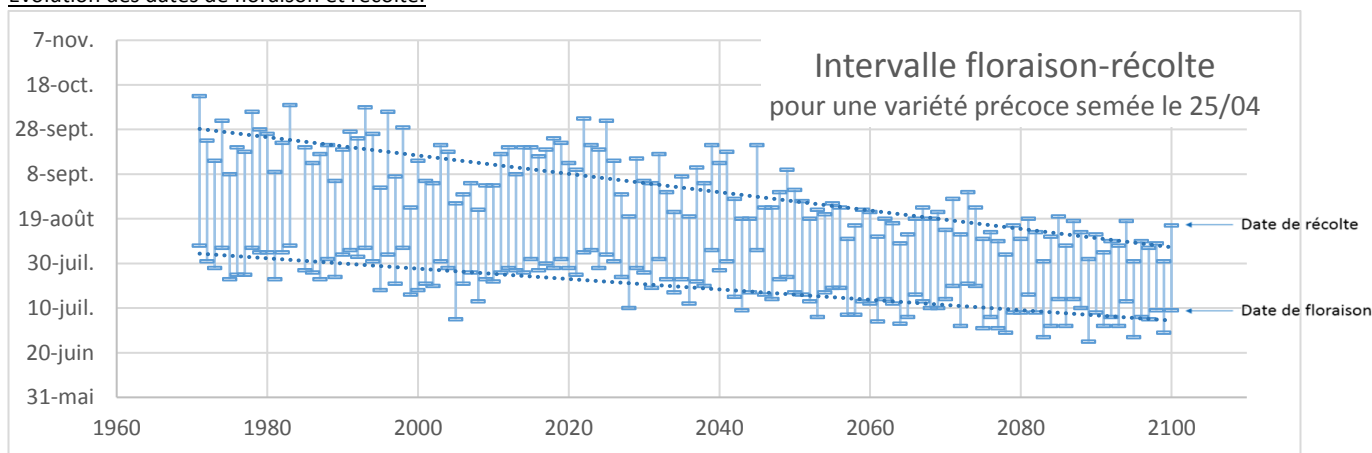
Les simulations sont réalisées pour plusieurs itinéraires techniques correspondants aux pratiques des éleveurs de la zone. Des variétés précoces ou demi-précoces sont utilisées, pour des dates de semis entre le 20 avril et le 15 mai.

D'autres simulations ont été réalisées, en combinant une dérobée (Ray-grass italien) et un maïs. Dans ce cas, la dérobée est récoltée mi-avril et le maïs est semé le 25 avril.

Rendements obtenus pour chaque année simulée, pour plusieurs itinéraires techniques, sur un sol moyen.



Évolution des dates de floraison et récolte.



Les rendements seraient en légère hausse, qui est à relier aux effets directs de l'augmentation du taux de CO₂ dans l'atmosphère. Cette tendance cache cependant une importante variabilité, qui reflète la variabilité des précipitations et se poursuit 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, avec une possibilité de rendement supérieur.

L'augmentation des températures au printemps permettrait également d'envisager la culture d'une dérobée avec un bon rendement, toujours avec une certaine variabilité. En revanche, la variabilité du rendement du maïs qui la suit serait accrue. En fin de siècle, la dérobée produirait même parfois autant, voire plus, que le maïs qui la suit, notamment lorsque l'eau est limitée.

Les simulations réalisées mettent en évidence une évolution de la répartition de l'herbe disponible au cours de l'année : le démarrage en végétation est de plus en plus précoce, tandis que le creux de production en été s'accroît et se prolonge. La reprise à l'automne, elle, intervient de plus en plus tard. La saison de pâturage s'allonge donc au début du printemps et à l'automne, mais avec une rupture plus marquée en été.

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

En ce qui concerne le maïs, les rendements sont globalement à la hausse, mais leur variabilité reste importante. Là aussi, l'avancée des dates de floraison et récolte est nette.

