



La revue francophone sur les fourrages et les prairies

The French Journal on Grasslands and Forages

Cet article de la revue **Fourrages**,
est édité par l'Association Francophone pour les Prairies et les
Fourrages

Pour toute recherche dans la base de données
et pour vous abonner :

www.afpf-asso.fr



AFPF - Maison Nationale des Eleveurs - 149 rue de Bercy - 75595 Paris Cedex 12
Tel. : +33.(0)1.40.04.52.00 - Mail : contact@afpf-asso.fr

Association Francophone pour les Prairies et les Fourrages

Utilisation des données satellites Sentinel-2 pour quantifier la production d'herbe et de biomasse

P. Dusseux¹⁻⁴, E. Michel², A. Airiaud², T. Guyet³, H. Nicolas⁴, P. Pattier⁴

RESUME

L'herbe pâturée est l'aliment qui coûte le moins cher dans une ration et la bonne gestion de l'herbe passe entre autre par une connaissance des quantités disponibles. Afin de simplifier et d'automatiser ces mesures d'herbe, et ainsi contribuer au maintien voire au développement du pâturage, le projet HERDECT s'est attaché à construire des méthodes d'estimation de la biomasse des prairies à partir d'outils de télédétection (d'acquisition à distance) et à en estimer la faisabilité opérationnelle.

Cette recherche présente une comparaison de méthodes de régression sur plusieurs variables extraites des images Sentinel-2 avec des données terrains afin de développer des modèles de prévision de hauteur d'herbe et de biomasse sur pied. Un ensemble de données expérimentales de terrain, collectées sur 18 sites majoritairement situés dans la partie Ouest de la France métropolitaine, a été utilisé pour évaluer la capacité des modèles produits à estimer la hauteur d'herbe et la biomasse des prairies.

Les estimations biomasses et hauteurs d'herbe obtenues grâce au satellite ont été comparées aux données terrain issues des fermes du projet HERDECT et du réseau « pousse de l'herbe ». Les résultats présentés montrent une qualité de la prévision intéressante pour un usage de masse.

SUMMARY

Using Sentinel-2 satellite data to quantify grass and biomass production

Grazed grass is the least expensive feed in a ration and good grass management requires knowledge of the quantities available, among other things. In order to simplify and automate these grass measurements, and thus contribute to the maintenance or even the development of grazing, the HERDECT project has focused on building methods for estimating grassland biomass using remote sensing tools (remote acquisition), and to estimate their operational feasibility.

This research presents a comparison of regression methods on several variables extracted from Sentinel-2 images with field data, in order to develop prediction models of grass height and standing biomass. A set of experimental field data, collected on 18 sites mainly located in the western part of France, was used to evaluate the capacity of the models produced to estimate grass height and biomass.

The biomass and grass height estimates obtained from the satellite were compared with field data from the HERDECT project farms and the "grass growth" network. The results presented show an interesting forecast quality for a mass use.

L'herbe pâturée est l'aliment qui coûte le moins cher dans une ration de bovins et les prairies constituent 44% de la surface agricole utile en France. En moyenne, en élevage bovin lait, 51% de la SAU est en prairies ce qui représente 56 ha d'herbe (37 ha de STH et 19 ha de prairies temporaires et artificielles) (CNIEL, 2018). Une bonne gestion de l'herbe passe entre autres par une connaissance des quantités disponibles (Huyghe et Delaby, 2013). Un suivi de la croissance de l'herbe et l'estimation d'indicateurs de productivité de l'herbe sont donc utiles pour optimiser la gestion des prairies dans le temps. Si les éleveurs herbagers ont en général de bons repères pour prendre

les décisions de gestion des prairies, de nombreux éleveurs pourraient être intéressés par des données de référence en dynamique pour aider à gérer les parcelles et les troupeaux. En particulier, ces informations aident à identifier les parcelles prioritaires pour le pâturage, éviter le surpâturage ou encore à identifier les parcelles à faucher pour constituer du stock fourrager. Faire des mesures à l'herbomètre sur le terrain est couteux en temps : il est recommandé de faire 30 mesures /ha sur l'ensemble des parcelles du circuit de pâturage, en effectuant le même circuit dans la parcelle, et ce toutes les semaines en période de pousse (RMT prairie demain, 2016). Afin de simplifier et d'automatiser ces mesures

AUTEURS

1 : Univ. Grenoble Alpes, CNRS, PACTE, 38000 Grenoble, France, pauline.dusseux@univ-grenoble-alpes.fr

2 : Chambre d'agriculture des Pays de la Loire, 44000 Nantes, France

3 : Institut Agro, IRISA-UMR 6974 CNRS, 35000 Rennes, France

4 : Institut Agro, SAS-UMR 1069 CNRS, 35000 Rennes, France

MOTS-CLES : Télédétection ; estimation de la biomasse ; modèle de prévision ; gestion du pâturage

KEY-WORDS: Remote sensing; biomass estimation; forecasting model; grazing management

REFERENCE DE L'ARTICLE : Dusseux P., Michel E., Airiaud A., Guyet T., Nicolas H., Pattier P., (2021). « Utilisation des données satellites Sentinel-2 pour quantifier la production d'herbe et de biomasse ». *Fourrages* 247, 19-26

d'herbe, et ainsi contribuer au maintien voire au développement du pâturage, le projet CASDAR HERDECT s'est attaché à construire des méthodes d'estimation de la hauteur d'herbe et de la biomasse des prairies à partir d'outils de télédétection d'acquisition d'images et à en estimer la faisabilité opérationnelle.

