

Les nouvelles technologies au service de la prairie

E. Pottier¹, A. Roumiguié², A. Jacquin³, M. Fougere⁴

1 : Institut de l'Élevage, Route d'Épinay, F-14110 Villers Bocage

2 : Airbus Defence and Space, 5, rue des Satellites, BP 14359, F-31030 Toulouse

3 : Dynafor, Université de Toulouse, INRA, INPT, INP-EI PURPAN, 75, voie du TOEC, BP 57611, F-31076 Toulouse Cedex 3

4 : Ferme expérimentale de Derval, Chambre d'Agriculture de Loire-Atlantique, rue Alphonse Bobierre, F-44000 Nantes

Résumé

Si les prairies apparaissent aujourd'hui comme les surfaces en capacité de répondre aux enjeux économiques et environnementaux de l'élevage, les attentes des éleveurs sont fortes en matière d'outillage pour les accompagner dans la gestion du pâturage et sécuriser leur système fourrager. Si des outils destinés à faciliter et améliorer la conduite du pâturage ont été développés dès les années 1980, force est de constater qu'ils sont aujourd'hui peu utilisés en routine pour des raisons de temps, de facilité de mise en œuvre mais également de coût. Le développement récent de nouvelles technologies de mesure mais aussi et peut être tout autant de communication, et leur accessibilité, laissent entrevoir de nouvelles perspectives pour une gestion efficace et de précision. A moyen terme, la télédétection et la possibilité de disposer d'images haute résolution qu'elles soient obtenues par satellite ou par drone ouvrent des perspectives nouvelles.

Malgré un intérêt économique aujourd'hui reconnu y compris de la part des éleveurs (FRAPPAT *et al.*, 2012) et des atouts environnementaux largement démontrés (PEYRAUD *et al.*, 2014), la surface en prairie, en France comme en Europe, ne cesse de régresser. Les raisons évoquées sont nombreuses (GRENET *et al.*, 1987 ; BELLET *et al.*, 2007 ; FRAPPAT *et al.*, 2012). Parmi celles-ci, la complexité de la gestion des prairies et du pâturage et la difficulté d'anticipation face aux aléas du climat sont souvent citées (MOREAU *et al.*, 2011). Les effets tant sur les quantités de fourrages produites que les qualités valorisées sont le plus souvent subis. Une autre raison citée par les éleveurs plus particulièrement dans les zones où les prairies permanentes dominent est le manque de productivité de ces surfaces (MARCHAN et RISCH, 2007). Pourtant, ces différentes enquêtes portent aussi le même constat à savoir le manque, voire l'absence, de gestion de ces prairies, que ce soit en termes d'entretien, de fertilisation ou de gestion du pâturage (MARCHAN et RISCH, 2007).

1. Les enjeux et les technologies disponibles

- Lever les freins à une gestion opérationnelle des prairies

Si des outils et des méthodes destinés à aider à la conduite du pâturage ont été développés, et ce depuis maintenant plus de 40 ans, force est de constater qu'ils sont peu utilisés en routine, principalement pour des raisons de temps, de facilité de mise en œuvre et peut être tout autant de valorisation des résultats. Suite aux sécheresses de 2003 puis 2009, 2010 et 2011, un certain nombre régions françaises ont mis en place des programmes de communication et d'accompagnement autour de la prairie et de sa gestion. L'un des axes communs de ces programmes est de fournir, essentiellement au printemps, des informations régulières, le plus souvent hebdomadaires, sur l'état des couverts prairiaux accompagnées de recommandations sur leur utilisation, comme la mise à l'herbe, la fin du premier cycle par exemple ou le moment du débrayage des parcelles de fauche. Pour ce faire et dans la plupart des régions, des réseaux de parcelles ont été mis en place ; des mesures de hauteurs d'herbe sont réalisées sur les parcelles à des intervalles de temps de 1 à 2 semaines qui permettent de disposer de repères mais surtout de calculer des croissances de l'herbe utiles à la gestion. Ces données sont diffusées selon différents canaux, assorties de recommandations stratégiques. Si l'information fournie contribue à améliorer la gestion du pâturage, elle n'en reste pas moins peu précise pour une gestion optimisée, pour différentes raisons :

- ces réseaux sont le plus souvent constitués d'un nombre limité de parcelles réparties sur des zones relativement étendues ;
- ces parcelles sont de natures diverses en termes de composition et d'utilisation ;
- la gestion des prairies et les règles de décision ne dépendent pas seulement des évolutions du couvert mais tout autant des caractéristiques du troupeau et du système, notamment du chargement global.

Le développement récent de nouvelles technologies de mesures mais aussi et peut être tout autant de communication, et de leur accessibilité, laisse entrevoir de nouvelles perspectives pour une gestion plus efficace et précise du pâturage et des couverts prairiaux s'appuyant sur les données propres à chaque exploitation.

- De la mesure au conseil, les technologies mobilisées

Pour prétendre répondre à ces enjeux et à ces attentes en termes de travail, d'efficacité et de rapidité, trois aspects sont à considérer à savoir :

- les outils de mesures pour évaluer la production des prairies et leur degré d'automatisation ;
- les technologies d'enregistrement et surtout de transfert des informations ;
- les outils d'aide à la décision qui vont permettre de traiter les informations pour proposer des stratégies de conduite.

Ce dernier point a fait l'objet d'une synthèse présentée lors des journées AFPF de printemps en 2014 par Seuret *et al.* et n'est donc pas traité dans cet article.

Les outils de mesure de la biomasse peuvent être classés en deux grandes catégories, les outils dits de **proxidétection**, qui réalisent des mesures directement au champ, et ceux de **télé-détection**, qui s'appuient sur l'analyse d'images pouvant être acquises par des capteurs aéroportés (drone, avion...) ou satellitaires. Dans l'outillage aujourd'hui accessible et mobilisable, qui permet de gagner un temps important entre la réalisation des mesures et l'obtention d'une information utile en termes de gestion, on dispose des technologies bluetooth, wifi et GPS conjointement au développement important des smartphones et des tablettes en élevage.

