



CLIMALAIT

POUR L'ADAPTATION DES ÉLEVAGES LAITIERS AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

L'élevage bovin laitier est confronté au changement climatique :

- Comment le climat va-t-il évoluer ?
- Avec quelles conséquences sur les cultures fourragères, sur l'alimentation des animaux ?
- Comment s'adapter à ces évolutions ?

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

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

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

La méthodologie détaillée est décrite en annexe.

Les attendus peuvent se résumer ainsi :

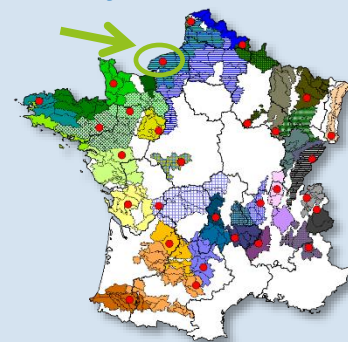
- ✓ Un zonage de la France en une trentaine d'Unités Laitières Agroclimatiques représentatives de la diversité des contextes de production du lait en France (voir ci-contre),
- ✓ Des données sur l'évolution du climat à l'échelle de chacune de ces zones,
- ✓ Les impacts du changement climatique, sur des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

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

Ici, vous trouverez les résultats de la zone du Pays de Caux.

DES RÉSULTATS

pour la zone du Pays de Caux



Carte présentant les 30 unités laitières agroclimatiques

Au sommaire :

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

Glossaire

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

La Région Agricole du Pays de Caux : une zone de polyculture-élevage

Comme partout en France, la SAU moyenne par exploitation augmente à un rythme soutenu (de l'ordre de + 4 % par an, ce qui est du même ordre que la moyenne des 29 zones d'étude), sans que la main d'œuvre augmente au même rythme (+ 1 % par an entre 2000 et 2010). Cela contraint les éleveurs, là comme ailleurs, à faire de constants gains de productivité sur le plan du travail.

	UTA	SAU (ha)	Grandes cultures (ha)	SFP (ha)	Dont maïs fourrage (ha)	Nb total d'UGB	Nb de VL
En 2010	2,2	102	54	50	17	111	52
Évolution entre 2000 et 2010 (% de 2000)	+9%	+34%	+41%	+27%	+51%	+34%	+38%

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. En moyenne dans le Pays de Caux, on passe de 38 VL et 14 VA en 2000 à 52 VL et 20 VA en 2010. La zone se retrouve finalement légèrement au-dessus de la moyenne des 29 zones d'étude.

Le quota moyen pour la dernière campagne (2014-2015) a ainsi atteint dans cette zone 303 000 litres (légèrement inférieur à la moyenne de notre échantillon de 29 zones), avec une moyenne par VL elle aussi inférieure à la moyenne des 29 zones, aux alentours de 5 850 litres. À noter que cette moyenne concerne les deux races présentes sur la zone (Normande et Prim'Holstein), lesquelles ont des potentialités différentes.

Les surfaces en maïs fourrage occupent environ 35 % de la SFP (contre 30 % en 2000). Cette part est supérieure à la moyenne des 29 zones d'étude (l'échantillon comporte aussi des zones herbagères).

Le cheptel des exploitations de la zone s'étant accru plus vite que la SFP, le chargement apparent a légèrement augmenté entre 2000 et 2010, il est de l'ordre de 2,2 UGB/ha. La sole en céréales et autres grandes cultures augmente plus vite que la SAU : en 2010, on comptait en moyenne 54 ha de ces cultures dans les exploitations laitières. Bien souvent, ces surfaces sont occupées par des cultures industrielles (lin fibre, betterave sucrière, pommes de terre...) qui sont un levier de sécurisation face aux aléas.

Les sols sont dans l'ensemble assez profonds, avec une réserve utile en eau importante. Ils contiennent une part importante de limons qui les rend sensibles à l'érosion et au ruissellement.

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

- le maïs occupe environ un tiers de la SFP,
- la prairie est présente sous diverses formes (permanente, temporaire, méteils),
- 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.

Le pays de Caux n'échappe pas à l'agrandissement des exploitations. Le cheptel laitier suit la même évolution, sans pour autant réduire le troupeau allaitant. Les systèmes fourragers présentent une certaine diversité, qui se répercute sur les systèmes d'élevage dans leur ensemble : le maïs est présent, ainsi que les prairies, sous diverses formes (permanente, temporaire). Les systèmes laitiers sont majoritairement en polyculture-élevage.

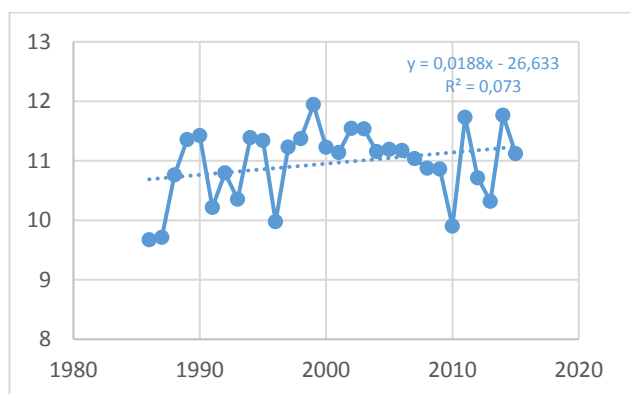
Climat du Pays de Caux

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

Le Pays de Caux, comme toute la côte de la Manche, bénéficie d'un climat océanique (carte a) caractérisé par des températures moyennes annuelles plutôt fraîches dans l'ensemble (carte b) mais avec des variations d'amplitude modérées entre les saisons : les hivers sont doux, et les étés frais. Par conséquent, le repos hivernal de la végétation (carte f) reste relativement court, tandis que la date théorique de mise à l'herbe (carte d) est du même ordre que dans l'ensemble des zones de plaine du bassin parisien et du nord de la France. La bordure de la Manche est dans l'ensemble bien arrosée (carte c), avec des précipitations réparties sur l'année. De ce fait, la sécheresse agronomique estivale est plutôt courte (carte e).

Évolution récente du climat

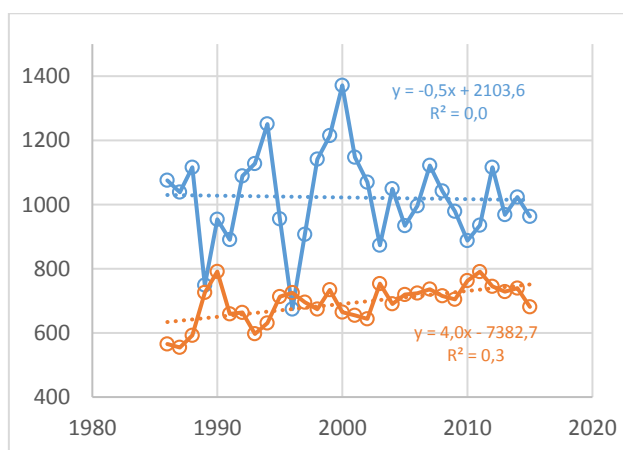
Le Pays de Caux a subi une légère augmentation de la température moyenne annuelle ces trente dernières années (de l'ordre de + 0,5 °C sur 30 ans), principalement due à un réchauffement au printemps (+ 0,8 °C sur 30 ans) et à l'automne (+ 0,6 °C sur 30 ans). La variabilité inter-annuelle demeure importante.