Les données de télédétection offrent des possibilités intéressantes pour le suivi de la végétation de l'échelle locale à régionale comme en témoignent les récents progrès majeurs dans le domaine spatial en lien avec la précision (spatiale et spectrale) des données, leur fréquence et leur accès (Weiss *et al.*, 2020). Cependant, alors qu'une diversité d'outils d'aide à la décision construits à partir de données de télédétection sont déjà bien établis et en fonctionnement pour les cultures (Bégué *et al.*, 2018), peu sont adaptés ou ont été construits pour les prairies et pâturages. En effet, la production d'herbe n'est pas linéaire au cours d'une année, et contrairement aux cultures, il y a plusieurs récoltes (par fauche ou pâturage) et repousses par an. Plusieurs facteurs influencent la productivité des prairies : les saisons, les conditions pédoclimatiques et météorologiques, les espèces prairiales présentes et les itinéraires techniques pratiqués. Aussi, la forte diversité des familles botaniques, espèces et variétés induit des fonctionnements et usages divers au cours de l'année et selon les lieux. Ainsi, pour acquérir des références en dynamique sur cette diversité de situations, des données à hautes résolutions spatiale et temporelle sont alors nécessaires pour le suivi des prairies.

L'objectif de cette étude est donc d'évaluer la capacité des données de télédétection Sentinel-2 (<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/home>) à estimer la hauteur d'herbe et la biomasse (sur pied ou cumulée sur une période donnée) des prairies dans le but de construire un outil d'aide à la décision à destination des organismes agricoles et/ou des agriculteurs apportant des informations sur la quantité d'herbe disponible pour chaque parcelle d'une exploitation à une fréquence hebdomadaire. Les outils mobilisés et les résultats obtenus sont présentés dans cet article.

1. Matériel et méthodes

1.1. Les sites d'étude et les données terrain

L'étude a été menée sur des exploitations agricoles expérimentales et commerciales situées en France métropolitaine de 2017 à 2020 (Figure 1a). 18 sites, majoritairement situés dans la partie Ouest de la France, ont participé à la collecte de données dont 5 fermes expérimentales (Trévarez en Bretagne, Blanche Maison en Normandie, Derval et Thorigné d'Anjou en Pays de la Loire, et Theix en Auvergne). Des mesures de hauteur d'herbe ont été réalisées chaque semaine sur les différents sites en utilisant des herbomètres à plateau de type grasshopper version 4 (Figure 1b). Les sites ne disposant pas de cet outil ont utilisé un

herbomètre de type Jenquip. Les mesures ont été effectuées dans chaque paddock du circuit de pâturage à raison de 50 mesures/ha. Le type d'herbomètre employé ne semble pas avoir d'effet sur la variabilité résiduelle. Cependant il est important de noter que la distribution des mesures herbomètre par parcelle (peu importe l'outil utilisé) peut montrer une variabilité intra-parcellaire potentiellement importante. En parallèle, des prélèvements ont été réalisés tout au long de la saison de croissance de l'herbe afin de mesurer la quantité de biomasse présente dans les parcelles. Une partie de ces données de terrain ont permis d'étalonner les modèles d'estimation de hauteur d'herbe et de biomasse, et d'autres ont été utilisées pour évaluer la capacité des modèles produits à estimer la hauteur d'herbe et la biomasse des prairies. Les données acquises en 2017, 2018 et 2019 ont été utilisées pour la modélisation et les données acquises en 2020 ont été utilisées pour l'évaluation des estimations produites par les modèles. Les différentes mesures et travaux de modélisation ont été réalisés dans le cadre du projet CASDAR HERDECT mobilisant différents partenaires techniques, scientifiques et financiers (Figure 1c).

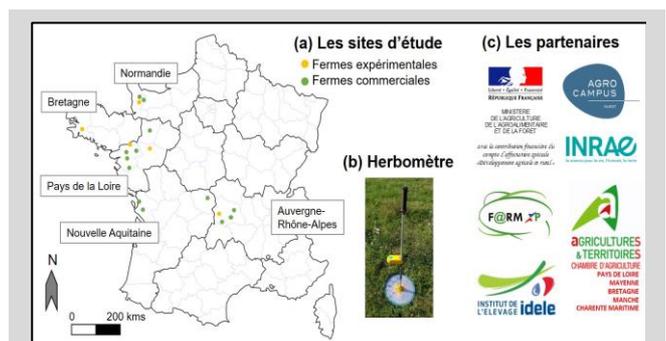


FIGURE 1 : Le réseau de parcelles mobilisées dans le casdar Herdect (2017-2021) : Localisation des sites d'étude (a), illustration d'un herbomètre (b) et liste des partenaires de l'étude (c)

Figure 1: The network of plots mobilized in the Herdect casdar (2017-2021): Location of study sites (a), illustration of a herbometer (b) and list of study partners (c)

1.2. Les images satellite Sentinel-2

Les images Sentinel-2 L2A, évaluées dans cette étude, sont des données à hautes résolutions spatiale (10 et 20m), temporelle (acquisition tous les 5 jours) et spectrale (10 bandes spectrales) (Figure 2). Elles sont fournies par le pôle de données et de services surfaces continentales Theia (<https://www.theia-land.fr/>) et sont prétraitées et disponibles en temps quasi-réel, permettant l'estimation de la hauteur d'herbe et de la biomasse des prairies avec un délai adapté aux activités agricoles.