Conséquences à l'échelle des systèmes et adaptations possibles

Le système traité

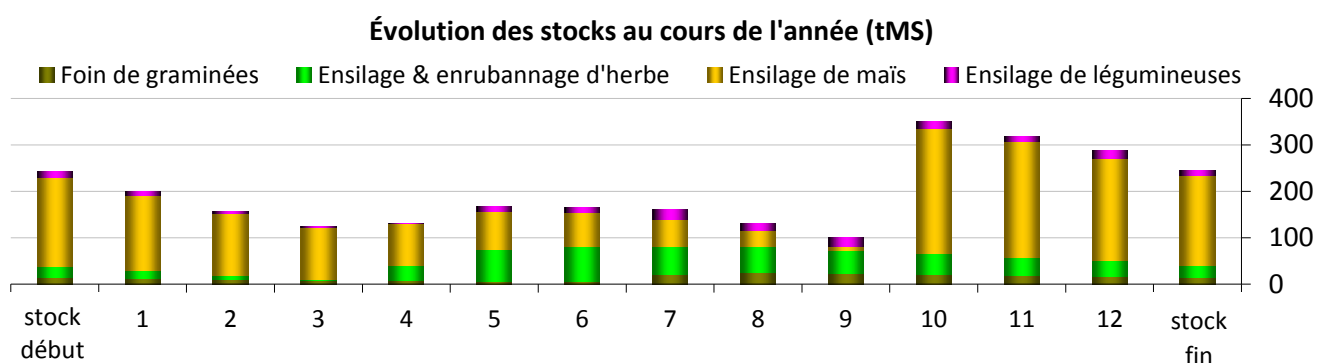
Le groupe s'est appuyé sur les références d'Eilyps dans le département pour construire le système à étudier. Il s'agit d'une ferme disposant de 88 ha de SAU dont 64 ha de SFP : 27 ha de maïs avec ou sans dérobée, 4 ha de luzerne et 33 ha de prairies de graminées. Le troupeau est constitué de 65 vaches laitières à 8 000 kg de lait produits, avec un taux de renouvellement de 30 % et des vêlages à 26 mois. 25 génisses sont élevées chaque année.

En hiver et en plein été, la ration des vaches laitières est composée aux deux tiers d'ensilage de maïs, et d'ensilage de graminées et de luzerne pour le tiers restant. Au printemps, la pâture couvre les 75 % des besoins, la ration distribuée est composée d'ensilage de maïs. À l'automne, la ration est constituée pour moitié d'ensilage de maïs, auquel s'ajoutent de l'ensilage de graminées et luzerne, et de l'herbe pâturée.

La ration des génisses est constituée d'herbe pâturée et de foin en été, et d'ensilage de maïs complété de foin et d'ensilage d'herbe en hiver.

Ce système nécessite pour l'alimentation 195 tMS d'ensilage de maïs, 25 tMS d'ensilage de graminées, 15 tMS de foin, 10 tMS d'ensilage de luzerne et 55 tonnes de concentrés par an. 125 tonnes de paille sont par ailleurs nécessaires pour la litière. Le chargement corrigé s'élève à 1,7 UGB/ha SFP.

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



Le climat

Ce système a été confronté à trois contextes climatiques différents. Dans un premier temps, il a été paramétré et équilibré dans le climat moyen de la période de référence 1971-2000. Ensuite, à l'aide du Rami Fourrager®, il a été adapté au climat moyen de la période 2070-2090. Ce système déjà adapté aux conditions climatiques du futur a ensuite été confronté à un type d'année particulier, caractérisé par une forte sécheresse au printemps et en été, qui se poursuit à l'automne, combinée à des températures élevées. Des années extrêmes de ce type (par l'amplitude et la combinaison des aléas) se rencontreraient une fois entre 2020 et 2040, et cinq fois entre 2070 et 2090. Des hypothèses de restriction d'eau ont été associées à chacun de ces contextes climatiques.

