

Gestion de la ressource hydrique de la parcelle à l'exploitation agricole grâce aux satellites Sentinel-1 et 2 Cas du maïs irrigué dans le Sud-Ouest de la France

Auteurs : AMELINE Maël¹, BERTHOUMIEU Jean-François¹, BAUP Frédéric²

¹Association Climatologique de Moyenne-Garonne et du Sud-Ouest (ACMG), Aérodrome d'Agén 47520 Le Passage, France, acmg.teledetection@orange.fr, acmg@acmg.asso.fr ;

²CESBIO, Université de Toulouse, CNES, CNRS, IRD, UPS, INRA, Toulouse, 18 avenue E. Belin, BPI 2801 31401 Toulouse Cedex 9, frederic.baup@cesbio.cnes.fr

Mots-clés : Irrigation, sonde capacitive Sentek, Sentinel-1, modélisation.

Résumé : Sous climat tempéré, le déficit pluviométrique de la période estivale rend nécessaire la pratique de l'irrigation pour satisfaire les besoins hydriques des cultures. Ce déficit est particulièrement marqué dans les régions du sud de la France. Notre méthode permet d'étendre les mesures de l'humidité du sol des sondes capacitatives Sentek à l'ensemble d'une exploitation grâce à l'utilisation de l'imagerie satellitaire couplée au modèle agro-météorologique SAFY-WB (Simple Algorithm For Yield model combined with a Water Balance model).

Par parcelle, les résultats reprennent une comparaison entre le contenu en eau disponible pour la plante, mesuré par les sondes sur un profil de 0 à 0.5 m et celui estimé par le modèle. Les performances statistiques sont encourageantes et permettent d'envisager une mise en opérationnel de l'outil comme service de conseil au pilotage de l'irrigation auprès des agriculteurs et des institutions dans l'aménagement du territoire.

Introduction

Pour faire face au déclin de productivité annoncé sur les exploitations agricoles et afin de répondre à une demande croissante, les surfaces irriguées devront croître de 14% de 2010 à 2030. Néanmoins, l'augmentation de la consommation en eau devra être plus limitée (7%) pour assurer la durabilité de la ressource (Sauer et al., 2010), ce qui suppose la mise en place de nouvelles technologies d'optimisation.

Plusieurs outils d'aide à la décision (OAD) sont développés afin de conseiller l'agriculteur lors du pilotage de l'irrigation à l'échelle de sa parcelle. Certains de ces OAD sont associés à des techniques de mesures locales de l'état hydrique. En France, la société Agralis utilise les sondes capacitatives Sentek au sein de la plateforme Aqualis. Ces mesures sont adaptées à l'échelle parcellaire et restituent avec fiabilité la consommation réelle de la plante ainsi que la réserve hydrique disponible dans le sol. Leur généralisation à l'ensemble des parcelles agricoles est cependant freinée par le coût de mise en place.

D'autres solutions peuvent être déployées à l'échelle régionale : Net-Irrig (Chambre d'agriculture du Loiret), IRRE-LIS (Arvalis) ou encore LG VISION (Limagrain). Elles fonctionnent avec des valeurs standards définies d'après les stades phénologiques sans tenir compte du réel niveau de développement de la culture. Ce dernier influence la capacité de prélèvement et peut être suivi à large échelle grâce aux images satellites. La combinaison des images radar (exemptes des contraintes nuageuses) à l'imagerie optique assure un suivi régulier de la culture (Ameline et al., 2018).

Notre objectif est d'étendre l'information sur l'état hydrique d'une culture de maïs à l'ensemble des parcelles d'une exploitation grâce à l'utilisation de l'imagerie satellitaire couplée à un modèle agro-météorologique.