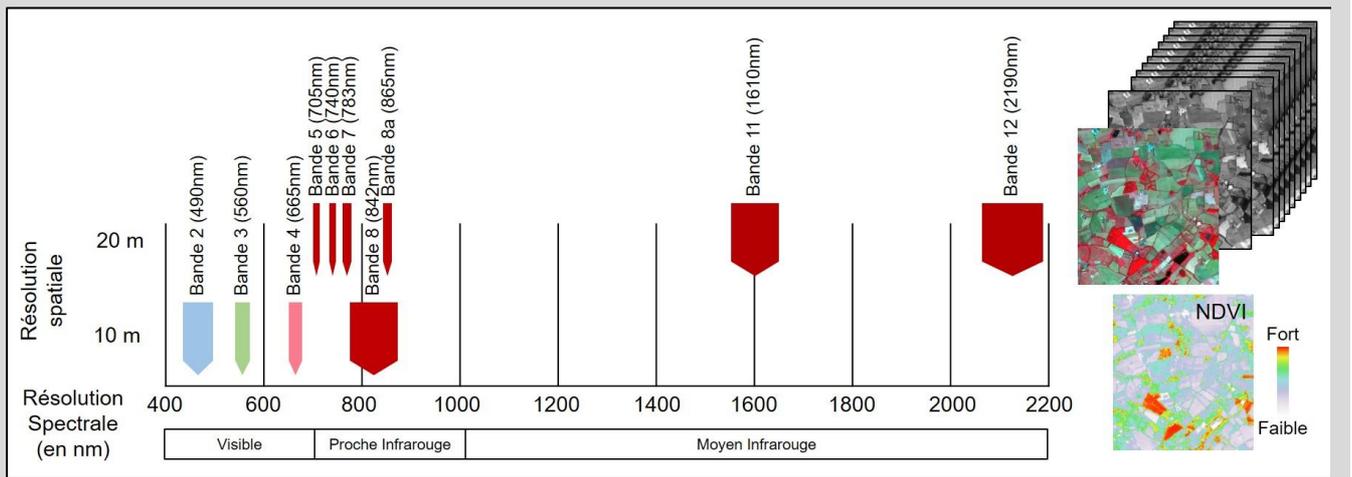


FIGURE 2 : Caractéristiques des images satellites Sentinel-2 et illustration des différentes bandes spectrales d'une image et du calcul d'un indice de végétation (le NDVI)

Figure 2 : Characteristics of Sentinel-2 satellite images and illustration of the different spectral bands of an image and the calculation of a vegetation index (NDVI)

La différence moyenne entre la date d'acquisition d'une image et la mesure au sol correspondante est de 2 jours sur toute la période d'étude (avec un maximum de 9 jours en mars au début de la période de croissance) et de 1,5 jours en période de forte croissance de l'herbe (avec un maximum de 4 jours).

De nombreuses études montrent l'intérêt des données de télédétection pour le suivi des prairies (Dusseux *et al.*, 2019 ; Ali *et al.*, 2016). Principalement, l'indice de végétation NDVI, calculé à partir des bandes spectrales du rouge (B4) et du proche-infrarouge (B8), est utilisé pour estimer la biomasse des prairies. Cependant, cet indice a tendance à saturer et donc à sous-estimer la quantité d'herbe quand le couvert est dense. La multiplication récente des capteurs, l'amélioration de leurs caractéristiques (spatiales, spectrales et temporelles) et l'essor de leur mise à disposition a ouvert de nouvelles perspectives notamment sur le développement de nouvelles méthodes se basant sur des indicateurs et indices plus pertinents. Ainsi, des recherches ont mis en évidence l'intérêt d'utiliser d'autres indices basés sur des bandes spectrales différentes et notamment les bandes spectrales étroites du red-edge et du proche infrarouge (Mutanga et Skidmore, 2004). Sentinel-2 présente l'avantage d'acquérir de l'information dans quatre bandes spectrales de ces spectres (Bandes 5, 6, 7 et 8a) (Figure 2). L'utilisation de statistiques basées sur les indices de végétation est l'une des méthodes les plus utilisées et les plus simples pour estimer la hauteur d'herbe et la biomasse des prairies (Verrelst *et al.*, 2015a). Cependant, la précision de l'estimation basée sur ces indices dépend très fortement du choix du ou des indices considérés. Afin de déterminer les bandes spectrales et les indices les plus intéressants, Verrelst *et al.* (2015b) propose de calculer toutes les combinaisons de bandes possibles en fonction de différentes formules

d'indices. Cette méthode permet d'évaluer toutes les bandes spectrales disponibles selon différentes formules d'indices comprenant chacune deux ou trois bandes spectrales. Afin de tester la capacité de toutes les bandes spectrales disponibles à estimer la hauteur d'herbe et la biomasse des prairies, toutes les combinaisons possibles ont été testées sur la base de cinq formules d'indices à deux ou trois bandes spectrales (Tableau 1).

