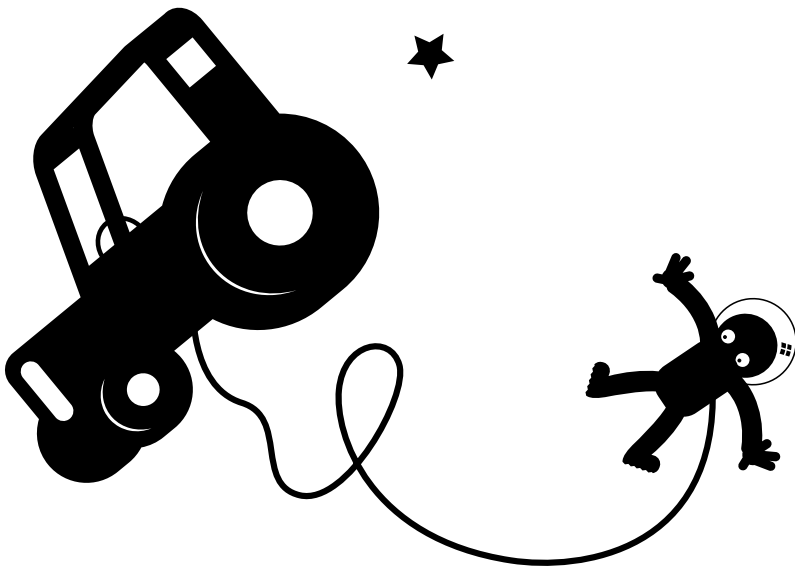


FOCUS SUR LE MONDE AGRICOLE

Le monde agricole est au centre de défis importants comme la sécurité alimentaire, le respect de l'environnement ou l'essor socio-économique. De l'échelle de la planète à celle de la parcelle, la télédétection se met au service du développement d'outils de suivi et de prévision sans cesse plus performants.



En quelques générations, le monde agricole a connu de profondes mutations accompagnées d'une globalisation de ses enjeux. Le premier est sans conteste la sécurité alimentaire pour tous. Or, la population mondiale devrait atteindre 9,6 milliards d'ici 2050. Pour garantir la nourriture en quantité et qualité suffisantes à cet horizon, la production alimentaire globale devrait, selon les projections de la FAO, progresser de quelque 70 % par rapport au volume actuel! Le défi est de taille lorsqu'on sait que la main-d'œuvre rurale se réduit constamment. De plus, la production agricole est tributaire de conditions climatiques soumises à une variabilité accrue et d'événements météorologiques extrêmes qui s'intensifient. Deuxièmement, les pratiques agricoles sont au cœur des questions environnementales. Elles ont en effet un impact direct sur la qualité des



L'un des objectifs du Système mondial des systèmes d'observation de la Terre (GEOSS) est d'améliorer le suivi agricole global en vue de mieux assurer la sécurité alimentaire.