Tant pour leur développement que leur accessibilité, ces deux catégories d'outils de mesure de la biomasse n'en sont pas aujourd'hui au même stade et un accent particulier est mis dans cet article sur les outils de la télé-détection.

– Outiller la proxidtection

• Les outils de mesure au champ

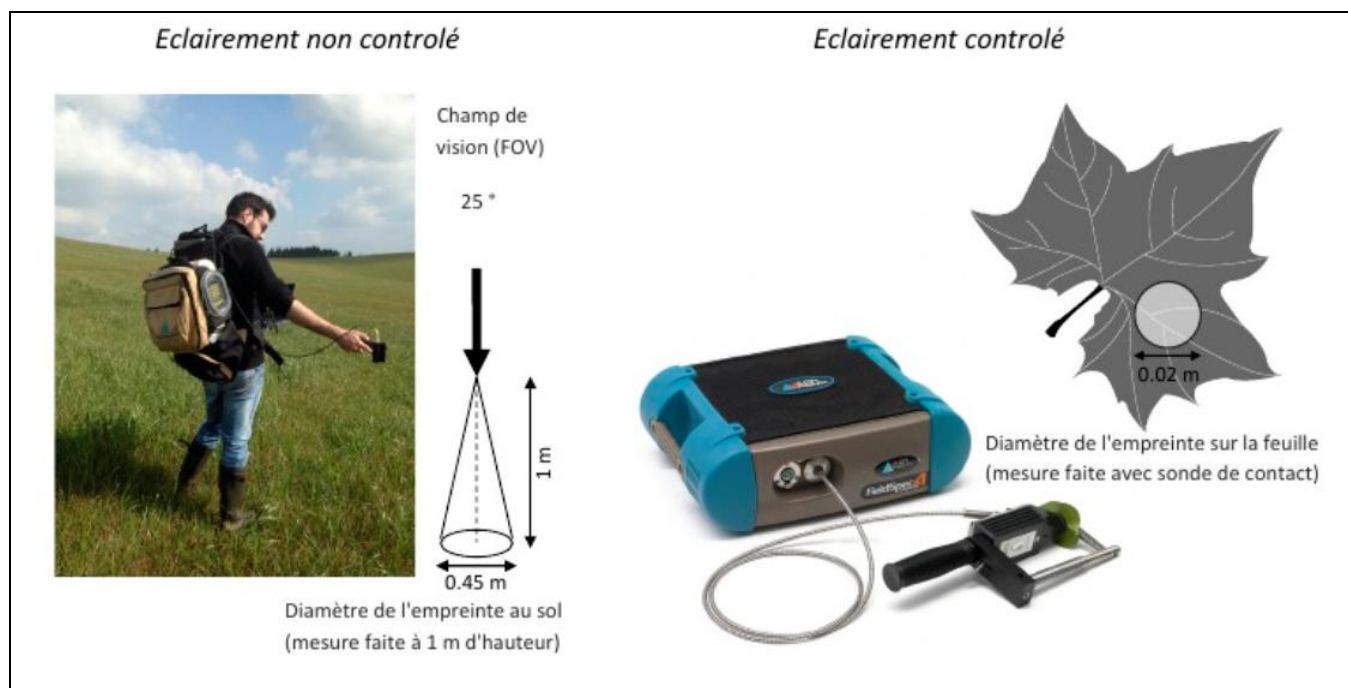
Des outils de mesure au champ sont développés depuis les années 1970 dans les pays anglosaxons (POWELL, 1974 ; BRANSKY *et al.*, 1977). Leur première utilisation est arrivée en France un peu plus tard, dans les années 1980 (MATHIEU et FIORELLI, 1985 ; WEISS *et al.*, 1987). On peut distinguer deux grandes catégories d'outils. Les plus développés en termes d'offre d'une part et d'utilisation d'autre part, sont les outils de mesure de la hauteur de l'herbe. La seconde catégorie, plutôt utilisée dans le cadre de l'expérimentation, concerne les spectroradiomètres portables et les photographies hémisphériques.

Les matériels de mesure de la hauteur de l'herbe sont relativement divers en termes de techniques utilisées et de niveau d'automatisation des mesures. Le plus connu est sans nul doute l'herbomètre à plateau qui mesure d'une hauteur d'herbe compressée. Différentes versions sont disponibles, de la plus simple, avec une lecture de chaque mesure sur une règle graduée au demi-centimètre, à une mesure automatisée. L'automatisme mis en œuvre peut être relativement simple, utilisant une petite molette crantée fixée sur le plateau de mesure, ou plus sophistiquée, utilisant les ultrasons pour mesurer la distance entre le plateau et un boîtier émetteur disposé au sommet de l'herbomètre, les données étant alors lues sur un écran et le plus souvent stockées dans un boîtier fixé sur l'appareil. Deux autres technologies sont également disponibles. L'une s'appuie sur les propriétés de conductivité des matériaux et de sa variation en fonction de la teneur en matière sèche. Une sonde de capacité est intégrée dans une tige qui, à chaque fois qu'elle est posée au sol, réalise une mesure. Contrairement aux précédents, cet outil ne permet pas d'obtenir et de lire une hauteur d'herbe mais fournit directement, sous réserve d'un travail de calibration, le rendement à l'hectare (CURRIE *et al.*, 1987 ; SERRANO *et al.*, 2011). Un peu plus récent, est la commercialisation d'une technique utilisant des faisceaux lumineux traversant un cadre (LAWRENCE *et al.*, 2007). Dans ce cas, c'est la rupture du faisceau qui détermine la hauteur de l'herbe. Contrairement aux outils précédents qui obligent à couvrir à pied les parcelles, cette dernière technologie est disposée sur un matériel glissant sur le sol et devant être tracté par un quad par exemple. Des matériels de mesure par ultrasons ont également été développés pour être installés sur des véhicules, quad ou voiture. Cette possibilité offre comme avantage de pouvoir parcourir des surfaces importantes. En contrepartie, notamment pour les outils utilisant les ultrasons, les mesures restent peu précises (KOHNNEN, comm. pers.) bien que le nombre de mesures réalisées à la minute, 200 par seconde dans le cas du cadre soit environ 6 par mètre, soit nettement supérieur à ceux que l'on peut raisonnablement envisager avec les herbomètres à plateau. Toutefois, ces deux techniques conduisent à une évaluation de la hauteur vraie du végétal, et non plus compressée, tout comme le fait également le sward-stick (DURU et BOSSUET, 1992).