Combinaison	Formule	Nombre de combinaisons
ND(b_i, b_j)	$(b_i - b_j) / (b_i + b_j)$	90
SR(b_i, b_j)	b_i / b_j	
mSR(b_i, b_j, b_k)	$(b_i - b_k) / (b_i + b_k)$	720
3BSI(b_i, b_j, b_k)	$(b_i - b_k) / (b_i + b_k)$	
3BSITian(b_i, b_j, b_k)	$(b_i - b_j - b_k) / (b_i + b_j + b_k)$	
CVI(b_i, b_j, b_k)	$(b_i * b_j) / (b_k^2)$	

TABLEAU 1 : Indices retenus et formules associées ; b_i , b_j , et b_k correspondent aux bandes spectrales utilisées parmi les 10 bandes Sentinel-2 à disposition

Table 1 : Selected indices and associated formulas; b_i , b_j , and b_k correspond to the spectral bands used among the 10 available Sentinel-2 bands

1.3. La modélisation

La méthodologie de la modélisation comporte trois principales étapes (Figure 3). La première porte sur la sélection d'indices. L'objectif étant d'identifier, parmi tous les indices calculés, les plus pertinents. Une multitude de sélection d'indices est évaluée et le meilleur modèle est sélectionné et apporte donc la sélection des indices optimaux. Plusieurs méthodes de régression (linéaire, réseaux de neurones, machine learning) sont

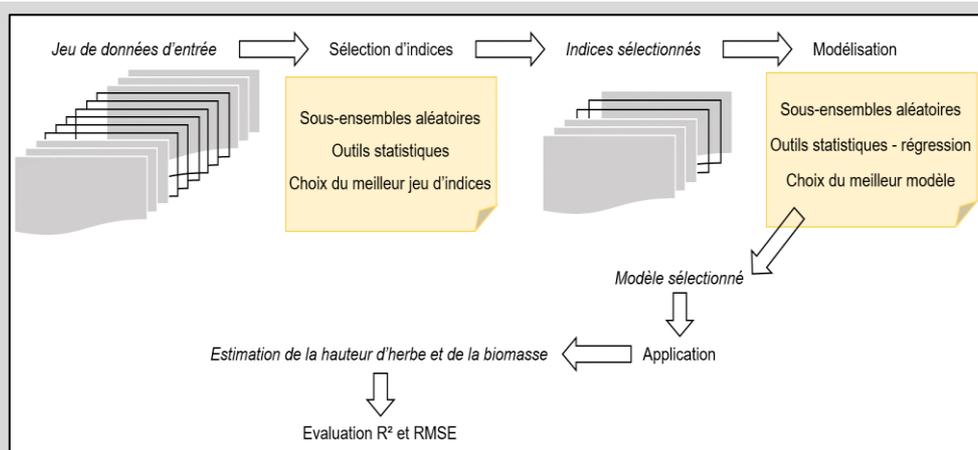


FIGURE 3 : Méthodologie globale pour la modélisation

Figure 3: Overall methodology for modeling

ensuite testées à partir de cette sélection d'indices. Enfin, le modèle montrant les meilleurs résultats est sélectionné puis évalué sur l'ensemble des données. L'ensemble de la méthodologie est répété plusieurs fois afin d'évaluer la méthodologie sur des ensembles d'apprentissage aléatoires.

L'erreur quadratique moyenne (RMSE) et le coefficient de détermination (R^2) sont calculés afin d'évaluer l'erreur de prédiction.

2. Résultats et discussions

La méthodologie générale et la réflexion ont été menées dans un premier temps pour l'estimation de la hauteur de l'herbe et dans un deuxième temps pour l'estimation de la biomasse. Cette dernière demandant un investissement important sur le terrain pour la récolte, le jeu de données « biomasse récoltée au sol » est beaucoup plus mince que celui des hauteurs d'herbe (environ 400 points utilisables contre plus de 1000 pour la hauteur).

Les résultats présentés dans ce papier portent seulement sur l'expérimentation et l'application pour l'estimation de la hauteur de l'herbe.

Aussi plusieurs configurations de données en entrée de la modélisation ont été testées : par groupe de site et/ou par découpage saisonnier... Nous présenterons ici les résultats obtenus avec le jeu de données en entrée le plus général (tous les sites et l'année dans son ensemble).

2.1. Expérimentation avec les mesures de hauteur d'herbe

L'expérimentation est basée sur les données acquises en 2017 et 2018. A chaque étape de la modélisation, le jeu de données a été scindé en deux, avec 75% pour la calibration et 25% pour la validation. Les résultats de R^2 et de RMSE présentés dans cette

partie correspondent aux valeurs obtenues sur les données de validation, soit en moyenne ou au maximum par rapport à toutes les simulations réalisées.

Sur un ensemble de plus de trois mille indices calculés et en comparant données simulées et données mesurées de hauteur d'herbe, les résultats montrent une capacité limitée des indices pris un à un à estimer

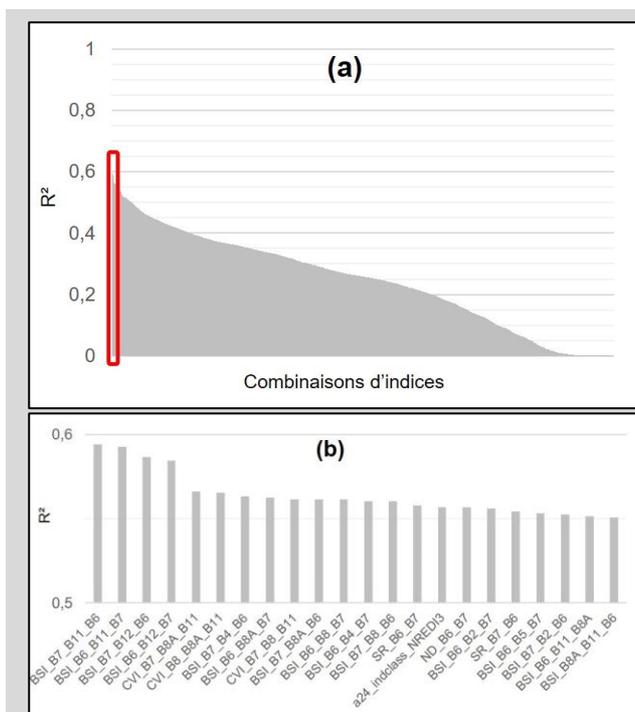


FIGURE 4 : Coefficient de corrélation entre la hauteur d'herbe et les combinaisons de bandes. Prises une par une pour tous les indices calculés (a) et pour les corrélations supérieures à 0,55 (b)