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

	1971-2000	2070-2090	« Année sèche »
Date de mise à l'herbe (Date à laquelle on a cumulé 300 °C depuis le 1 ^{er} février)	20 mars	7 mars	5 mars
Bilan hydrique au pic de croissance des prairies (mm) (Cumul Précipitations - ETP, entre 400 et 1100 °C cumulés)	- 36	- 52	- 96
Températures élevées en fin de printemps (Nombre de jours avec $T_{max} > 28$ °C, entre 1100 °C cumulés et le 5/07)	1	13	18
Bilan hydrique à la floraison du maïs (mm) (Cumul Précipitations - ETP entre l'allongement des soies et le stade limite d'avortement des grains)	- 100	- 150	- 170
Précipitations fin d'été et début automne (mm)	47	30	7

Les adaptations envisagées

Dans le futur (année moyenne 2070-2090)

Les stocks produits par les prairies et le maïs augmentent (+ 30 tMS pour les prairies de graminées, + 12 tMS pour la luzerne et + 15 tMS pour le maïs). La répartition de la pousse de l'herbe est modifiée : un excédent apparaît au printemps, tandis qu'il manque de l'herbe pour les génisses en septembre. Le chargement corrigé augmente et atteint 1,9 UGB/ha SFP.

Face à ces évolutions, deux voies sont évoquées : libérer des surfaces fourragères au profit des cultures de vente, et augmenter le nombre d'animaux pour valoriser les excédents de fourrages. Plusieurs adaptations des pratiques sont envisagées :

- faire une coupe au printemps dans les prairies qui n'étaient destinées qu'au pâturage,
- mettre à l'herbe plus tôt pour profiter de la pousse plus précoce au printemps,
- sécuriser le système avec du maïs à double fin qui pourra être récolté en grain ou en ensilage,
- développer les dérobées, en les récoltant en deux fois, à l'automne et au printemps (à condition de pouvoir les planter en été, ce qui pourra être difficile en cas de sécheresse estivale).

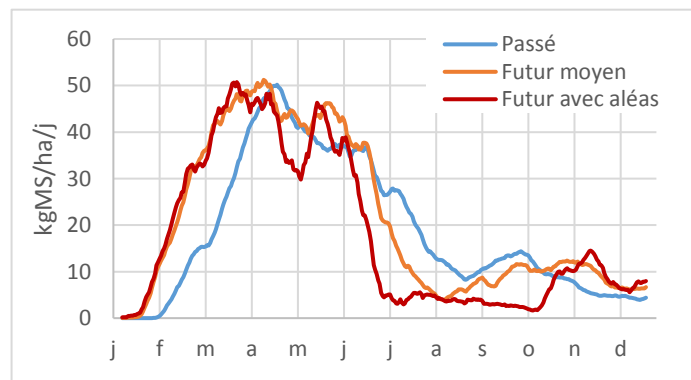
Les éleveurs notent que si le système étudié est encore viable, d'autres devront envisager des adaptations de plus grande ampleur. Par exemple, les systèmes « tout herbe » devront augmenter leur capacité de stockage, à l'image de ce que font déjà les éleveurs en agriculture biologique des zones les plus sèches.

Face à ces évolutions, les surfaces et les rations ont été ajustées pour retrouver un équilibre. Les vaches sont mises à l'herbe plus tôt au printemps, et une partie du surplus d'herbe ensilée est utilisée pour compenser le déficit d'herbe disponible pour le pâturage des génisses en septembre. 53 tonnes de concentrés sont nécessaires, et 125 tonnes de paille. La SFP est réduite de 7 ha (- 3 ha de maïs, - 1 ha de luzerne et - 3 ha de prairies de graminées).

Dans le cas de l'année « sèche »

Sans adaptation, le système devient déficitaire en maïs et en herbe conservée : il manque 50 tMS d'ensilage de maïs, 7 tMS d'ensilage de graminées et 5 tMS d'ensilage de luzerne. Mais le déficit est encore plus important, car la production d'herbe des prairies n'est pas suffisante pour couvrir les besoins des animaux au pâturage, dès la mi-juin et jusqu'à fin octobre. Le stock fourrager constitué au début du printemps va donc être consommé dans l'été.

Différents leviers d'adaptation ont été évoqués pour faire face à une telle série d'aléas, et classés selon leur caractère durable (D) ou conjoncturel (C).