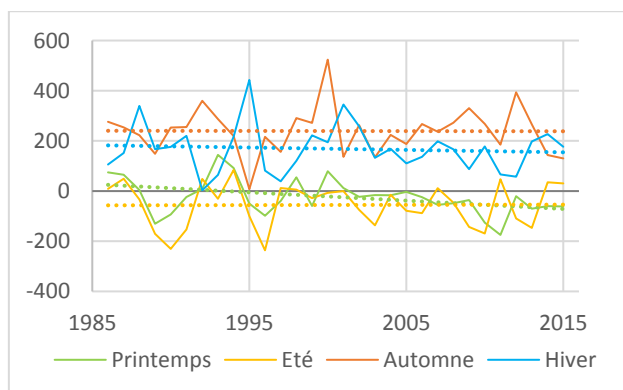
Évolution de la température moyenne annuelle de 1986 à 2015 (Données Météo-France Safran)

En lien fort avec l'élévation des températures, on note une hausse de l'ETP (de l'ordre de + 120 mm sur 30 ans). Les précipitations, elles, sont relativement stables, mais toujours avec une forte variabilité interannuelle du cumul de précipitations, qui peut varier du simple au double.

À l'échelle saisonnière, un déficit hydrique apparaît au printemps et en été. Il n'a cependant pas ou peu de conséquences sur les cultures, du fait de la profondeur des sols qui retiennent une importante quantité d'eau, et de la fréquence des épisodes pluvieux. En automne et en hiver, le bilan hydrique reste excédentaire.



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

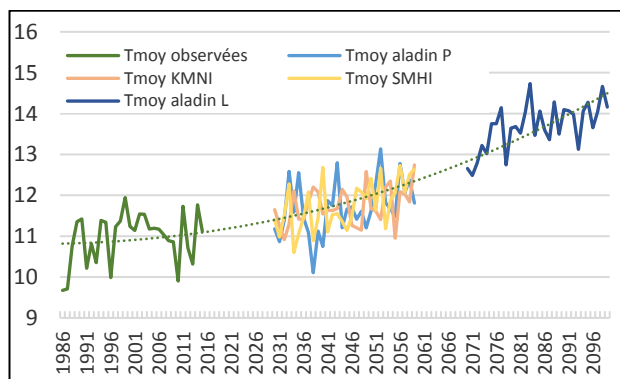


Bilan hydrique (P-ETP, en mm) calculé par saison de 1986 à 2015 (Données Météo-France Safran)

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



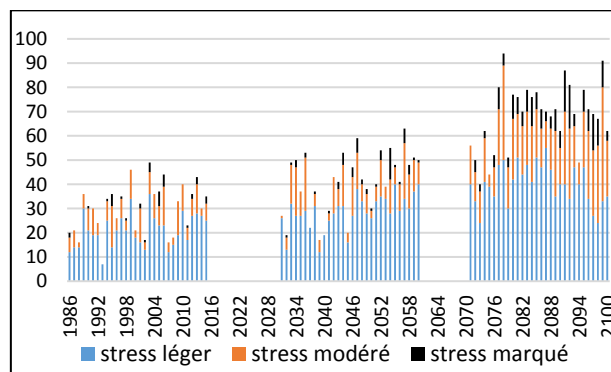
Quel que soit le modèle, il prédit une augmentation de température encore modérée (de l'ordre de 1 °C) dans le futur proche. Ce n'est que dans la seconde moitié du siècle que le réchauffement s'accélérerait rapidement pour atteindre + 3 °C par rapport au niveau actuel.

L'analyse des données simulées montre qu'autour de ce niveau, l'hiver se réchaufferait moins (+ 2,5 °C) que l'été (+ 4 °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 3 °C à l'échelle de l'année en fin de siècle, cela signifie en moyenne + 4 °C pour les maximales en été, et seulement + 2 °C pour les minimales en hiver. Il continuera à geler, mais moins, et les épisodes de canicule, actuellement rares dans la

région, se multiplieront (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, de manière toutefois moins importante que dans la plupart des autres zones d'étude.

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 19 mars (une année sur deux entre le 13 et le 25 mars), elle pourrait passer aux alentours du 17 mars dans le futur proche (entre le 11 et le 17 selon les modèles), et du 8 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 ...	13/3 25/3	12/3 25/3	15/3 26/3	10/3 22/3	10/3 24/3	7/3 17/3	5/3 9/3
Médiane	19/3	17/3	21/3	17/3	15/3	11/3	8/3

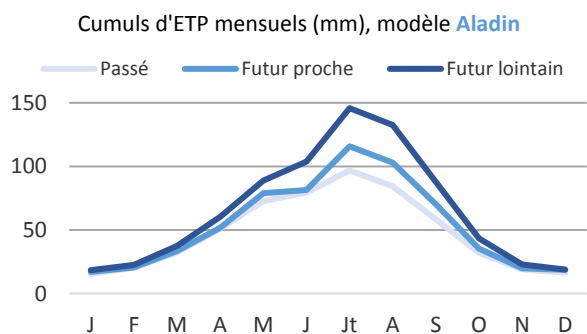
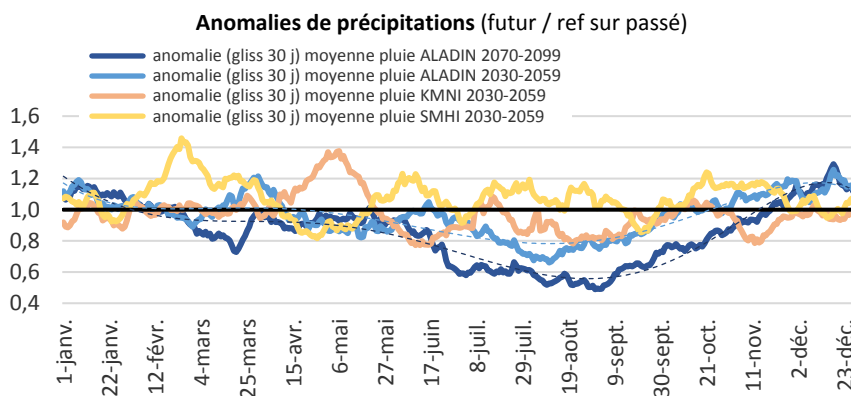
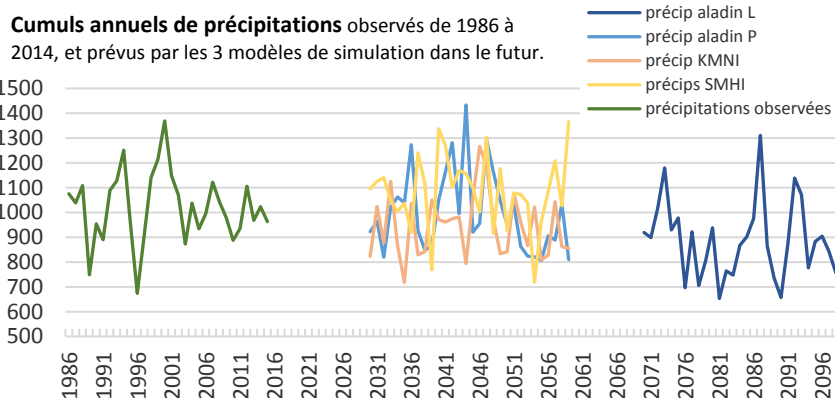
Date de mise à l'herbe (date d'atteinte du seuil de 300 °C cumulés depuis le 1^{er} février), dans le passé (données observées) et dans les différents modèles climatiques.

