



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

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

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

La méthodologie détaillée est décrite en annexe.

### Les attendus peuvent se résumer ainsi :

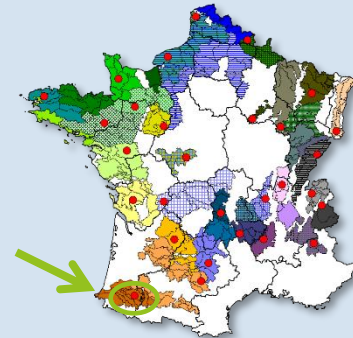
- ✓ Un zonage de la France en une trentaine d'Unités Laitières Agroclimatiques représentatives de la diversité des contextes de production du lait en France (voir ci-contre),
- ✓ Des données sur l'évolution du climat à l'échelle de chacune de ces zones,
- ✓ Les impacts du changement climatique, sur des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

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

Ici, vous trouverez les résultats de la zone des coteaux du Béarn.

## DES RÉSULTATS

### pour la zone des coteaux du Béarn



Carte présentant les 30 unités laitières agroclimatiques

### Au sommaire :

La Région Agricole des coteaux secs du Béarn .....	2
Climat de la zone des coteaux du Béarn.....	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 .....	11
Annexes.....	12

### 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 des coteaux secs du Béarn

Comme partout en France, la SAU moyenne par exploitation augmente (+ 22 % entre 2000 et 2010, ce qui est inférieur à la moyenne des 29 zones d'étude), sans que la main d'œuvre augmente au même rythme (dans cette zone, le nombre d'UTA par exploitation est même en très légère baisse : 1,8 en 2010, contre 1,9 en 2000). 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	1,8	55	26	28	12,5	59	41
Évolution entre 2000 et 2010 (% de 2000)	-7%	+22%	+17%	+31%	+27%	+30%	+27%

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

Le cheptel par exploitation, laitier comme allaitant, suit la même tendance : comme dans toutes les zones d'étude, il augmente. Spécificité de la zone, entre 2000 et 2010, le cheptel allaitant a augmenté plus vite que le cheptel laitier (+ 27 % contre + 66 % en 10 ans, ce qui fait partie des plus faibles taux de croissance de l'échantillon pour les VL, et des plus élevés pour les VA).

Le quota moyen pour la dernière campagne (2014-2015) a ainsi atteint dans cette zone 305 700 litres (ce qui est légèrement inférieur à la moyenne de notre échantillon de 29 zones, mais supérieur à la moyenne des zones d'étude

du Sud-Ouest), avec une moyenne par VL dans le quart supérieur de l'échantillon, aux alentours de 7 500 litres. Les surfaces en maïs et sorgho occupent environ 65 % de la SFP, elles ont augmenté au même rythme que la SFP entre 2000 et 2010. C'est la zone parmi les 29 dans laquelle la part de ces cultures dans l'assolement est la plus importante. Les surfaces en sorgho, tout en restant inférieures à celles en maïs, se développent plus rapidement.

Le cheptel des exploitations de la zone s'étant accru au même rythme que la SFP, le chargement apparent est resté stable, il est de l'ordre de 2,1 UGB/ha. La sole en céréales et autres grandes cultures augmente, en suivant l'augmentation de la SAU. En 2010, on comptait en moyenne 26 ha de ces cultures dans les exploitations laitières.

L'irrigation est peu utilisée dans cette zone, car les précipitations sont importantes. De plus, les sols sont globalement assez profonds, avec une importante réserve utile.

Au final, la zone offre en matière de cultures fourragères une forte diversité :

- le maïs et le sorgho sont présents,
- la prairie est présente sous diverses formes (Permanente, Temporaire, Artificielle – luzerne –),
- dans certaines exploitations, la sole en céréales apporte aussi des possibilités d'utilisation directe en transformation fourragère (ensilage de céréales immatures), mais aussi pour la mise en place de dérobées d'hiver ou d'été-automne.

Les coteaux du Béarn n'échappent pas à l'agrandissement des exploitations. Le cheptel laitier suit la même évolution. Les systèmes fourragers présentent une certaine diversité, qui se répercute sur les systèmes d'élevage dans leur ensemble : le maïs et le sorgho sont présents, ainsi que les prairies, sous diverses formes (permanente, temporaire, artificielle).

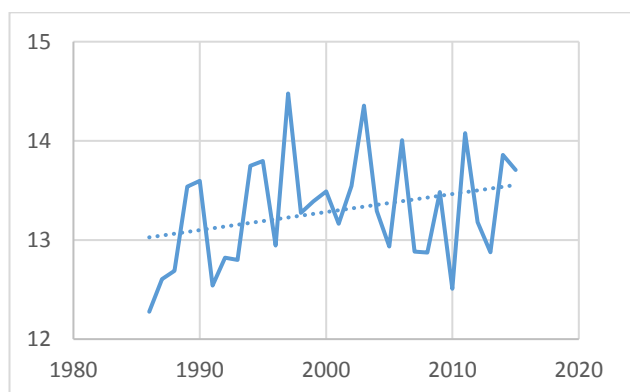
## Climat de la zone des coteaux du Béarn

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

Les coteaux du Béarn bénéficient d'un climat dit océanique altéré (carte a), avec des températures élevées (carte b) et un cumul de précipitations (carte c) annuels parmi les plus élevés de France. Par conséquent, l'arrêt de végétation en hiver est parmi les plus courts (carte f) et permet un redémarrage de la végétation (et donc la mise à l'herbe des animaux, carte d) précoce. La sécheresse agronomique estivale est quasiment inexistante (carte e).

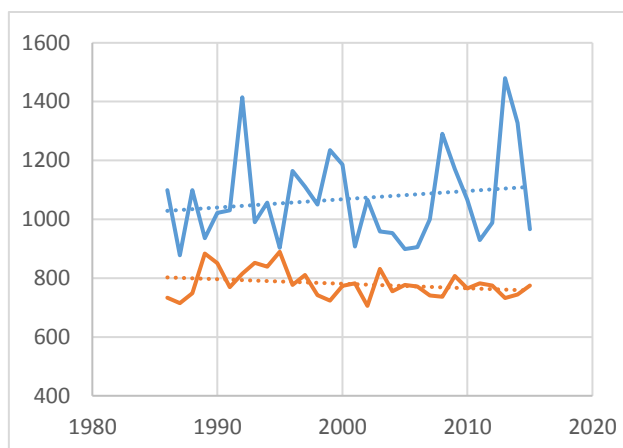
### Évolution récente du climat

La zone des coteaux du Béarn a subi une légère augmentation de la température moyenne annuelle ces trente dernières années (de l'ordre de + 0,5 °C sur 30 ans), principalement due à un réchauffement au printemps (+ 1,5 °C sur 30 ans) et à l'automne (+ 0,6 °C), quand l'hiver se refroidit de - 0,4 °C. La variabilité inter-annuelle demeure importante.

