



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 :

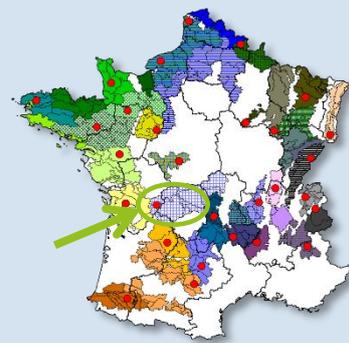
- ✓ Un zonage de la France en une trentaine d'Unités Laitières Agroclimatiques représentatives de la diversité des contextes de production du lait en France (voir ci-contre),
- ✓ Des données sur l'évolution du climat à l'échelle de chacune de ces zones,
- ✓ Les impacts du changement climatique, sur des 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 Confolentais (16)

DES RÉSULTATS

pour le Confolentais



Carte présentant les 30 unités laitières agroclimatiques

Au sommaire :

La Région Agricole du Confolentais	2
Climat du Confolentais.....	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	17
Annexes.....	18

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 Confolentais

Comme partout en France, la SAU moyenne par exploitation augmente à un rythme soutenu (de l'ordre de + 32 % entre 2000 et 2010), sans que la main d'œuvre augmente au même rythme (+ 9 % 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	2,0	102	23	79	23	106	57
Évolution entre 2000 et 2010 (% de 2000)	+9%	+32%	+30%	+34%	+60%	+38%	+47%

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 1,3 UGB/ha de SFP.

Le quota moyen pour la dernière campagne (2014-2015) a atteint 395 000 litres par exploitation, soit environ 6 900 L/VL.

Avec environ 20 % 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, temporaires et permanentes, et 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 Confolentais 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, temporaires et permanentes, auxquelles s'ajoutent du maïs fourrage et des céréales.

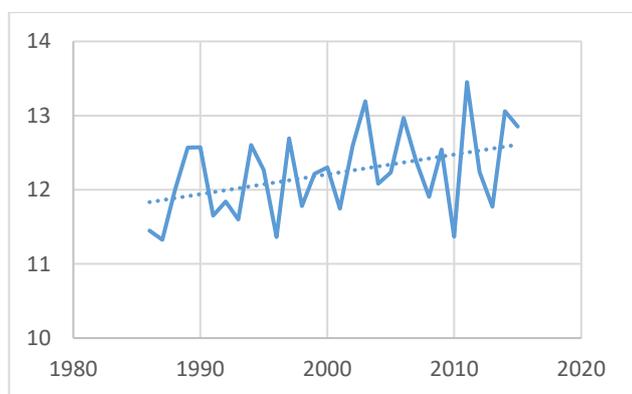
Climat du Confolentais

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

Le climat du Confolentais est de type océanique altéré (carte a), avec des températures plutôt douces (carte b) entraînant un repos hivernal de la végétation relativement court (carte f), et une date de mise à l'herbe théorique mi-mars (carte d). Le cumul annuel des précipitations est relativement important (carte c), de ce fait, la sécheresse agronomique estivale reste modérée (carte e).

Évolution récente du climat

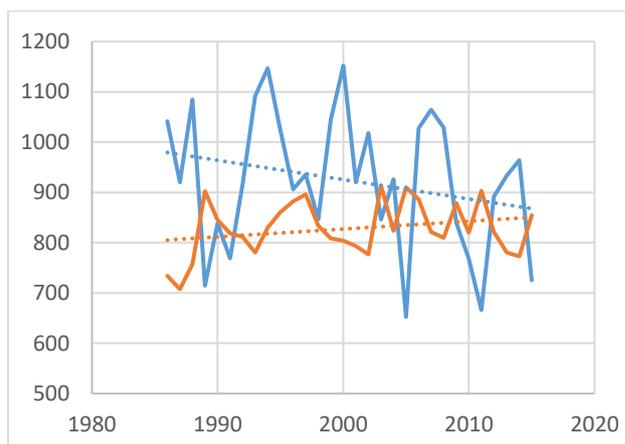
Sur ce site, l'évolution des températures moyennes annuelles est relativement marquée : en 30 ans, le climat s'est réchauffé d'environ 0,8 °C. La variabilité inter-annuelle demeure importante, avec des moyennes annuelles comprises entre 11,5 et 13,5 °C. Cette augmentation de température se retrouve à l'échelle saisonnière. Elle est particulièrement marquée au printemps (+ 1,6 °C) et à l'automne (+ 1,0 °C).



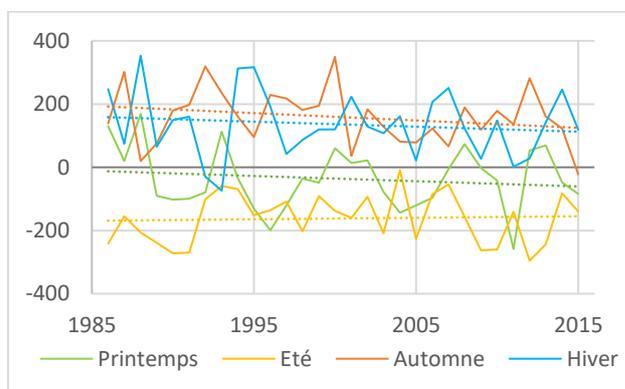
Évolution de la température moyenne annuelle de 1986 à 2015 (Données Météo-France Safran).

Le cumul annuel des précipitations est très variable, entre 650 et 1150 mm/an, avec une tendance à la baisse. Le cumul annuel d'évapotranspiration, lui, semble en légère augmentation. La variabilité des précipitations se retrouve à l'échelle saisonnière, avec une tendance à la baisse au printemps, en automne et en hiver. Le bilan hydrique (P-ETP) saisonnier semble donc diminuer pour ces trois saisons, surtout au printemps où il devient de plus en plus souvent déficitaire. En été, aucune évolution n'est

perceptible sur les trente dernières années, le bilan hydrique est déficitaire.



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

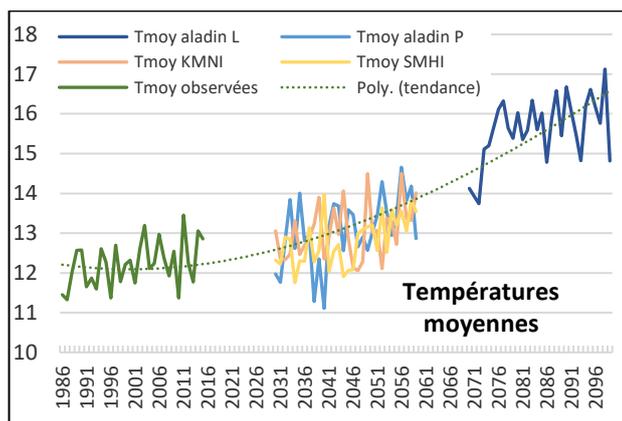


Bilan hydrique (P-ETP) calculé par saison de 1986 à 2015 (Données Météo-France Safran).

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.

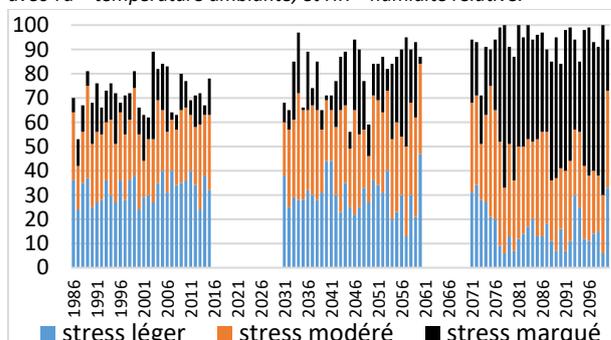
L'analyse des données simulées montre qu'autour de ce niveau, l'hiver se réchaufferait moins (+ 3 °C) que l'été (+ 5 °C). Les températures moyennes sont exprimées à partir des minimales et des maximales, l'analyse montre que les maximales progresseraient plus vite que les minimales. Ainsi quand on évoque 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 + 2 à 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 16 mars (une année sur deux entre le 12 et le 22 mars), elle pourrait passer aux alentours du 10 mars dans le futur proche (entre le 9 et le 15 selon les modèles), et du 4 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 ...	12/3 22/3	11/3 20/3	13/3 23/3	4/3 19/3	8/3 21/3	3/3 15/3	1/3 7/3
Médiane	16/3	16/3	18/3	10/3	15/3	9/3	4/3

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

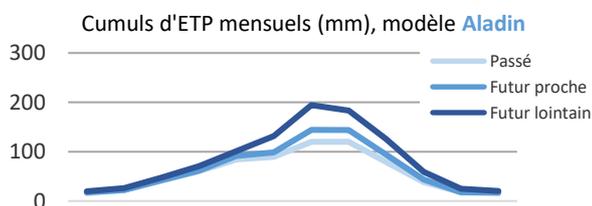
Il n'y a pas de tendance nette quant à l'évolution du cumul annuel de précipitations : aucun des 3 modèles ne prédit pour le futur proche une baisse du cumul annuel de précipitations dans cette zone, sauf peut-être en fin de siècle avec le modèle **Aladin**. Ce qui domine, c'est surtout la très forte 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 et en début d'été, pour le modèle **SMHI** ce serait plutôt en fin d'automne, et pour le modèle **Aladin** en fin de printemps et en hiver. Quant aux diminutions des précipitations, le modèle **Aladin** les prévoit en fin d'hiver-début de printemps et en été. Dans le futur lointain, les précipitations diminueraient sur toute la durée de l'été et de l'automne, ainsi qu'en début de printemps. On peut donc s'attendre à des sécheresses météorologiques estivales, voire printanières, plus fréquentes. Le tableau ci-dessous indique la fréquence possible de tels aléas climatiques, dans le passé et pour le futur, selon le modèle climatique.