Figure 4: Correlation coefficient between grass height and strip combinations. Taken one by one for all calculated indices (a) and for correlations greater than 0.55 (b)

précisément la couverture végétale. En effet, le R^2 est inférieur à 0,6 (Figure 4a) et l'erreur moyenne associée est supérieure à 2,2 cm. Les indices les plus performants sont majoritairement des indices à trois bandes utilisant les bandes spectrales étroites Sentinel-2 de l'infrarouge et du red-edge (B6, B7, B8 et B8A) et les bandes spectrales du moyen infrarouge (B11 et B12) (Figure 4b).

Nous avons donc ensuite évalué la capacité d'une sélection d'indices pour estimer plus précisément la hauteur de l'herbe et la biomasse. En utilisant la sélection d'indices la plus performante (environ 60 combinaisons considérées), que nous appelons dans la suite du texte 'le modèle', le coefficient de corrélation entre la hauteur d'herbe mesurée au sol et celle estimée a atteint 0,79 avec une RMSE de 1,53 cm (Figure 5a). Les erreurs augmentent avec la hauteur de l'herbe. Ce résultat s'explique par le fait qu'au-dessus de 12 cm de hauteur d'herbe les mesures herbomètre au sol sont moins fiables. Elles sont aussi moins présentes dans notre jeu de données, car dans la plupart des cas, l'herbe est pâturée entre 8 et 12 cm, hauteur herbomètre. Aussi on peut observer une légère sur-estimation des faibles hauteurs et une sous-estimation des hauteurs plus importantes (Figure 5b). Les indices composés de trois bandes spectrales sont majoritaires dans le modèle (Figure 5c) ainsi que les bandes spectrales à spectre étroit du red-edge et du proche infrarouge (Figure 5d).

A partir de ce modèle, des estimations de hauteur d'herbe sont réalisées chaque semaine dès qu'une image satellite est disponible sur les sites puis ces estimations sont ensuite transférées aux agriculteurs afin d'estimer la production/réserve d'herbe et l'état de la végétation à l'échelle de l'exploitation. L'évaluation des estimations est présentée dans la partie suivante.

2.2. Mise en application pendant l'année 2020 dans des fermes expérimentales et des fermes du réseau « Pousse de l'herbe »

En 2020, les estimations de hauteur d'herbe et de biomasse obtenues grâce au satellite ont été comparées aux données terrain issues des fermes expérimentales du projet HERDECT et du réseau « Pousse de l'herbe » afin de tester la robustesse du modèle d'estimation de la pousse de l'herbe. Afin de faciliter le suivi et le traitement des données, le nombre de fermes suivies en 2020 a été réduit à 8. Seuls les résultats obtenus pour l'estimation de la hauteur de l'herbe sont présentés dans ce papier.

Les fermes pour lesquelles les estimations ont été réalisées (Figure 6a) se distinguent entre elles par leur contexte pédoclimatique et la conduite des prairies. Ces 8 fermes sont réparties sur le Grand Ouest (Bretagne, Normandie, Pays de la Loire) et la Nouvelle Aquitaine. Les animaux y pâturant diffèrent selon les sites (bovin allaitant, bovin laitier, ovin), tout comme la sévérité du pâturage (hauteur de sortie allant de 3 à >5cm), les compositions botaniques et les âges des prairies. Ces