Évolution des précipitations

Il n'y a pas de tendance nette quant à l'évolution du cumul annuel de précipitations : aucun des 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 baisse des précipitations en été (contrairement à **SMHI**). Les trois modèles prévoient une augmentation des précipitations au printemps, dès la fin de l'hiver pour **SMHI**, autour du mois de mars pour **Aladin** et de la mi-avril à la fin mai pour **KMNI**. Dans le futur lointain, le modèle **Aladin** prévoit une diminution des précipitations de février à fin novembre, accentuée en été.



On risque donc de voir apparaître, certaines années, des phénomènes de sécheresse tels que ceux que d'autres régions connaissent déjà. 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. 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.

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

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

L'évolution prévue des rendements des cultures fourragères (et de la saisonnalité de la production pour les prairies)

Les rendements présentés ici ne prennent pas en compte les adaptations possibles par choix de variétés (sauf pour le maïs), ni l'évolution des variétés. En revanche, le modèle utilisé tient compte de l'effet de l'augmentation de la concentration en CO₂ sur l'efficacité de la photosynthèse et l'intensité des échanges entre la plante et l'atmosphère via l'ouverture des stomates. Ainsi, toutes choses étant égales par ailleurs, les résultats des simulations sont la conséquence de l'évolution du climat et de l'augmentation du taux de CO₂ dans l'atmosphère. Une précédente étude a montré que cet effet du CO₂ est à l'origine d'une augmentation des rendements pouvant aller jusqu'à 10 voire 20 % (Etude ACTA-MIRES Ruget Moreau).

Les simulations ont été réalisées grâce au modèle de culture STICS, à partir des données climatiques issues du modèle Aladin, des itinéraires techniques locaux, et sur un type de sol représentatif de ceux de la zone (présenté ci-contre).

Profondeur	Taux d'argile	Réserve utile
140 cm	25 %	160 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.

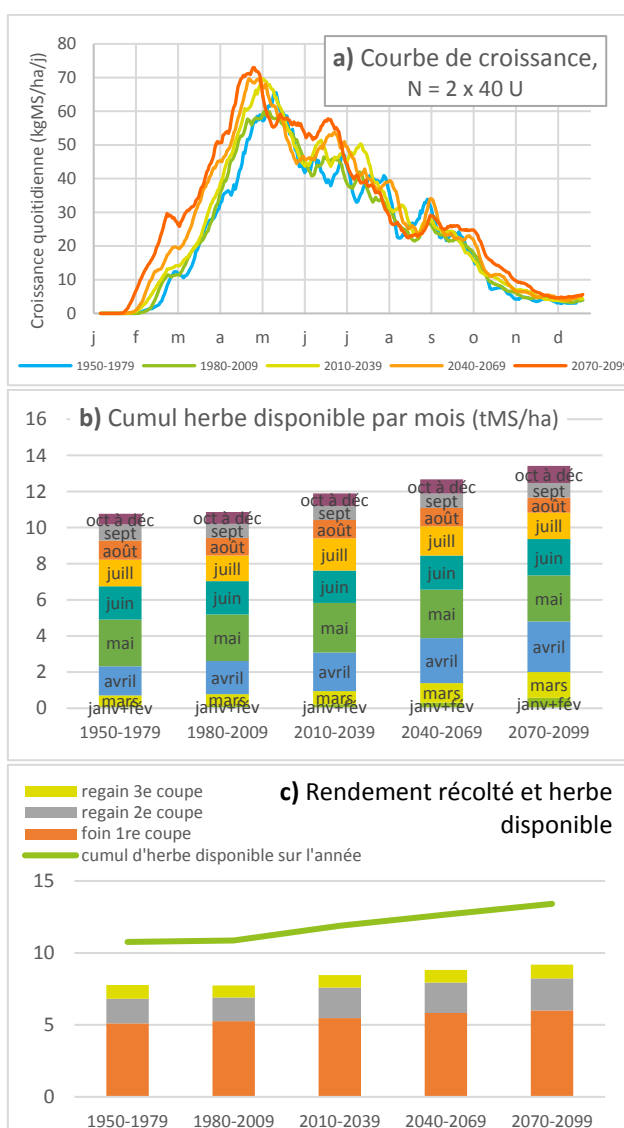
Conséquence de l'augmentation des températures au début du printemps, les simulations STICS mettent en évidence un démarrage en végétation des prairies de plus en plus précoce. Cela confirme le fait qu'une mise à l'herbe plus précoce pourrait être envisagée, sous réserve de bonnes conditions climatiques. 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. Les années où la portance des sols ne permettra pas d'entrer dans les parcelles, la quantité d'herbe « perdue » sera plus importante.

À l'automne, la période de végétation se prolongerait de plus en plus tard vers l'hiver, permettant – toujours sous réserve de praticabilité des parcelles – une exploitation tardive des prairies.

Au total, la quantité d'herbe produite sur l'année serait en augmentation, notamment du fait du démarrage plus précoce. Cependant, si le cumul annuel d'herbe disponible augmente, la répartition de la production (et les conditions de portance) ne permettront pas forcément de récolter des quantités beaucoup plus importantes de foins. Le pâturage prend alors toute sa place pour profiter de cette herbe supplémentaire.