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

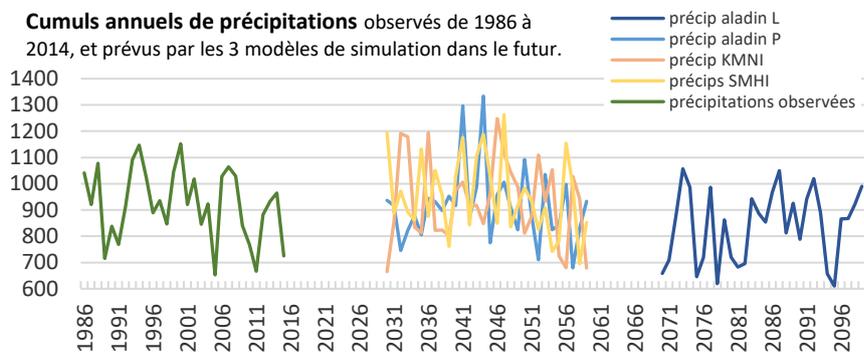
	Obs 30 ans	1986-2000	2001-2015	Aladin 2030-2059	KMNI 2030-2059	SMHI 2030-2059	Aladin 2070-2099
au moins 15 jours sans pluie entre le 20/04 et le 10/06	2/10	2/10	3/10	+17%	-17%	-3%	+13%
au moins 20 jours sans pluie entre le 01/07 et le 01/09	3/10	3/10	3/10	+17%	+23%	+23%	+47%



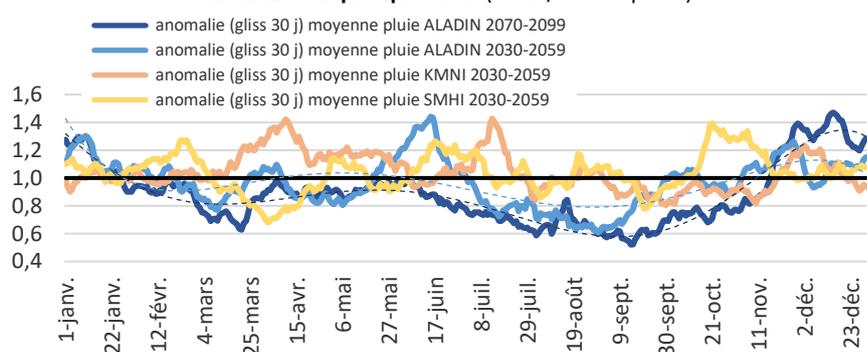
Le climat de la zone se caractérise par des températures douces, et des précipitations assez importantes. Les températures, déjà en légère augmentation par le passé, le seraient encore plus dans le futur. Au printemps, cela pourrait permettre d'avancer la mise à l'herbe. En été, les épisodes caniculaires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

Les précipitations sont variables d'une année sur l'autre, dans le passé comme dans le futur. On note cependant, à la fin du siècle, une diminution des précipitations en printemps-été, ainsi qu'une augmentation de l'évapotranspiration. Ces deux phénomènes contribuent à accentuer les situations de sécheresse en été.

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)



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. 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.

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 %	120 mm
Sol moyen	70 cm	20 %	90 mm
Sol superficiel	10 cm	20 %	14 mm

Caractéristiques des sols utilisés dans les simulations

Conséquences du changement climatique sur la pousse de l'herbe

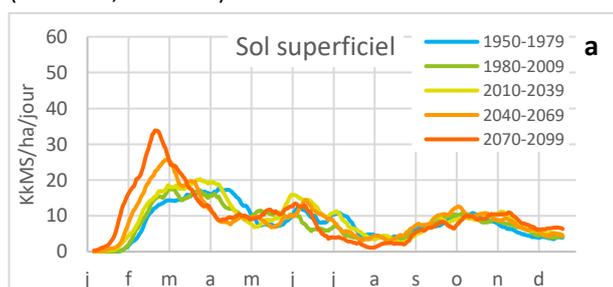
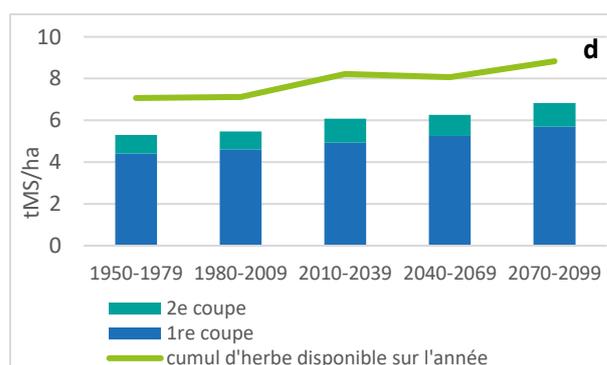
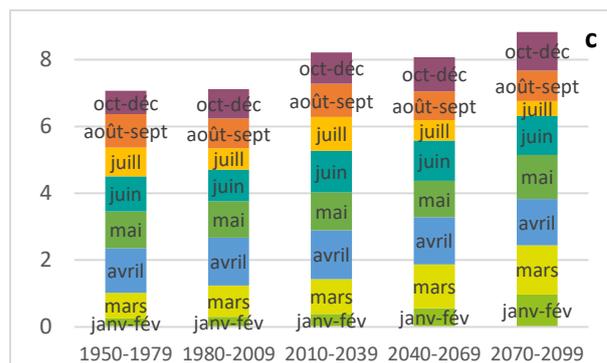
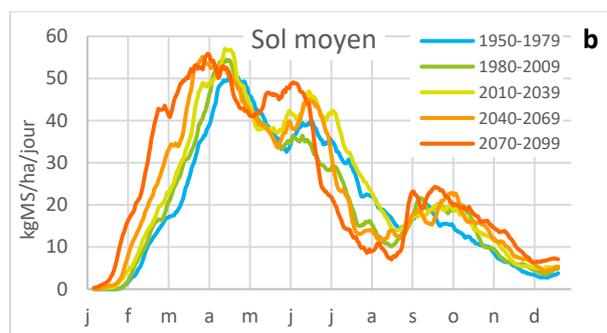
Les simulations ont été réalisées pour plusieurs itinéraires techniques combinant récoltes (en foin ou en ensilage) et pâturage, sur trois types de sol. Les courbes de croissance présentées ci-dessous ne concernent que les itinéraires de type pâturage.

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.

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 sur sol superficiel et sans apports azotés, en kg de MS/ha/jour, selon la période de 30 ans simulée ;
- b) pousse d'une prairie à base de graminées sur sol moyen avec de faibles apports azotés, en kg de MS/ha/jour, selon la période de 30 ans simulée ;
- c) cumul d'herbe disponible par mois sur sol moyen avec de faibles apports azotés ;
- d) rendements moyens des récoltes de foin et cumul d'herbe disponible sur l'année, sur sol moyen avec de faibles apports d'azote.

Luzerne

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

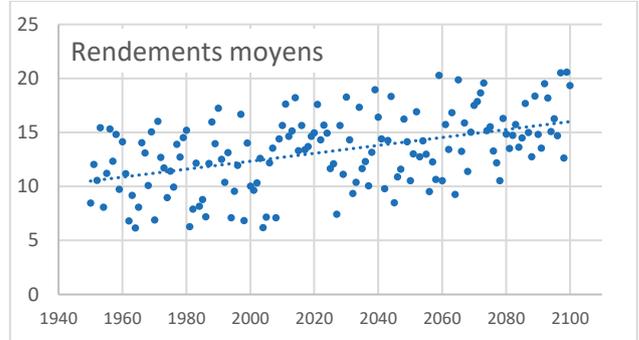
Quel que soit le nombre de coupes visées ou réalisées, les rendements seraient à la hausse. Cependant, si l'ensemble des rendements moyens augmente, la variabilité interannuelle est toujours aussi marquée.