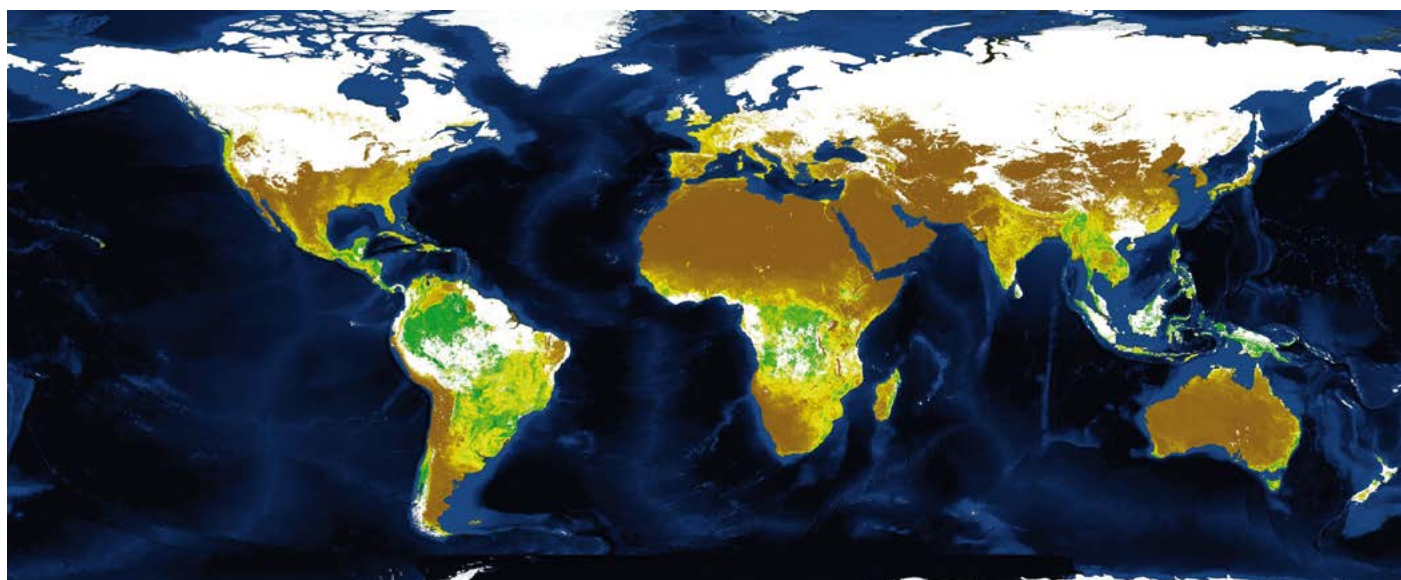
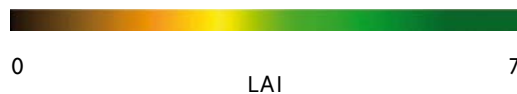
sols, de l'air et des eaux, mais aussi sur les paysages et les habitats nécessaires à la préservation de la biodiversité. Enfin, les produits agricoles sont des instruments économiques de premier plan, leurs volumes faisant même l'objet de spéculations sur les marchés financiers.

Pour répondre à l'ensemble de ces enjeux, il est indispensable d'améliorer les outils de suivi des pratiques agricoles et de prévision de la production. Ces outils se sont développés parallèlement à l'essor de la télédétection. Depuis le lancement en 1972 de Landsat-1, le premier satellite civil dédié à l'observation des ressources terrestres, de nombreuses applications utiles à l'agriculture ont vu le jour. Elles renseignent sur l'état des végétaux, permettent de cartographier les surfaces cultivées, d'estimer les rendements futurs ou encore d'évaluer les dégâts après des

événements extrêmes (sécheresse, inondation, gel, tempête, etc.). L'amélioration constante des résolutions spatiale et spectrale des capteurs profite également à l'agriculture de précision. Celle-ci consiste à moduler l'apport d'eau, d'engrais ou d'autres intrants en fonction des besoins réels au niveau même de la parcelle. Une approche "millimétrée" qui optimise la qualité et le rendement tout en limitant l'impact environnemental.

Les projets de recherche s'appuient aujourd'hui sur un nombre croissant d'instruments d'observation qui offrent une grande variété d'échelles, de gammes spectrales et de fréquences d'acquisition. Le volume de données archivées est également considérable. Nous disposons, par exemple, de plus de 40 ans d'images Landsat (de 80 à 30 mètres de résolution) et SPOT-HR (de 20 à 2,5 mètres), de 36 ans d'images quotidiennes globales du satellite NOAA-AVHRR (1 kilomètre), de 16 ans d'images VEGETATION (de 1 kilomètre à 300 mètres), de près de 15 ans de données MODIS (de 1 kilomètre à 250 mètres) et de 10 ans d'images MERIS (environ 300 mètres). En explorant les bénéfices spécifiques des différents capteurs et la façon la plus productive de les combiner, les chercheurs ont étendu leurs possibilités et leurs sources d'information afin de faire progresser la surveillance agricole, de la planète (grâce aux modèles agro-météorologiques globaux) à l'échelle de l'exploitation.

L'indice de surface foliaire (LAI) est dérivé des données globales du capteur VEGETATION. Délivré tous les 10 jours, il est l'un des paramètres permettant d'établir des cartes d'estimation de la production agricole au niveau mondial.



