

Premiers éléments de prospective
sur les conséquences des changements climatiques
au niveau des prairies et du maïs.
Impacts pour la conception des systèmes fourragers

J-C Moreau¹, J. Lorgeou², N. Da Silveira², P. Peries², P. Gate², T Levet¹

1 : Service Fourrage et Conduite des Troupeaux Allaitants, Institut de l'Élevage, F-31321 Castanet Tolosan cedex ; jean-christophe.moreau@inst-elevage.asso.fr

2 : ARVALIS - Institut du Végétal, F-91720 Boigneville ; j.lorgeou@arvalisinstitutduvegetal.fr

Résumé

Le changement climatique ne peut se résumer à une augmentation des épisodes de sécheresse, même si cela en constitue une composante importante. Pour en déterminer les conséquences au niveau des systèmes d'élevage et proposer des pistes d'adaptation de ces systèmes visant à les installer durablement dans un climat modifié, il est nécessaire au préalable de bien identifier la façon dont les principales cultures fourragères vont réagir face à ces changements. Il s'agit de préciser comment peut s'élaborer le rendement selon différents itinéraires techniques, quels risques vont être rencontrés aux différents stades de la plante ou vont venir perturber l'accès à la ressource.

Une étude qui s'appuie principalement sur la mise en œuvre de modèles à l'échelle de la plante puis à l'échelle du système vient d'être démarrée par l'Institut de l'Élevage et Arvalis. Elle permettra de mobiliser des experts et d'alimenter leur réflexion sur la nécessaire adaptation des systèmes et les besoins en matière de Recherche et Développement.

Cet article présente les modalités de cette étude, quelques premiers éléments de prospective et quelques premières pistes de réflexion pour l'adaptation des systèmes fourragers tout au long du 21^{ème} siècle.

1. Les projections climatiques incitent à la prospective

Le nouveau rapport du GIEC (rapport de synthèse 2007) indique une augmentation des températures terrestres de 0,74°C depuis la fin du 19^{ème} siècle et de celle de la concentration en CO₂ qui est passée de 280 ppm à 380 ppm au cours l'ère préindustrielle. Le réchauffement est estimé sur la période 2070 à 2100, selon les hypothèses d'évolution du CO₂ et les modèles, entre 1,9 et 4,6°C, avec une forte variabilité interrégionale. Les projections en matière de pluviométrie, bien que moins précises, font état d'un accroissement des précipitations en hiver et d'une amplification des déficits en été. Toutes les projections climatiques concluent que les évolutions amorcées s'amplifieront dans l'avenir et conduiront, en l'absence de mesure de maîtrise des augmentations de gaz à effet de serre, à des augmentations des températures, des modifications des régimes des précipitations et des événements extrêmes plus fréquents, tels que des tempêtes. Les impacts du réchauffement seront de différentes natures et font l'objet de nombreuses études. Ils auront, notamment des conséquences sur les écosystèmes et la production agricole. Les modifications en agriculture risquent d'intervenir directement sur la production de biomasse, sachant qu'il est nécessaire de distinguer les conséquences climatiques liées au réchauffement et à la modification du régime des précipitations, et les impacts directs liés à l'enrichissement en CO₂ (augmentant la photosynthèse). **Les changements climatiques pourraient ainsi intervenir de façon très significative sur la production agricole et en particulier sur la durée des cycles des cultures et les dates de récolte, la production végétale des cultures et prairies, la pression en adventices, maladies et ravageurs des cultures, les besoins et la disponibilité en eau. L'intérêt respectif des différentes cultures et la viabilité des systèmes de production actuels sont susceptibles d'être modifiés.**

De nombreuses études ont été initiées dans le monde et en France sur le sujet afin de quantifier les modifications climatiques sous différents scénarios de maîtrise des effets de serre (rapport du GIEC, travaux du Centre de recherche météorologique de Météo France, CNRS) et leurs conséquences potentielles sur les écosystèmes, les productions agricoles et forestières, les systèmes de production et l'économie agricole à partir des connaissances disponibles sur l'écophysiologie des cultures appliquées à la simulation des effets des scénarios climatiques. **Outre les pistes de maîtrise des effets de serre, toutes les études concluent à des conséquences significatives sur la modification potentielle de la localisation des cultures en latitude et en altitude, et sur leurs rendements, à la modification des équilibres des flores et à l'introduction de nouvelles espèces des cultures. L'ampleur des phénomènes est de nature à conduire à des déplacements des systèmes de production.**

L'ampleur de ces changements justifie des travaux de prospective par la recherche agronomique et les instituts techniques sur les voies d'adaptation des systèmes de culture et d'élevage au travers des évolutions des assolements et des itinéraires techniques. C'est dans le cadre de la prise en compte de cette problématique que l'Institut du végétal et l'Institut de l'Élevage ont proposé, avec la collaboration de l'INRA et Météo France, de travailler ce sujet lors d'un appel d'offres du Ministère de l'agriculture *via* le Conseil d'orientation scientifique de l'ACTA (Association de Coordination des Instituts Techniques Agricoles).