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

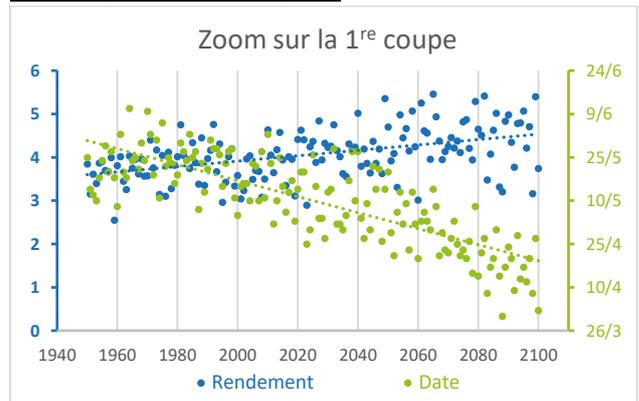
D'autre part, l'augmentation des températures estivales permettrait d'accélérer la croissance des plantes (contrairement aux prairies de graminées, la luzerne est peu affectée par les températures élevées, tant que suffisamment d'eau est disponible) et ainsi bien souvent de faire une coupe supplémentaire.

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.

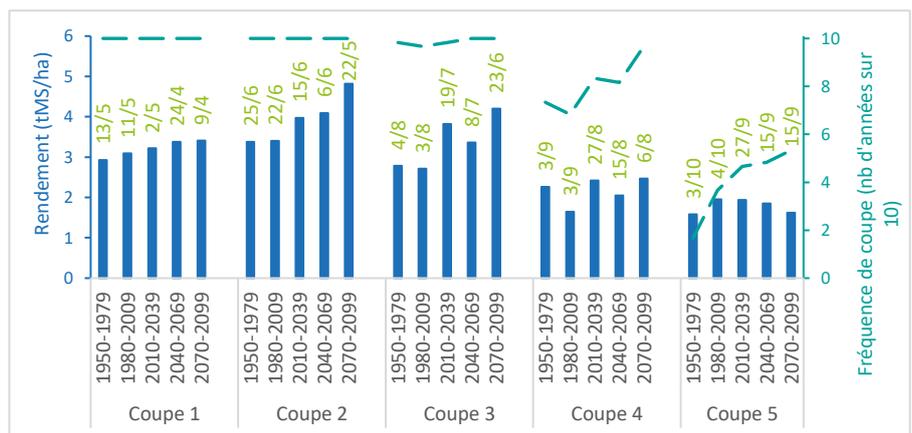
Moyenne des rendements cumulés obtenus pour chacun des deux itinéraires techniques utilisés dans les simulations.



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 5 coupes prévues.

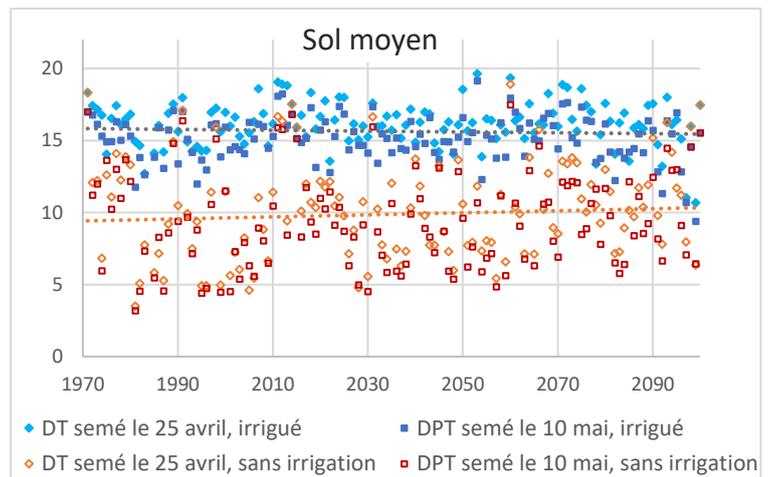


Maïs

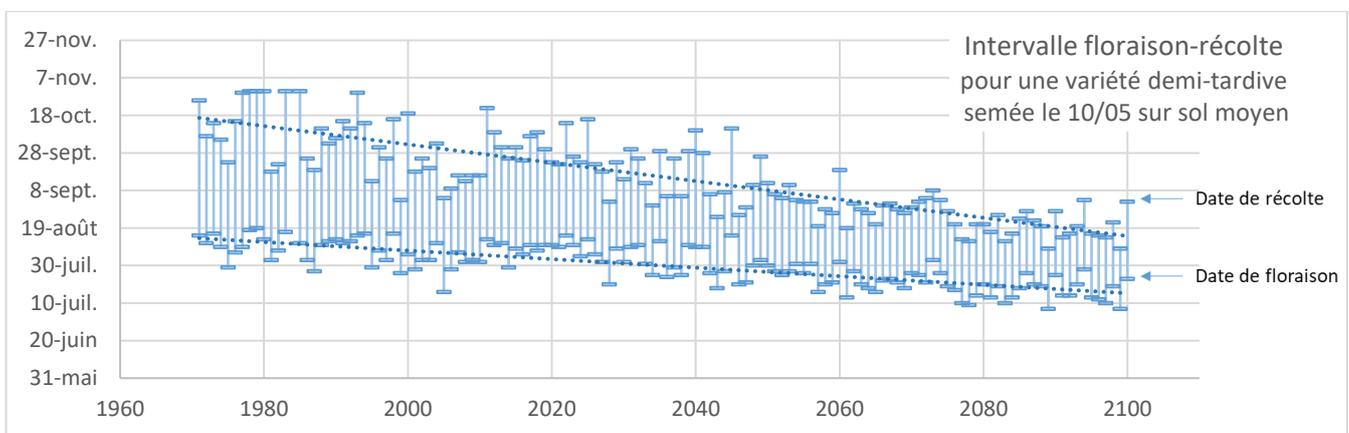
Les simulations sont réalisées pour :

- deux types de variétés : celles dites « demi-précoces tardives » ou DPT dont l'indice est compris entre 310 et 400, et celles dites « demi-tardives » ou DT, d'indice 400 à 480.
- deux dates de semis : le 25 avril et le 10 mai.
- avec ou sans irrigation (le modèle pilote l'irrigation en fonction du niveau de stress hydrique subi par la plante).

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



Rendements utiles obtenus pour chaque année simulée, dans deux configurations précocité x date de semis (actuelle et adaptée au climat futur), avec et sans irrigation, sur sol moyen.



Évolution des dates de floraison et récolte.

Les simulations ne mettent pas en évidence de tendance nette quant à l'évolution des rendements de maïs ensilage. 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). De plus, la variabilité des rendements reste importante et tendrait même à s'accroître dans le futur.

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

L'augmentation des températures au printemps permettrait également une augmentation de la production des dérobées, toujours avec une certaine variabilité. Cependant, la variabilité du 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 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, tant que celle-ci dispose d'eau : les rendements cumulés augmentent, avec une nette avancée des dates de coupes.

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

Les conséquences du changement climatique sur les systèmes laitiers de la zone et les adaptations possibles ont été envisagées collectivement à l'aide du Rami Fourrager®.

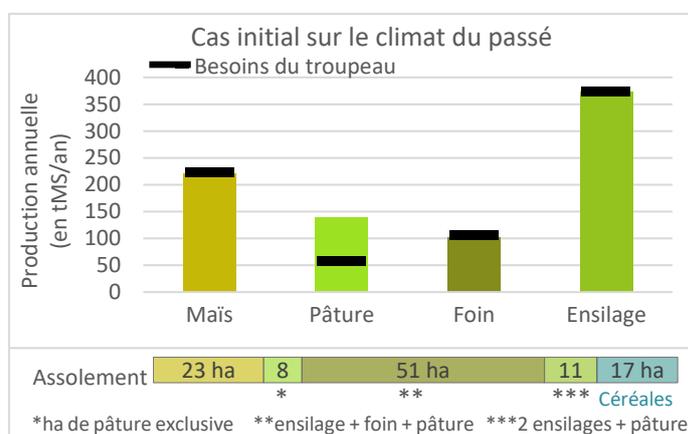
Le Rami Fourrager® est un jeu de plateau associé à un module informatique qui reproduit les composantes fourragères d'un système d'élevage. La partie supérieure du plateau est consacrée à l'offre fourragère, tandis que la partie inférieure est dédiée à la description des lots d'animaux et à leurs calendriers d'alimentation. Le jeu consiste à équilibrer offre et demande.

Les climats, les sols et les pratiques locales sont pris en compte via la proposition d'un panel de « baguettes fourrage » adaptées au contexte local. Celles-ci décrivent pour chaque type de fourrage et pour chaque itinéraire technique, les rendements obtenus dans la région au cours d'une ou plusieurs années choisies.

Lors d'une partie, les joueurs construisent un cas initial à traiter (assolement, allotement et rations..), à partir de baguettes fourrages illustrant la situation actuelle. Une fois l'équilibre fourrager atteint, on confronte le système à un autre contexte climatique, en prenant en compte des baguettes fourrages élaborées pour cet autre contexte. Les équilibres du système sont alors plus ou moins perturbés. Pour les réajuster, les joueurs peuvent tester différents leviers d'adaptation ou innovations et visualiser leurs conséquences grâce au module informatique. C'est aussi l'occasion de les discuter collectivement et de partager les expériences de chacun concernant les adaptations possibles.