En résumé, l'herbe pousserait de plus en plus tôt au printemps et de plus en plus tard à l'automne, mais le ralentissement d'été s'accroîtrait dès le futur proche et encore plus dans le futur lointain, sans toutefois atteindre les niveaux critiques (arrêt systématique de la végétation) affectant les zones plus continentales ou plus méridionales.

Ces résultats sont conformes à ce qui a été vu dans des études antérieures sur le changement climatique (ACTA-CC, Climator).



Ci-dessus : a) pousse d'une prairie à base de graminées, en kg de MS/ha/jour, selon la période de 30 ans simulée, avec 2 apports de 40U d'azote; b) cumul d'herbe disponible (dans le cas d'une prairie avec 3 x 40U d'azote), et c) rendements moyens des récoltes de foins et cumul d'herbe disponible sur l'année, pour une prairie recevant 3 x 40U d'azote).

Luzerne

Les simulations ont été réalisées sur le même sol que précédemment, pour des itinéraires techniques à 3 et 4 coupes « visées ». Le modèle est paramétré pour réaliser les coupes lorsque le cumul de températures dépasse un seuil préalablement fixé pour chaque itinéraire technique, à condition que la quantité de fourrage disponible soit suffisante. Par conséquent, les 3 ou 4 coupes visées ne sont pas systématiquement réalisées. Par 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.

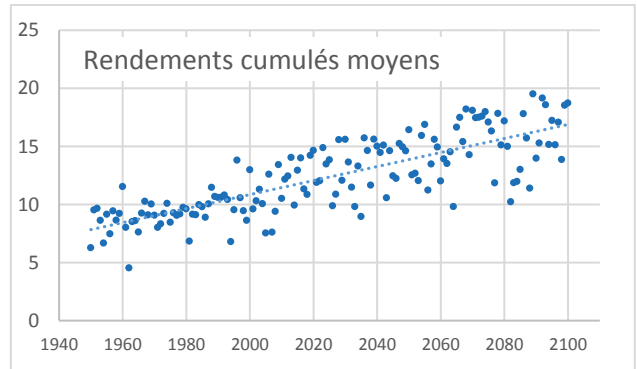
Quel que soit le nombre de coupes visées ou réalisées, les rendements cumulés seraient largement à la hausse. D'autre part, si l'ensemble des rendements moyens augmente, la variabilité interannuelle resterait marquée.

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 presque 10 jours plus tôt que par le passé ; on gagnerait encore une semaine dans la période 2040-2069, et presque deux bonnes semaines dans la période 2070-2099, sans pour autant que les rendements diminuent. Cette avancée des dates des coupes permettrait de réaliser une quatrième coupe de plus en plus souvent, ce qui participerait aussi à l'augmentation des rendements cumulés.

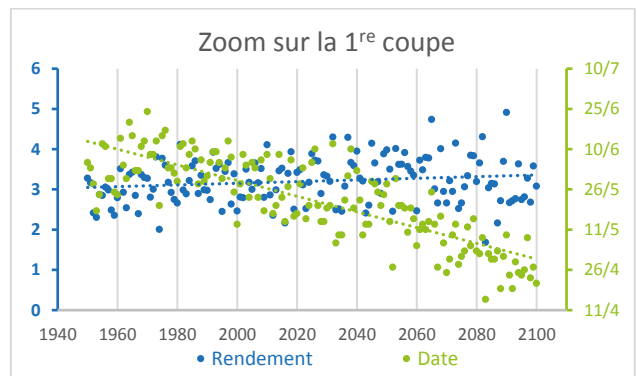
Le détail des rendements cumulés en fonction du nombre de coupes et de leur espacement dans la saison (non présenté ici) montre des rendements assez proches. Les différences se situent au niveau de la qualité du fourrage récolté, et du temps de travail nécessaire.

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.

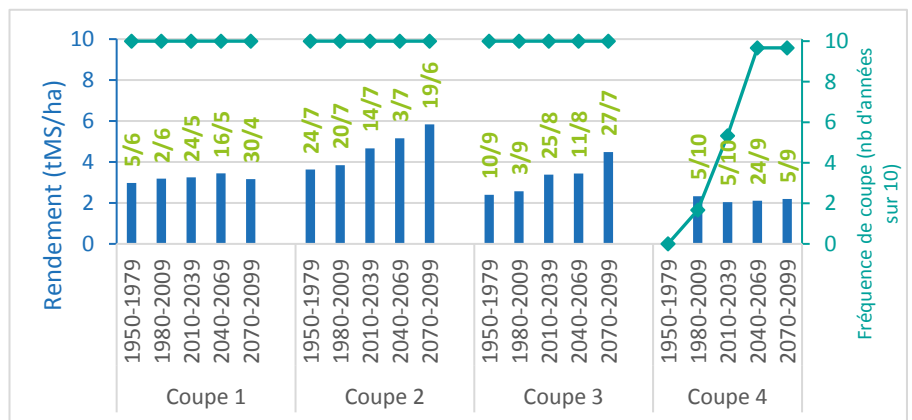
Moyenne des rendements cumulés obtenus pour chacun des deux itinéraires techniques utilisés dans les simulations.



Dates de coupe et rendements en 1^{re} coupe (/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.

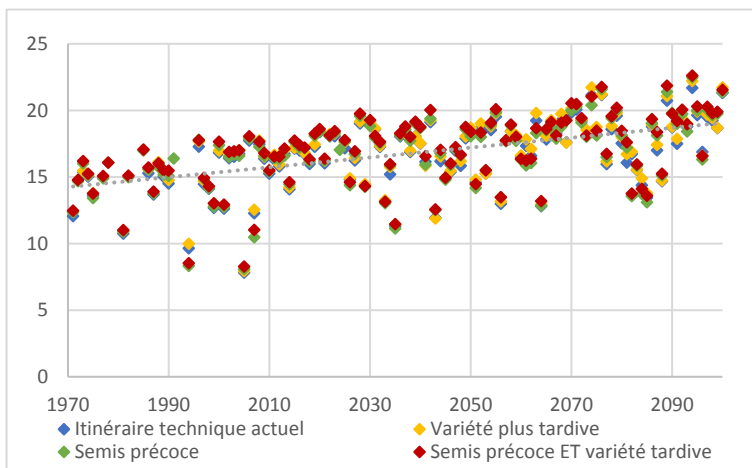


Maïs

Les simulations sont réalisées pour :

- une variété précoce (d'indice compris entre 220 et 290), et une variété demi-précoce (d'indice compris entre 260 et 330).
- deux dates de semis : la normale actuelle (20 avril) et 15 jours plus tôt.