2. Une étude sur 3 ans en plusieurs étapes

2.1. Enjeux : porter la question du changement climatique au niveau du système, dégager des thèmes d'études pour la Recherche et le Développement

Certaines années de ce début de siècle, considérées comme exceptionnelles, préfigurent peut-être ce que pourra être une année normale, voire fraîche, à la fin de ce même siècle. Les éleveurs ont dû s'adapter dans l'urgence aux sécheresses de 2003 ou 2005, souvent en recourant à des mesures palliatives onéreuses et pas forcément envisageables à long terme (achats de fourrages, semis aléatoires de dérobées, ensilage de céréales à paille immatures).

Par rapport aux sécheresses, qui ne sont qu'un des aspects du changement climatique, il y a donc bien deux questions à traiter :

- **La sécheresse en tant qu'aléa climatique peu fréquent** : gérer l'aléa est alors une question de configuration du système fourrager (certains systèmes s'y exposent plus que d'autres), mais c'est aussi une question de gestion technique et de mise en œuvre de mesures palliatives.

- **La sécheresse** non plus en tant qu'aléa mais **en tant qu'état fréquent et prévisible du climat à une saison donnée**. Un bilan hydrique défavorable n'est pas alors la caractéristique unique ; il faut également prendre en compte les températures élevées sur une longue durée, la nutrition azotée, leur impact sur l'évolution de la flore.... On est sur le moyen terme, et s'adapter est notamment une question de réglage des équilibres suivants :

- fourrages annuels / herbe,
- maïs ou sorgho / possibilités d'irrigation,
- et, pour les prairies , stock / pâture,

Ceci, en tenant compte des contraintes propres à chaque exploitation et sans oublier les adaptations zootechniques : niveau de production, dates de mises bas par exemple. Ce type de questionnement vaut aussi pour des systèmes de culture, mais avec d'autres variables d'ajustement (rotations, choix de variétés et d'itinéraires techniques...).

C'est principalement par rapport au deuxième point que l'Institut de l'Élevage et Arvalis-Institut du Végétal ont défini ensemble une étude d'une durée de 3 ans visant à définir les conséquences possibles du changement climatique sur des systèmes d'élevage et de grande culture. L'objectif est également d'identifier les voies d'adaptation possibles des systèmes et les questions que cela pose à la Recherche et au Développement. Plusieurs étapes sont programmées :

- l'exploration des changements déjà perceptibles ;
- la caractérisation des changements climatiques à venir ;
- la modélisation à l'échelle de la plante, avec i) définition de l'incidence du changement climatique sur les rendements, les stades physiologiques, l'accès à la ressource, les besoins en eau... et ii) intégration de l'effet de l'augmentation du CO₂ atmosphérique dans un deuxième temps ;
- la modélisation à l'échelle des systèmes, avec mobilisation d'experts pour concevoir des adaptations.

La remise des conclusions de l'étude est prévue pour mai 2009, cet article n'a donc pas l'ambition d'anticiper sur ce qui va nécessiter encore beaucoup d'investigations, mais plus modestement de poser un certain nombre de jalons par rapport aux voies possibles d'adaptation des systèmes fourragers, à partir de ce qu'on peut prévoir au niveau de la prairie et du maïs, en relation avec les changements climatiques.

2.2. Matériel et méthodes : la modélisation pour nourrir la réflexion, mais aussi des observations de terrain

En ce qui concerne les cultures fourragères, **12 stations d'étude** ont été désignées après concertation avec les partenaires du projet, et s'être assuré de la disponibilité de l'ensemble des données portant sur :