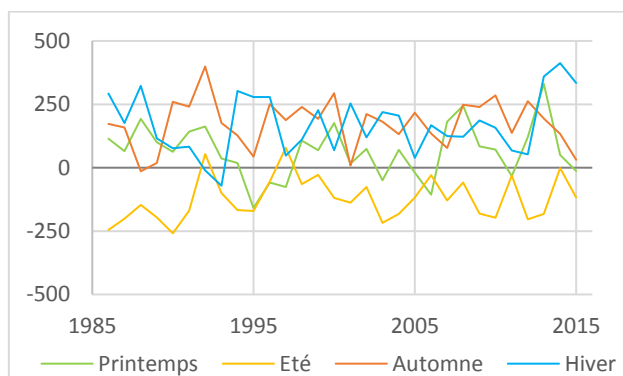


Évolution de la température moyenne annuelle de 1986 à 2015 (Données Météo-France Safran)

Les précipitations à l'échelle annuelle sont en hausse, notamment du fait d'une augmentation du cumul pluviométrique hivernal (+ 60 mm sur 30 ans). La variabilité inter-annuelle est importante, tant à l'échelle annuelle que saisonnière. Particularité de cette zone, l'ETP est en légère baisse sur l'année (- 40 mm en 30 ans) et notamment l'été, en lien avec la faible augmentation des températures. Dans l'ensemble, l'ETP reste largement inférieure aux précipitations. De ce fait, le bilan hydrique (P-ETP) est positif sur l'année, mais là encore très variable. À l'échelle saisonnière, le bilan est déficitaire certains printemps et la plupart des étés.



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

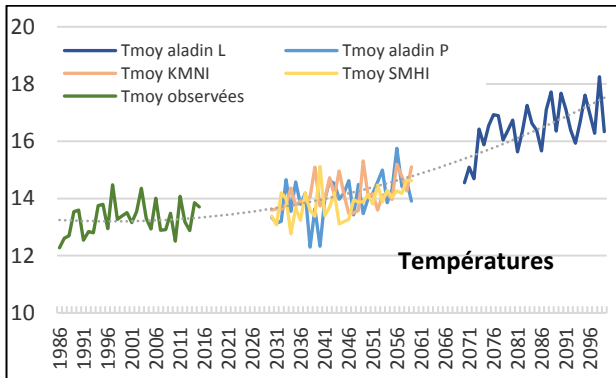


Bilan hydrique (P-ETP, en mm) calculé par saison de 1986 à 2015 (Données Météo-France Safran)

## 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 + 4 °C par rapport au niveau actuel.

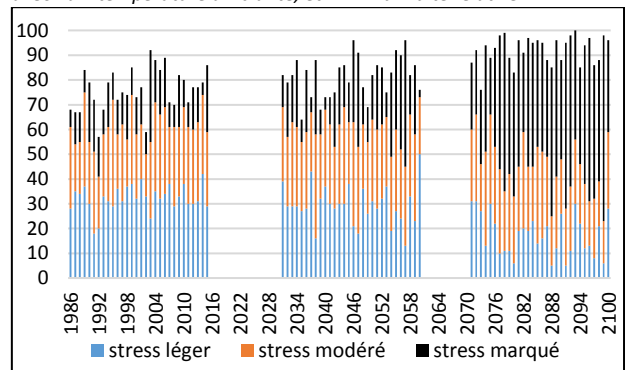
L'analyse des données simulées montre qu'autour de ce niveau, l'hiver se réchaufferait moins (+ 2 °C) que l'été (+ 5 °C). Les températures moyennes sont exprimées à partir des minimales et des maximales, l'analyse montre que les maximales progresseraient plus vite que les minimales. Ainsi, pour cette zone, quand on évoque une température moyenne en hausse de 4 °C à l'échelle de l'année en fin de siècle, cela signifie en moyenne + 5,8 °C pour les maximales en été, et seulement + 2,4 °C pour les minimales en hiver. Il continuera à geler, mais moins, et le

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

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

$$THI (Temperature Humidity Index) = 1,8 * Ta - (1 - HR) * (Ta - 14,3) + 32$$

avec Ta = température ambiante, et HR = humidité relative.



L'augmentation des températures n'aura pas que des effets négatifs : l'une de ses conséquences peut être la possibilité de mettre à l'herbe plus tôt. Ainsi, si la date à laquelle on atteint une somme de températures de 300 °C se situe actuellement aux alentours du 11 mars (une année sur deux entre le 6 et le 16 mars), elle pourrait passer aux alentours du 6 mars dans le futur proche (entre le 4 et le 8 selon les modèles), et du 1<sup>er</sup> mars dans le futur lointain. Reste à savoir si les conditions climatiques du début de printemps permettront l'accès à cette herbe 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 ...	6/3	5/3	9/3	29/2	4/3	1/3	26/2
Médiane	11/3	10/3	14/3	16/3	15/3	10/3	2/3
				4/3	8/3	5/3	1/3