La question de la gestion des prairies ne se limite pas uniquement à celle des bonnes règles de décision en matière de gestion du pâturage qui va principalement reposer sur des critères de hauteurs d'herbe ou de biomasse. D'autres aspects sont tout aussi importants comme la composition du couvert, sa richesse en légumineuses ou sa dégradation par exemple. Sur ces aspects, l'analyse de spectre de réflectance acquis par spectroradiomètre portable ou les mesures effectuées sur la végétation (comme la surface foliaire) obtenues à l'aide d'appareil photo numérique hémisphérique sont des moyens très utilisés dans le domaine de la recherche actuellement.

Les spectroradiomètres portables sont des appareils qui enregistrent grâce à une sonde de contact (fibre optique) le signal lumineux réfléchi par des objets au sol dans une gamme du spectre de la lumière compris entre 300 nm et 2 500 nm (du visible au moyen infrarouge). En cela, ils permettent de se rapprocher le plus d'un capteur aéroporté ou satellite (spatialement, spectralement et temporellement) et offrent l'avantage de pouvoir maîtriser les conditions d'acquisition. Ils constituent la version la plus résolue des capteurs de télédétection. Ils peuvent être utilisés selon deux types de conditions d'éclairage : i) en condition d'éclairage contrôlé, grâce à une pince à feuille possédant une source interne lumineuse, ii) en condition d'éclairage non contrôlé, la source lumineuse provenant du soleil (Figure 1). Dans ce 2^e cas, les variations des conditions d'éclairage vont se traduire par des réponses spectrales différentes pour un même objet étudié.

FIGURE 1 – Types de conditions d'éclairage pour l'acquisition de spectre de réflectance avec un spectroradiomètre portable.



Le spectroradiomètre portable est instrument coûteux (coûts d'acquisition environ 100 000€ et de maintenance environ 1 000 € tous les 3 ou 4 ans), encombrant (poids de 10 kg) et nécessitant sur le terrain d'être associé à un ordinateur portable (recueil et stockage des spectres de réflectance *via* un logiciel dédié à cet effet). Pour ces raisons, il est quasi exclusivement employé dans le domaine de la recherche. Concernant plus particulièrement les prairies, les données acquises avec un spectroradiomètre portable sont utilisées pour améliorer la compréhension du fonctionnement spectroradiométrique des espèces prairiales et tenter de répondre à des questions telles que : quel est l'impact des modes d'exploitation des prairies (fauche, pâture) sur l'évolution temporelle de la réponse spectrale ? quelle est l'influence de la composition floristique de la prairie sur la réponse spectrale ?

Enfin, les photographies hémisphériques sont des outils également très utilisés dans le domaine de la recherche pour réaliser des mesures dites indirectes de couverture foliaire ou de proportion de légumineuses dans le cas des prairies. Elles sont effectuées à l'aide d'un appareil photo numérique muni d'une lentille hémisphérique dont le champ de vue est généralement de 180° en zénith et de 360° en azimut. Une fois acquises, leur traitement nécessite l'utilisation d'un logiciel dédié à cet effet (par exemple, le logiciel CAN-EYE - <https://www4.paca.inra.fr/can-eye> - pour estimer la surface foliaire).

A terme, cette seconde catégorie d'outils pourrait également être une piste pour aider à porter des diagnostics comme la couverture du sol, la reconnaissance d'espèces prairiales ou la proportion de légumineuses, sous réserve d'évolution des techniques utilisées et des coûts d'acquisition des données.

• Les technologies d'enregistrement et de transfert de l'information

Exception faites de l'analyse d'images photos, toutes ces technologies sont opérationnelles et ont fait l'objet de nombreux travaux d'évaluations et de calibrages dans des contextes très diversifiés d'utilisation (SERRANO *et al.*, 2011 ; KING *et al.*, 2010 ; SANDERSON *et al.*, 2011). Les innovations récentes apportées à ces outils ont avant tout porté sur l'automatisation de la prise de l'information et son transfert. C'est notamment le cas pour les outils de mesure de la hauteur de l'herbe avec une nouvelle génération de matériel (MCSWEENEY *et al.*, 2016). L'intégration des systèmes de géopositionnement des mesures et de la technologie bluetooth en lien avec l'utilisation de

smartphone et autre tablette sont des avancées majeures dans la facilité d'utilisation de ces outils et la réduction du temps de travail nécessaire pour aller de la réalisation des mesures à leur analyse.

Avec la dernière génération d'outils de mesure de la hauteur de l'herbe, tout est quasi-automatisé, de la reconnaissance de la parcelle (grâce au système GPS), au transfert des données, de l'appareil de mesure à la tablette (grâce au bluetooth) puis de la tablette à une base de donnée. La possibilité de disposer directement au champ des applications nécessaires au traitement des informations permet à l'éleveur d'accéder quasi instantanément aux informations utiles à la gestion des prairies et des troupeaux.

2. La télédétection : de l'image à son interprétation

Les images de télédétection sont utilisées en agriculture pour des applications diverses. Il existe des outils d'aide à la décision pour les cultures s'appuyant sur des modèles agronomiques et des images en haute résolution. L'agriculteur reçoit un conseil relatif à sa culture qui porte par exemple sur le développement végétatif, le besoin azoté ou encore le risque phytosanitaire. D'autres services visent à estimer les potentiels de rendement à l'échelle mondiale et constituent une réelle information pour les opérateurs travaillant sur les marchés financiers. Pour les prairies, des services opérationnels d'assurance existent dans le monde.