Zone d'étude et matériel

La zone d'étude (44.06°N, 0.42°E, 110 × 140 km²) se situe dans le Sud-ouest de la France sur les régions Nouvelle-Aquitaine et Occitanie. 39 parcelles de maïs (12 en 2015, 11 en 2016 et 16 en 2019) sont équipées de sondes capacitatives Sentek mesurant l'évolution du contenu en eau du sol sur un profil 0-0.5 m. Les informations culturales (variété, date de semis, date et dose d'irrigation) sont collectées auprès des agriculteurs. En 2016, ces mesures sont complétées par 7 prélèvements de biomasses sèches en séparant la composante du rendement (du semis à la récolte) sur une parcelle (EDM : ear dry mass, PDM : plant dry mass, TDM : total dry mass).

Produits issus de l'optique

Pour les années 2015 et 2016, les produits Landsat-8 (caractéristiques dans le tableau 1) sont orthorectifiés et corrigés radiométriquement par l'USGS avant d'être traités au niveau 2A par la chaîne MAJA (Hagolle et al., 2017). Les variables GAI_{opt} (Green Area Index optique) sont produites à partir du modèle BVnet.

Notre nouvelle chaîne de traitement automatisée n'intégrant pas les données Landsat, pour l'année 2019, ce sont les images Sentinel-2, fournies au niveau 2A par Theia (theia.cnes.fr) qui ont été utilisées pour retrouver le GAI_{opt} grâce au module « Biophysical parameter » du logiciel SNAP.

Produits issus du radar

Les images SAR (Synthetic Aperture Radar) Sentinel-1 (caractéristiques dans le tableau 1) sont accessibles sur la plateforme Copernicus Services Data Hub (<https://scihub.copernicus.eu/>). Les produits GRD (Ground Range Detected) sont sélectionnés sur deux orbites (#30 et #132). Le GAI_{sar} a ensuite été inversé du ratio $\sigma^{\circ}_{VH/VV}$ d'après Ameline et al., 2018.

Tableau 1: Caractéristiques des satellites (radar et optique)

Mission	Sentinel-1	Landsat-8	Sentinel-2
Fauchée	250 km	185 km	290 km
Répétitivité	12 j	16 j	10 j
Rés. spatiale	20 × 5 m	30 m	10 m
Fréq/longueurs d'ondes utilisées	5.405 GHz Double polarisation (VV VH)	0.485 μm 0.565 μm 0.655 μm 0.870 μm	0.492 μm 0.560 μm 0.665 μm 0.833 μm

Mesures des sondes capacitatives

Les mesures se basent sur les sondes capacitatives de la société Sentek (Australie) distribuées en France par la société Agralis. L'évolution du contenu en eau obtenu est marqué par un effet de variation diurne induit par la température (Dalton et al., 2015; Romano, 2014). Dans le cadre de la modélisation, il est nécessaire de s'en affranchir en sélectionnant uniquement les valeurs à 6h du matin (heure correspondant également au relevé pluviométrique). La mesure nocturne est la moins touchée par la variation diurne et se caractérise par une absence de consommation de la plante. Les profils d'humidité, mesurés chaque 0.1 m, sont cumulés pour présenter l'évolution globale du contenu en eau jusqu'à 0.5 m.

Méthodologie

Le modèle SAFY-WB (Duchemin et al., 2015) est composé d'un module végétation simulant le développement de la culture auquel est associé un module de bilan hydrique pour simuler le contenu en eau disponible dans le sol. Le modèle fonctionne au pas de temps journalier du jour de l'émergence avec une prévision jusqu'à la récolte. Les processus physiques sont contrôlés par différentes variables climatiques (rayonnement, température, évapotranspiration de référence) dont une partie est issue de

normales climatiques pour la partie prévision. Les variables dérivées des images radar et optique ($GAI_{sar+opt}$) n'ayant pas un pas de temps de mesure régulier, elles sont utilisées pour ajuster un GAI journalier simulé par le modèle. Divers paramètres liés aux propriétés du sol sont extraits des sondes capacitatives ou optimisés.