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



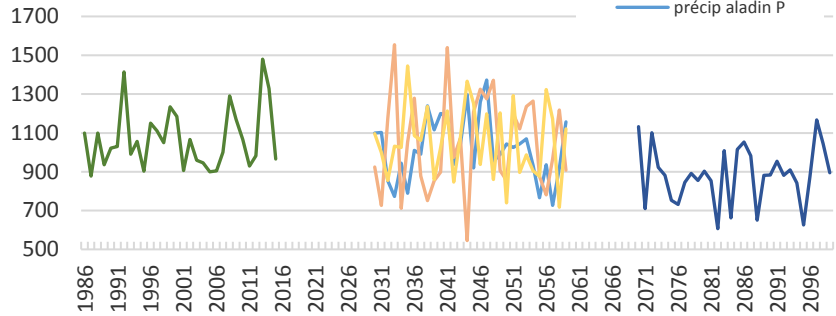
## Évolution des précipitations

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

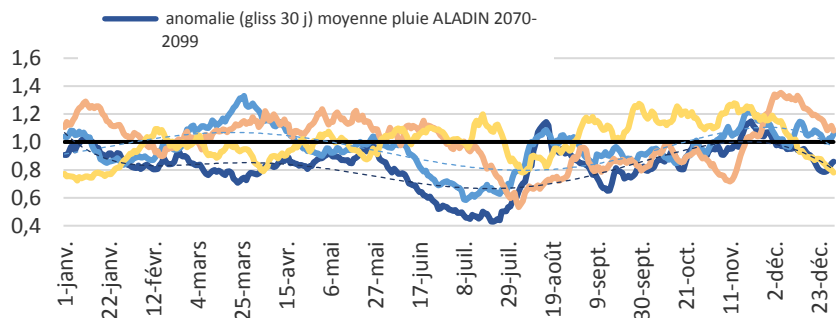
Il faut analyser les simulations plus en détail au travers du second graphique qui représente le rapport entre ce qui est simulé sur le futur et ce qui a été simulé par chaque modèle sur le passé. Ce rapport a été calculé chaque jour pour capter d'éventuelles différences saisonnières dans l'évolution des précipitations. Les données ont été moyennées chaque jour par périodes de 30 ans (2030-2059 ou 2070-2099), la base de comparaison étant 1986-2015. Quand ce rapport est supérieur à 1, c'est qu'il est prévu qu'il pleuve plus, et inversement s'il est inférieur à 1. Ainsi, dans le futur proche, **KMNI** et **Aladin** prévoient une hausse des précipitations au début du printemps (jusqu'à l'été pour **KMNI**), et une diminution en été et en automne (dès le printemps pour **Aladin**). Au contraire, **SMHI** semble prévoir moins de précipitations au début du printemps, et plus de la fin de l'été à l'automne... Dans le futur lointain, le modèle **Aladin** prévoit une diminution des précipitations sur presque toute l'année. On peut donc s'attendre à des sécheresses météorologiques estivales, voire printanières, plus fréquentes. Le tableau ci-dessus indique la fréquence possible de tels aléas climatiques, dans le passé et pour le futur, selon le modèle climatique. Les précipitations au début du printemps, elles, risqueraient d'empêcher l'accès aux prairies en début de saison.

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, si elle n'est pas compensée par les précipitations, l'ETP créera 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, 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 CO<sub>2</sub>.

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



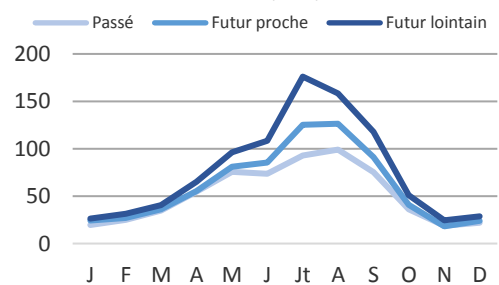
Anomalies de précipitations (futur / ref sur passé)



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 10 jours sans pluie entre le 20/4 et le 10/6	5/10	5/10	5/10	+17%	-27%	+7%	+13%
au moins 20 jours sans pluie entre le 1/7 et le 1/9	1/10	2/10	1/10	+13%	+10%	+7%	+40%

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



Le climat des coteaux du Béarn se caractérise par des températures et un cumul de précipitations élevés. Les températures sont en augmentation sur les dernières décennies, et cette tendance s'accroît 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 sur 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. Une précédente étude a montré que cet effet du CO<sub>2</sub> 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 un type de sol représentatif de ceux de la zone (présenté ci-contre).

Profondeur	Taux d'argile	Réserve utile
120 cm	25 %	140 mm
Caractéristiques du sol utilisé 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. Les courbes de croissance présentées ci-dessous ne concernent que les itinéraires de type pâturage.

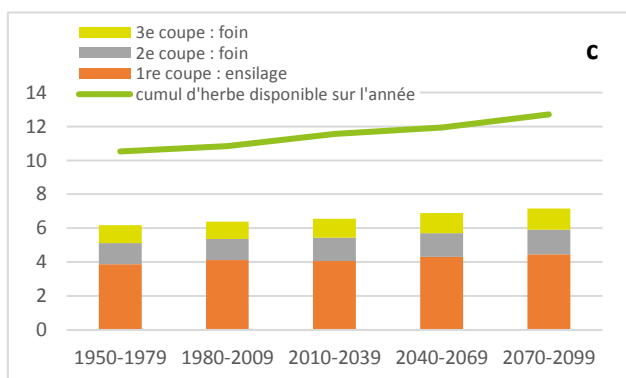
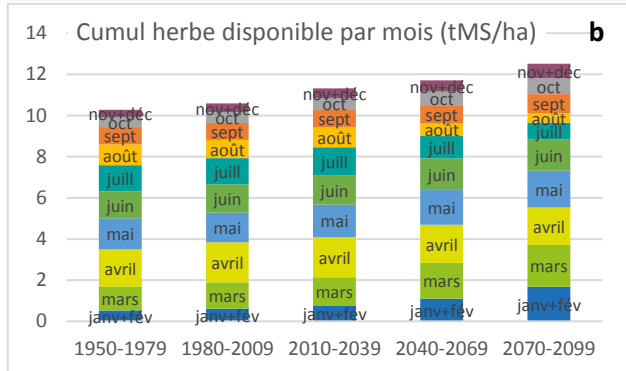
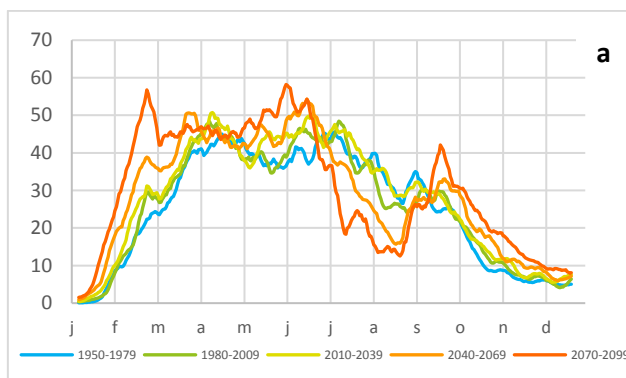
Conséquence de l'augmentation des températures au début du printemps, les simulations STICS mettent en évidence un démarrage en végétation des prairies de plus en plus précoce. Cela confirme le fait qu'une mise à l'herbe plus précoce pourrait être envisagée, sous réserve de bonnes conditions climatiques.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

Un ralentissement de la croissance de l'herbe en été et un redémarrage à l'automne apparaîtraient dans le futur proche et s'accroîtraient dans le futur lointain. Cette situation est déjà habituelle dans d'autres régions.

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 un ralentissement d'été apparaîtrait 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).

Ci-contre : **a**) pousse d'une prairie à base de graminées, en kg de MS/ha/jour, selon la période de 30 ans simulée, en moyenne avec et sans apport d'azote ; **b**) cumul d'herbe disponible (en moyenne avec et sans fertilisation), et **c**) rendements moyens des récoltes de foins et cumul d'herbe disponible sur l'année (avec apport d'azote).