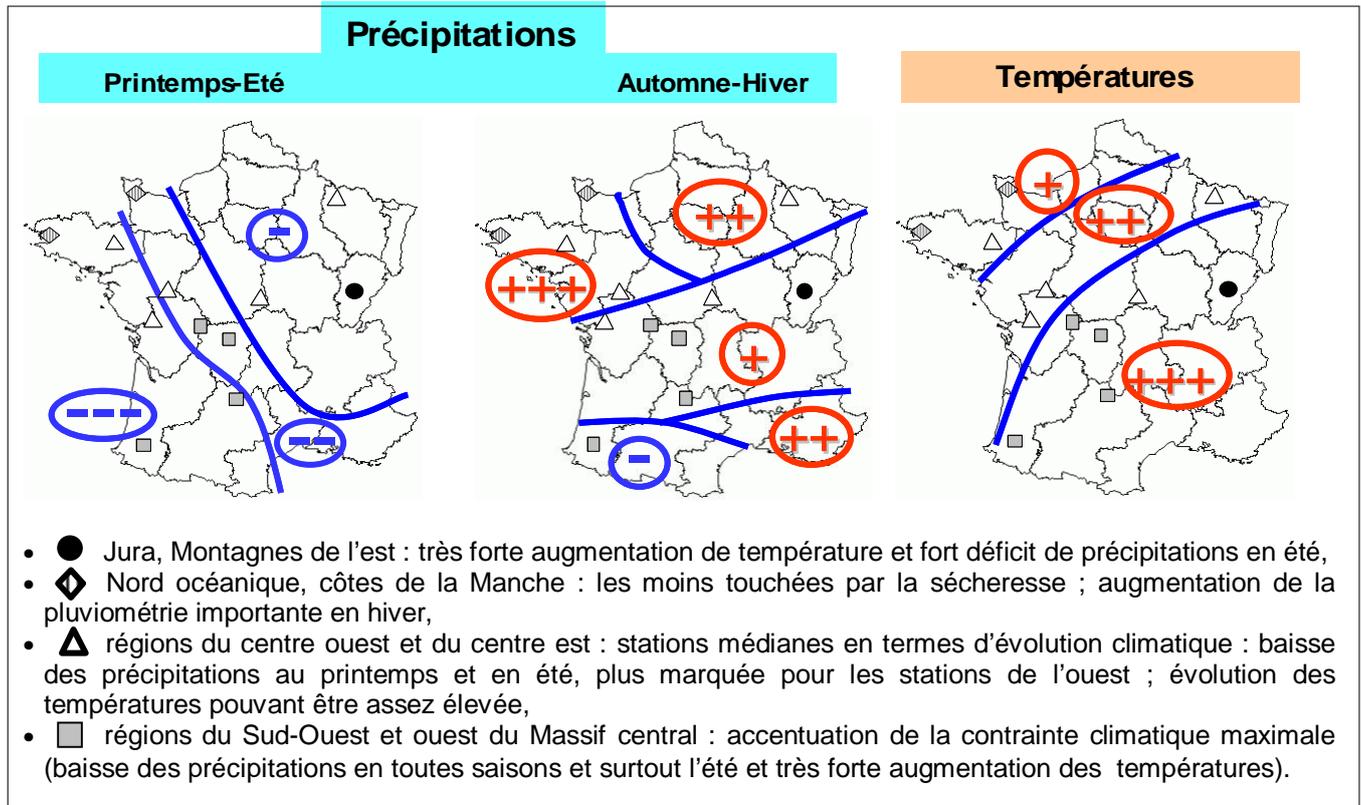
- **les modes de conduite principaux des prairies** présentes dans la région, inscrits dans le cadre de systèmes utilisateurs, eux aussi décrits et modélisés (cas types) ;
- la caractérisation de sols représentatifs ;
- **4 séries climatiques de 30 ans** dont une série (**Obs**) correspondant aux données réelles fournies par Météo France sur la période 1975-2004 et trois séries issues du générateur climatique Arpège : une série de référence sur la période 1960-1989 (**Réf**), la série correspondant au scénario **A2** à l'horizon 2070-2100 (805 ppm de concentration en CO₂ à la fin de siècle), et la série concernant le scénario **B2** (605 ppm en 2100).

Plusieurs modèles ont été retenus pour étudier les conséquences du changement climatique à partir des 4 séries précitées (BRISSON *et al.*, 2005) au niveau de la prairie, du maïs et du blé : des modèles de développement et d'estimation du rendement de Arvalis-Institut du végétal et STICS, dont la version 6 qui permet d'intégrer l'effet d'un accroissement du taux atmosphérique de CO₂ sur l'activité photosynthétique.

3. Un changement climatique contrasté selon les régions

Les sites retenus peuvent être regroupés en 4 types (Figure 1).

FIGURE 1 – Représentation schématique des évolutions prévues pour la période 2070-2100 dans le cadre du scénario A2, localisation des 12 sites retenus par l’Institut de l’Elevage.