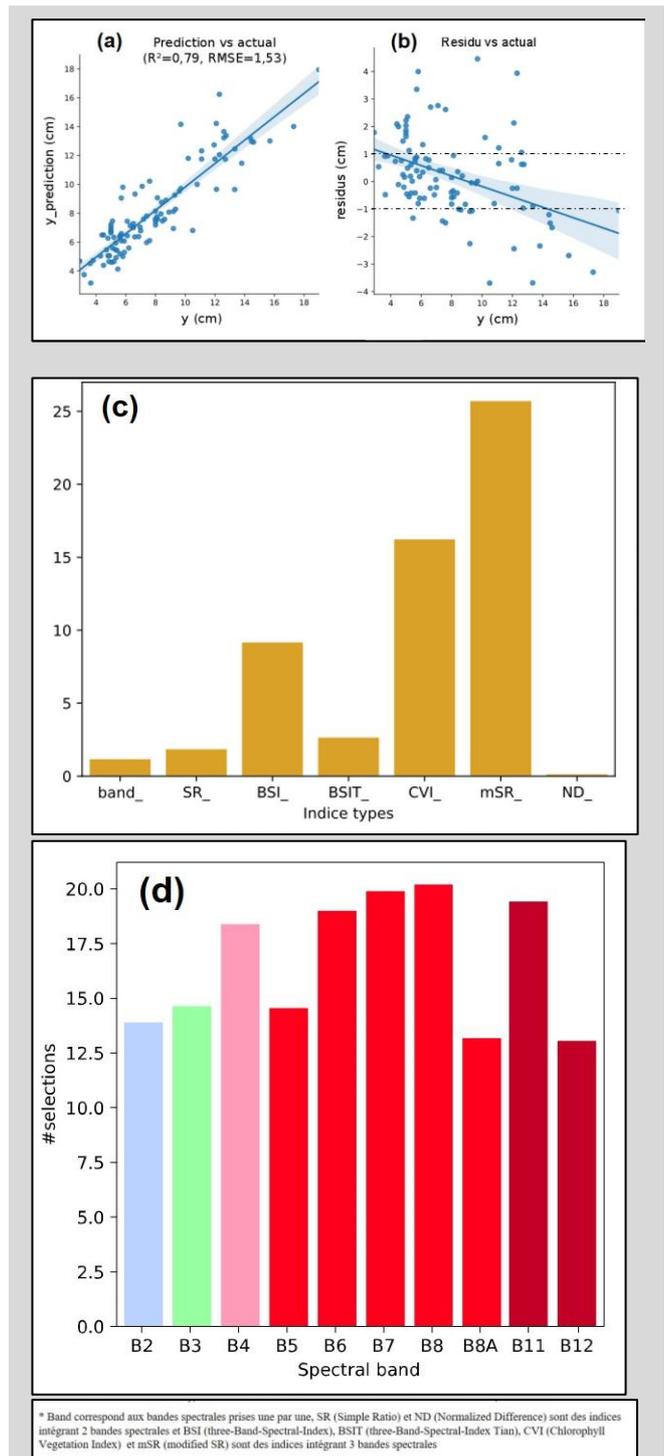


FIGURE 5 : Valeurs estimées de hauteur d'herbe versus valeurs mesurées (a), les résidus (b), nombre moyen d'implication d'un type d'indice dans les entités sélectionnées (c) et nombre moyen d'implication d'une bande spectrale dans les entités sélectionnées (d)

Figure 5 : Estimated grass height values vs measured values (a), residuals (b), average number of index type involvement in selected features (c) and average number of spectral band involvement in selected features (d)

exploitations faisant partie du réseau « Pousse de l'herbe », chaque semaine des mesures de hauteur d'herbe y sont effectuées à raison de minimum 30 mesures herbomètre par hectare. Les parcelles mesurées font majoritairement partie du circuit de pâturage. Ainsi, les données acquises sur le terrain intègrent de la diversité, ce qui va permettre de tester la robustesse du modèle d'estimation de la pousse de l'herbe.

Parallèlement aux mesures effectuées sur le terrain, des hauteurs d'herbe ont été estimées par satellite. La principale difficulté rencontrée est la temporalité de ces estimations. En effet, si les mesures de terrain sont effectuées à date fixe chaque semaine, les estimations satellitaires sont, elles, obtenues de manière beaucoup moins prévisibles et réparties inégalement à l'échelle de l'année : les facteurs limitant l'acquisition d'image sont les nuages puisqu'ils complexifient voire rendent impossible leur traitement et par conséquent l'estimation de la croissance d'herbe.

A titre d'exemple, sur le site de la ferme de Derval (44), sur la période allant du 21 février au 28 mai 2020, 40 images satellites ont été obtenues, dont seulement 10 présentent un taux de clarté permettant leur

exploitation. Les autres images sont inexploitable du fait de l'ennuagelement : taux de clarté généralement inférieur à 50% et/ou localisation des nuages sur le site d'étude. Malgré le peu d'estimations disponibles à l'échelle de l'année (environ une dizaine par site), des comparaisons de hauteur terrain avec des hauteurs estimées par satellite ont été effectuées. La Figure 6b présente l'estimation de la pousse moyenne d'herbe sur une parcelle de la Ferme Expérimentale de Derval (44). Cette parcelle fait partie des 20% d'exemples qui fonctionnent le mieux sur la ferme de Derval. On notera qu'il y a eu un pâturage le 28 mars et le 21 mai. Les estimations du modèle sont cohérentes avec les données mesurées au sol. En période d'accélération de la pousse de l'herbe, le modèle prédit bien une tendance à l'augmentation des hauteurs. Les prédictions sont plus délicates au démarrage de la pousse de l'herbe. Au vu de la difficulté à obtenir des images valorisables, il est impossible de reconstituer une courbe complète de la pousse de l'herbe.

A l'échelle des 8 sites suivis en 2020 [concernant des fermes expérimentales et des fermes du réseau pousse de l'herbe (figure 6b)], 529 estimations de hauteur d'herbe *via* le satellite ont été couplées à des hauteurs mesurées au sol. La Figure 7a reprend l'ensemble de ces données. La corrélation entre ces mesures est encourageante ($R^2=0,54$). Toutefois des écarts persistent.

Plusieurs pistes peuvent être évoquées pour les expliquer, d'une part la fiabilité du modèle et d'autre part la justesse et la représentativité des mesures de hauteur réalisées à l'herbomètre.

Comme on l'observe sur le graphique 7a, plus les hauteurs d'herbe sont importantes et plus le satellite semble les sous-estimer. Toutefois, au-delà de 15 cm « herbomètre » la comparaison des hauteurs estimées et mesurées est à nuancer car la fiabilité des mesures herbomètre est moindre. La tendance à la sous-estimation des hauteurs par les drones, a également été mis en évidence par Surrault *et al.* (2018).