NOURRIR 9 MILLIARDS D'HUMAINS EN 2050

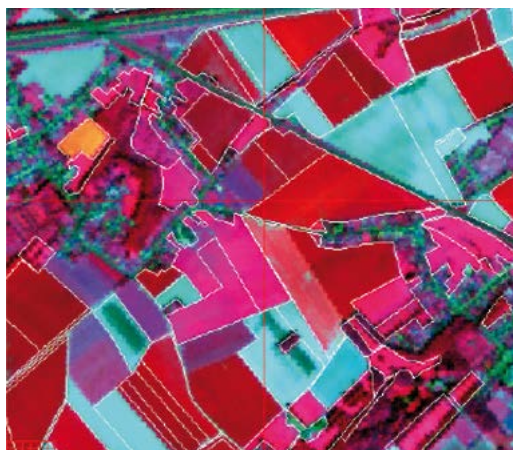
Face à la pression démographique mondiale et à la nécessité absolue d'un approvisionnement agricole accru, la variabilité de la production et des rendements est devenue une préoccupation majeure. Afin d'assurer la sécurité alimentaire, les pouvoirs publics se mobilisent du local au global pour créer des systèmes de suivi. Dès 1988, la Commission européenne a fondé le programme MARS, destiné à faire le lien entre les nouvelles capacités d'observation de la Terre et les techniques de prévisions agricoles. Il fut suivi de l'initiative GEO (Group on Earth Observation) qui œuvre à la création d'un service public mondial d'observation dénommé GEOSS (Global Earth Observation System of Systems). Ces efforts sont secondés par les agences spatiales, par les grands organismes internationaux (Programme alimentaire mondial, FAO, Banque mondiale, etc.) et par une communauté d'instances nationales et régionales qui fournissent de l'aide et de l'information aux agriculteurs.

Dans ce contexte, il est relativement surprenant de constater que, si les progrès technologiques dans le domaine de l'observation de la Terre ont été remarquables depuis la fin des années 1990, les systèmes opérationnels de surveillance n'ont, quant à eux, pas beaucoup évolué. Des avancées scientifiques de pointe intégrant la télédétection ont bien été réalisées, notamment dans la modélisation de la croissance des cultures, mais elles restent sous-exploitées. Ces modèles ont pour objectif de générer de l'information détaillée à l'échelle régionale, continentale et mondiale. Pour cela, ils doivent être alimentés par des données précises, fiables, qui se rapportent à des fenêtres temporelles adéquates et qui couvrent de vastes étendues géographiques présentant des conditions très différentes.

Le projet **LOBAM** a ainsi couplé le suivi local des cultures par Télédétection et les modèles globaux de croissance pour estimer au mieux la production agricole à toutes les échelles.

Quelle est la résolution nécessaire pour identifier les parcelles dans un paysage agricole donné ?

Le projet LOBAM a utilisé des données de capteurs de basse, moyenne et haute résolution. Ici, le même paysage agricole vu par les capteurs HRV de SPOT 5 (10 m) et MODIS (250 m).



QUELS CAPTEURS POUR QUELS RÉSULTATS ?

L'étude a porté sur trois sites de 300 kilomètres de côté situés en Europe du Nord (comprenant la quasi-totalité de la Belgique), en Asie (Chine) et en Afrique (Éthiopie), de manière à couvrir trois contextes agro-écologiques radicalement différents. Les saisons de croissance du blé d'hiver et du maïs y ont été observées à l'aide de mesures de terrain et de données de capteurs satellitaires de différents types et de différentes résolutions spatiales. Les propriétés et les avantages de ces différents capteurs ont été explorés et combinés afin d'alimenter des méthodes de surveillance globales qui tiennent compte des particularités locales. L'approche consiste à suppléer les échantillonnages de terrain, irréaliables à de si vastes échelles, en couplant des variables dérivées de la télédétection avec divers modèles de croissance calibrés différemment pour chacun des sites.

Les résultats du projet ont ouvert une série de pistes méthodologiques permettant d'améliorer la prévision et le suivi de la croissance des cultures. Par exemple, les données du radar SAR, dont le signal actif traverse la couche nuageuse, sont très utiles là où le ciel est souvent couvert. Ces images, lorsqu'elles sont acquises de manière régulière, permettent de compléter l'information fournie par les images optiques. En corrélant ces deux sources de façon innovante, la recherche a amélioré l'extraction de l'indice de surface foliaire, un paramètre important puisqu'il s'agit de la surface de feuillage vert par unité de surface au sol.