4. Production des prairies : les conséquences ne sont pas toutes défavorables

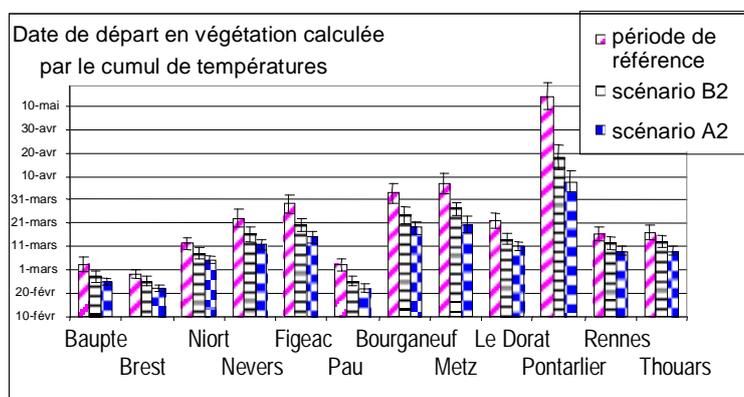
TABLEAU 1 – Dans les 12 sites retenus par l’Institut de Elevage, quelques indicateurs de dégradation des conditions moyennes d’alimentation hydrique entre la période 1960-1990 (référence) et 2070-2100.

	évolution prévisible des précipitations en Juin, Juillet et Aout, en mm		prévision d'apparition (en jours d'écart par rapport à la série de référence) d'un déficit hydrique calculé significatif	
	A2 - référence	B2 - référence	A2 - référence	B2 - référence
Baupte (50)	-37	-10	-2 jours	-13 jours
Brest (29)	-43	-18	-7 jours	-15 jours
Niort (79)	-53	-22	-18 jours	-20 jours
Nevers (58)	-60	-17	1 jours	6 jours
Figeac (46)	-80	-37	-27 jours	-11 jours
Pau (64)	-92	-52	-14 jours	-4 jours
Borganeuf (23)	-72	-34	-11 jours	-14 jours
Metz (57)	-53	-4	-30 jours	-31 jours
Le Dorat (87)	-64	-30	-41 jours	-32 jours
Pontarlier (25)	-103	-34	0 jours	0 jours
Rennes (35)	-50	-16	-18 jours	-20 jours
Thouars (79)	-51	-18	-18 jours	-14 jours

L’aspect le plus négatif et le plus spectaculaire du changement climatique habituellement mis en avant par les médias est la survenue de périodes de plus en plus longues sans précipitations. Effectivement, la fréquence d’épisodes sans pluies, par exemple de plus de 30 jours consécutifs situés entre le 1^{er} juin et le 15 août, pourrait s’accroître de 10% (Ouest, bordure nord Atlantique) à 20% (bassin de l’Adour) d’ici la fin du siècle. Mais hors de ces aléas, la tendance de fond sera bien à une réduction moyenne de la pluviométrie estivale, plus forte dans le scénario A2 que dans le scénario B2, et plus forte dans le Sud-Ouest et les marges du Massif Central que dans le Nord Ouest (Tableau 1).

Par ailleurs, l’évapotranspiration va s’accroître, en lien avec une hausse des températures localement élevée, de sorte que **les déficits hydriques que nous avons calculés pourraient apparaître de manière nettement plus précoce dans les zones dont les sols ont une faible capacité de rétention en eau** : par exemple un mois plus tôt à Figeac, zone des ségalas, quel que soit le scénario. C’est assurément une tendance dont il faudra tenir compte pour la conduite des prairies et la culture de maïs.

FIGURE 2 – Evolution des dates de départ en végétation dans 12 sites variés, selon le scénario de changement climatique et dans la situation de référence.



Le réchauffement pourrait ne pas présenter que des inconvénients. On peut espérer des possibilités de mise à l'herbe plus précoce comme l'indique un calcul basé sur les sommes de températures (Figure 2) : 8 à 12 jours pourraient être gagnés selon les scénarios, de manière très variable selon les sites (LEVET , 2006). A noter que le même type de calculs réalisés sur la série climatique 1975-2005, scindée en deux périodes de 15 ans, montre qu'on avait déjà gagné ainsi 8 jours en moyenne entre les deux sous-périodes : 2 jours seulement à Pau mais 16 jours à Pontarlier. De même à l'automne, la baisse très importante du nombre de jours de gel et la hausse générale des températures laisse espérer des possibilités pour rentrer les animaux beaucoup plus tard. **C'est l'excès de précipitations qui pourrait dans certaines situations limiter l'accès à la ressource,** pour des problèmes de portance des sols, notamment. Ainsi, on a pu établir que par exemple à Bauphte (Manche), la fréquence des épisodes de fortes précipitations (plus de 80 mm en moins de 5 jours entre le 1^{er} novembre et le 31 décembre) pourrait doubler et affecter la fin de la période de pâturage près de 4 années sur 10 dans le scénario A2 en fin de siècle. A l'opposé, autour de Pau, ce risque disparaîtrait, rendant un pâturage tardif enfin envisageable.