La Figure 7b illustre la répartition des écarts entre les hauteurs mesurées au sol et estimées par satellite, selon les classes de hauteurs. Les classes 6-9 cm et 9-12 cm sont bien représentées. En revanche peu de données composent la classe 12-15cm. On observe 2 courbes de Gauss pour les classes 6-9 cm et 9-12 cm, respectivement centrées sur des écarts compris entre 0-1 cm et 1-2 cm. Le modèle a donc tendance à sous-estimer les hauteurs. La majorité des écarts sont compris entre -1 et 2 cm, ce qui indique une certaine pertinence du modèle.

Enfin, la composition botanique semble aussi pouvoir expliquer et influencer les estimations de hauteur d'herbe. Nous avons noté la sous-estimation de 2-3 cm des estimations de hauteur par satellite pour des prairies avec un couvert spécifique : certains de ces points sont à base de Ray-grass hybride, Trèfle violet et Trèfle hybride (*Lolium hybridum* – *Trifolium pratense* –

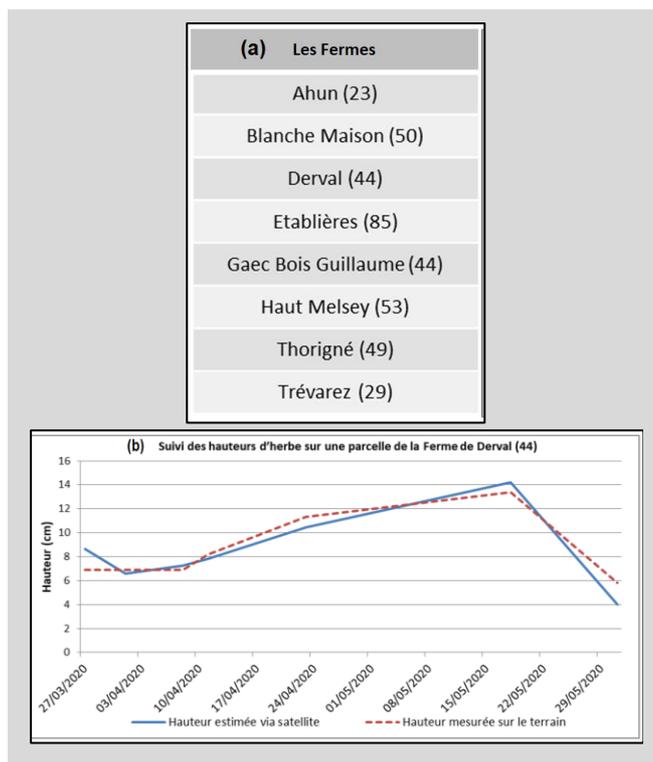


FIGURE 6 : Liste des fermes pour lesquelles les hauteurs estimées par satellite ont été comparées aux hauteurs mesurées sur le terrain (a), comparaison des hauteurs estimées et mesurées sur une parcelle de la Ferme de Derval (44) (b)

Figure 6 : List of farms for which the heights estimated by satellite were compared to the heights measured in the field (a), comparison of the estimated and measured heights on a plot of the Derval Farm (44) (b)

Trifolium hybridum) et d'autres correspondent à des parcelles où le Dactyle (*Dactylis glomerata*) est fortement présent. L'ensemble des mesures réalisées sur ces prairies ont été effectuées sur des hauteurs herbomètre inférieures à 15 cm. La présence de Dactyle, du fait de son développement en touffe, complexifie la pose à plat du plateau de l'herbomètre et peut donc perturber les mesures sur le terrain. Aussi, ces individus représentent un faible nombre dans notre jeu de données pour la modélisation ce qui peut expliquer les erreurs plus importantes d'estimation. En augmentant le nombre d'individus correspondant à ces parcelles nous pourrions mieux établir une relation entre les mesures au sol et les images satellites et potentiellement un coefficient correcteur pourrait être appliqué au modèle de base afin de mieux estimer les hauteurs dans ces parcelles.

Conclusion et perspectives

Les modèles construits ont pour vocation à être utilisés dans des outils éleveurs d'aide à la gestion du pâturage. L'enquête réalisée dans le cadre du projet HERDECT (Michel, 2019) a révélé que les éleveurs sont plutôt en attente d'un indicateur de classes de hauteur plutôt que de la donnée hauteur précise. Afin de fournir des données régulières dans le temps aux éleveurs, il faudra veiller à estimer la pousse de l'herbe entre 2 dates d'image satellites valides. Cela peut passer par l'utilisation d'un modèle de simulation de la pousse de l'herbe comme par exemple le modèle « Moorepark - Saint-Gilles Grass Growth ».

Plusieurs scénarios d'utilisation du modèle satellite sont possibles : l'intégration des hauteurs d'herbe simulées dans un outil déjà existant comme par exemple HappyGrass (<https://www.happygrass.fr/Pages/Presentation>),