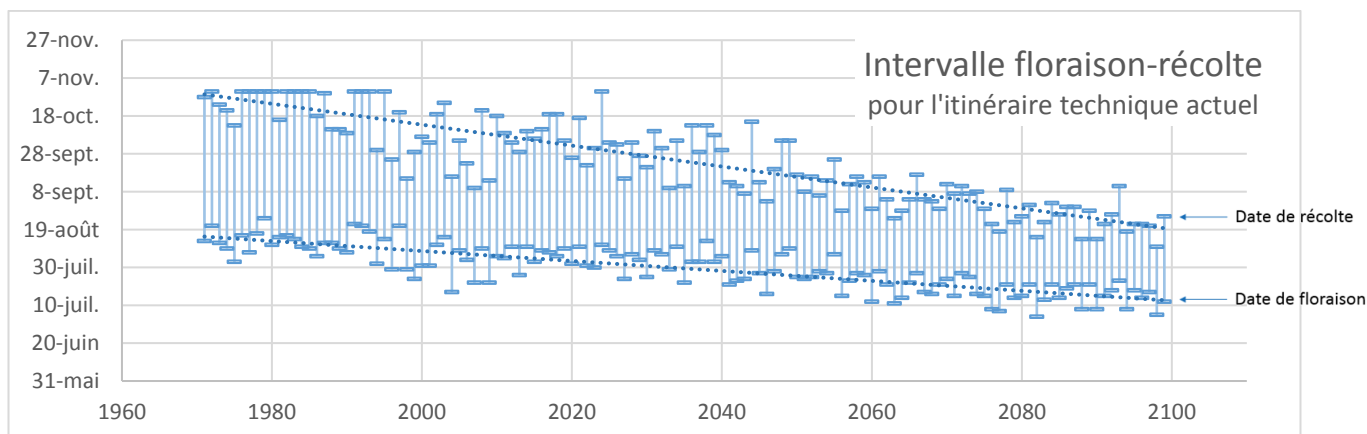
Par la suite, on parlera d'itinéraire technique actuel pour une variété d'indice 220 à 290 semée le 20 avril.



Rendements obtenus pour chaque année simulée, pour différentes combinaisons précocité x date de semis.

Conséquence directe de l'augmentation des températures et du taux de CO₂, sans déficit hydrique marqué, les rendements seraient en augmentation, avec une importante variabilité interannuelle. 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, avec un gain de rendement par rapport à l'itinéraire technique actuel.

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 que la pousse d'automne s'accroît et se prolonge. La saison de pâturage s'allonge donc au début du printemps et à l'automne.

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

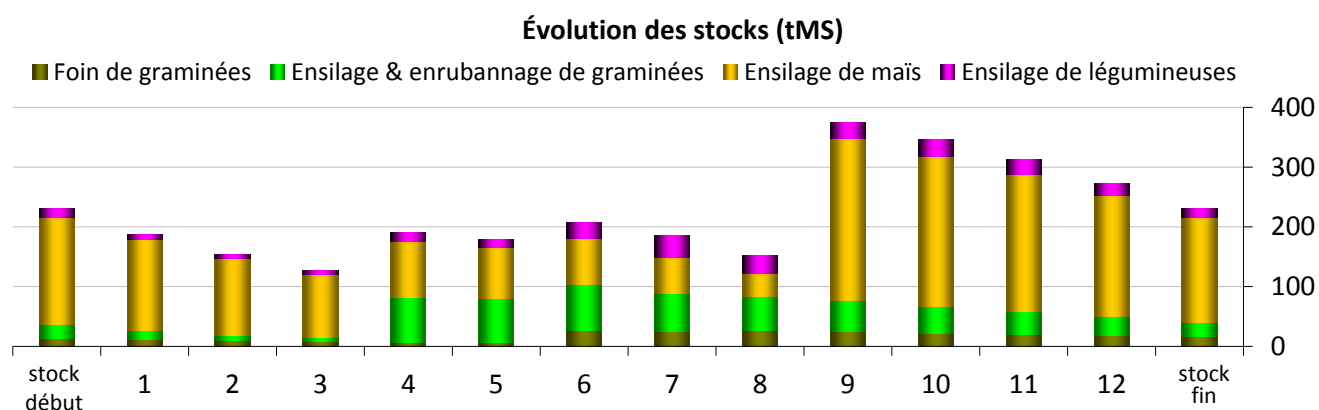
En ce qui concerne le maïs, les rendements augmentent, et restent variables d'une année sur l'autre. Là aussi, l'avancée des dates de floraison et récolte est nette.

Conséquences à l'échelle des systèmes et adaptations possibles

Le système traité

Le système étudié a été construit par le groupe de participants. Il s'agit d'une ferme disposant de 100 ha de SAU, dont 60 sont dédiés à l'atelier lait : 33 ha de prairies, 27 ha de maïs ensilage (dont 15 avec un RGI ou un méteil en dérobée avant le maïs). Le troupeau est constitué de 70 vaches laitières à 8 000 kg de lait produits (il s'agit de Prim'Holstein), avec un taux de renouvellement de 40 % et des vêlages étalés à 30 mois. Par conséquent, 28 génisses sont élevées chaque année. La ration des vaches laitières est composée d'ensilage de maïs à hauteur de 50 à 75 % selon la saison et d'herbe (pâturée et/ou ensilée). Les génisses sont au pâturage dès le printemps, avec un complément de foin et d'ensilage de maïs en été ; elles sont nourries de foin et d'ensilage de maïs en hiver. Le silo de maïs n'est jamais fermé. Le chargement corrigé s'élève à 2,08 UGB/ha SFP.

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



Le climat

Ce système a été confronté à trois contextes climatiques différents. Dans un premier temps, il a été paramétré et équilibré dans le climat moyen de la période de référence 1971-2000. Ensuite, à l'aide du Rami Fourrager®, il a été adapté au climat moyen de la période 2070-2099. Ce système déjà adapté aux conditions climatiques du futur a ensuite été confronté à un type d'année particulier, caractérisé par un printemps pluvieux suivi par un été chaud. Dans ce type d'année, l'herbe pousse au printemps mais les parcelles sont impraticables, et les semis de maïs doivent être retardés. En été, les fortes températures entraînent un ralentissement voire un arrêt de la croissance des graminées prairiales (mais pas des légumineuses), un risque de sécheresse, et du stress pour les animaux.