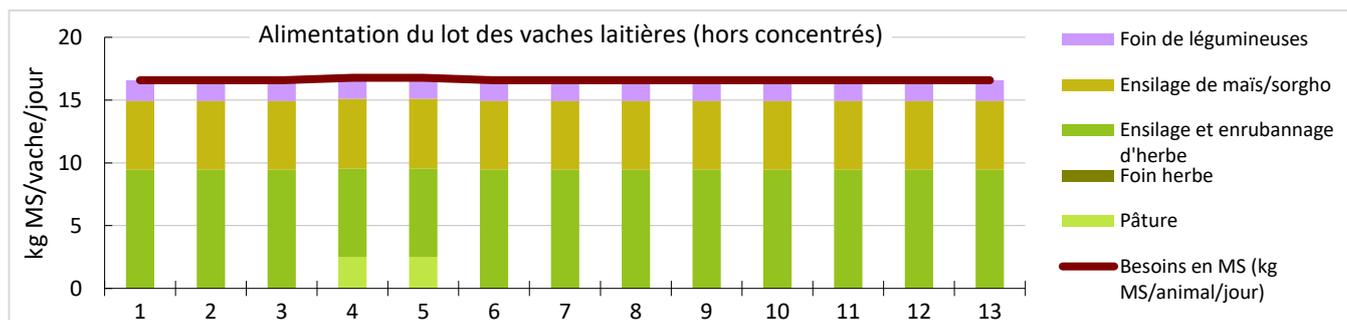
Le système traité

Le cas étudié a été construit par un groupe d'éleveurs du Confolentais et leur conseillère, à partir d'un cas concret de la zone. Il s'agit d'une ferme disposant de 93 ha de SFP : 23 ha de maïs et 70 ha de prairies. 17 ha de cultures sont occupés par du triticale, en rotation avec le maïs, ce qui permet d'implanter des cultures intermédiaires.



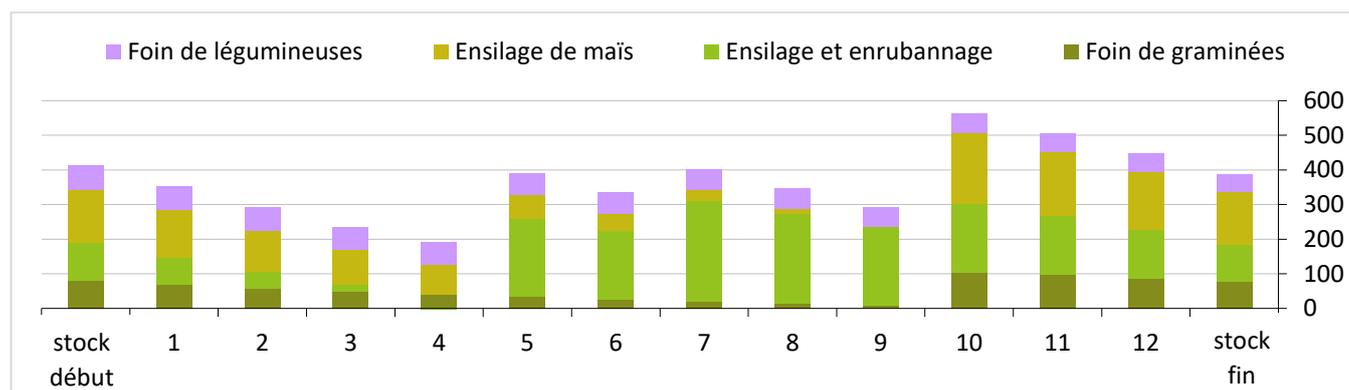
Le troupeau est constitué de 100 vaches laitières à 7 000 kg de lait produits, avec un taux de renouvellement de 25 % et des vêlages étalés. L'âge au premier vêlage est de 29 mois, comme c'est le cas en moyenne sur la zone. 30 génisses sont élevées chaque année. Les vaches laitières pâturent un peu d'avril à mai, leur ration se compose le reste du temps de 30 % de maïs ensilage, 60 % d'ensilage d'herbe et 10 % de foin de luzerne, afin de répondre à la demande des laiteries en termes de stabilité des taux du lait. Les génisses pâturent d'avril à octobre en fonction de leur mois de naissance et consomment essentiellement du foin en hiver. La pâture n'est pas conduite de manière optimale, de l'herbe peut être gaspillée à certaines périodes, notamment en fin d'année après les coupes d'ensilage. Le chargement corrigé est de 1,4 UGB/ha SFP.

Ce système, dans un cas optimisé (bonnes valeurs alimentaires) nécessite 58 tonnes de concentrés protéiques de type tourteau de soja, 63 tonnes de céréales et 420 tonnes de paille. Dans le cas présenté ici, le foin de légumineuses est acheté à l'extérieur, cela représente 66 tMS/an.



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 d'une année moyenne du passé.

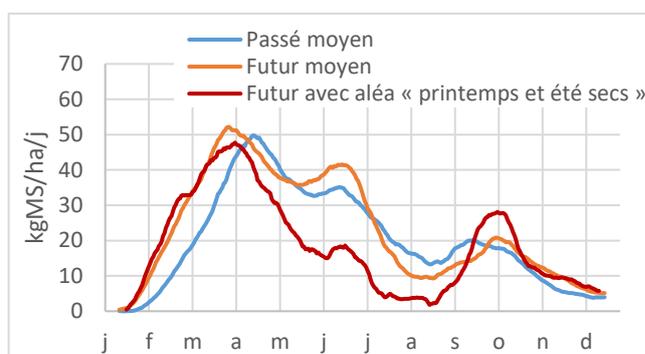
Le système a été calibré dans le climat du passé pour que le stock de fourrages en fin d'année soit au même niveau qu'au début, sans qu'il n'y ait de rupture au cours de l'année. La dynamique des stocks est la suivante :



Évolution des stocks (en tMS) au cours de l'année.

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 2040-2080**. Ce système déjà adapté aux conditions climatiques du futur a ensuite été confronté à un type d'année future particulier, caractérisé par un **printemps particulièrement sec, suivi d'un été chaud et sec** et de conditions favorables à la pousse de l'herbe en automne. Ce type de déroulement climatique apparaîtrait une année sur 10 à partir des années 2040.



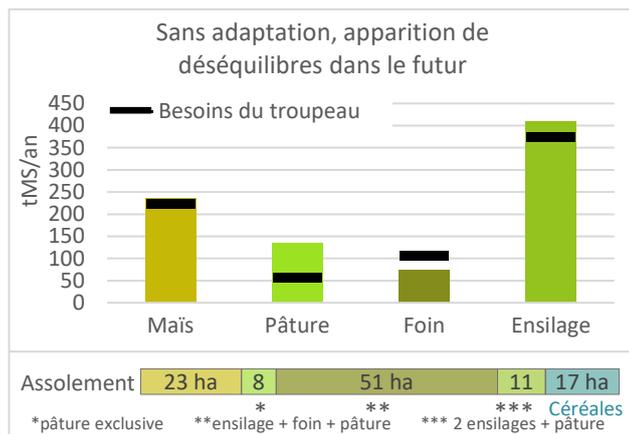
Pousse moyenne d'une prairie à base de graminées sur sol profond, selon la période d'étude envisagée.

	1971-2000	2040-2080	Année avec aléas
Date de mise à l'herbe (Date à laquelle on a cumulé 300 °C depuis le 1 ^{er} février)	21-mars	11-mars	8-mars
Bilan hydrique au pic de croissance des prairies (mm) (Cumul Précipitations - ETP, entre 400 et 1100 °C cumulés)	19	- 20	- 103
Températures élevées en fin de printemps (Nombre de jours avec $T_{max} > 28$ °C, entre 1100 °C cumulés et le 5/07)	2	8	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)	- 104	- 193	- 260
Précipitations fin d'été et début automne (mm) (Cumul pluviométrique entre le 21 août et le 1 ^{er} octobre)	48	37	55

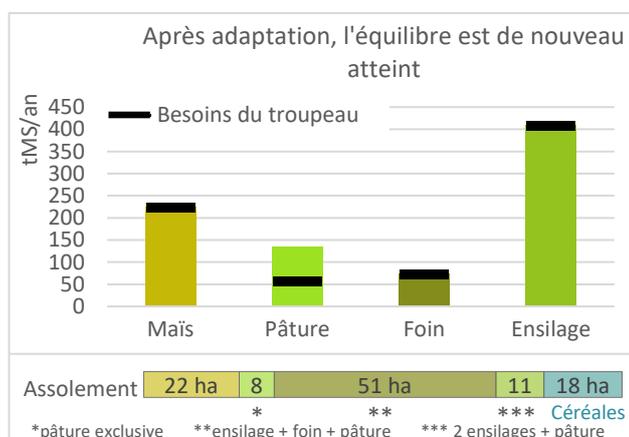
Caractérisation des trois contextes climatiques retenus pour les parties de Rami Fourrager® (valeurs moyennes).