Résultat plus surprenant, la contribution intéressante des satellites géostationnaires a été confirmée. Ces satellites qui orbitent à environ 36 000 kilomètres de la Terre sont traditionnellement dévolus aux observations météorologiques. Mais les données des satellites MSG (Meteosat Second Generation) par exemple permettent également d'estimer l'évapotranspiration pour un type de culture précis. Ce paramètre renseigne





sur le déficit en eau de la plante (et du sol) et sur son degré de vulnérabilité, qui influencent son développement et donc le rendement attendu. Assimilée dans les modèles de croissance, l'évapotranspiration constitue un apport précieux pour le suivi de la croissance végétale.

DES MÉTHODES PLUS ROBUSTES

En fin de projet, deux études ont permis de préciser quelles devraient être les évolutions nécessaires des instruments satellitaires et des méthodes d'extraction pour répondre aux défis futurs, notamment en termes de résolution spatiale requise pour plusieurs types de paysages agricoles représentatifs de la diversité mondiale.

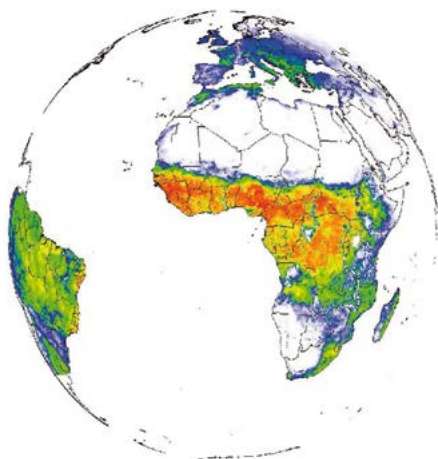
En Éthiopie par exemple, les données d'observation à très haute résolution sont recommandées car elles permettent d'appréhender avec le niveau de détail suffisant le relief accidenté mais

aussi l'assemblage de petites parcelles abritant souvent une culture mixte de deux ou trois espèces.

La robustesse des méthodes à développer est aussi mise en avant. En effet, il s'agit non seulement d'élaborer des techniques de surveillance applicables à toute région géographique, mais aussi dans des conditions météorologiques et climatiques instables. Pour relever le défi planétaire de la sécurité alimentaire, il est aujourd'hui indispensable de disposer d'outils de suivi et de prévision plus performants intégrant cette variabilité.

Un autre projet, **EVA-3M**, tente de développer une méthode générique permettant de quantifier le processus d'évapotranspiration pour différents types d'occupation du sol et différentes zones climatiques. Les résolutions spatiale et temporelle doivent être suffisantes pour répondre aux besoins du monde agricole : estimer les besoins en eau, établir les plans d'irrigation, mieux anticiper les alertes à la sécheresse ou affiner la prévision des rendements.

L'évapotranspiration (ET), somme de l'évaporation à la surface des terres et des mers et de la transpiration des végétaux, est un composant essentiel du cycle de l'eau. Des cartes globales d'ET sont produites toutes les 30 min grâce aux données Meteosat.



0

0,5

Le projet étudie donc comment exploiter au mieux, à l'échelle d'une région ou d'une sous-région, les cartes d'évapotranspiration produites à partir des données des satellites géostationnaires MSG. Si la fréquence de leurs observations est très élevée (toutes les 15 minutes), la résolution spatiale par contre n'est que de 3 km. Les chercheurs tentent donc de compenser ce manque de précision spatiale en couplant ces données de résolution temporelle élevée à des données de satellites polaires offrant une résolution spatiale de l'ordre de 300 mètres.



La tempête de grêle qui s'est abattue sur le pays en juin 2014 a causé des dégâts importants aux cultures mais surtout aux infrastructures. Si elle est reconnue comme calamité naturelle, les agriculteurs touchés pourront bénéficier d'une indemnité du Fonds des calamités.

L'ASSURANCE-RÉCOLTE, DE LA TÉLÉDÉTECTION À L'APPLICATION PRATIQUE

D'année en année, les agriculteurs de nos régions font face à une instabilité croissante de leurs revenus. Ils sont confrontés d'une part aux fluctuations des prix du marché, avec une diminution progressive des mécanismes de compensation de l'Union européenne; et d'autre part, aux aléas climatiques, avec des événements météorologiques extrêmes qui se multiplient (sécheresses, vagues de chaleur, pluies violentes, tempêtes). Pour le monde agricole, une meilleure gestion des risques naturels est donc une nécessité parfois vitale.