➤ Au niveau de la production fourragère

Leviers	Conséquences, questions soulevées
(D) Faire du sorgho grain ensilé à la place du maïs quand l'eau est contingentée.	Le potentiel est moins élevé.
(C et D) Ensiler une partie des céréales, l'année de la sécheresse ou l'année suivante (pour reconstituer les stocks).	Diminution du rendement en paille.
(C) Utiliser de la paille dans la ration des génisses	
(C et D) Cultiver du maïs à double fin (grain ou ensilage)	Possible seulement s'il y a des surfaces en grandes cultures.
(D) Planter des légumineuses (trèfle violet plutôt que luzerne)	Équilibre entre part de luzerne et concentration énergétique de la ration.
(D) Planter de la betterave : à distribuer ou faire pâturer.	Très appétant. Demande un équipement spécifique pour le semis et la récolte. Pâturage de betterave : possible seulement si les parcelles sont proches du bâtiment, et risque de détériorer les sols.

(C et D) Récolter les dérobées très tôt (miser sur une coupe à l'automne) pour pouvoir semer le maïs tôt	Possible seulement si les conditions estivales ont permis une bonne implantation.
(C et D) Faire un déprimage des céréales	Se faisait autrefois sur avoine. Mais quelle quantité, quelle valeur du fourrage et quelle repousse derrière ?

➤ Au niveau de la conduite du troupeau laitier

Leviers	Conséquences, questions soulevées
(C) Réduire sa production les mauvaises années, en anticipant les réformes	Avec certaines entreprises, si on ne fait pas sa référence 2 années de suite, on ne peut plus remonter ensuite.

➤ Au niveau de l'exploitation

Leviers	Conséquences, questions soulevées
(D) Travailler avec un fort stock de sécurité	Quel stock pour arriver à passer deux mauvaises années consécutives ? Quel coût cela représente-t-il ?
(D) Déléguer l'élevage des génisses	« On revient 25 ans en arrière. »

Le groupe a par ailleurs soulevé le fait que, pour le système étudié, la combinaison d'un printemps pluvieux et d'un été sec pourrait être encore pire, car les stocks d'herbe ne seraient pas reconstitués au printemps (ou avec de l'herbe de mauvaise qualité), la mise à l'herbe et les semis de maïs devraient être retardés... Cette combinaison d'aléas se retrouve également dans le futur climatique prédit par les modèles, à une fréquence relativement proche de celle de la combinaison testée.

D'autres pistes ont par ailleurs été soulevées, comme la possibilité de cultiver du soja localement (ce qui nécessitera des infrastructures comme celles qui sont en train de se développer pour le colza). La question de la gestion des ravageurs va également se poser : si le nombre de jours de gel diminue, leurs cycles seront moins perturbés ou rompus.

Conclusions

Évolutions tendanciennes

Sans l'effet CO₂, dans le futur moyen, la zone serait affectée par une baisse des rendements : l'effet de l'évolution moyenne du climat est défavorable. En intégrant l'effet CO₂, l'effet du changement climatique sur l'évolution tendancielle des rendements devient globalement positif malgré le déficit estival. 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 climatiques testés ont fortement affecté le système étudié. Cependant, cette zone est dans une logique de **polyculture-élevage**, ce qui offre de nombreuses possibilités d'adaptations : dérobées, méteils, ensilage de céréales immatures, cultures à double fin...

Valoriser l'herbe comme elle se présente

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

De ce point de vue-là, maintenir dans chaque exploitation un troupeau susceptible de valoriser l'herbe en toutes saisons (génisses ou autres) resterait un atout.

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.