## Luzerne

Les simulations ont été réalisées sur le même sol que précédemment, pour des itinéraires techniques à 4, 5 et 6 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 4, 5 ou 6 coupes visées 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. D'autre part, 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 9 jours plus tôt que par le passé ; on gagnerait encore 9 jours dans la période 2040-2069, et deux semaines dans la période 2070-2099, sans pour autant que les rendements diminuent.

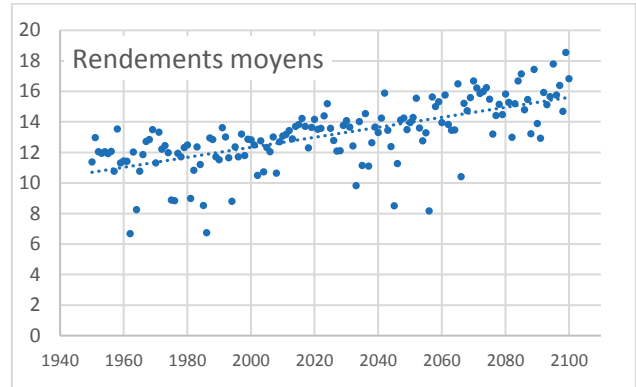
Le détail des rendements cumulés en fonction du nombre de coupes et de leur espacement dans la saison (non présenté ici) montre des rendements assez proches. Les différences se situent au niveau de la qualité du fourrage récolté, et du temps de travail nécessaire.

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 voire deux coupes supplémentaires.

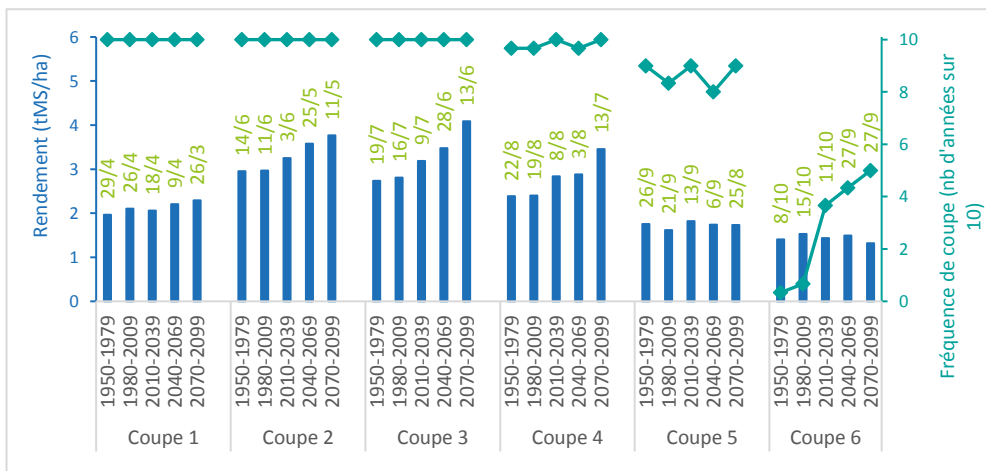
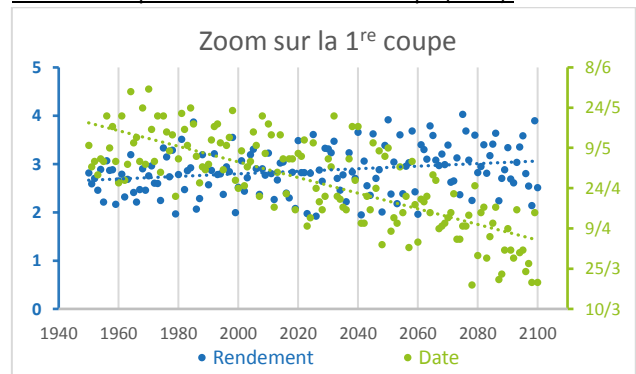
Cependant, les simulations ne prennent pas en compte les conditions pratiques au moment de récolter. Ainsi, certaines années, les coupes de printemps pourraient être retardées du fait de mauvaises conditions de pluviométrie, retardant par conséquent les coupes

suivantes, ou les coupes d'automne pourraient être théoriquement faisables (suffisamment de biomasse produite) mais techniquement impossibles.

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



Dates de coupe et rendements en 1<sup>re</sup> coupe (sur 4).



Ci-contre : en moyenne par période de 30 ans, **rendements par coupe, fréquence de réalisation des coupes par le modèle et dates de coupes prévues.**

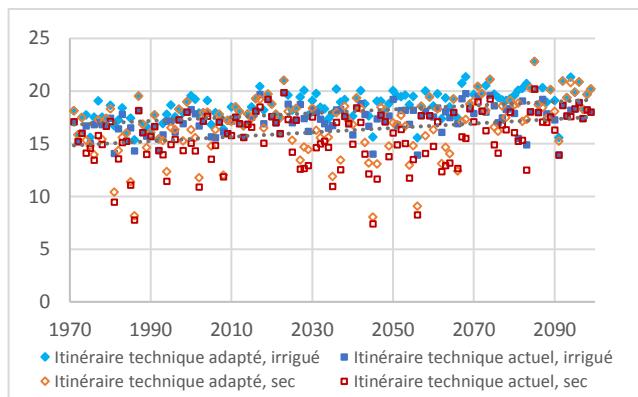
## Maïs

Les simulations sont réalisées pour :

- deux types de variétés : une dite « tardive » ou T, d'indice 450 à 560, et une dite « très tardive » ou TT, d'indice 550 à 620.
- deux dates de semis : la normale actuelle (1<sup>er</sup> mai) et 15 jours plus tôt,