En Belgique, les pertes agricoles dues à une catastrophe sont couvertes par le Fonds des calamités. Les services en charge de sa gestion, cherchent à rendre plus réactif et plus efficace le processus d'évaluation des dégâts et de suivi des sinistres. Le projet **ADASCIS** a donc étudié comment soutenir le système d'aide à la décision en se basant sur une information fiable et objective.

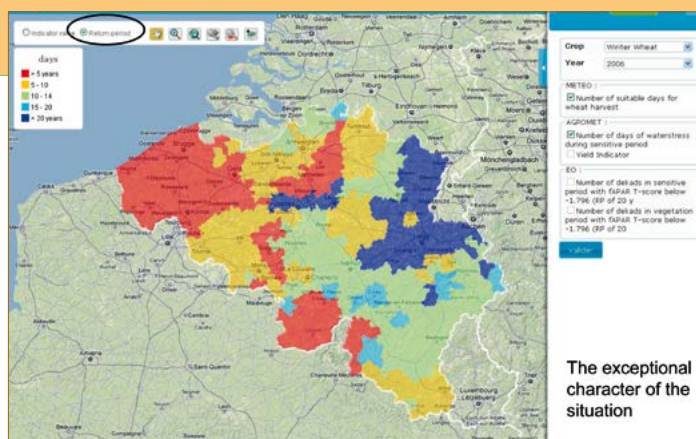
Le projet a débuté par une sélection d'indices pertinents qui rendent compte des dégâts subis par les cultures. Ces indices sont dérivés de données météorologiques, de modèles agrométéorologiques et d'observations de capteurs satellitaires à basse et moyenne résolution. Les valeurs des indices sont ensuite comparées à des valeurs de référence établies au départ de données historiques.

À l'échelle régionale et communale, le calcul des indices a ainsi permis d'identifier des zones à problème récurrent (retard de croissance, rendements bas, faible humidité des sols) ou à risque élevé de dégâts aux cultures. À l'échelle des parcelles, une étude détaillée, utilisant des images satellitaires à très haute résolution et des images SAR, a été menée sur deux sites particuliers afin de valider les résultats obtenus grâce aux données de moyenne résolution.

Une application web pré-opérationnelle a été développée pour permettre aux utilisateurs de visualiser et d'analyser les divers indices de dégâts et de risques sous forme de cartes et de graphiques. L'application a été testée lors de la saison de croissance 2011 pour évaluer l'ampleur et l'intensité de la sécheresse du printemps.

L'outil ainsi développé permet aux autorités compétentes d'identifier une zone de calamité et de se prononcer sur l'admissibilité des demandes d'indemnisation.

Le projet s'inscrit également dans l'évolution des assurances-récolte. Depuis 2006, des couvertures élargies contre les aléas du climat sont préconisées par les instances européennes. En effet, en cas de calamité, le montant de l'indemnisation européenne perçue par l'agriculteur est directement lié à l'assurance qu'il a souscrite. Le projet a analysé les systèmes d'assurances-récolte en usage dans d'autres pays et a défini une procédure adaptée à la Belgique. Pour les autorités agricoles régionales, l'outil produit peut ainsi servir de base d'information sur la nature et la fréquence des risques encourus. La composition du comité de pilotage du projet reflète l'ensemble de ces enjeux, puisqu'il rassemble, outre le SFP Économie, des groupes d'agriculteurs, des représentants des Régions flamande et wallonne et des acteurs du secteur de l'assurance (Assuralia).



L'application web développée par le projet ADASCIS permet notamment de visualiser le caractère exceptionnel d'une situation. Par exemple le nombre de jours favorables à la récolte de blé par rapport à une année de référence.

The exceptional character of the situation

LE CARBONE ORGANIQUE AU CŒUR DE GRANDS DÉFIS



L'extraction d'une carotte intacte de sol d'environ 1 m de long se fait à l'aide d'un carottier à percussion. La distribution verticale du carbone est ensuite analysée.