- Les principes de la télédétection et de l'analyse des images

L'énergie émise par le soleil interfère avec l'atmosphère et la surface terrestre. Une partie de cette énergie est ensuite réfléchiée par la surface terrestre, il s'agit de la réflectance. C'est le rapport entre l'onde incidente émise par le Soleil et l'onde réfléchiée. La réflectance est enregistrée par le capteur de télédétection (installé sur un drone, satellite ou avion) dans différentes longueurs d'ondes du domaine spectral de la lumière (caractéristique du capteur). L'image, composée de multiples valeurs de réflectance pour chaque pixel, est ensuite traitée afin d'extraire une information concernant la surface terrestre observée.

Le suivi de végétation à partir d'images satellitaires repose sur trois paramètres qui doivent être définis en fonction des objectifs et des besoins de l'utilisateur final. Ces trois choix méthodologiques sont dépendants les uns des autres.

• Le choix des images satellitaires

Les caractéristiques des images utilisées pour l'estimation de biomasse sont importantes car la résolution spatiale des images utilisées (taille du pixel) permet de définir la taille du plus petit élément observable (de l'ordre du kilomètre à quelques dizaines de centimètres pour les satellites ; quelques centimètres pour les drones).

Souvent sous-jacente à la résolution spatiale, la résolution temporelle est également un aspect primordial qui doit être pris en compte lors du choix des capteurs utilisés. Il s'agit de la capacité d'un capteur à observer successivement un même point dans un intervalle de temps minimal. En règle générale, sur les satellites, plus le temps de revisite est faible, plus la résolution spatiale est élevée. Bien que des nouveaux capteurs haute résolution tels que Sentinel-2 aient une résolution temporelle plus élevée, il apparaît alors nécessaire d'arbitrer entre ces deux paramètres. Les drones permettent en revanche de combiner potentiellement hautes résolutions spatiale et temporelle puisque l'acquisition de données se fait à la demande. Contrairement aux satellites d'observation, la couverture nuageuse n'est pas un frein pour l'acquisition de données par drone. En revanche, le vent et la pluie peuvent dégrader la qualité de l'image : le vent en déviant la trajectoire du drone et la pluie en favorisant la diffusion de la lumière, ce qui perturbe le signal d'enregistrement. Pour le suivi des prairies, le temps écoulé entre deux acquisitions doit permettre de suivre la dynamique de la production. En effet, des études réalisées en Suisse ont démontré l'importance des mesures régulières de biomasse des prairies afin de capturer la variabilité des stades phénologiques dans le but de construire des modèles fiables.

Enfin, la résolution spectrale est une troisième caractéristique technique du capteur qui aura également une importance particulière pour le traitement de l'image satellitaire. La résolution spectrale traduit le pouvoir d'un capteur à distinguer deux longueurs d'ondes voisines. Plus la résolution spectrale est importante, plus le spectre sera détaillé et plus la définition de l'objet au sol sera précise. L'indice de télédétection utilisé est calculé à partir des réflectances enregistrées dans

les différentes bandes spectrales du capteur. Les bandes spectrales les plus adaptées pour caractériser une prairie (activités photosynthétiques et chlorophylliennes, densité et rendement) sont les bandes spectrales issues du rouge et du proche infrarouge (XIE *et al.*, 2008).

Le spectre d'une prairie est caractérisé par :

- une faible réflectance dans le rouge (670 nm) due à l'absorption par les chlorophylles a et b ;
- une très forte réflectance dans le proche infrarouge. Pour cette bande, les pigments foliaires et la cellulose, qui constituent les espèces herbacées, induisent une faible absorption (10 % maximum). *A contrario*, la lignine absorbe fortement ces rayonnements, mais les prairies sont généralement exploitées avant le stade début épiaison ; leur teneur en lignine est donc faible et ainsi la transmission des rayons reste importante dans le proche infrarouge (GUYOT *et al.*, 1989).

• Le choix de l'indice de télédétection

Pour le suivi de végétation, deux catégories d'indices dérivés des images sont utilisées :

- les indices obtenus par simple **mesure de la réflectance** ;
- ceux obtenus en appliquant **des modèles de transferts radiatifs** qui permettent d'obtenir des indices biophysiques et biochimiques (DUSSEUX, 2014).

Les indices de végétation obtenus à partir d'un rapport de bandes spectrales sont relatifs à l'activité photosynthétique du couvert végétal, sont basés sur l'exploitation d'images acquises par des capteurs actifs dans le visible et le proche infrarouge. Le *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) est le plus largement utilisé.

$$\text{NDVI} = (\text{NIR}-\text{VIS}) / (\text{NIR}+\text{VIS}), \text{ avec : NIR(nm) : } \{765-32000\} ; \text{VIS(nm) : } \{400-765\}.$$

Lors de l'augmentation de l'activité chlorophyllienne, la réflectance dans le rouge diminue alors que la réflectance dans le proche infrarouge augmente. Ainsi ce type d'indice, construit sur des bandes spectrales liées à la teneur en eau du couvert, est donc adapté pour estimer les biomasses des prairies. Les modèles de régression montrent que c'est un bon indicateur de la biomasse mais qu'il sature sur les surfaces végétales denses, c'est-à-dire où le taux de couverture végétale est supérieur à 60 % (WU *et al.*, 2007). L'estimation du rendement de la prairie sera donc imprécise avec le NDVI.

Dans le cas des modèles de transferts radiatifs, les paramètres estimés du modèle sont relatifs au couvert végétal. Il s'agit par exemple du LAI (*Leaf Area Index*), de la fAPAR (*Fraction of Absorbed Photosynthetic Active Radiation*), la teneur en chlorophylle ou encore la fraction de couvert végétal (fCover). Ces paramètres parfaitement quantifiables sont obtenus par inversion de modèle de transfert radiatif (DUSSEUX, 2014). Le transfert radiatif décrit la propagation électromagnétique à travers la matière. L'étude de ces rayonnements permet de déduire les propriétés physiques des objets. Ainsi, en modélisant la réflectance de la végétation dans le domaine du visible et de l'infrarouge, il est possible de dériver des informations concernant les caractéristiques de la végétation. Les paramètres biophysiques offrent des performances qui expliquent leur intérêt grandissant. Ils sont plus robustes que des indices de végétation (NDVI) aux variations de source de données satellitaires, moins sensibles aux conditions d'acquisition des images (voile nuageux, effet sol, présence de végétation non photosynthétiquement active) et ils ne saturent pas lorsque le couvert végétal est parvenu à son maximum de développement.