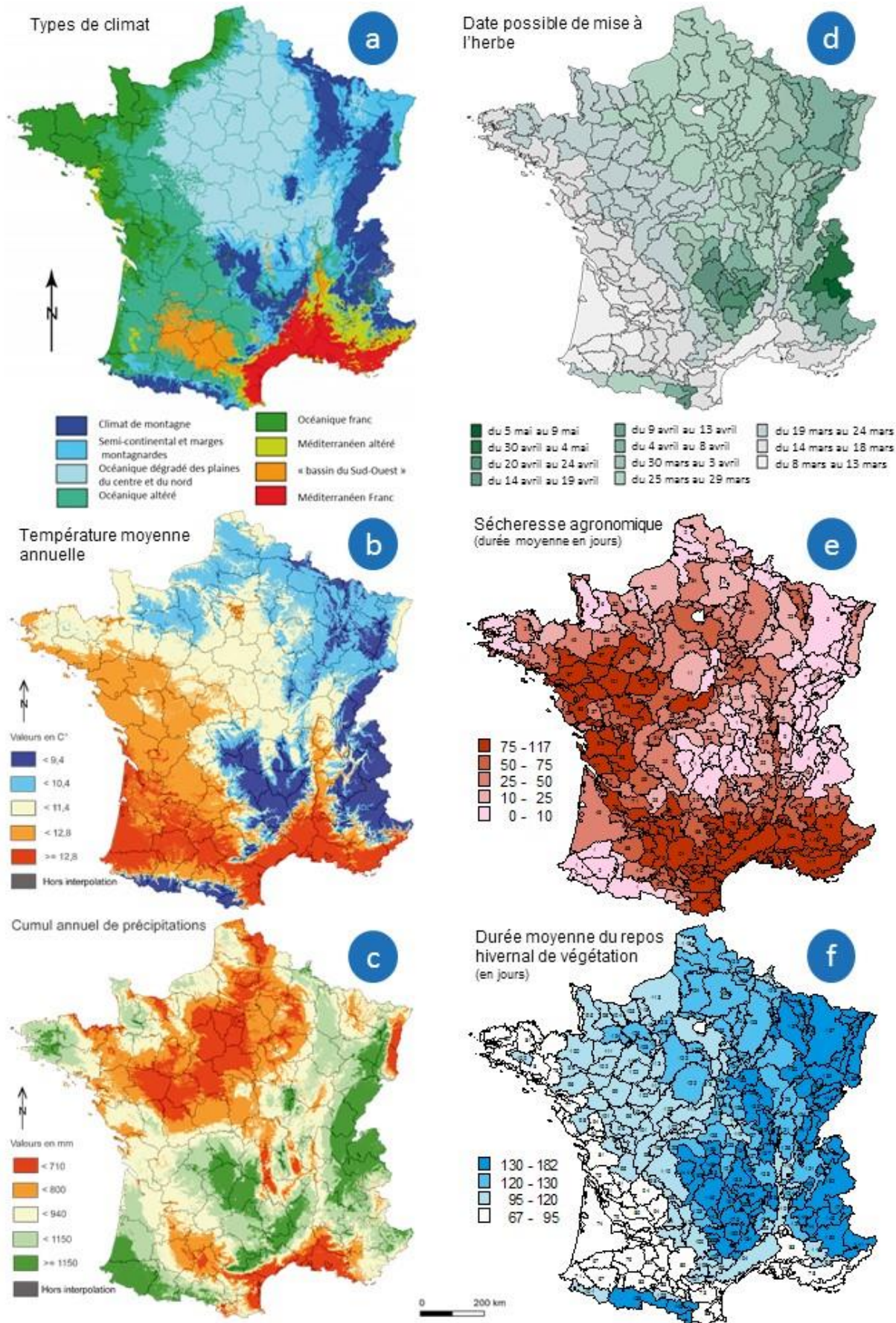
Un outil très apprécié des éleveurs est utilisé, le Rami Fourrager®. Il s'agit d'un jeu de plateau qui permet de modéliser un système fourrager et de le confronter à diverses contraintes. Les joueurs (éleveurs, conseillers...) peuvent alors reconfigurer le système pour l'adapter à ces contraintes. L'outil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