Le carbone organique contenu dans les sols (COS) est un facteur essentiel pour la productivité agricole. Il remplit une série de fonctions biologiques, physiques et chimiques fondamentales qui ont un impact sur la fertilité, la qualité et la stabilité des sols agricoles mais aussi sur la biodiversité ou la toxicité des polluants. Il joue également un rôle clé dans les bilans carbone.



Ces deux types de sols fraîchement labourés peuvent servir d'étalons pour les concentrations en carbone organique: celui de gauche a une teneur en carbone faible, celui de droite une teneur moyenne.

En effet, les sols offrent une capacité importante de séquestration du carbone. Il a été démontré que la mise en œuvre de certaines pratiques agricoles permettait d'optimiser la quantité de carbone piégée dans les sols, et donc de diminuer d'autant la concentration de CO₂ dans l'atmosphère. Le nouveau programme de la Politique agricole commune (2014-2020) intègre d'ailleurs dans ses priorités la protection des sols riches en carbone organique et définit la diminution de matière organique comme l'une des principales menaces qui pèsent sur les ressources du sol.

Le Luxembourg a été l'un des premiers pays à prendre l'initiative de mesurer systématiquement la concentration du COS dans ses terres agricoles. L'estimation du COS est directement utile à la mise en œuvre des mécanismes d'octroi de crédits carbone. Il constitue également un indicateur du respect des "bonnes conditions agricoles et environnementales" établies par l'Union européenne. Ces dernières détaillent l'ensemble des règles et des pratiques à suivre pour bénéficier des aides communautaires (entretien des terres et des prairies, maîtrise de l'irrigation, assolement diversifié...).

Le projet **MOCA** a donc étudié comment développer une méthode efficace et opérationnelle d'analyse et de cartographie des concentrations en COS. Les chercheurs ont ensuite tenté de déterminer si la précision obtenue était suffisante pour permettre aux agriculteurs d'évaluer l'impact de nouvelles pratiques agricoles sur ces concentrations. L'obtention des données de terrain nécessaires à un tel recensement par les techniques traditionnelles d'échantillonnage étant chère et fastidieuse, les capteurs hyperspectraux aéroportés constituent une alternative idéale. Cependant, les chercheurs doivent arriver à réduire l'impact négatif de facteurs perturbant le signal, comme le taux d'humidité ou les ombres portées liées à la rugosité du sol. Dans la zone d'étude située au Luxembourg et caractérisée par différents types de sol et une grande variabilité des concentrations en COS, cinq images hyperspectrales acquises avec le capteur AHS-160 ont été traitées, analysées et comparées à des mesures de terrain.

Dans la plupart des cas, les modèles développés ont fourni des estimations de COS suffisamment précises pour répondre aux besoins de l'agriculture extensive. Les avancées méthodologiques du projet profitent directement aux utilisateurs finaux, comme par exemple la société luxembourgeoise Convis qui a utilisé les résultats pour établir des plans de fertilisation et des bilans de qualité du sol.

LA 3^e DIMENSION DU CARBONE

Dans la continuité de cette recherche, le projet **SOC-3D** a étudié comment améliorer l'estimation du stock de carbone en intégrant dans la représentation spatiale du COS sa distribution verticale dans le premier mètre de terre arable.

Pour la concentration en surface, un périmètre de 860 km² situé au Luxembourg a été survolé par le capteur hyperspectral APEX (Airborne Prism Experiment). Ses données ont été croisées et validées avec plus de 150 échantillons de sol prélevés dans la zone d'étude.

Pour le contenu dans le premier mètre de terre, des "carottes" ont été extraites à l'aide d'un carottier à percussion et chaque couche intacte de 10 centimètres a été scannée par un spectromètre de laboratoire. L'expérimentation sur cette "troisième dimension" vise à obtenir des estimations de concentrations en COS plus proches de la réalité et à pouvoir extrapoler le stock de carbone en tout point du périmètre étudié.

Pour l'estimation des concentrations de surface, les meilleurs résultats ont été obtenus en combinant les données hyperspectrales et des variables géomorphologiques (pente, courbure).

Les cartes obtenues donnent un bon aperçu de la variation intraparcelle et montrent clairement

que la teneur en COS dépend du type de sol et des variables géomorphologiques.