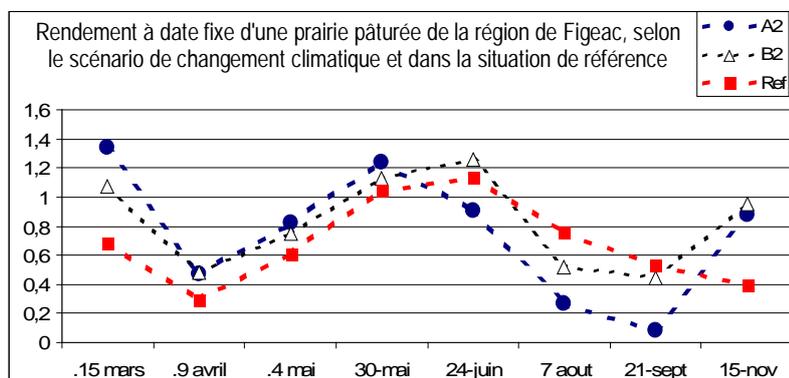


FIGURE 3 – Un exemple d'évolution au cours de l'année de la biomasse moyenne utilisable produite par une prairie en zone sud-ouest du Massif central (zone caractérisée par une baisse des précipitations en toutes saisons, surtout l'été, et une très forte augmentation des températures).

Dans le sud-ouest du Massif central par exemple, et par rapport à un itinéraire technique assez intensif, les simulations réalisées à l'aide de STICS (cf RUGET *et al.*, 2006) montrent, hors effet de la concentration CO₂, que le changement climatique a un effet plutôt positif sur le rendement (Figure 3). Cependant, la production serait très affectée l'été car dans le scénario A2, le rendement entre le 7 août et le 21 septembre serait nul 4 années sur 5.

L'amélioration du rendement au 15 mars suggère qu'une première exploitation précoce, vers le 20 février, serait possible. De même, la quantité d'herbe disponible le 15 novembre dans les scénarios A2 et B2 laisse à penser que la rentrée des animaux à l'étable pourrait s'effectuer 2 à 3 semaines après cette date. Ces simulations doivent être réalisées sur chaque site pour des itinéraires techniques différents. Les résultats constitueront le matériau d'une réflexion à l'échelle des systèmes.

Des expérimentations au champ mais en situation d'alimentation hydrique non limitante ont montré que l'augmentation du taux de CO₂ pouvait avoir un impact positif sur le rendement. Après calage du modèle STICS, il nous faudra vérifier cet effet dans le cadre d'une prairie sous contraintes. Par ailleurs, nous n'avons pas pu intégrer l'effet des fortes chaleurs sur la baisse de production d'un peuplement de graminées herbacées ; pourtant des observations de terrain ont bien montré lors des dernières sécheresses que ces canicules avaient pu entamer le potentiel productif de certaines prairies.