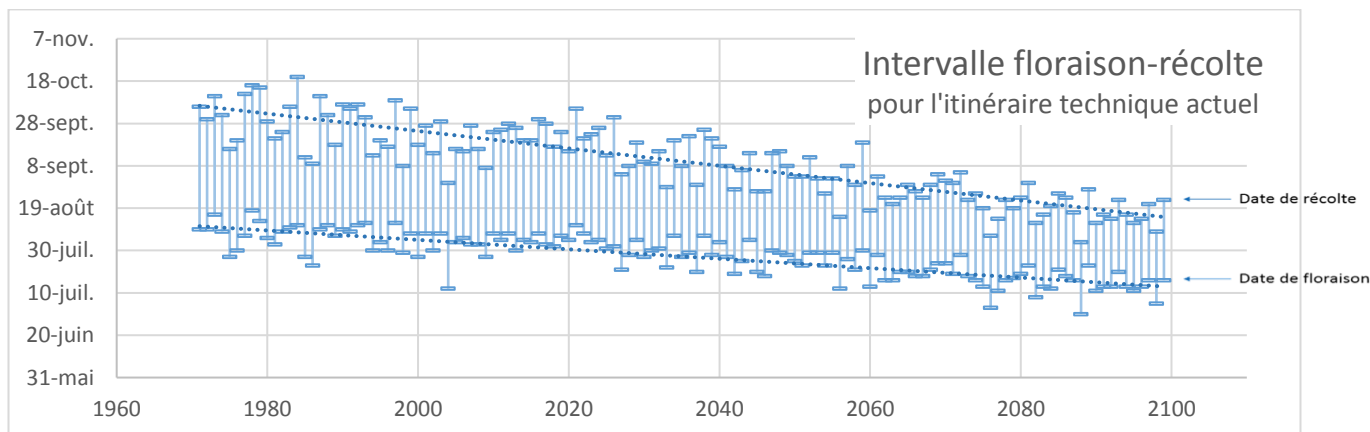
Bien que l'irrigation soit peu utilisée dans la zone, des simulations en conduite irriguée ont été réalisées.

Par la suite, on parlera d'itinéraire technique actuel pour une variété d'indice 450 à 560 semée le 1<sup>er</sup> mai, et d'itinéraire technique adapté pour une variété d'indice 550 à 620 semée le 15 avril.



Rendements obtenus pour chaque année simulée, dans deux configurations précocité x date de semis (actuelle et adaptée), avec et sans irrigation

Les rendements seraient en augmentation, avec une importante variabilité inter-annuelle, atténuée par l'irrigation. Les dates de floraison et de récolte seraient de plus en plus précoces. Des variétés plus tardives pourraient donc être semées sans risquer de problème à la récolte.



Évolution des dates de floraison et récolte pour la combinaison précocité x date de semis actuelle.

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 reprise à l'automne apparaissent puis s'accroissent. La saison de pâturage s'allonge donc au début du printemps et à l'automne, mais avec une rupture en été.

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

En ce qui concerne le maïs, les rendements augmentent, et restent variables d'une année sur l'autre, notamment sans irrigation. Là aussi, l'avancée des dates de floraison et récolte est nette.



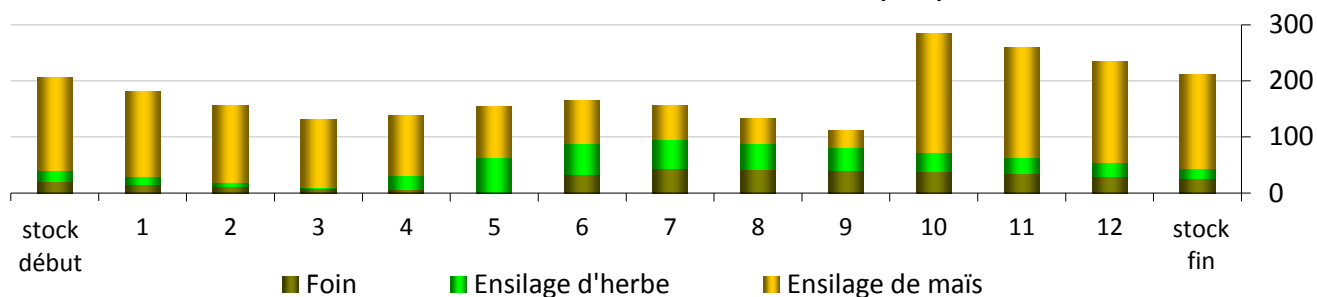
## Conséquences à l'échelle des systèmes et adaptations possibles

### Le système traité

Il s'agit d'une ferme disposant de 75 ha de SAU, dont 20 ha de prairies et 16 ha de maïs parmi lesquels 7 ha sont implantés après la récolte d'une dérobée. Le troupeau est constitué de 40 vaches laitières à 9 000 kg de lait produits, avec un taux de renouvellement de 35 % et des vêlages étalés à 24 mois. 13 génisses de renouvellement sont élevées chaque année. La ration des vaches laitières est constituée aux deux tiers d'ensilage de maïs toute l'année, et d'herbe (pâturée ou ensilée selon la saison) pour le tiers restant. La ration des génisses est principalement composée d'herbe pâturée et de foin, auxquels peuvent s'ajouter de l'ensilage de maïs et/ou d'herbe. Ce système nécessite 5 tonnes de céréales, 49 tonnes de tourteaux de soja, et 75 TMS de paille. Le chargement corrigé s'élève à 1,9 UGB/ha SFP.

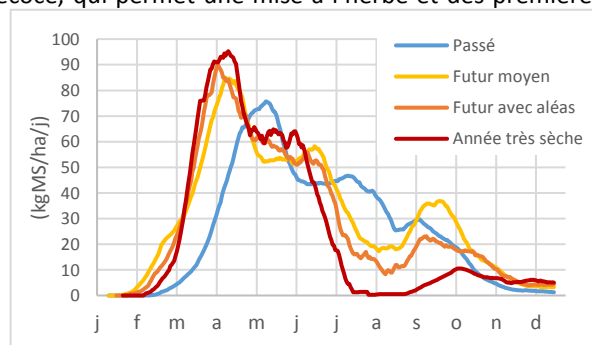
Le système a été calibré dans le climat du passé pour que le stock de fourrages en fin d'année soit au même niveau qu'en début, sans qu'il n'y ait de rupture au cours de l'année. La dynamique des stocks est la suivante :

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



### 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 2070-2099. Ce système déjà adapté aux conditions climatiques du futur a ensuite été confronté à un type d'année particulier, caractérisé par un début de printemps précoce, qui permet une mise à l'herbe et des premières coupes précoces sur les prairies, suivi par un déficit hydrique dès la fin de printemps et en été, au moment du pic de croissance de l'herbe et de la floraison du maïs. De plus, l'été est particulièrement chaud, ce qui accentue l'effet de la sécheresse sur le maïs. Il s'agit donc d'un été « pire que 2003 », avec moins de précipitations et/ou plus d'ETP, et plus de jours caniculaires. Ce type d'année n'existe pas actuellement, il apparaît après 2070 et se rencontrerait 5 fois (dont 2 consécutives) sur les 30 années de la période 2070-2099. Un cas particulier, correspondant au type d'année précédemment décrit, mais avec des aléas encore plus prononcés, a aussi été traité.