• La méthode d'estimation de la production

L'indice de végétation ou le paramètre biophysique dérivé de l'image satellitaire doit également être traité afin d'en extraire une information de production.

Trois approches se distinguent pour modéliser la production en agriculture.

- L'approche empirique, basée sur des modèles statistiques (équations de régression), utilise des variables relatives aux conditions climatiques (précipitations, températures, évapotranspiration potentielle) ou à l'activité photosynthétique de la végétation, de manière moyennée ou agrégée sur des périodes de temps définies pour estimer la production. Les séries temporelles d'indices de végétation comme le NDVI, issues d'images à moyenne ou basse résolution spatiale, constituent une source de données très largement employée pour une application à large échelle. Dans cette approche, les modèles sont facilement mis en œuvre, mais nécessitent des travaux importants de

calibration rendant leur domaine de validité restreint aux zones géographiques et/ou aux conditions climatiques considérées pour leur développement.

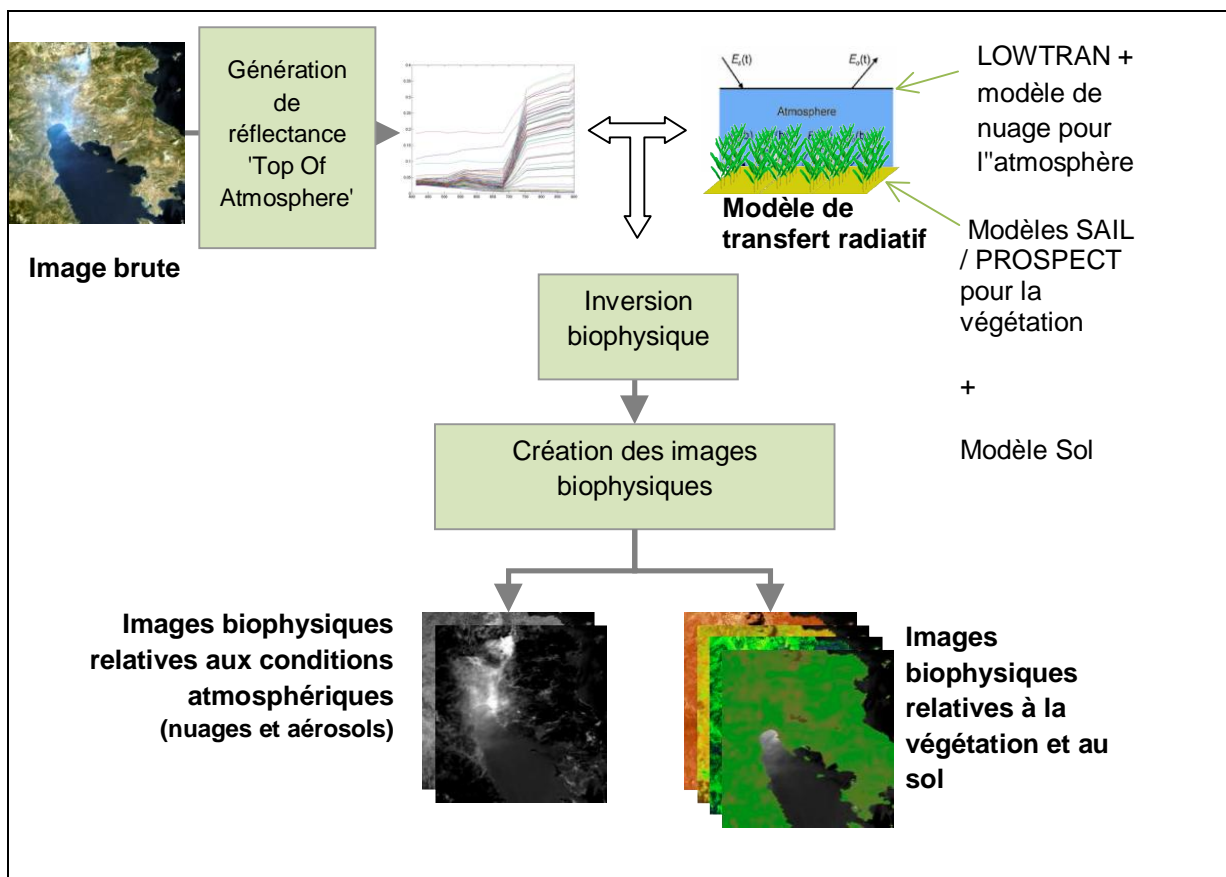
- L'approche mécaniste fait appel à des modèles (équations déterministes) décrivant les mécanismes physiologiques impliqués dans la fonction de croissance de la végétation (photosynthèse, respiration...) et les interactions avec les facteurs environnementaux sous-jacents (humidité des sols, ressources nutritives...). Selon la méthode d'intégration des données de télédétection choisie, les images satellitaires en haute résolution servent de source de données pour mettre à jour (forçage) ou pour ré-estimer dans un modèle (assimilation) les variables d'état de la végétation. Dans cette approche, les modèles sont bien adaptés pour une application à l'échelle de la parcelle.

- L'approche semi-empirique regroupe des modèles présentant une structure intermédiaire entre les modèles statistiques et mécanistes. Ils sont développés d'après une approche empirique mais contiennent aussi des variables agrométéorologiques pour modéliser par des équations simplifiées les mécanismes physiologiques et biologiques conditionnant la croissance de la végétation.

- Un cas d'étude opérationnel à partir d'images satellites

Ces dernières années, AIRBUS a développé un indice pour évaluer les variations de production des prairies françaises. La méthode utilisée est basée sur l'exploitation de série temporelle d'un paramètre biophysique, le fCover, caractérisant la fraction de végétation par unité de surface et obtenu à partir d'images satellitaires à moyenne résolution spatiale MODIS et MERIS.