Paramètres extraits des sondes capacitatives

L'humidité à la capacité au champ (H_{cc}) et au bas de la réserve facilement utilisable ($BasRFU$) sont déduites de la lecture des données de la sonde suivant la méthode de Zamora Re and Dukes, 2017. Le niveau de développement racinaire est déterminé à partir des sondes capacitatives. Les dates et profondeurs des racines sont relevées lorsque les racines commencent à être actives. La vitesse de croissance racinaire (RGR) utilisée dans le modèle se base sur la relation déduite sur les 23 parcelles des années 2015 et 2016.

$$RGR = 7 \times 10^{-4} \times Dj \text{ avec } Dj : \text{Degrés jour}$$

Optimisation des paramètres des modules végétation et de bilan hydrique

Les paramètres du modèle sont décrits par Duchemin et al., 2005. Concernant le module végétation, les paramètres spécifiques au développement du maïs (Pla , Plb , Stt , Rs) sont fixés sur une parcelle indépendante en 2016 (Ameline et al., 2018) grâce à une fonction de minimisation (méthode du simplexe) entre le GAI simulé par le modèle et celui assimilé ($GAI_{sar+opt}$). Sur la même parcelle, la méthode de minimisation est réappliquée sur HM_{sim} et HM_{mea} dans le but d'optimiser les paramètres liés à la transpiration de la culture (K_{trp}) et aux phénomènes de diffusion dans le sol (K_{dif} , $Edif$). Ces derniers sont ensuite fixés à l'ensemble des parcelles durant l'étape de validation. La dernière étape consiste à calibrer par parcelle les paramètres $D0$ (date d'émergence) et $ELUE$. L'évaluation des performances se fait à travers la comparaison entre le contenu en eau simulé par le modèle et celui mesuré par la sonde.

Résultats et discussion

Performances de la calibration

Après optimisation des jeux de paramètres des modules végétation et hydrique, le modèle reproduit fidèlement ($R^2 > 0.97$, $rRMSE < 17\%$) le GAI ainsi que les biomasses sèches (EDM , PDM , TDM) de la parcelle de calibration. Les performances statistiques sont données dans le tableau 2.

Tableau. 2. Performances statistiques de la calibration

Variable	R^2	$rRMSE$ (%)	n	a	b
GAI_{sim}	0.99	7.95	9	1.06	-0.12
PDM_{sim}	0.97	16.28	7	1.13	1.75
EDM_{sim}	0.99	16.70	7	0.96	2.81
TDM_{sim}	0.98	16.68	7	1.02	6.08
HM_{sim}	0.68	2.76	23	1.01	-1.55

Validation

La figure 1 illustre la simulation du contenu en eau du sol (profil 0-0.5m) sur une des parcelles de 2019. Le modèle y reproduit parfaitement la tendance globale durant les 73 jours de mesures disponibles ($R^2 = 0.73$), les pics correspondent aux pluies et irrigations. On remarque la présence de pics sur les valeurs mesurées alors qu'ils sont absents sur HM_{sim} car certaines pluies localisées sur la parcelle n'ont pas été mesurées sur le pluviomètre. Il faut donc veiller à la qualité du réseau de mesure. Le biais de 15 mm est constant et peut être corrigé dans le cas d'une gestion de l'irrigation en réalisant une meilleure initialisation du contenu en eau du sol au début du cycle cultural. Le biais de 15 mm observé peut être corrigé en améliorant l'initialisation du contenu en eau du sol. Actuellement on part

du postulat qu'à la fin de l'hiver (au jour 1 de simulation) le remplissage du contenu en eau est maximal. Une piste d'amélioration serait de réajuster ce niveau en début de culture grâce aux mesures des sondes capacitatives.