	1971-2000	2070-2099	Année avec aléas	Année très sèche	2003
Date de mise à l'herbe (Date à laquelle on a cumulé 300 °C depuis le 1 <sup>er</sup> février)	14 mars	1 <sup>er</sup> mars	28 février	2 mars	12 mars
Faisabilité de récoltes précoces (Nombre de jours où la somme des précipitations sur les 5 jours précédents est > 40 mm, entre 10 jours avant et 10 jours après la mise à l'herbe)	3	4	7	4	4
Températures élevées en fin de printemps (Nombre de jours avec T <sub>max</sub> > 28 °C, entre 1100 °C cumulés et le 5 juillet)	2	14	17	15	13
Bilan hydrique en été (mm) (Cumul Précipitations - ETP entre le 5 juillet et le 20 août)	- 86	- 224	- 304	- 330	- 180
Précipitations fin d'été et début automne (mm) (Cumul pluviométrique entre le 21 août et le 1 <sup>er</sup> octobre)	45	33	37	5	11

Caractérisation des quatre contextes climatiques retenus pour les parties de Rami Fourrager® et comparaison avec l'année 2003 observée (valeurs moyennes ou cas particuliers).

## Les adaptations envisagées

### Dans le futur (année moyenne 2070-2099)

Sans adaptation, le système génère 8 tMS de foin supplémentaires, 28 tMS d'ensilage d'herbe, et 14 tMS de maïs. Cette augmentation est à relier à l'effet direct de l'augmentation du taux de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère, et à la hausse des températures au printemps qui favorise la croissance des dérobées. La chargement corrigé augmente et atteint 2,2 UGB/ha SFP.

Deux possibilités d'adaptation apparaissent : maintenir la production de lait en réduisant les surfaces fourragères, ou augmenter la production, à surfaces fourragères égales, en augmentant le nombre de vaches ou la productivité par vache. Cependant, les questions liées au confort des vaches en période de fortes températures inquiètent les éleveurs qui craignent aussi des baisses de production en période de canicule. De ce fait, c'est la première option qui a été privilégiée : 6 ha de prairies ont été libérés pour des cultures de vente. Privilégier le maïs grain sur ces surfaces permettrait de sécuriser le système face à d'éventuels aléas climatiques : en cas de déficit fourrager, on pourra toujours ensiler ce maïs. Toutefois, avec l'augmentation des températures et le raccourcissement des cycles végétatifs qui en résulte, le séchage des maïs en fin de cycle pourrait être très rapide et donc la fenêtre de récolte très courte.

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

Les récoltes d'herbe, réalisées au printemps, ne sont pas affectées. En revanche, il manque 21 tMS de maïs, qui pourront être compensées en ensilant du maïs initialement prévu pour le grain.

Dans cette situation, les éleveurs ont évoqué l'idée de remplacer le maïs par du sorgho sur les terrains les plus séchants. Des travaux ont montré que, dans la zone, si le maïs produit moins de 80 qx/ha, il est plus avantageux de semer du sorgho. Mais ce calcul date d'une dizaine d'années, il mériterait d'être actualisé avec les coûts actuels et les avancées techniques (sur le semis notamment). Le sorgho BMR est plus difficile, il peut verser donc être difficile à récolter, fait des « silos qui coulent » et ne couvre pas aussi bien le sol que du maïs. L'association sorgho BMR-maïs pourrait pallier ce problème de couverture du sol, mais aucun des éleveurs présents ne l'a testée.

### Dans le cas de l'année « très sèche »

Il manque 19 tMS d'ensilage de maïs et 18 tMS d'ensilage d'herbe. La sécheresse estivale se traduit par un manque d'herbe pour le pâturage des génisses, dès la mi-août et jusqu'à début octobre.

S'il y a des grandes cultures, ensiler du maïs grain, voire des céréales, permet de faire face à ces aléas.

Lorsque c'est possible, avoir toujours un important stock de sécurité (supérieur aux 60 jours conseillés actuellement) permettrait également de pallier ce déficit, mais cela a un coût, et il faudra reconstituer le stock l'année suivante.

D'autres leviers agronomiques ont été évoqués pour diversifier les ressources fourragères :

- Cultiver du maïs et du soja associés, et ensiler l'ensemble. Cette association était pratiquée dans le Gers et en Haute-Garonne, mais soulève beaucoup de questions, notamment celle de l'ombre faite par le maïs sur le soja.
- Planter des méteils. Ils commencent à se développer mais demandent de la technique et quelques années pour s'y familiariser. Plutôt qu'une céréale, la féverole peut jouer le rôle de tuteur si on veut récolter un fourrage riche en protéines. D'après les éleveurs du groupe, c'est une culture intéressante, bien que le taux de MAT reste un peu aléatoire. Se pose aussi la question des conditions de récolte au printemps, période déjà chargée par les divers autres travaux (épandages, premières coupes sur les prairies, semis du maïs...)
- Intégrer de la luzerne dans les systèmes. C'est aussi un bon précédent, mais les rendements sont faibles en première année. L'association avec une céréale à paille au semis, voire même après en ressemant une autre céréale (avoine) dans la luzerne déjà en place, permet d'éviter le salissement. La récolte de luzerne en foin « fait peur », les éleveurs préfèrent enrubanner ou sécher en grange. Ils notent aussi que les habitudes de travail doivent être adaptées : en été, il faut récolter la luzerne tôt le matin.

## Conclusions

### Évolutions tendanciennes

Dans cette zone, l'effet du changement climatique est globalement positif, notamment grâce à la profondeur des sols, qui limite les impacts d'un éventuel déficit hydrique estival, et à l'effet direct du CO<sub>2</sub> sur les plantes. 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

Bien que la profondeur des sols de la zone limite les impacts de la sécheresse, celle-ci, lorsqu'elle se prolonge, peut affecter fortement les systèmes fourragers. Dans la plupart des cas, la constitution d'un stock de sécurité permet de surmonter un été sec. Ce levier devrait faire l'objet d'une étude spécifique : avec quel fourrage, pour quel niveau de risque, quel coût, et quelles répercussions sur la conduite des surfaces y compris pâturées...

Cependant, lorsque plusieurs années sèches se succèdent sans qu'il ne soit possible de reconstituer son stock, d'autres leviers sont nécessaires. Le sorgho, mais aussi les méteils et la luzerne ont ainsi été évoqués. Ils permettent en effet de produire du fourrage en toutes saisons (de la fin de l'hiver à l'automne) et d'obtenir des compensations entre saisons. La culture du maïs « à double fin » continuerait à être un des piliers de la sécurisation des systèmes : en mauvaise année, des surfaces cultivées pour être récoltées en grain peuvent être ensilées (mais les variétés destinées à une récolte en grain produisent un fourrage moins digeste que celles destinées à l'ensilage). En plus de ce puissant levier, les éleveurs de la zone apprécient de disposer d'un « stock de sécurité » important.