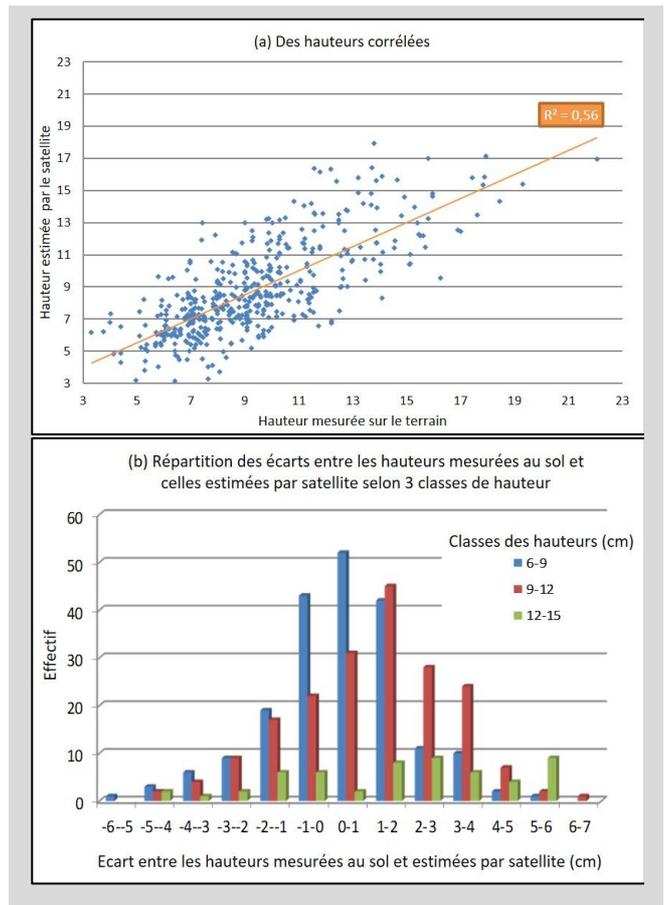


FIGURE 7 : Corrélation entre les hauteurs mesurées au sol et estimées via satellite (a), écart type entre les hauteurs mesurées et estimées selon les classes de hauteurs (b)

Figure 7: Correlation between heights measured on the ground and estimated via satellite (a), standard deviation between measured and estimated heights by height class (b)



FIGURE 8 : Preuve de concept de l'application HERDECT
Figure 8: Proof of concept of the HERDECT application

PâturPlan (<http://www.orne-conseil-elevage.fr/orne-nos-innovations/paturplan.html>) ou la création d'un nouvel outil d'aide à la décision (type application). La finalité de l'outil est de fournir des indicateurs de pilotage de l'herbe aux éleveurs et conseillers afin d'optimiser la valorisation de l'herbe.

Coupler les données hauteur d'herbe au besoin alimentaire du troupeau permettrait d'obtenir des indicateurs indispensables pour une gestion fine du pâturage : la quantité d'herbe disponible par parcelle, les parcelles à pâturer en priorité (hauteur importante), le nombre de jour d'avance, les parcelles à débrayer, l'estimation de la productivité des prairies.

Ces indicateurs peuvent être illustrés comme sur la Figure 8, avec une cartographie des parcelles et le code couleur établis selon la quantité d'herbe disponible, des courbes de production et des indications chiffrées.

Article accepté pour publication le 16 juillet 2021

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ali I., Cawkwell F., Dwyer E., Barrett B., Green S., (2016). "Satellite remote sensing of grasslands: from observation to management—a review", *Journal of Plant Ecology*, doi:10.1093/jpe/rtw005.
- CNIEL, (2018). "Le pâturage des vaches laitières françaises : état des lieux de la pratique pour l'ensemble des territoires français (synthèse)", <https://cniel-infos.com/Record.htm?idlist=1&record=10214494124920326769>, 24p.
- Dusseux P., Corpetti T., Hubert-Moy L., (2019). "L'usage de séries temporelles d'images de télédétection pour une gestion durable des territoires : Application à l'étude des prairies dans l'Ouest de la France", *Cybergeo: European Journal of Geography*, 919, doi.org/10.4000/cybergeo.33245.
- Huyghe C., Delaby L., (2013). "Prairies et systèmes fourragers – Pâturage, ensilage, foin", *Agriproduction*, Editions France Agricole, 530p.
- Michel E., (2019). "Encourager le développement des surfaces en prairies en démocratisant des indicateurs de pilotages du pâturage pour les éleveurs. Élaboration d'un service prairie.", Mémoire de fin d'étude, 101p.
- Mutanga O., Skidmore A.K., (2004). "Narrow band vegetation indices overcome the saturation problem in biomass estimation", *International Journal of Remote Sensing*, 25, 3999-4014, doi:10.1080/01431160310001654923.
- RMT prairies demain, (2016). "Protocole de la mesure de la croissance de l'herbe", 4p, ISBN : 978-2-36343-799-0
- Surrault F., Barre P., Escobar-Gutierrez A.J., Roy E., (2018). "Le drone, un nouvel outil au service de la sélection pour estimer la hauteur des plantes fourragères". *Fourrages* n°236. 281-288.
- Verrelst J., Camps-Valls G., Munoz Mari J., Rivera J.P., Veroustraete F., Clevers J.G., Moreno J., (2015a). "Optical remote sensing and the re-trieval of terrestrial vegetation bio-geophysical properties—a review", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 108, 273–290, doi:10.1016/j.isprsjprs.2015.05.005.
- Verrelst J., Rivera J.P., Veroustraete F., Munoz Mari J., Clevers J.G., Camps-Valls G., Moreno J., (2015b). "Experimental sentinel-2 LAI estimation using parametric, non-parametric and physical retrieval methods – a comparison", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 108, 260–272, doi:10.1016/j.isprsjprs.2015.04.0.
- Weiss M., Jacob F., Duveiller G., (2020). "Remote sensing for agricultural applications: A meta-review", *Remote Sensing of Environment*, 236, doi:10.1016/j.rse.2019.111402.