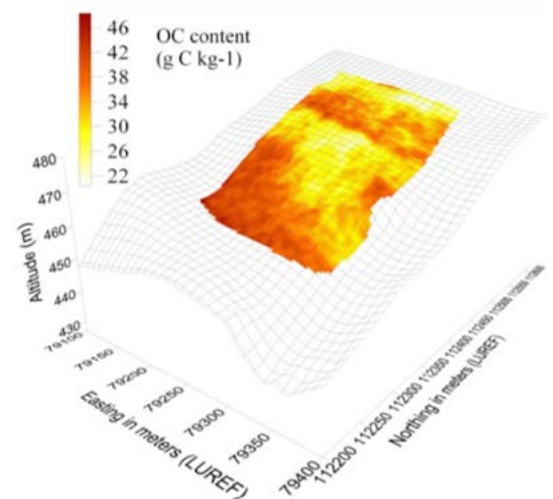
En projetant ces résultats dans une application Google Earth, les utilisateurs peuvent très facilement observer la distribution spatiale du COS. Celle-ci reflète souvent les changements de pratiques agricoles advenus au cours des années ou des différences dans le degré d'érosion.

Ces cartes détaillées sont utiles à deux niveaux: d'une part, elles informent les agriculteurs sur la teneur en matière organique de leurs champs, ce qui leur permet de prendre les mesures de préservation adéquates; d'autre part, elles alimentent les inventaires nationaux de COS, qui sont au cœur des préoccupations et des nouvelles réglementations de la Politique agricole commune.

L'EAU, À LA SOURCE DE TOUT

L'humidité du sol est bien entendu un autre paramètre essentiel pour la croissance des végétaux, mais elle joue aussi un rôle majeur dans nombre de processus du cycle hydrologique (infiltration, ruissellement, absorption par les racines, évaporation), dans les échanges énergétiques avec l'atmosphère et donc également dans le système climatique.

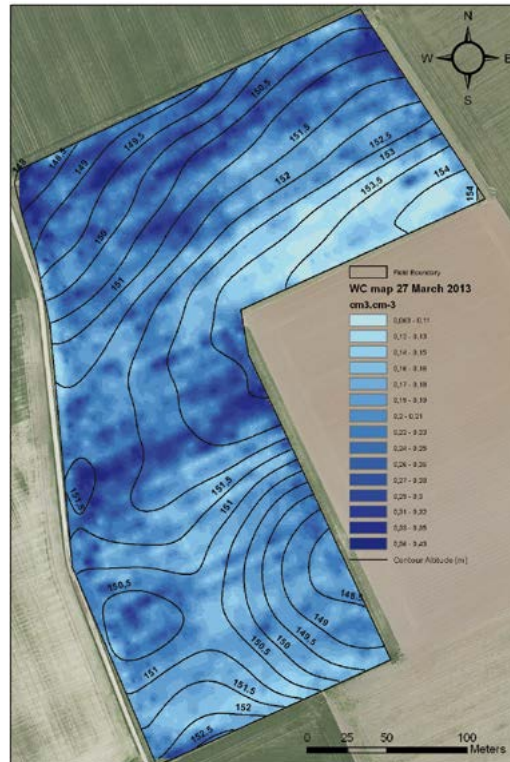
Image Google Earth du sud du Grand-Duché de Luxembourg, sur laquelle a été projetée une carte de la teneur en carbone organique des sols labourés.



L'un des facteurs de variation de la teneur en carbone du sol à l'intérieur même d'une parcelle est la topographie.

À toutes les échelles, du champ au bassin versant, son estimation grâce à des instruments de télédétection aéroportés ou satellitaires, en particulier les radars, s'est généralisée. Cependant l'humidité du sol est par nature très variable dans le temps et dans l'espace et il est difficile d'obtenir suffisamment de données de terrain pour calibrer et valider efficacement les méthodes de traitement des données SAR (Synthetic Aperture Radar).

Carte à haute résolution de l'humidité du sol d'une parcelle agricole à Gentinnes, dressée grâce aux données du radar à pénétration de sol et drapée sur les courbes de niveau. Plus le bleu est foncé, plus la teneur en eau est élevée.