5. Le maïs fourrage

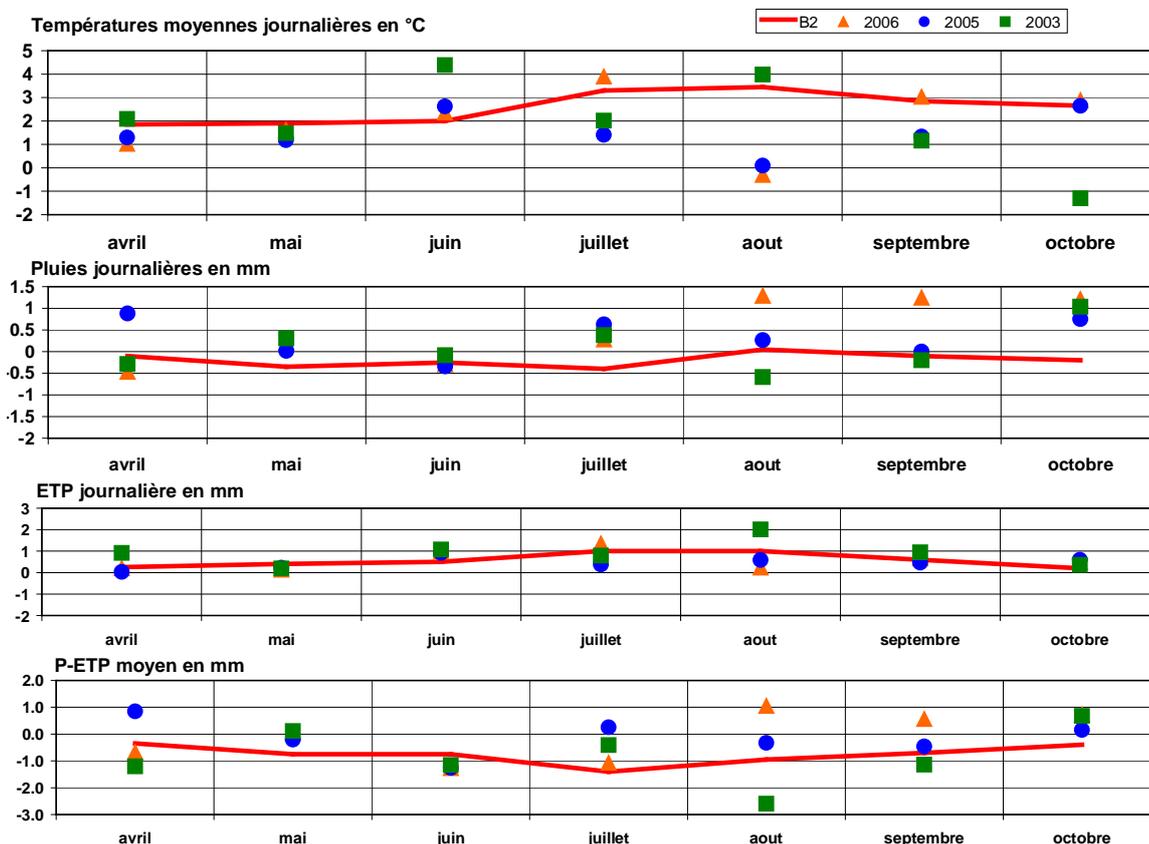
- Atouts et handicaps des plantes en C4 comme le maïs

L'analyse bibliographique des spécificités qui distinguent les plantes en C3 et C4 permet d'apprécier le type de conséquences auxquelles les grandes familles d'espèces seront soumises. D'une façon générale, quelle que soit l'espèce, une augmentation de la température tendra à raccourcir les cycles des cultures ce qui, en réduisant la durée d'interception du rayonnement, a un effet négatif sur la production potentielle de biomasse. Cet effet peut être neutralisé par le choix de variétés à durée de cycle plus longue. Les plantes en C4 d'origine tropicale, qui ont des optima thermiques plus élevés que les C3, sont mieux adaptées aux fortes températures. L'élévation des températures aurait une action positive sur le bilan photosynthétique des plantes en C4 dans les plages de températures inférieures à 30-35°C. L'augmentation de la photorespiration des plantes en C3 et leur sensibilité à l'échaudage seraient des handicaps. En revanche, des teneurs en CO₂ plus élevées seraient mieux valorisées par les C3, alors que les concentrations actuelles en CO₂ ne sont pas limitantes pour les C4 qui présentent une très bonne efficacité photosynthétique. **La bonne efficacité de l'eau des C4 est un atout, mais cet avantage pourrait être réduit du fait d'une diminution des précipitations estivales qui créerait des déficits hydriques.** L'augmentation de l'efficacité photosynthétique et des évaporations transpirations potentielles des plantes en C3 les rendraient aussi plus vulnérables aux déficits hydriques de printemps. Cette première approche confirme que **la synthèse des effets bénéfiques et défavorables est difficile à réaliser sans faire appel à l'utilisation de modèles de simulations de culture.** Elle met en évidence aussi que la qualité de la représentation des phénomènes et de leurs interactions dans les modèles est déterminante sur les conclusions qui peuvent être tirées de simulations.

- Analyse des données climatiques

Les comparaisons des écarts de moyennes mensuelles des différents paramètres climatiques calculés sur les périodes 2071–2100 et 1961-1990 (appelés anomalies) à l'échelle de la France mettent en évidence une variabilité temporelle très significative : le réchauffement serait plus prononcé en été et durant l'automne.