Les adaptations envisagées

Dans le futur (année moyenne 2040-2080)



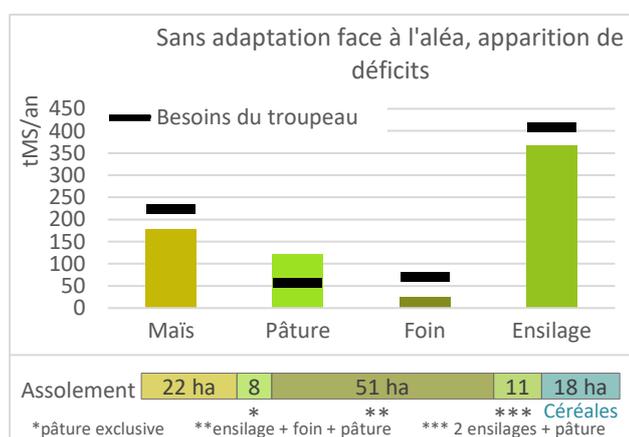
La production d'ensilage de maïs et d'herbe augmente (+ 15 tMS pour l'ensilage de maïs, + 40 tMS pour les ensilages d'herbe), tandis que la production de foin diminue (- 30 tMS). La répartition de la pousse de l'herbe est modifiée : des surplus plus importants apparaissent en fin d'année.



Les adaptations suivantes sont envisagées :

La SFP est réduite de 1 ha de maïs au profit des céréales. La ration des génisses est modifiée : le foin manquant est remplacé par de l'ensilage d'herbe. Les pâtures restent peu valorisées en fin d'année.

Dans le cas de l'année « sèche »



Sans nouvelles adaptations, le système devient déficitaire : il manque 50 tMS d'ensilage de maïs, 40 tMS d'ensilage d'herbe, 50 tMS de foin, et il n'y a plus assez d'herbe pour faire pâturer l'ensemble des génisses entre mai et septembre. En revanche, on observe toujours des excédents d'herbe sur pied en fin d'année.

Face à de tels déficits, plusieurs propositions sont faites par les éleveurs :

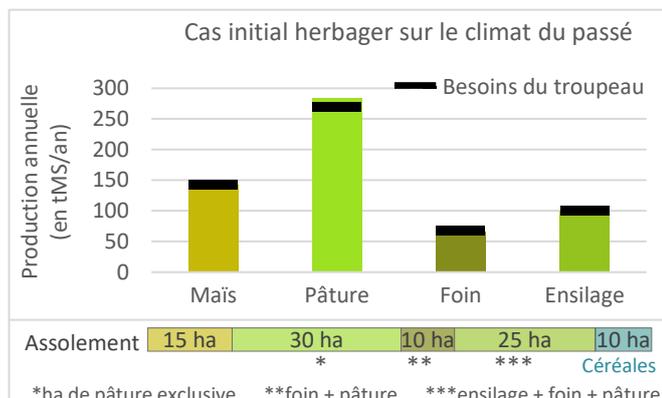
- Mobiliser les stocks produits les bonnes années et acheter le fourrage manquant à l'extérieur
- Vendre des animaux : ici il faudrait se séparer de 20 vaches laitières.
- S'être préparé à de tels aléas et posséder 25 % de surfaces en plus pour la constitution de stocks de sécurité.

Pour les éleveurs, cette dernière option n'est pas envisageable car engendrerait d'une part des coûts supplémentaires, mais surtout une surcharge de travail et du stress.

Une adaptation à plus long terme pourrait être la modification du système avec diminution importante de la taille du cheptel, vente d'une partie du fourrage en année moyenne, et auto-consommation les années difficiles. Certains éleveurs de la région fonctionnent d'ailleurs déjà de cette manière. Valoriser l'herbe de fin d'année (pâturage tardif, fauches tardives) est aussi une piste d'adaptation à considérer.

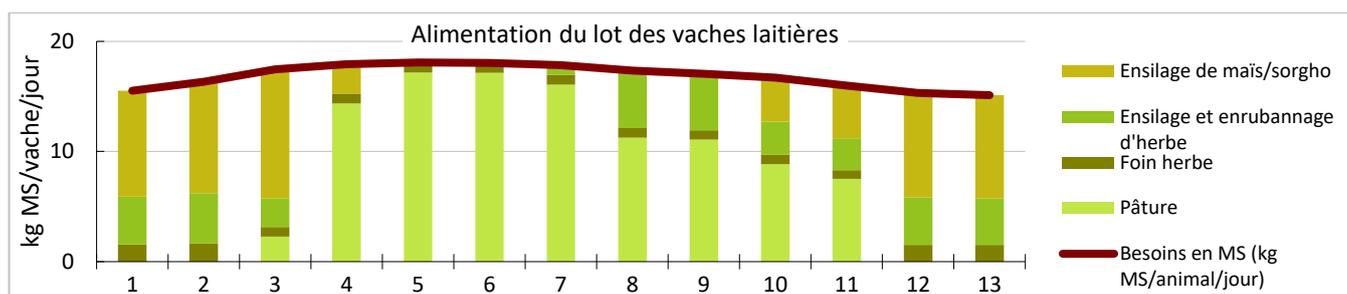
Cas d'un système herbager

Les éleveurs ont aussi souhaité connaître l'impact du climat futur sur un système herbager. Il a été défini à partir d'un cas-type existant. Il s'agit d'une ferme disposant de 80 ha de SFP dont 15 ha de maïs ensilage. 10 ha de cultures sont occupés par du blé et de l'orge.



Le troupeau compte 72 vaches laitières à 7 500 kg de lait produits par an, avec un taux de renouvellement de 30 % et des vêlages pour moitié étalés et d'automne pour l'autre moitié du troupeau. L'âge au premier vêlage est de 29 mois, comme c'est le cas en moyenne sur la zone. Les vaches laitières pâturent de mi-mars à octobre, à partir de fin juin la ration est complétée par de l'herbe ensilée. En hiver, la ration se compose d'un tiers d'ensilage d'herbe et de deux tiers d'ensilage de maïs. 22 génisses sont élevées chaque année. Leur ration est constituée de foin et d'ensilage d'herbe en hiver, d'herbe pâturée le reste de l'année.

Pour une ration équilibrée toute l'année, ce système nécessite 9 tonnes de céréales, 35 tonnes de concentrés protéiques et 180 tonnes de paille. La gestion de l'herbe est optimisée, aucun excédent n'est observé tout le long de l'année. Le chargement corrigé est de 1,45 UGB/ha SFP.



Matière sèche apportée par les fourrages pour remplir les besoins en matière sèche du lot de vaches laitières du système herbager sur les treize périodes de 4 semaines d'une année moyenne du passé.

Les mêmes exercices que précédemment ont été effectués sur ce système à l'aide du Rami Fourrager®.

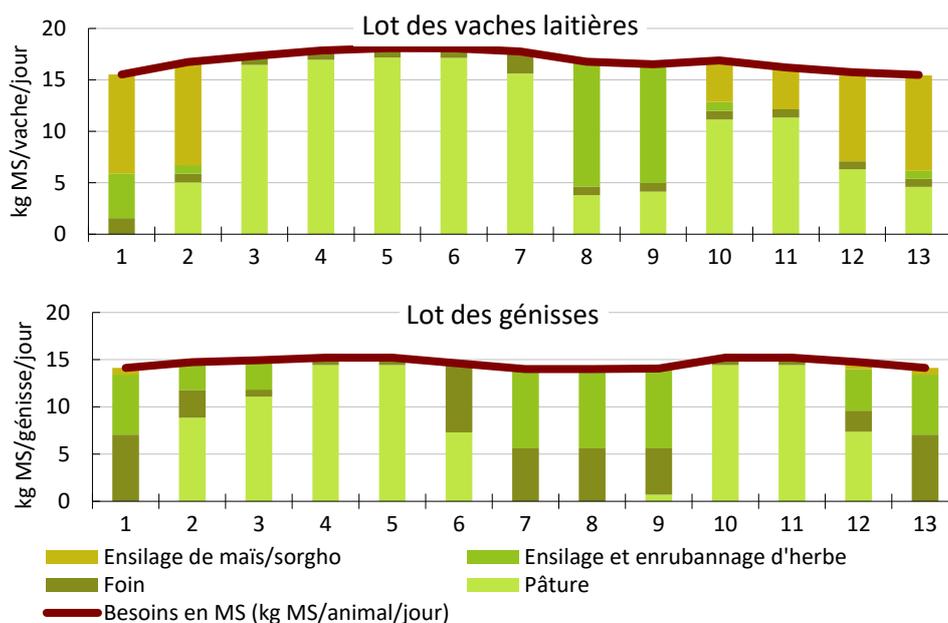
Dans le futur (année moyenne 2020-2050)

De la même manière que pour le premier système étudié, le système devient excédentaire en ensilage d'herbe (+ 8 tMS) et de maïs (+ 10 tMS). Mais il devient aussi excédentaire en foin (+ 11 tMS). La courbe de pousse de l'herbe est modifiée entraînant un léger déficit en pâture fin août et un gaspillage d'herbe au début du printemps. 3,5 ha de prairies permanentes dédiées à l'ensilage et au foin, ainsi qu'un hectare de maïs pourraient être libérés pour la production de céréales.