Pour diminuer le degré d'incertitude encore élevé de ces méthodes, le projet **SENSAR** cherche à intégrer l'apport d'un nouveau type de radar, le radar à pénétration de sol (GPR pour Ground Penetrating Radar). Celui-ci pourrait en effet permettre de combler l'écart d'échelle qui subsiste entre la télédétection et les prélèvements de terrain traditionnels. Le perfectionnement des méthodes de traitement des données SAR devrait permettre, à terme, la production de cartes d'humidité du sol plus fidèles à la variabilité locale.

Plusieurs zones d'étude situées en Belgique et présentant différents types de sol et de topographie sont explorées par le projet, avec pour objectif l'établissement de cartes directement utilisables par les administrations publiques, belges ou internationales, ou par des organismes privés comme les compagnies d'assurances ou les associations d'agriculteurs.

HYPERSPECTRAL ET HYPERSPATIAL

Le projet **HYPERMIX** s'est intéressé à une problématique fondamentale de la télédétection : lorsque les ingénieurs conçoivent un capteur satellitaire, ils doivent faire un compromis entre la résolution spatiale et la résolution spectrale, en optimisant le rapport signal (information utile) sur bruit (information non significative), qui indique la qualité de l'enregistrement. Le capteur satellitaire Hyperion, par exemple, offre actuellement la résolution spectrale la plus élevée disponible depuis l'espace (220 bandes spectrales), mais sa résolution spatiale n'est que de 30 mètres. D'un autre côté, des capteurs tels que Pléiades, QuickBird ou WorldView-2 offrent une très haute résolution spatiale (environ 50 centimètres en panchromatique et 2 mètres en multispectral), mais leur résolution spectrale est nettement inférieure (4 à 8 bandes spectrales). Quant aux capteurs hyperspectraux aéroportés, comme APEX, ils combinent souvent les avantages d'une résolution spectrale inégalée et d'une très bonne résolution spatiale (0,5 à 7 mètres) mais c'est alors le champ de vision qui est réduit.

De nombreuses applications, telles que la cartographie détaillée de la couverture des sols, l'étude de la dynamique de la végétation ou l'évaluation de son état requièrent des informations spatialement et spectralement précises.

Verger d'agrumes dans la région de Valence en Espagne, survolé par un drone équipé d'un capteur hyperspectral.



L'équipe de recherche a donc développé des méthodes de fusion des données hyperspectrales et hyperspatiales, afin de générer un produit qui combine leurs qualités respectives.

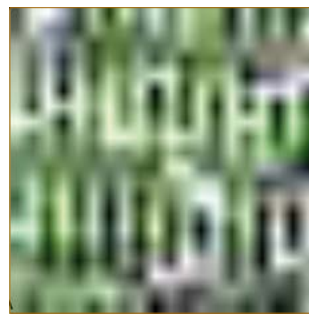
Le test a porté sur des vergers d'agrumes situés dans la région de Valence en Espagne et à Loksbergen dans le Limbourg. Une image à 215 bandes spectrales et 2 mètres de résolution fournie par le capteur APEX, et une image à 3 bandes spectrales et 20 centimètres de résolution fournie par un micro-drone ont ainsi été fusionnées pour générer une image à 215 bandes spectrales et 20 centimètres de résolution.

Ce produit fusionné a permis d'extraire des estimations plus précises de certains paramètres biophysiques (concentrations en chlorophylle, teneur en eau...) des arbres fruitiers.

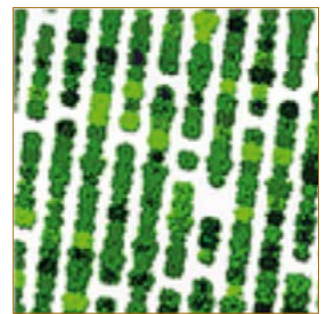
Le niveau de stress hydrique des arbres, paramètre influençant directement la qualité des fruits, a pu être cartographié avec précision. Les tests ont également porté sur un verger virtuel situé dans un environnement aux conditions simulées. Les avancées méthodologiques produites ont été mises à la disposition de la communauté des chercheurs en télédétection.



Résolution spatiale élevée



Résolution spectrale élevée



Résolutions spatiale et spectrale élevées

L'indice de réflectance photochimique (PRI) traduit la variabilité inter et intra parcelle(s) de l'état de santé des plantes et permet par exemple de déterminer avec précision les besoins en eau au sein de chaque parcelle.