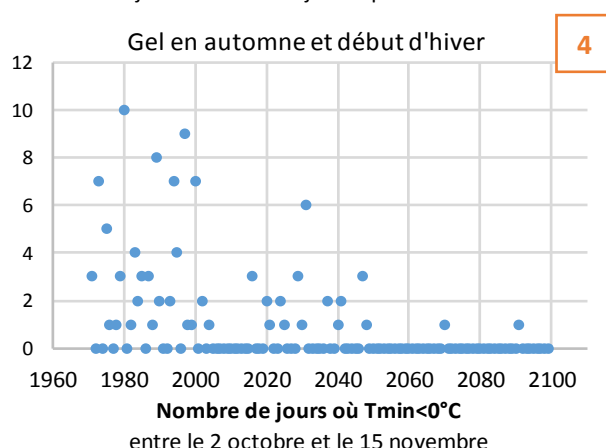
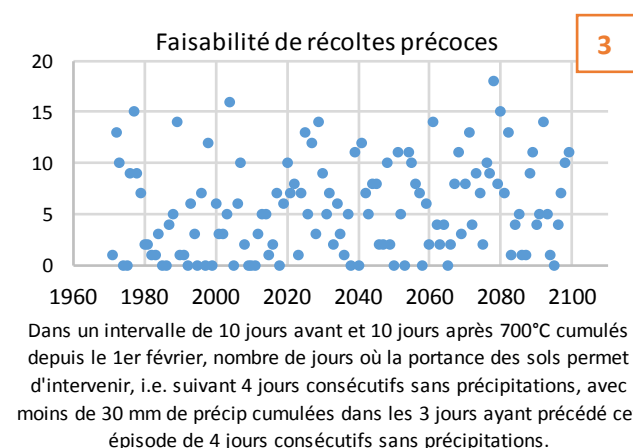
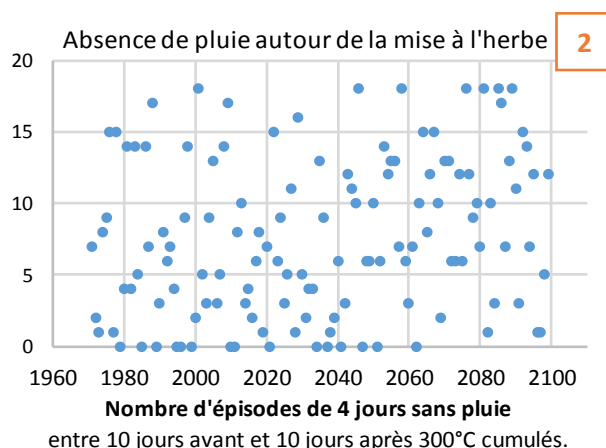
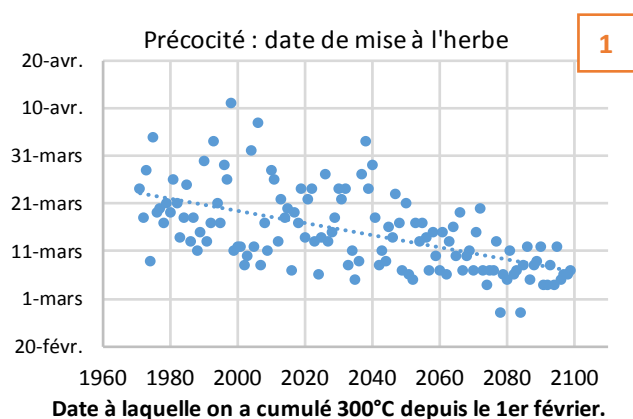
Sources et méthodes a, b, c : INRA, CNRS, Université de Bourgogne ; d, e, f : données Météo France, SSP, INRA calculées pour ISOP, traitement Institut de l'Élevage pour 228 régions fourragères. d. La date possible de mise à l'herbe est estimée par la date d'atteinte d'un seuil de 300°C cumulés depuis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

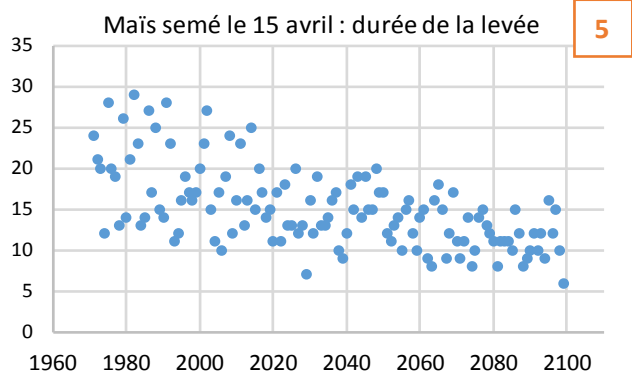
Annexe 3 : Évolution climatique et conséquences pour la mise en place et l'accès aux ressources fourragères (à partir du modèle de climat ALADIN)

Au-delà des conséquences sur l'évolution des rendements des différentes cultures fourragères ou de la prairie, l'évolution du climat a aussi un impact sur les conditions d'accès à la ressource (facilitation du pâturage, réalisation des fauches ou de l'ensilage du maïs), ou sur les conditions de semis et de levée (maïs). On peut approcher ces impacts par le calcul d'indicateurs agroclimatiques, dans le passé comme dans le futur. On peut ainsi préciser ces impacts saison par saison.