FIGURE 2 – Illustration de la solution AIRBUS pour la génération du fCover.



Le fCover est obtenu à partir d'une inversion d'un modèle de transfert radiatif. Le modèle utilisé est en fait constitué de plusieurs modèles (Figure 2), construits à partir d'équations basées sur des propriétés physiques de la lumière :

- un modèle pour les effets atmosphériques (LOWTRAN) ;
- deux modèles pour les effets liés au couvert végétal (PROSPECT et SAIL) ;

- un quatrième modèle est couplé pour prendre en compte la réponse spectrale spécifique du sol. Pour cela, une observation locale du sol nu permet de reconstruire son spectre dans les différentes longueurs d'onde du visible et de l'infrarouge. Cette référence, obtenue à partir d'une image, peut varier spatialement et temporellement selon les conditions locales d'humidité et de rugosité du sol.

Les données obtenues en sortie du processus d'inversion biophysique sont des images journalières de fCover à 300 m de résolution spatiale.

La couverture nuageuse sur ces images peut être importante, diminuant ainsi la quantité de pixels exploitables. Pour limiter ce problème, un procédé de synthèse d'images journalières est appliqué selon la méthode Maximum Value Composite. Pour un pixel donné et sur une période de dix jours, les valeurs journalières de fCover sont comparées pour ne conserver que la plus grande dans l'image de synthèse. Le choix d'une période de dix jours est un bon compromis pour obtenir une caractérisation de qualité des couverts végétaux malgré la couverture nuageuse tout en conservant une fréquence d'acquisition suffisamment élevée pour suivre la dynamique de la végétation.

Compte tenu des paysages agricoles en France, l'utilisation d'images de moyenne résolution donne pour contrainte d'obtenir des pixels dits mixtes. La valeur de fCover observée dans un pixel de 300 m résulte de l'intégration des valeurs de fCover des types d'occupation du sol présents dans le pixel. Pour chaque décade, afin d'estimer le fCover spécifique aux prairies, un traitement statistique de désagrégation est réalisé (Faivre et Fischer, 1997). En s'appuyant sur une connaissance a priori de l'occupation du sol à haute résolution, cette méthode estime la contribution de chaque type d'occupation du sol (OS) sur la mesure de fCover mixte. Pour chaque pixel mixte, une équation est définie, du type :

$$fCover_{mixte} = fCover_{OS_1} + \dots + fCover_{OS_n}$$

Afin de résoudre ce système d'équation et d'obtenir le fCover de chaque type d'occupation, il est nécessaire d'avoir un nombre d'équations (pixel) au moins égal au nombre de variable (fCover des types d'occupation du sol). Par conséquent, la mise en œuvre du processus de désagrégation s'accompagne d'un changement d'échelle spatiale.

Appliquée à toutes les décades d'une année, cette étape de traitement du fCover permet de générer pour chaque zone une série temporelle de synthèses décadaires de fCover spécifique aux prairies.

La production annuelle est ensuite estimée par le cumul de l'indice entre le 1^{er} février et le 31 octobre de l'année.

3. Intérêts, limites et perspectives de ces différents outils

- Le cas des outils de proxidétection

De nombreux outils pour la réalisation de mesures aux champs, pouvant répondre aux contraintes de chacun, sont aujourd'hui disponibles pour aider à la gestion du pâturage. Toutefois, l'intérêt de leur mise en œuvre dépend aussi des référentiels et des repères sur lesquels il est possible de s'appuyer pour décider des stratégies. Or jusqu'à présent les herbomètres à plateau sont les matériels les plus utilisés. De fait, c'est la mesure de la hauteur de l'herbe compressée qui a servi à définir tous les référentiels aujourd'hui diffusés dans le conseil, qu'ils s'agisse des repères d'entrée et de sortie de parcelles mais également des valeurs de densité des prairies pour le calcul de biomasse. L'utilisation d'une hauteur non compressée va nécessiter la transformation de ces repères. On peut retenir l'équation proposée par PRACHE (1990, non publié).

$$y = 0,65 x + 9,8, \text{ où } x \text{ (mm) est la hauteur vraie et } y \text{ est la hauteur compressée}$$

Quel que soit l'outil de mesure et tout particulièrement pour les herbomètres à plateau, la qualité de l'information fournie va fortement dépendre du plan d'échantillonnage, tenant compte de la physionomie de la parcelle et de l'état du sol notamment, mais aussi de l'opérateur.

Cet effet s'explique parfaitement par la structure même de l'outil, à savoir :

- la largeur du plateau de mesure qui amplifie toute inclinaison de la tige verticale et limite d'ailleurs l'intérêt de ces outils dans des terrains en dévers ou fortement accidentés. Effet qu'on ne retrouve pas avec les autres outils et tout particulièrement la sonde de capacité ;

- la largeur de la tige en contact avec le sol qui va influencer sur sa capacité à plus ou moins s'enfoncer dans le sol ou dans le mat végétal de surface en fonction de la pression exercée lors de la mesure.

Si la hauteur de l'herbe peut être utilisée en tant que telle pour gérer le pâturage ou analyser une saison (DURU *et al.*, 2002), elle l'est aussi pour évaluer la biomasse. Si la précision de la hauteur mesurée est une chose, sa traduction en biomasse en est une autre. De nombreux travaux réalisés dans les années 1980- 1990 ont montré que les relations entre la hauteur de l'herbe et la biomasse présente étaient loin d'être solides, qu'il s'agisse d'une hauteur compressée (MATTHIEU et FIORELLI, 1985) ou d'une hauteur vraie (DURU et BOSSUET, 1992). Dans une comparaison réalisée sur des prairies de moyennes montagnes, pâturées par des bovins, LACA *et al.* (1989) vont jusqu'à conclure que l'évaluation visuelle de la biomasse sèche, après entraînement, est plus précise que celle réalisée à l'aide d'un herbomètre à plateau. En fait, de nombreux facteurs influencent la relation entre la hauteur de l'herbe et la biomasse d'une prairie comme la teneur en matière sèche, la densité des talles, les espèces présentes et le stade physiologique, notamment lorsqu'elles ont des ports très différents (DURU et BOSSUET, 1992). Bien évidemment, la densité de la prairie sera différente selon le type de hauteur mesurée, compressée ou pas. S'agissant de la hauteur compressée, des comparaisons récentes ont montré que les deux principaux herbomètres à plateau commercialisés en France étaient très bien corrélés (DELABY *et al.*, 2016).