Dans le cas de l'année « sèche »

Dans le cas d'une année sèche, le système devient déficitaire : il manque 16 tMS de foin, 33 tonnes de maïs ensilage et des surfaces pâturables pour les deux lots de fin mai jusque fin août. Comme le premier système étudié, ce système est donc très fragilisé par l'aléa « printemps et été secs ».

Des pistes d'adaptation sont proposées : mettre les vaches laitières à l'herbe plus tôt, dès février. Rentrer les génisses début mai jusque fin août. Puis remettre les deux lots à l'herbe jusque mi-décembre pour profiter des fortes repousses d'automne. Selon les éleveurs, pâturer en fin d'hiver se pratique déjà et est très bénéfique pour la production laitière : les vaches gagnent entre 2 et 7 L et ingèrent mieux le maïs ensilage. Avec l'allongement de la durée de pâturage, des économies d'ensilage et de foin sont faites et le système retrouve un bilan fourrager équilibré. En revanche, la consommation de concentrés énergétiques augmente : 7 tonnes de céréales supplémentaires sont nécessaires. Le besoin en concentrés protéiques, lui, diminue de 5 tonnes.



Matière sèche (en kg MS/animal/jour) apportée par les fourrages pour remplir les besoins en matière sèche des différents lots du système herbager étudié sur les treize périodes de 4 semaines d'une année « sèche » du futur.

Ainsi, via différents leviers d'adaptation, le système herbager peut faire face à l'évolution future du climat. Ces adaptations concernent principalement les prairies et passent par une adaptation à la pousse de l'herbe. Ceci implique une bonne réactivité et une bonne technicité en matière de gestion du pâturage et de récolte des fourrages, surtout les années à aléa.

D'autres leviers ont été évoqués, notamment pour lutter contre les effets du stress thermique chez les vaches : les éleveurs mentionnent la possibilité de faire pâturer les vaches laitières la nuit, et rappellent l'utilité du travail sur les races et croisements.

Discussion autour de leviers d'adaptation issus de travaux de recherche

Des éléments issus de travaux menés à l'INRA de Lusignan depuis plusieurs années ont ensuite été présentés au groupe. Ces leviers d'adaptation (et donc de sécurisation des systèmes fourragers) sont d'ordre agronomique et concernent la diversification des fourrages stockables, l'allongement de la durée de pâturage et l'augmentation de la production estivale pâturable. Pour chacun de ces objectifs, plusieurs moyens sont présentés ci-dessous, avec des commentaires techniques et les réactions des éleveurs. D'autres travaux sont menés à Lusignan concernant les aspects zootechniques (croisements, durée de lactation...) et à l'échelle système (OasYs).

OasYs, un système bovin laitier agroécologique, adapté au changement climatique

Le système laitier OasYs a été reconçu globalement avec plusieurs partenaires en utilisant une approche agroécologique et pour être adapté au changement climatique. Il est fondé sur une diversification des ressources fourragères (y compris les arbres), le développement du pâturage et des légumineuses, le recyclage de l'eau et des éléments nutritifs, et sur une stratégie d'élevage adaptée à ce nouveau système fourrager (deux périodes de vêlage, lactations allongées, vaches croisées). Ce système est mis en place sur l'unité expérimentale Fourrages, Environnement, Ruminants de l'INRA à Lusignan (Vienne) depuis fin 2013. Il comporte 90 hectares de cultures et prairies multi-espèces et multi-étagées (dont 12 ha en agroforesterie), et un troupeau de 72 vaches laitières engagé dans un croisement rotationnel à trois races (Holstein, Rouge Scandinave, Jersiaise). Son évaluation multicritère sur le long terme vise à étudier dans quelle mesure une plus grande diversité des composantes d'un système laitier permet de concilier un niveau de production et des performances environnementales élevées, et d'améliorer la résilience du système face aux aléas climatiques.

Diversifier les fourrages à stocks

► Cultiver du sorgho sur les sols à faible réserve utile

Les sorghos grains sont plus productifs que le maïs trois années sur cinq en Poitou-Charentes. Les rendements sont compris entre 6 et 15 tMS/ha, selon la pluviométrie. Selon Jean-Claude Émile, de l'INRA de Lusignan, il n'y a « aucune raison de ne pas avoir au moins 50 % de sa sole maïs conduite en sorgho, voire plus en terres très ingrates. » Il faut cependant bien choisir entre les différents types de sorgho : privilégier les sorghos BMR, éviter les sucriers, et faire attention à la tardivité des sorghos géants.

La qualité est similaire à celle du maïs.

L'association sorgho-légumineuse est prometteuse (pour la MAT) mais pas au point techniquement.

Une innovation technique majeure consiste à semer à écartement réduit (20 cm au lieu de 75), tout en conservant la même densité à l'hectare. Cette technique semble très favorable au rendement (+ 66 % sur 3 ans) et au contrôle des adventices.

Les repousses peuvent être pâturées (2 tMS/ha) avant les premières gelées.

Le sorgho est cultivé dans le Sud de la Charente mais pas dans le Confolentais. Les éleveurs sont très curieux concernant cette pratique, les associations possibles (haricot, maïs, lablab...), les modalités de semis (date, précocités, eau, semoir...) et de récolte (date, stade et toxicité).

Ils aimeraient pouvoir voir ce que cela donne en pratique.

► Récolter des mélanges céréales-protéagineux immatures (MCPI)

Différents mélanges ont été testés, et comparés au triticale seul : triticale-pois et triticale-avoine-pois-vesce. La conduite est très simple, économique et quasiment sans intrants.

Les rendements des essais à Lusignan sont compris entre 6 et 12 tMS/ha, selon la pluviométrie et la date de récolte. Une récolte précoce permet d'assurer une bonne qualité : 14-15 % de MAT et 0,80 UFL (ce qui est inférieur à la valeur UFL du sorgho). Une récolte tardive augmente le rendement mais pour une qualité médiocre.

Ces mélanges et leurs repousses peuvent aussi être pâturés.

Les éleveurs évoquent la variabilité de la valeur alimentaire de ces mélanges. Ils conseillent de réserver cet aliment aux génisses. Ils mentionnent le risque d'épuiser la réserve hydrique du sol et de libérer la parcelle trop tard pour implanter un maïs derrière. Certains préfèrent produire des associations de type RG-trèfle, qui donnent des valeurs alimentaires plus stables et peuvent être récoltées plus tôt. Ils reconnaissent l'avantage qu'ont ces mélanges pour « nettoyer » une parcelle.

► En début ou fin d'hiver, faire pâturer des céréales

Un passage mi-février, avant le stade « épi 1 cm », permet un rendement d'1 à 3 tMS/ha, et limite l'impact sur la récolte de grain. À ce stade, la qualité est excellente et ne demande pas de complémentation. Un premier passage en décembre est envisageable si le semis est précoce.

Le triticale est la céréale la plus recommandée pour cette pratique, et des associations avec des légumineuses (vesce, pois) sont possibles. Les associations avec des légumineuses ont par ailleurs l'avantage d'améliorer la portance. Le semis direct a également cet effet.

Les éleveurs évoquent :

- Le risque lié à la pratique et le besoin de rigueur concernant les dates de mise en pâture.
- L'ancienneté de la pratique (pâturage de seigle)
- La nécessité de pâturer dans de bonnes conditions de portance pour ne pas dégrader les sols.
- La dépendance de cette pratique aux conditions climatiques (date de semis de la céréale impactée et conséquences sur la possibilité de pâture)
- Une possible perte de rendement en paille.
- La possibilité d'enrubanner le triticale pour faire face à une sécheresse printanière.

► Faire pâturer des cultures d'été

Les **sorghos fourragers** peuvent être pâturés lorsqu'ils ont dépassé 0,4 m de hauteur (avant, la plantule contient de l'acide cyanhydrique). Deux à trois exploitations sont possibles.

Le **moha** fournit une première pousse abondante et de bonne qualité, mais celle-ci décroît rapidement à l'épiaison. Les repousses sont peu productives.

Le **millet** permet d'effectuer plusieurs passages avec un fourrage de bonne qualité, jusqu'aux premiers froids.

Les trois peuvent être associés à du trèfle (d'Alexandrie ou incarnat) ou de la vesce. En association, la qualité est très bonne. Cependant, le semis doit être réalisé avant le 14 juillet, et le rendement est variable (2 à 4 tMS/ha après 60 jours).