	1971-2000	2070-2099	Année avec aléas
Date de mise à l'herbe (Date à laquelle on a cumulé 300 °C depuis le 1 ^{er} février)	24 mars	9 mars	7 mars
Faisabilité de récoltes précoces (Nombre de jours où la portance des sols permet d'intervenir, entre 10 jours avant et 10 jours après 700 °C cumulés depuis le 1 ^{er} février)	3,6	5,9	3,5
Précipitations saturantes au printemps (Nombre de jours où la somme des précipitations sur les 5 jours précédents est > 40 mm, entre 400 et 1100 °C cumulés)	1,1	0,8	3
Bilan hydrique en été (mm) (Cumul Précipitations - ETP entre le 5 juillet et le 20 août)	- 33	- 158	- 187

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

Les adaptations envisagées

Dans le futur (année moyenne 2070-2099)

Sans adaptation, le système génère 85 tMS supplémentaires, dont 56 tMS d'ensilage de maïs. Cette augmentation de rendement est à relier à l'effet direct de l'augmentation du taux de CO₂ dans l'atmosphère. Le chargement corrigé (celui qui rend compte de la productivité réelle de la SFP) augmente et atteint 2,38 UGB/ha SFP.

Face à ces évolutions, deux grandes voies d'adaptation apparaissent : dégager de la place pour des cultures de vente, ou augmenter la production de lait en augmentant le nombre de vaches. Le choix dépend de chaque éleveur, en fonction de la place restante dans les bâtiments, de la main d'œuvre disponible... mais aussi des contrats possibles avec les laiteries. Le groupe a finalement choisi une voie intermédiaire, en ajustant les surfaces et les effectifs. Une deuxième piste, consistant à reconfigurer le système en y ajoutant de la luzerne et en supprimant les méteils, a été simulée également. Faute de temps, ces résultats n'ont pas été discutés avec le groupe d'éleveurs, mais les idées ont bien été évoquées.

Ajustement des surfaces et des effectifs	Introduction de luzerne et 0 méteil
<p>On ajoute 10 vaches et 3 génisses au troupeau, et on adapte les surfaces : les prairies sont maintenues (ce sont principalement des prairies naturelles), et les doubles cultures (RGI + maïs ou méteil + maïs) sont privilégiées par rapport au maïs sur sol nu. Le surplus d'herbe ensilée pourra être distribué aux génisses à la place de l'ensilage de maïs. Des surfaces de maïs sont ainsi libérées. La SFP est ainsi réduite de 2 ha.</p> <p>La modification des rations (notamment celle des génisses) implique une consommation plus importante de concentrés énergétiques (+ 80 qtx), qui pourront être produits sur les surfaces libérées.</p> <p>À l'équilibre après ces adaptations, la production de lait a augmenté de près de 15 %, et le chargement corrigé atteint 2,45 UGB/ha SFP.</p>	<p>Avec les mêmes effectifs, sans méteil en dérobée avant maïs, avec moins de RG en dérobée et en introduisant 5 ha de luzerne, le chargement pourrait être encore amélioré (il passerait à 2,54 UGB/ha SFP) avec libération d'1 ha supplémentaire.</p> <p>Cette option permet une réduction des achats de correcteurs azotés.</p>

Dans le cas de l'année « avec aléas »

La mise à l'herbe et les premières fauches doivent être retardées, tout comme les récoltes des dérobées et les semis de maïs. Les ensilages d'herbe réalisés tardivement sont de qualité médiocre. En revanche, les fortes températures estivales permettent au maïs de rattraper le retard pris au semis.

Option « ajustement des surfaces et effectifs »	Option « luzerne et 0 méteil »
<p>On maintient la distribution d'une quantité importante de fourrages conservés (ensilage d'herbe et/ou de maïs) dans la ration des vaches laitières et des génisses au printemps. Cela implique une augmentation de la consommation de concentrés et de paille, mais permet de maintenir la production laitière</p>	<p>Cette option est plus affectée par le crash climatique testé, du moins au niveau des quantités récoltables. Sur le plan de la qualité, les récoltes étant réparties tout au long de la période de pousse, elles devraient être moins affectées que dans le système qui intègre des RG et des méteils avant maïs, pratique qui expose davantage à l'aléa d'excès d'eau au printemps.</p>

D'autres leviers ont été évoqués, et qualifiés selon leur caractère durable (D) ou conjoncturel (C).

➤ **Au niveau de la production fourragère**

Leviers	Conséquences, questions soulevées
(C et D) Si les températures augmentent et donc les coûts de séchage diminuent on peut faire du maïs à double fin : planter plus de maïs que nécessaire, et, les bonnes années, récolter le surplus en grain.	
(C) Jouer sur la hauteur de coupe des maïs : si les stocks sont suffisants, ensiler seulement les épis, sinon ensiler la plante entière. Ou hauteurs intermédiaires selon les besoins.	Ensilage de maïs épi : bonne qualité, et restitue de la MO au sol. Avec l'ensilage plante entière, les quantités récoltées sont supérieures, mais il faut jouer sur la complémentation pour pallier une densité énergétique inférieure.
(D) Planter de la betterave : à distribuer ou faire pâturer.	Problèmes de stockage, de nettoyage et donc de temps de distribution (pour éviter les butyriques). Culture qui ne peut pas revenir souvent (au mieux tous les 4 ans), et qu'on ne peut pas intégrer en grandes quantités dans les rations (sinon acidose et effet laxatif). « Blocages culturels » par rapport au pâturage. Mais rendement assuré, et effet structurant sur les sols.

➤ **Au niveau de la conduite du troupeau laitier**

Leviers	Conséquences, questions soulevées
(D) Gérer le pâturage en fonction de la météo, à la demi-journée	Il faut un parcellaire regroupé.
(D) Utiliser du miscanthus pour la litière, voire en petites quantités dans la ration	Avis divisés sur le miscanthus alimentaire.

➤ **Au niveau de l'exploitation**

Leviers	Conséquences, questions soulevées
(D) Restructurer les exploitations : faire que chacun dispose d'un parcellaire regroupé autour des bâtiments (important pour bien valoriser le pâturage).	
(D) Faire du lait à l'herbe, avec des vaches de race normandes	Il commence à y avoir de la demande. A l'avenir, il pourrait y avoir une segmentation de la production avec certains qui partiraient vers ce type de production mieux valorisé. D'ailleurs, les zones de protection des captages vont de plus en plus devoir être laissées en herbe. Il y a un regain d'intérêt pour l'herbe depuis peu de temps. Mais il faut apprendre à la gérer, avoir des outils adaptés : herbomètres plus simples, clôtures...
(D) Planter des haies dans les PN pour faire de l'ombre	Il y a parfois des aides (Conseil Général, fédération des chasseurs, protection des captages). Permettent aussi de retenir les limons, couper le vent. Mais problèmes de mammites si les vaches se rassemblent autour des haies.

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 CO₂ 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 aléas climatiques et la production fourragère : les vertus des systèmes à ressources diversifiées

Avec l'augmentation des températures, la culture du maïs « à double fin » pourrait se développer : on cultive plus de maïs que le besoin ordinaire et, en mauvaise année, on récolte moins pour le grain et plus en ensilage.