FIGURE 4 – Par rapport au scénario B2, positionnement des paramètres climatiques des années 2003, 2005 et 2006



Ces calculs d'anomalies moyennes mensuelles permettent de rechercher des similitudes avec des années passées. L'identification des séquences climatiques qui peuvent être apparentées aux projections à long terme permet de matérialiser l'importance des phénomènes et d'effectuer des rapprochements avec des données observées. Du point de vue des températures et des ETP, le scénario moyen de 2071 à 2100 s'apparente aux séquences chaudes de 2006 et 2003. La sécheresse serait plus intense que les données observées ces dernières années en mai, juillet et octobre (Figure 4).

– Quelles disponibilités climatiques pour le maïs à la fin du siècle ?

Les effets des températures seront significatifs à plusieurs niveaux. Les calculs de sommes de températures montrent que le réchauffement climatique devrait conduire à cultiver des variétés plus tardives dans les régions maïsicoles (culture de groupes plus tardifs) et à étendre son aire de culture vers des régions plus septentrionales et en altitude. L'augmentation des températures, de par l'amélioration de l'efficacité de la photosynthèse lorsque les températures sont faibles, et la culture de variétés plus tardives devraient permettre potentiellement des productions de matière sèche supérieures sous réserve que l'alimentation en eau ne soit pas trop limitante. Les déficits hydriques estivaux obligeront à la mise en œuvre de plusieurs stratégies complémentaires : l'amélioration de la tolérance à la sécheresse du maïs, le recours à des choix techniques permettant l'esquive des périodes les plus sèches et des stockages des surplus de pluviométrie hivernale. **Comme les répercussions du changement climatique porteront aussi sur tout l'environnement de la culture, d'autres effets pourraient ne pas être négligeables, tels que la minéralisation en azote des sols et sa cinétique, la compétition des adventices composées essentiellement de C3.** Le parasitisme peut être modifié, avec un développement de ravageurs et de maladies typiques de climats plus chauds, avec une réduction de ceux des milieux froids et tempérés. L'analyse des conditions de cultures rencontrées en Europe du Sud, en Europe de l'Est et aux USA devrait compléter les travaux de simulation engagés.

– Optimisation des choix et de l'itinéraire technique

Outre la valorisation de la variabilité génétique du Germplasm du maïs à travers la sélection de variétés plus adaptées à ces contextes, les leviers concernent surtout l'esquive des déficits hydriques et le pilotage de l'indice foliaire.

A même groupe de précocité et date de semis, la mise en place des grains (nombre par m²) serait avancée de 12 à 20 jours avec le scénario B2 et interviendrait début juillet. Les stades de maturité du maïs fourrage seraient avancés de plus de 30 jours par rapport à ceux de la période 1961-1990. L'analyse des risques de températures supérieures à 40°C confirme qu'ils seraient significatifs dans le sud de la France au cours de l'été. L'anticipation des dates de semis permettrait une installation plus précoce des grains évitant partiellement la période la plus déficitaire en eau du mois de juillet. Les premières simulations qui minimisent les risques de températures inférieures à -2°C et de séquences de nombre de jours qui cumulent moins de 2 degrés-jours par jour aboutissent à des dates optimales de semis qui se situeraient en moyenne vers le 15-20 mars, soit 3 semaines à un mois avant les dates actuelles. Mais l'évolution de la variabilité climatique, par un accroissement des enchaînements des séquences extrêmes, reste une très grande inconnue. L'intérêt de variétés plus tardives est indiscutable pour les situations qui resteraient bien pourvues en eau. Il pourrait aussi l'être dans des scénarios de retour des pluies en août.

6. Premières conséquences prévisibles au niveau des systèmes fourragers et aspects à préciser dans la deuxième phase de l'étude

Selon des modalités qui restent en partie à préciser, les conséquences du changement climatique pour les prairies seront variables selon les zones, mais globalement on devrait observer un rallongement de la période de pousse de l'herbe avec à la fois un démarrage en végétation plus précoce et des possibilités de repousses importantes à l'automne permettant de rentrer les animaux plus tard, voire d'envisager du pâturage hivernal. Cependant, l'été, il y aura une période de sécheresse avec de fortes températures qui pourra être à la fois plus longue et plus fréquente. Il n'est pas certain que le rendement annuel soit affecté, surtout si on peut cerner l'impact positif d'un accroissement du taux atmosphérique de CO₂ (SOUSSANA, 2002) sur la photosynthèse et l'efficacité de l'eau. Toutefois, les repousses d'automne pourraient être hypothéquées par le fait qu'on risque d'avoir des couverts végétaux dégradés... Comment et jusqu'à quel niveau le potentiel productif des

prairies pourrait-il être affecté ? Des études dans ce sens seraient fort utiles.