Ainsi d'autres facteurs que la seule hauteur de l'herbe doivent être intégrés pour traduire celle-ci en biomasse. Les travaux de synthèses portant sur la densité des prairies sont relativement peu nombreux. Un premier travail de synthèse a été publié par DEFRANCE *et al.* en 2004 qui permet de disposer des premiers abaques de densité en fonction de quelques facteurs comme le type de couvert, la saison mais également la région. D'autres références sont proposées pour la région Rhône-Alpes (MANTEAUX, 2005).

Cela étant, la bonne gestion des prairies ne se résume pas uniquement en des indicateurs quantitatifs comme la hauteur de l'herbe ou la croissance. Dans bien des contextes, selon la saison, d'autres indicateurs méritent d'être retenus comme le stade des végétaux, la dégradation des sols et du couvert. A ce niveau, des outils de mesures existent (photographies hémisphériques et spectroradiomètres portables). Cependant, la complexité de leur mise en œuvre sur le terrain et leur coût d'acquisition en font à l'heure actuelle des instruments réservés au domaine de la recherche.

- Avec la télédétection, des outils en devenir pour une gestion à l'échelle de la parcelle

Si, dans un premier temps, la télédétection se faisait à partir de satellites (500 - 1 000 km d'altitude), elle s'est développée au fil du temps avec des capteurs embarqués sur avion (100 - 3 500 m d'altitude) puis sur drones (100 - 150 m d'altitude). La télédétection s'applique soit de manière globale, à l'échelle planétaire, continentale, d'un pays ou d'une région de production, soit de manière locale à l'échelle d'une exploitation agricole ou d'une parcelle (TISSEYRE, 2014).

Concernant les prairies, la télédétection est fortement employée pour acquérir des images multispectrales dans le domaine du visible, proche et moyen infrarouge pour produire des informations relatives à la biomasse végétale ou à l'état sanitaire des espèces prairiales (stress hydrique, azoté...) tout au long du cycle de production. L'utilisation d'images multispectrales acquises par satellites à haute et très haute résolution spatiale (pixels de quelques dizaines de mètre à quelques dizaines de centimètre) est très répandue en agriculture de précision. Cependant, très récemment, des nouvelles images acquises par les capteurs Sentinel-2A (depuis août 2015) et Sentinel-2B (depuis mars 2017) offrent des perspectives d'amélioration des mesures de suivi du fonctionnement des prairies par leur résolution spatiale (10 m, 20 m, ou 60 m selon les bandes spectrales), leur résolution spectrale plus large (13 bandes spectrales dans le domaine du visible, proche et moyen infrarouge) et leur résolution temporelle (une image en moyenne tous les 5 jours). L'intérêt de ces nouvelles données se révèle d'autant plus fort que les surfaces de prairies à observer sont conséquentes. Cependant, la principale limite réside dans leur dépendance aux conditions climatiques (en présence d'un couvert nuageux, les données ne sont pas exploitables). Dans ce contexte, depuis environ cinq ans, l'utilisation d'images multispectrales acquises par drones apparaît très pertinente en agriculture, notamment du fait de leur plus haute résolution spatiale (pixels d'environ 10 cm) permettant de distinguer, à l'échelle d'une parcelle, des différences de composition

en espèces prairiales, des variations de couverture foliaire par exemple. De plus, le drone n'a pas de contraintes temporelles ou nuageuses de prise d'images. Cela est notamment bénéfique pour s'affranchir des conditions météorologiques et permettre un suivi régulier des prairies tout au long de leur cycle de production (en particulier, au printemps où les conditions climatiques rendent impossible l'exploitation d'images satellites pendant plus d'un mois). En revanche, le coût de l'information ou du conseil produits à partir d'images acquises par drones est conséquent (environ 50 €/ha, variable selon l'information, le conseil délivré et le type de cultures concerné) et reste bien supérieur à celui produit à partir de données satellites (environ 10 €/ha).

Conclusion

Les évolutions technologiques récentes, notamment sur le plan de la communication et du transfert des informations, leur développement commercial et leur accessibilité permettent aujourd'hui de répondre en grande partie aux attentes des éleveurs, notamment sur le plan du travail mais aussi en matière d'accompagnement technique. Ces NTIC (Nouvelles Technologie d'Information et de Communication) sont par ailleurs aujourd'hui proposées et utilisées dans bien d'autres domaines comme la gestion de la reproduction ou de la santé et les applications proposées pour la prairie s'inscrivent dans un bouquet plus large. Dans le choix de l'un ou l'autre de ces outils de mesure au champ, la maintenance des matériels est à prendre en compte et ce d'autant plus qu'ils s'appuient sur des techniques de mesures automatisées. Un grand nombre de ces outils ont été principalement développés en Nouvelle-Zélande et il importe avant d'envisager toute acquisition de s'informer de l'existence d'un distributeur en France en capacité d'en assurer la maintenance.

La télédétection, que ce soit par le biais de drones ou de satellites, semble être une technique prometteuse. Ces nouvelles technologies associées à l'utilisation de l'informatique sont susceptibles de modifier l'image désuète que les prairies peuvent avoir, notamment auprès des jeunes, et sont susceptibles (du moins on peut l'espérer) de contribuer à un nouvel attrait. L'un des enjeux à venir sera de disposer d'OAD (Outils d'Aide à la Décision) prospectifs en disposant de modèles dynamiques et non plus statiques. En clair, des systèmes qui intégreront des prévisions météo à court terme lesquelles permettront de mieux anticiper les évolutions des couverts prairiaux que ce soit pour le pâturage ou pour la récolte.