Les éleveurs notent que la réussite de ces cultures d'été est très dépendante de l'accès à l'eau à l'implantation. Par la suite, elles nécessitent une bonne organisation des travaux de récolte, du fait de leur croissance rapide.

► En hiver, faire pâturer de la betterave

La betterave est très productive (15 tMS/ha) et lactogène. Mais elle occupe le sol pendant longtemps : pour pâturer en hiver, il faut semer en avril.

L'ADBFM (Association pour le Développement de la Betterave Fourragère Monogerme) préconise de « réserver un front de consommation d'environ 3 m de large par vache. Quotidiennement, le fil est repoussé de 2 rangs et le pâturage est limité à 2 heures par jour. » Elle affirme également que « les vaches parviennent à tirer la betterave hors de terre et mangent aussi bien les feuilles que les racines. Pour habituer les jeunes à cette valorisation, il est conseillé d'arracher quelques racines à la main et de leur donner à même le sol les premiers jours. La période d'accoutumance est très rapide. »

Les éleveurs connaissent peu cette pratique bien que réalisée par leurs grands-parents il y a 50 ans sur la betterave, mais aussi le colza et le chou fourragers. C'est une pratique qu'ils aimeraient pouvoir observer (démonstration).

► Faire pâturer des crucifères à l'automne

Différentes espèces peuvent être utilisées : colza fourrager, chou, navet, moutarde, rave...

Semé après les moissons, le colza fourrager donne de bons résultats, à condition de bénéficier de pluies. Le pâturage doit être rapide pour permettre la repousse. Ces fourrages ont une faible teneur en matière sèche, mais sont riches en MAT.

Cette pratique se fait peu sur la zone. Les éleveurs mentionnent des risques de dégâts sur les parcelles drainées, des rendements parfois impactés par la venue de pucerons, des désagréments en salle de traite du fait de la teneur en eau élevée des crucifères... Cependant, ils confirment la bonne teneur en MAT du fourrage qui s'avère très intéressant en complément du maïs ensilage.

► Faire pâturer des reports sur pieds

Cette pratique entraîne toujours des pertes de qualité et de biomasse, mais est plus économique que la récolte, le stockage et la distribution des surplus. Elle est plutôt recommandée pour des animaux à faibles besoins.

La perte de qualité est moindre si la proportion de graminées épiées est faible (espèces ou types non remontants), et/ou si la proportion de trèfle est importante.

Les éleveurs recourent ponctuellement à cette pratique. D'autant plus si la prairie possède une flore adaptée : prairie multi-espèces, présence de trèfle ou d'autres légumineuses.

► **Intégrer de la luzerne dans les mélanges**

Intégrée dans les mélanges, la luzerne permet d'obtenir une production estivale plus importante. Sur l'année, le rendement est également supérieur à celui d'une prairie monospécifique.

Ces prairies peuvent être récoltées et/ou pâturées, elles produisent un fourrage de très bonne qualité, sont peu exigeantes en fertilisation et plus pérennes que la luzerne en pur.

Sur les sols sableux et acides de la région, les luzernes doivent être inoculées et des apports réguliers doivent être effectués pour la maintenir en place. Certains éleveurs réalisent des épandages de cendres industrielles. Les éleveurs notent que la luzerne résiste bien à la sécheresse.

► **Cultiver de la chicorée, seule ou dans des prairies multi-espèces**

La chicorée a une capacité à pousser en été « exceptionnelle ». L'installation est rapide, et l'utilisation peut se faire en été et automne. La qualité est très bonne. Un pâturage à rythme rapide est préconisé, les récoltes sont déconseillées.

Les éleveurs constatent que la chicorée est ce qui est consommé en dernier par les vaches laitières. Pour cette raison, ils recommandent de la cultiver en mélange plutôt qu'en pur.

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 devient globalement positif (pour les pâtures et la luzerne) ou neutre (pour le maïs) malgré le déficit hydrique estival. Cependant, la variabilité des rendements reste importante, et les conditions d'accès à la ressource restent elles aussi variables d'une année sur l'autre.

Les 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 sec suivi d'une sécheresse estivale d'une ampleur encore jamais rencontrée) ont affecté les systèmes étudiés. 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... Le système herbager avec une part plus importante de pâturage dans l'alimentation dispose aussi de capacités d'adaptation s'il colle au mieux à la ressource : il doit faire preuve de souplesse pour valoriser l'herbe en toutes saisons.

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 en fonction de 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. Ainsi, l'introduction de la luzerne peut permettre de répartir les risques par rapport aux attentes sur la qualité des foin et ensilages.

Les vaches aussi vont souffrir

Les éleveurs de la zone redoutent le stress thermique que vivront les vaches laitières de plus en plus souvent, et les pertes de production laitière que celui-ci entraîne. 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.

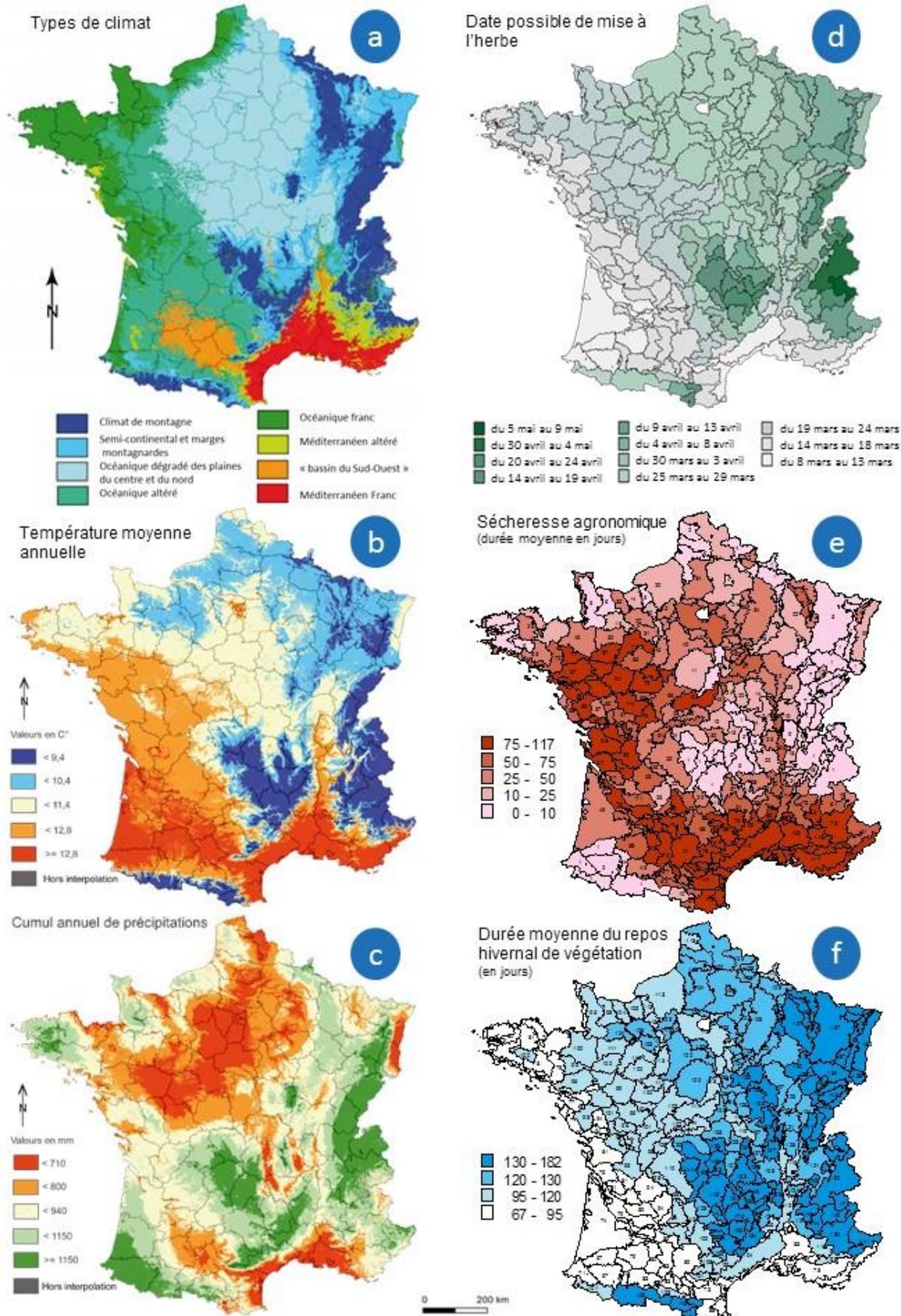
Un outil très apprécié des éleveurs est utilisé, le Rami Fourrager®. Il s'agit d'un jeu de plateau qui permet de modéliser un système fourrager et de le confronter à diverses contraintes. Les joueurs (éleveurs, conseillers...) peuvent alors reconfigurer le système pour l'adapter à ces contraintes. L'outil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