Dans des systèmes qui misent beaucoup sur les conditions climatiques du printemps (ensilage et foin de 1^{re} coupe, RG et méteil en dérobée), l'introduction de la luzerne peut permettre de répartir les risques par rapport aux attentes sur la qualité des foins et ensilages.

Valoriser mieux l'herbe : un enjeu majeur

Pour beaucoup d'éleveurs, la prairie, « c'est une contrainte ». Mais les dernières années ont vu apparaître un regain d'intérêt pour l'herbe, en partie motivé par les contraintes liées aux zones de captage pour l'alimentation en eau des zones urbaines, et par les attentes des consommateurs.

Ainsi, certains éleveurs pourraient s'orienter vers du lait à l'herbe, mieux valorisé, avec des vaches de race normande, pour lequel la demande se développe.

Les éleveurs du groupe ont soulevé la nécessité de disposer d'outils simples et pratiques pour gérer plus facilement les prairies.

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 (Chaource)
- diversité des modes de production : pratiquement que des prairies dans la zone des AOP savoyardes, et jusqu'à 65 % de maïs ou de sorgho dans la SFP des exploitations laitières béarnaises.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

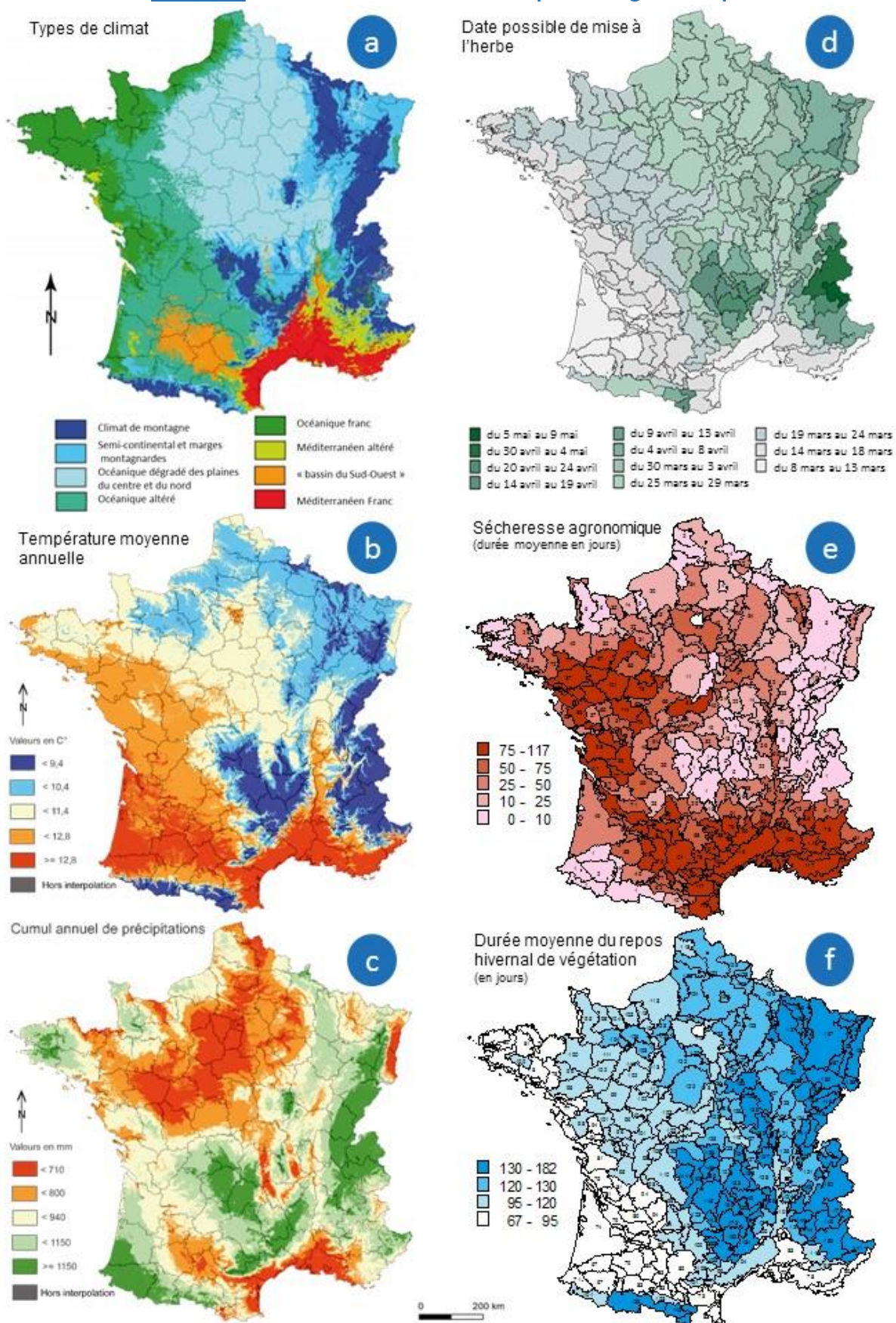
Un outil très apprécié des éleveurs est utilisé, le Rami Fourrager®. Il s'agit d'un jeu de plateau qui permet de modéliser un système fourrager et de le confronter à diverses contraintes. Les joueurs (éleveurs, conseillers...) peuvent alors reconfigurer le système pour l'adapter à ces contraintes. L'outil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