Les exploitations d'élevage devront continuer à faire des stocks mais celles qui n'en avaient pas trop l'habitude, notamment en systèmes bovins allaitants, devront dans certaines zones envisager qu'une partie des stocks soit affectée à la redistribution d'été, alors qu'il en faudra sans doute moins pour l'hiver. A partir des cas types définis par les équipes animées par l'Institut de l'Élevage, nous allons modéliser les besoins en stocks d'herbe et de maïs au cours de l'année dans les différents systèmes. Dans un certain nombre de situations, les besoins ne seront pas forcément supérieurs. Mais, il semble déjà évident que les exploitations devront entretenir un stock de report plus important pour faire face aux aléas climatiques.

Les premières cartographies de sommes de températures à l'horizon 2070 montrent que la plaine de Caen se retrouverait dans la situation du Sud-Ouest aujourd'hui. Cela pourrait ouvrir des perspectives pour le maïs dans cette région tout comme dans le Massif central. Mais la question de la disponibilité en eau reste à intégrer. Dans certaines zones, comme en Poitou-Charentes, l'accès à l'eau est devenu un gros problème. Il n'est pas sûr que le maïs ait un avenir dans ces zones là, même avec des itinéraires techniques adaptés (semis précoces de variétés précoces...). Le sorgho grain, une espèce qui a une efficacité de l'eau supérieure à celle du maïs, pourrait dans une période de transition être pour ces zones une alternative possible, mais vers la fin du siècle, lui aussi serait en difficulté. D'autres productions, comme l'ensilage de céréales immatures et l'utilisation de plantes fourragères mieux adaptées aux climats plus secs, peuvent également présenter un intérêt.

En dehors de l'espoir de trouver la plante miracle, productive avec peu d'eau et de fortes températures, s'adapter à l'aléa climatique consistera pour beaucoup d'éleveurs à diversifier les ressources fourragères pour la constitution de stocks (maïs, différentes espèces d'herbe, céréales immatures, luzerne, sorgho...) et, en ce qui concerne la prairie, à être plus souvent en mesure de valoriser tout ce qui est produit par les surfaces. Il faudra donc :

- savoir anticiper sur les disponibilités à venir : intérêt de l'observation (appréciation du stock d'herbe disponible), intérêt d'une meilleure valorisation des données météorologiques ;
- savoir disposer d'une bonne diversité de prairies, pour avoir des pousses échelonnées et mieux gérables, les pratiques dites de « déprimage » contribuant à la mise en place de cet échelonnement ;
- savoir faucher « au bon moment » (au bon stade, mais aussi en anticipant sur le besoin de repousses) : intérêt de modes de récolte diversifiés et souples (foin avec conditionnement, combiné à l'enrubannage et à l'ensilage en brins courts ; cf PFLIMLIN, 1998).

Enfin, il faudra aussi se poser les bonnes questions par rapport aux choix zootechniques : dans certaines zones devenues très sensibles aux sécheresses estivales (ouest et sud-ouest du Massif Central par exemple), vendre des broutards à l'automne pourra coûter très cher en complémentation. Il y aura peut-être intérêt dans certaines zones à vendre des broutards plus légers et (ou) à faire des vêlages plus précoces.

Références bibliographiques

- BRISSON N., DÉQUÉ M., DIAZ R., DUCHARNE A., JUIN S., LEBONVALLET S. (2005) : "Utilisation des scénarios de changement climatique dans un modèle de culture", *Actes Séminaire STICS*, 17-18 mars 2005, Carry-le-Rouet, France, 6 pages.
- GIEC (2007) : *Bilan 2007 des changements climatiques. Résumé à l'intention des décideurs*, Paris, 29 Janv - 1^{er} Févr 2007, 25 p.
- LEVET T. (2006) : *Impacts des changements climatiques sur la production des prairies en France*, mémoire de fin d'Etudes ENITA, 35 p + annexes.
- PFLIMLIN A. (1998) : "Risques climatiques et sécurités fourragères selon les régions d'élevage. Cas de la sécheresse", *Fourrages*, 156, pp 541-555.
- RUGET F, NOVAK S, GRANGER S. (2006) : "Du modèle STICS au système ISOP pour estimer la production fourragère. Adaptation à la prairie, application spatialisée", *Fourrages*, 186, pp 241-256.
- SOUSSANA J.F. *et al.* (2002) : "Impacts des changements climatiques et atmosphériques sur la prairie et sa production", *Fourrages*, 169, pp 3-24.