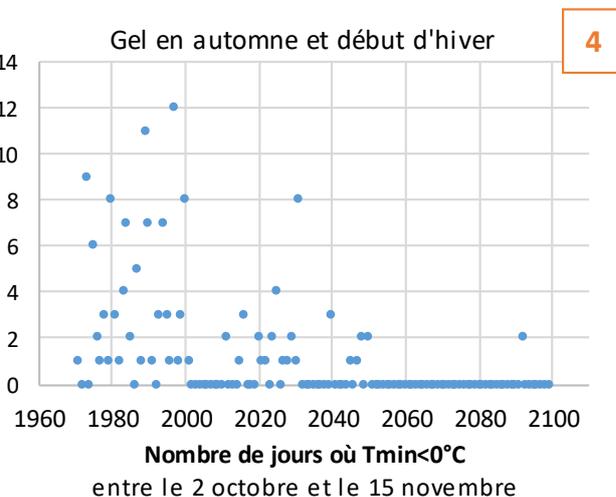
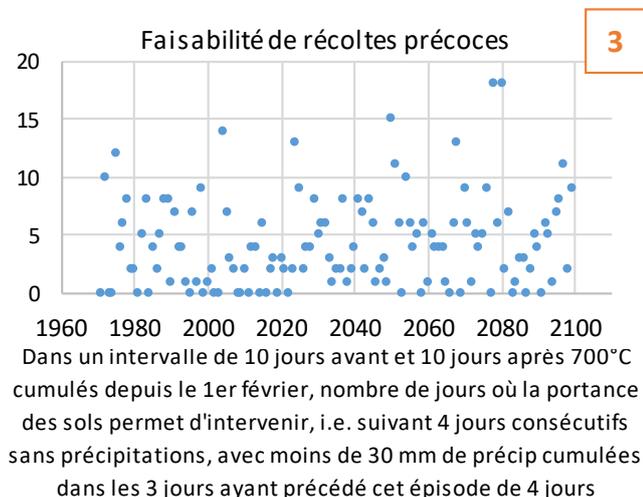
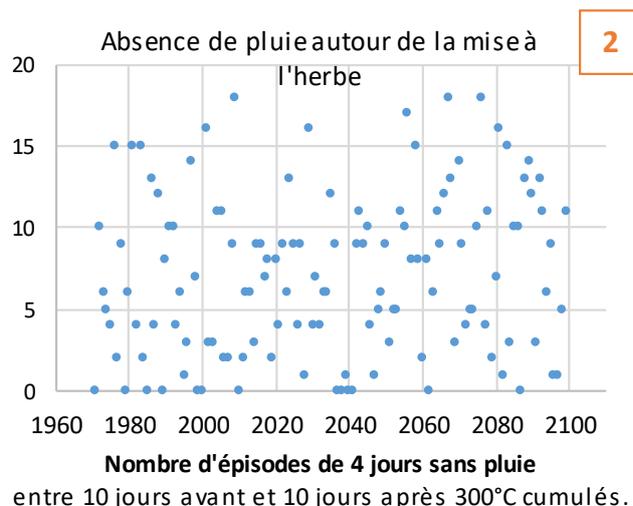
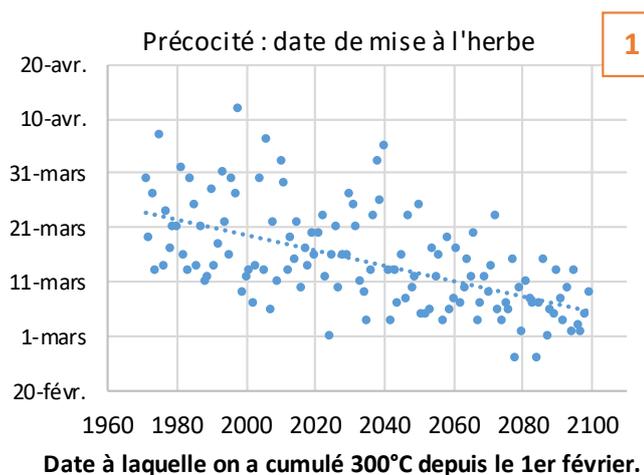
Sources et méthodes a, b, c : INRA, CNRS, Université de Bourgogne ; d, e, f : données Météo France, SSP, INRA calculées pour ISOP, traitement Institut de l'Élevage pour 228 régions fourragères. d. La date possible de mise à l'herbe est estimée par la date d'atteinte d'un seuil de 300°C cumulés depuis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

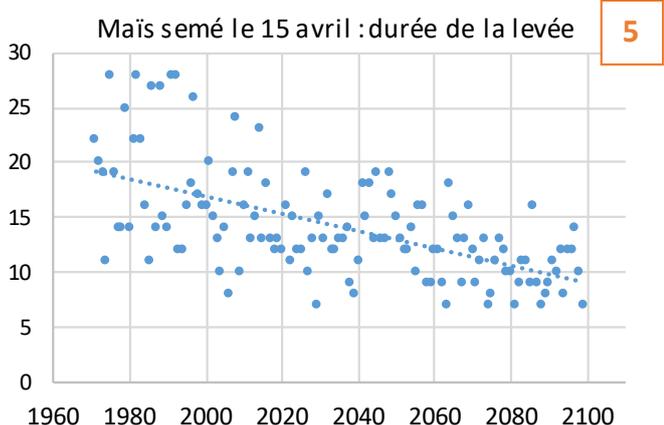
Annexe 3 : Évolution climatique et conséquences pour la mise en place et l'accès aux ressources fourragères (à partir du modèle de climat ALADIN)

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

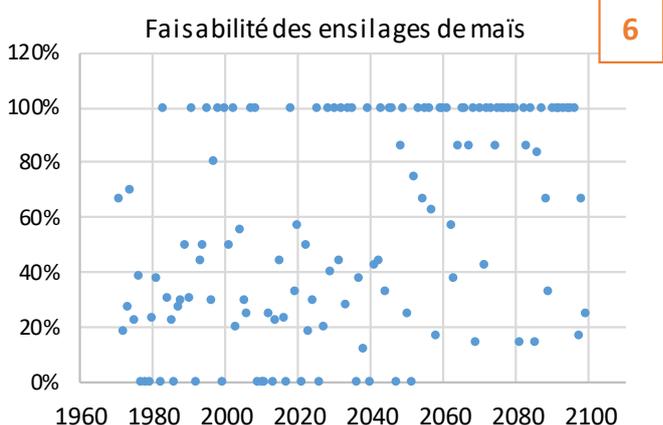
Les conditions de début du printemps semblent évoluer favorablement : l'herbe pousserait plus tôt [1], et la pluviométrie permettrait de réaliser les mises à l'herbe dans des conditions similaires voire légèrement améliorées [2]. En plein printemps, les récoltes précoces pourraient être réalisées dans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

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

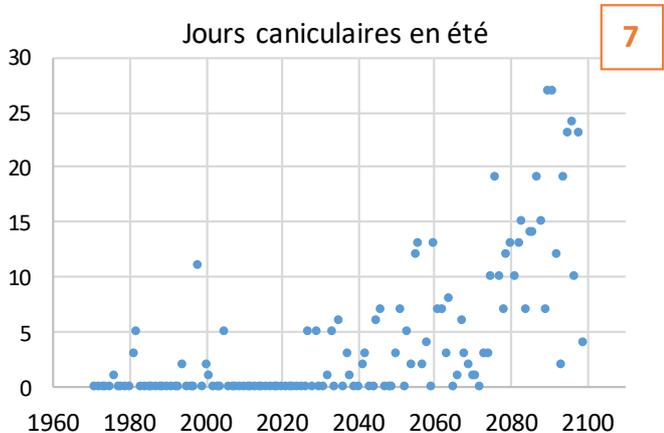




1960 1980 2000 2020 2040 2060 2080 2100
 Nombre de jours nécessaires pour cumuler 80°C en base 6 à partir du 15 avril. En bonnes conditions, le maïs lève en 7 jours. Une levée en plus de 10 jours traduit un stress léger, une levée en plus de 20 traduit un fort stress (L. Maunas, Arvalis).



1960 1980 2000 2020 2040 2060 2080 2100
 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.



1960 1980 2000 2020 2040 2060 2080 2100
 Nombre de jours avec Tmax > 35°C, entre le 5 juillet et le 20 août.



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

Avec la participation de : Magali Bergot (*Météo-France*), Thierry Brun (*Idele*), Victoire Depoix (*Chambre d'agriculture de la Vienne*), Jean-Claude Émile (*INRA*), Sandra Novak (*INRA*), Françoise Ruget (*INRA*), Franck Souverain (*Météo-France*), Anne-Laure Veysset (*Chambre d'agriculture de la Charente*)

Crédits photos : L. Page / CNIEL

Version : Août 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 ARVALIS, le BTPL, les Chambres d'agriculture (ici, de la Charente et de la Vienne), 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