Par ailleurs, dans cette zone, les printemps pluvieux (non testés ici) peuvent également poser problème en retardant les premières coupes sur les prairies, les récoltes des dérobées et les semis des cultures de printemps.

### Valoriser mieux l'herbe : pas si simple...

Beaucoup de troupeaux laitiers de la zone ne pâturent plus, même au printemps. Il y a beaucoup de raisons techniques à cela, comme le manque de technicité où la présence de sols peu portants, mais la raison principale est le manque de surfaces disponibles autour des stabulations, et le morcellement du parcellaire, liés à la topographie et à l'histoire. Les surfaces en prairies obligatoires sont souvent dévolues aux génisses, avec un niveau de valorisation très perfectible. Restructurer le parcellaire est la condition *sine qua non* du retour partiel à l'herbe, l'alternative serait le *0 Grazing*, mais cette technique reste coûteuse par rapport au pâturage.

### Les vaches aussi vont souffrir

Les éleveurs de la zone redoutent le stress thermique que vivront les VL de plus en plus souvent : il nous a été dit que c'est sans doute plus difficile à gérer que la sécheresse par rapport au système fourrager. L'adaptation des bâtiments a ainsi été évoquée.

**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.

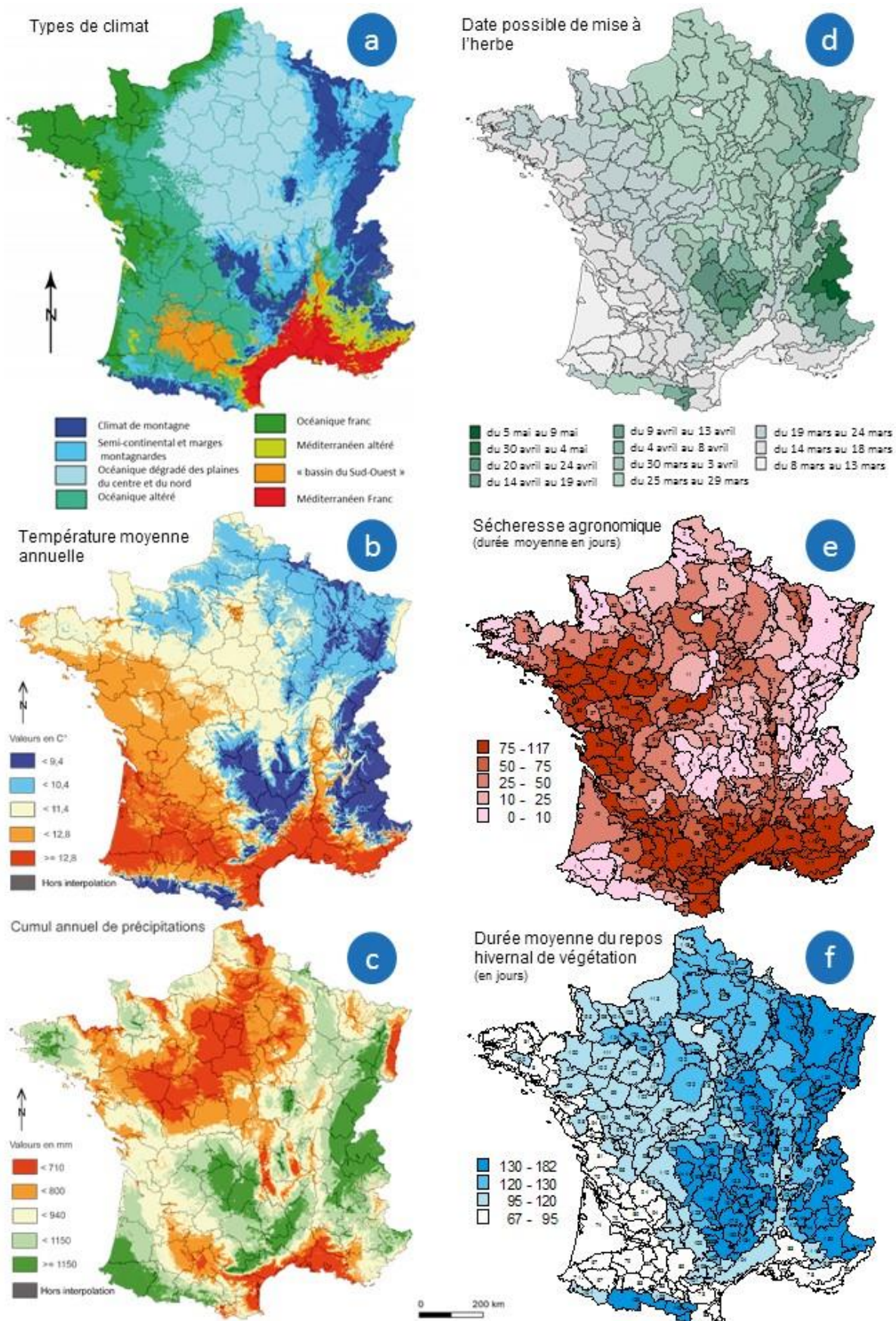
Pour les systèmes d'exploitation de chaque unité laitière agroclimatique, les besoins du troupeau laitier et les apports des cultures fourragères sont définis. Les équilibres sont analysés au travers de différents indicateurs.

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<sup>er</sup> février. e. La sécheresse agricole est définie comme la période durant laquelle la réserve utile est inférieure à 20% de la capacité au champ (point de flétrissement). f. La durée du repos hivernal de végétation est définie comme l'écart en jours entre la date d'arrêt de la pousse de végétation (température moyenne < 7°C) et la date de démarrage de végétation.