Si les outils décrits dans cette synthèse permettent et permettront de mieux accompagner les éleveurs dans leur pratique, de simplifier les règles de décision et de mieux tirer profit des prairies, ces bénéfices ne peuvent être pleinement atteints que si les moyens et les aménagements mis en œuvre sur le terrain, en adéquation avec les objectifs de l'éleveur, le permettent.

Références bibliographiques

- BELLET V. et al (2007) « l'agneau d'herbe à la croisée des chemins », n°110750016, CR OFIVAL, 111p.
- BRANSBY D., MATCHES A.G., KRAUSE G.F. (1977) "Disk meter for rapid estimation of herbage yield in grazing trials", *Agr.J.*, 69, 393-396.
- CURRIE P.O, HILKEN T.O., WHITE R.S. (1987) "Evaluation of a single probe capacitance meter for estimating herbage yield, *Journal of range Management*", 40, 537-541.
- DEFRANCE P., DELABY L., SEURET J.M. (2004) "Mieux connaître la densité de l'herbe pour calculer les croissances, la biomasse d'une parcelle et le stock d'herbe disponible d'une exploitation », *Renc. Rech. Rum.*, 11, 292-294.
- DELABY L, LEURENT-COLETTE S., DUBOC G. (2016) « Les herbomètres en provenance de Nouvelle Zélande sont-ils compatibles avec les références françaises », *Renc.Rech.Rum*, 23, 281.
- DURU M., FIORELLI J.L., PEYRE D., ROGER P., THEAU J.P. (2002) « La hauteur d'herbe au pâturage : une mesure simple pour faciliter sa conduite, un indicateur pour caractériser les stratégies », *Fourrages*, 170, 189-201.
- DURU M., BOSSUET L. (1992) « Estimation de la masse d'herbe par le sward-stick. Premiers résultats », *Fourrages*, 131, 283-300.
- DUSSEUX (2014) « Exploitation de séries temporelles d'images satellites à haute résolution spatiale pour le suivi des prairies en milieu agricole » Thèse, Géographie. Université Rennes 2.
- FRAPPAT B, KERIVEL A., LUSSON J.M., MOREAU J.C. (2012) « les défis de l'herbe et du conseil « Prairies » vus pas les éleveurs et leurs conseillers », *Renc.Rech.Rum*, 19, 261-264.

- GRENET N., MICOL D., BILLANT J. D'HOOR P., GIRAUD J.M., LECONTE D., PARRASSIN P.R., PECCATTE J.R. (1987) « Simplification du pâturage pour les troupeaux allaitants et les bovins d'élevage », Fourrages, 111, 183-298
- KING W.MCG, RENNIE G.M., DALLEY D.E., DYNES D.E., DYNES R.A., UPSDELL M.P. (2010) « Pasture mass estimation by the C-Dax Pasture Meter : Regional Calibrations for New Zealand, Proceedings of the 4th Australian Dairy Science symposium, 233-238.
- LACA E.A., MONTAGUE W.D., WINCKEL JOY, KIE J.G. (1989) « comparison of weight estimate and rising-plate meter methods to measure herbage mass of a mountain meadow », Journal of Range Management, 42(1)
- LAWRENCE H., YULE I., MURRAY R. (2007) "Pasture monitoring technologies", Proceedings of the SIDE conference, 8, 126-131
- MANTEAUX J.P. (2005) « Densité de l'herbe selon le type de couvert et la hauteur, Synthèse des études menées en Rhône-Alpes », Fiches PEP Bovin Lait.
- MARCHAN F., RISCH M. (2007) « l'agriculteur, la sécheresse et le technicien », 67p.
- MATTHIEU A., FIORELLI J.L. (1985) « Utilisation d'un herbomètre pour l'évaluation du déroulement d'un pâturage et pour l'estimation de la production de matière sèche », Fourrages, 101, 3-30.
- MOREAU J.C. et al (2011) Les agriculteurs et la conduite des prairies : le RMT évalue les outils et services proposés, Collection Résultats, Institut de l'Élevage, 68p
- MCSWEENEY D., HALTON P., O'BRIEN B. (2016) Calibration of an automated grass height measurement tool equipped with global positioning system to enhance the precision of grass measurement in pasture-based farming systems, Grassland Science in Europe, Vol 20, 265-266.
- PEYRAUD J.L., DELABY L., DELAGARDE R., PAVIE J.,(2014) "Les atouts sociétaux et agricoles de la prairie", Fourrages, 218, 115-124.
- POWELL T. (1974) "Evaluation of weighed disc meter for pasture yield estimation on intensively stocked dairy pasture", N.J.Z. of Exper. Agr., 2, 237-241.
- SANDERSON M.A., ALAN ROTZ C., FULTZ S.W, RAYBURN E.B. (2001) : "Estimating forage mass with a commercial capacitance meter, rising plate meter, pasture ruler", Agronomy Journal., Vol 93, 1281-1286.
- SERRANO J.M., PEÇA J.A., MARQUES DA SILVA J. (2011) « Calibration of a capacitance probe for measurement and mapping of dry matter yield in Mediterranean pastures. Precision Agric
- SEURET J.M., THEAU J.P., POTTIER E., PELLETIER P., PIQUET M., DELABY L. (2014) « Des outils d'aide à la gestion du pâturage pour mieux valoriser les prairies et renforcer la confiance des éleveurs, Fourrage », 218, 191-201.
- TISSEYRE B., 2014. La télédétection en agriculture. TIC, robotique et télédétection. 6 p.
- WEISS P., CAZES J.P., PELLETIER P. (1987) « L'herbomètre : un outil de mesure de la hauteur d'herbe », Perspectives agricoles, supplément n°111, 16
- WU J., WANG D., BAUER M.E. (2007). Assessing broadband vegetation indices and QuickBird data in estimating leaf area index of corn and potato canopies. Field Crops Res. 102, 33-42.
- XIE Y., SHA Z., YU M. (2008). Remote sensing imagery in vegetation mapping: a review. J. Plant Ecol. 1, 9-23.