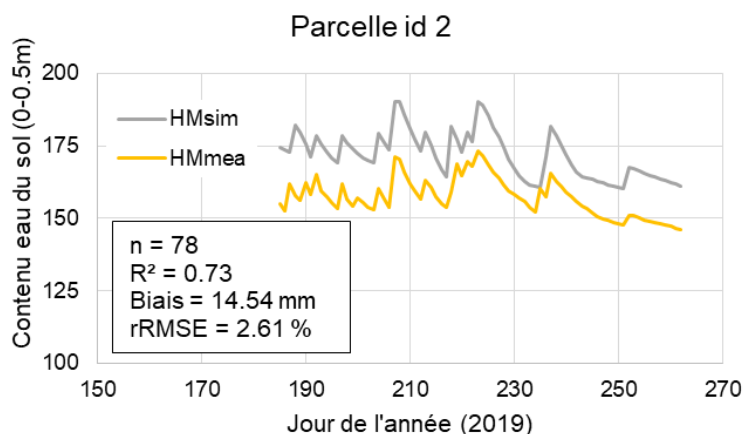


Figure 1 : Evolution du contenu en eau du sol sur la parcelle id 2 sur un profil 0-0.5 m

Conclusion

Le modèle reproduit fidèlement le contenu en eau mesuré par les sondes capacitatives. Les résultats sont prometteurs et laissent entrevoir une mise en opérationnel de l'outil comme service de conseil au pilotage de l'irrigation à une échelle régionale grâce à l'apport de la combinaison optique et radar. Le GAI issu des du satellite est la seule variable permettant d'ajuster le niveau de développement de la végétation d'une parcelle à une autre et les besoins hydriques associés.

Remerciements

Ces travaux s'intègrent au sein du projet PRECIEL qui est soutenu par la région Nouvelle-Aquitaine au travers des Fonds Européens de Développement Régional (FEDER). Il a fait l'objet d'une labellisation puis d'une récompense en 2018 (Prix de l'innovation) par Agri Sud-Ouest Innovation. Nous tenons à remercier les agriculteurs, ainsi que les employés de l'ACMG et d'Agralis.

Références

- Ameline**, M., Fieuzal, R., Betbeder, J., Berthoumieu, J.-F., Baup, F., 2018. Estimation of Corn Yield by Assimilating SAR and Optical Time Series Into a Simplified Agro-Meteorological Model: From Diagnostic to Forecast. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 1–14. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2018.2878502>
- Dalton**, M., Buss, P., Treijs, A., Portmann, M., 2015. Correction for temperature variation in Sentek Drill & Drop soil water capacitance probes. Presented at the Irrigation Australia Limited Regional Conference, Penrith Panthers, Western Sydney.
- Duchemin**, B., 2005. Un modèle simplifié pour l'estimation du bilan hydrique et du rendement de cultures céréalières en milieu semi-aride. Institut national de la recherche agronomique, Paris.
- Duchemin**, B., Fieuzal, R., Rivera, M., Ezzahar, J., Jarlan, L., Rodriguez, J., Hagolle, O., Watts, C., 2015. Impact of Sowing Date on Yield and Water Use Efficiency of Wheat Analyzed through Spatial Modeling and FORMOSAT-2 Images. *Remote Sensing* 7, 5951–5979. <https://doi.org/10.3390/rs70505951>
- Hagolle**, O., Huc, M., Desjardins, C., Auer, S., Richter, R., 2017. MAJA ATBD Algorithm Theoretical Basis Document.
- Romano**, N., 2014. Soil moisture at local scale: Measurements and simulations. *Journal of Hydrology* 516, 6–20. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.01.026>
- Sauer**, T., Havlík, P., Schneider, U.A., Schmid, E., Kindermann, G., Obersteiner, M., 2010. Agriculture and resource availability in a changing world: The role of irrigation: Agriculture and natural resources. *Water Resources Research* 46. <https://doi.org/10.1029/2009WR007729>
- Zamora Re**, M., Dukes, M.D., 2017. Irrigation scheduling using real-time soil moisture data in corn production. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*. <https://doi.org/10.13031/aim.201701335>