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

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

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

Annexe 2 : Climats de France et conséquences agronomiques



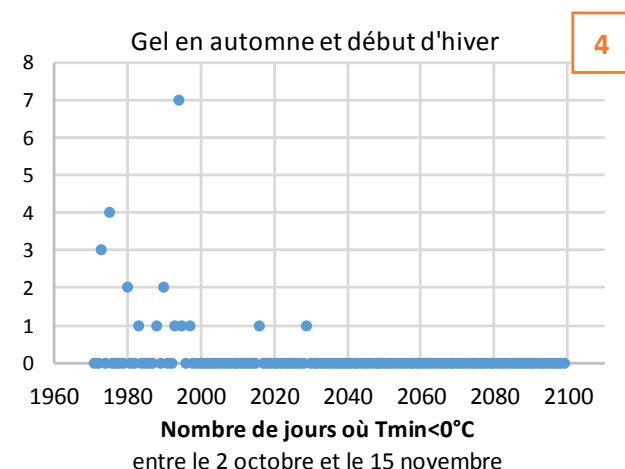
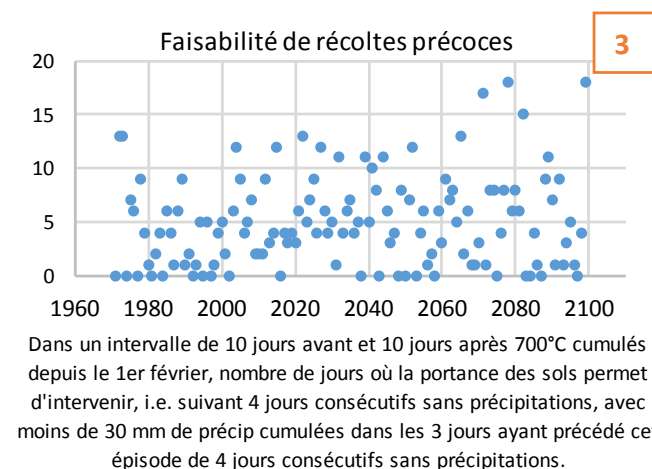
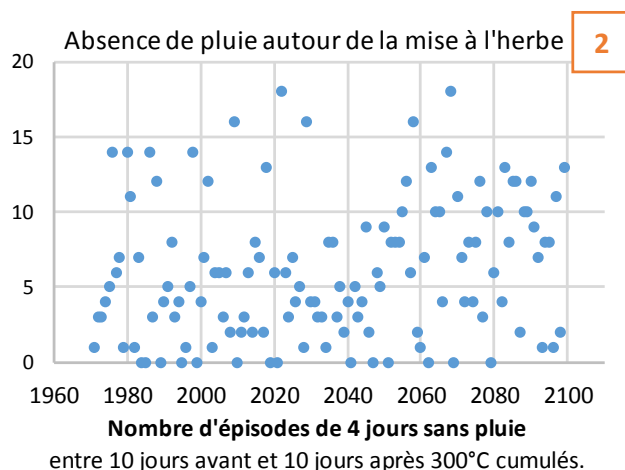
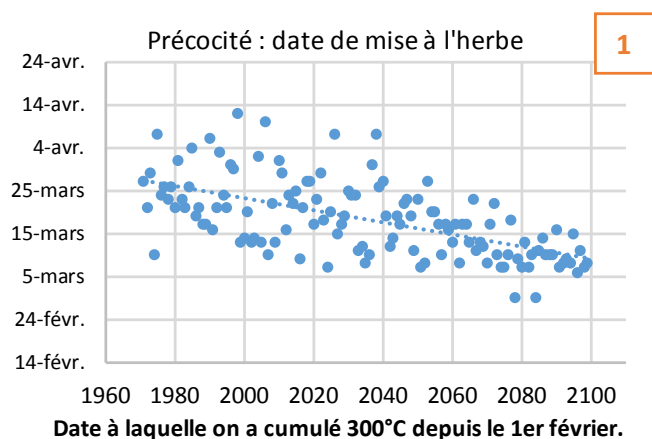
Sources et méthodes a, b, c : INRA, CNRS, Université de Bourgogne ; d, e, f : données Météo France, SSP, INRA calculées pour ISOP, traitement Institut de l'Élevage pour 228 régions fourragères. d. La date possible de mise à l'herbe est estimée par la date d'atteinte d'un seuil de 300°C cumulés depuis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

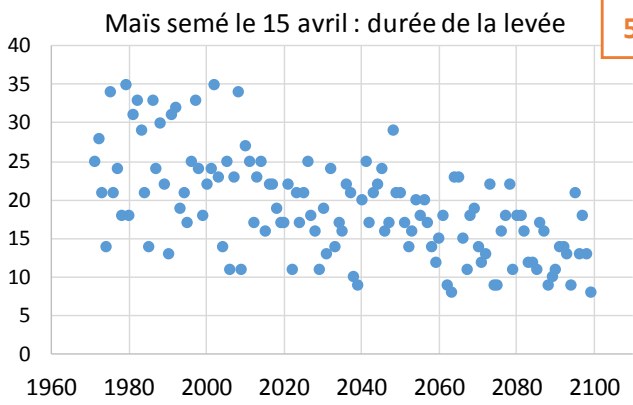
Annexe 3 : Évolution climatique et conséquences pour la mise en place et l'accès aux ressources fourragères (à partir du modèle de climat ALADIN, données pour le Pays de Caux)

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 à celles connues actuellement [2]. En plein printemps, les récoltes précoces pourraient être facilitées par une légèrement 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 disparaîtraient [4], permettant de maintenir les animaux au pâturage (s'il y a de l'herbe)... 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'amélioreraient nettement [6], alors que l'augmentation des températures accélère le dessèchement des grains et donc raccourcit la période optimale de récolte.

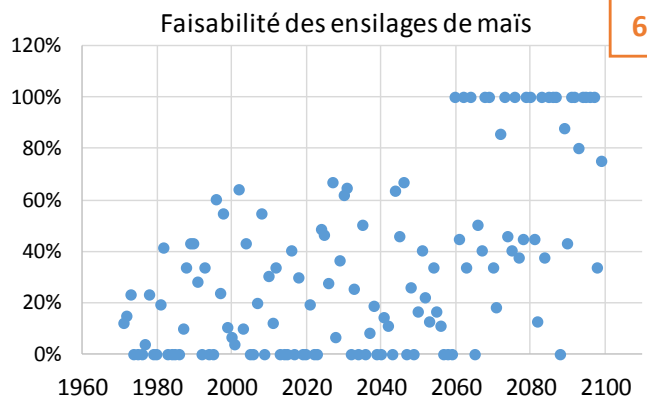
Enfin, il ne faut pas oublier les conséquences directes du climat sur les animaux eux-mêmes : lors d'épisodes caniculaires, les vaches réduisent leurs déplacements et leur ingestion, l'herbe au pâturage est alors moins bien exploitée, alors même que sa senescence est accélérée et sa pousse stoppée (voir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





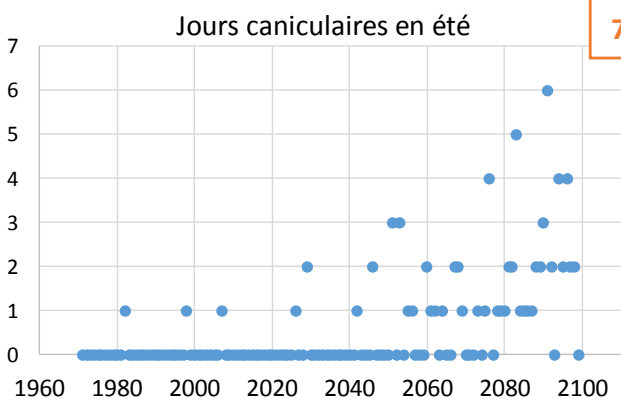
5

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*), Séverine Burel (*Chambre d'Agriculture de Seine-Maritime*), Françoise Ruget (*INRA*), Franck Souverain (*Météo-France*).

Crédits photos : A. Lecerf / *CNIEL*

Version : Déc. 2018

Remerciements aux éleveurs qui ont participé aux groupes de travail.

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