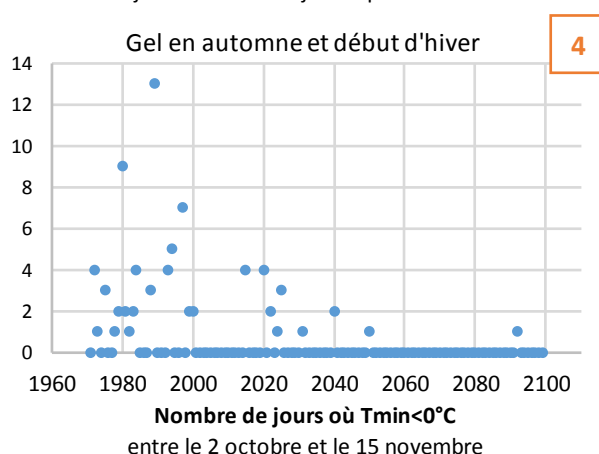
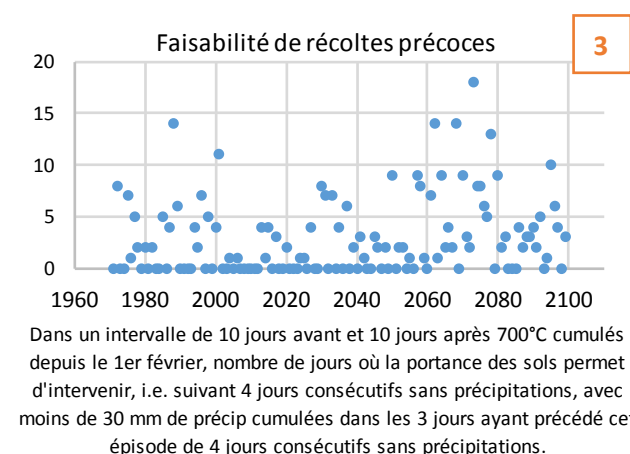
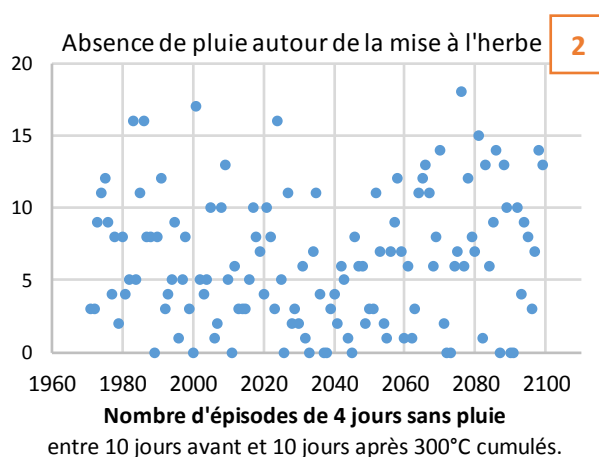
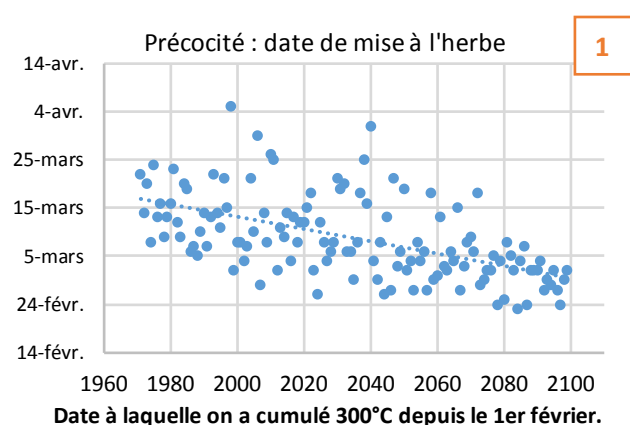


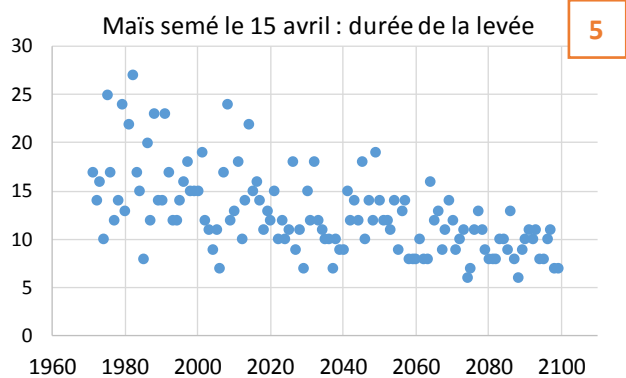
## Annexe 3 : Évolution climatique et conséquences pour la mise en place et l'accès aux ressources fourragères (à partir du modèle de climat ALADIN)

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

Les conditions de début du printemps semblent évoluer favorablement : l'herbe pousserait plus tôt [1], et la pluviométrie permettrait de réaliser les mises à l'herbe dans des conditions similaires [2]. En plein printemps, les récoltes précoces seraient facilitées par une plus grande fréquence d'épisodes de 7 jours consécutifs favorables au ressuyage du sol et à la réalisation de la fauche et du pré-fanage dans de bonnes conditions [3]. En fin de saison (du 2 octobre au 15 novembre), les journées de gel deviendront de moins en moins fréquentes jusqu'à disparaître, 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.

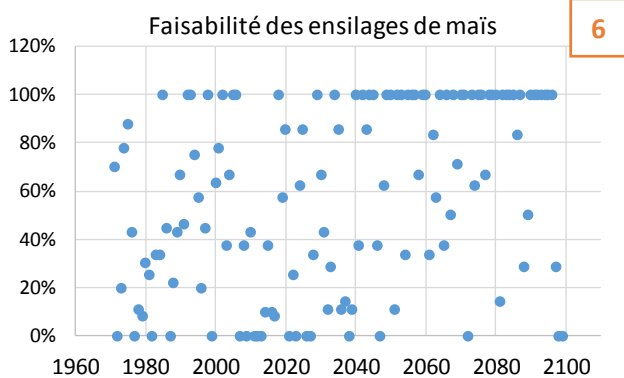
Enfin, il ne faut pas oublier les conséquences directes du climat sur les animaux eux-mêmes : lors d'épisodes caniculaires, les vaches réduisent leurs déplacements et leur ingestion, l'herbe au pâturage est alors moins bien exploitée, alors même que sa senescence est accélérée et sa pousse stoppée (voir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





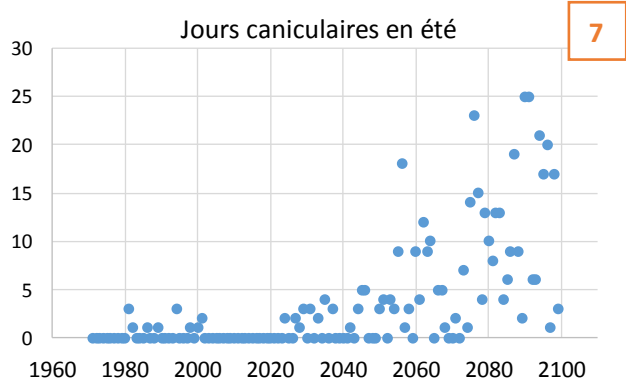
5

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*), Marie-Claude Mareaux (*Chambre d'agriculture des Pyrénées-Atlantiques*), 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, des Pyrénées-Atlantiques)*, 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**