Les conditions de début du printemps semblent évoluer favorablement : l'herbe pousserait plus tôt [1], et la pluviométrie permettrait de réaliser les mises à l'herbe dans des conditions similaires voire légèrement améliorées [2]. En plein printemps, malgré la nette avancée des dates de stades, les conditions pour réaliser des récoltes précoces resteraient similaires à celles connues actuellement, voire s'amélioreraient légèrement [3]. En fin de saison (du 2 octobre au 15 novembre), les journées de gel deviendront de moins en moins fréquentes, permettant de maintenir les animaux au pâturage (s'il y a de l'herbe) [4]... En ce qui concerne le maïs, l'augmentation des températures diminuerait les risques de stress lié au froid lors de la levée [5], ce qui pourrait permettre des semis plus précoces. En fin de cycle, les conditions de récolte s'améliorent [6], alors que l'augmentation des températures accélère le dessèchement des grains et donc raccourcit la période optimale de récolte.

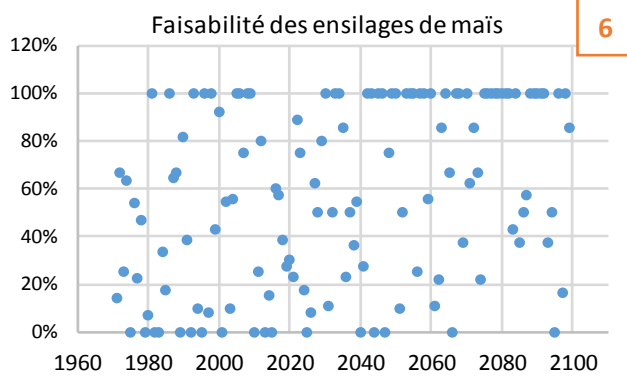
Enfin, il ne faut pas oublier les conséquences directes du climat sur les animaux eux-mêmes : lors d'épisodes caniculaires, les vaches réduisent leurs déplacements et leur ingestion, l'herbe au pâturage est alors moins bien exploitée, alors même que sa senescence est accélérée et sa pousse stoppée (voir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





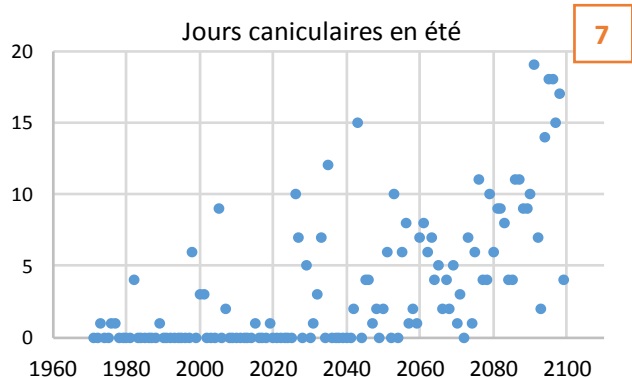
5

Nombre de jours nécessaires pour cumuler 80°C en base 6 à partir du 15 avril. En bonnes conditions, le maïs lève en 7 jours. Une levée en plus de 10 jours traduit un stress léger, une levée en plus de 20 traduit un fort stress (L. Maunas, Arvalis).



6

Pourcentage de jours où la récolte est possible (c'est-à-dire suivant un épisode de 5 jours sans pluie), entre les stades 30 et 35%MS, pour un maïs de catégorie SC semé le 15 avril. 100 signifie que tous les jours de la période sont praticables.



7

Nombre de jours avec Tmax > 35°C, entre le 5 juillet et le 20 août.

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

Avec la participation de : Magali Bergot (*Météo-France*), Thierry Brun (*Idele*), Françoise Guillois (*Chambre d'agriculture de Bretagne*), Françoise Ruget (*INRA*), Franck Souverain (*Météo-France*).

Crédits photos : C. Helsly / CNIEL

Version : Déc. 2018

Remerciements aux éleveurs qui ont participé aux groupes de travail.

Les informations contenues dans cette publication ont été obtenues dans le cadre d'un Projet de recherche initié par le CNIEL, mené conjointement avec ARVALIS, le BTPL, les Chambres d'agriculture (ici, de Bretagne), 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

