



« TOURNESOLS OCCITANS »

Repérer les facteurs limitants de la croissance et prédire le rendement
en couplant modélisation et télédétection
Leçons de 3 années de suivis

Philippe DEBAEKE (INRAE AGIR)

Luc CHAMPOLIVIER (Terres Inovia)

Jean-François DEJOUX (CESBio-CNRS)

Ahmad AL BITAR (CESBio-CNRS)

Ronan TREPOS (INRAE MIA)





Objectifs scientifiques et appliqués

- ❑ Coupler modélisation agronomique (statistique ou à base de processus) et données de télédétection fréquentes (tous les 5-10 jours) et à haute résolution (10 m) pour améliorer la prévision du rendement et de la qualité (teneur en huile) du tournesol à l'échelle d'une parcelle et d'un bassin de collecte
- ❑ Suggérer les possibilités d'utilisation de la télédétection haute-résolution pour le diagnostic agronomique régionalisé





Suivi des cultures par télédétection (2014-16)

Le GAI (Green Area Index) a été estimé sur 312 parcelles (1760 ha) autour de Toulouse par l'inversion d'un modèle de transfert radiatif avec BVnet - *Biophysical Variable Neural Network* (Baret *et al.*, 2007) appliqué aux données de réflectance satellitaires.

Un lourd suivi de terrain a été réalisé à 3 reprises au cours de la saison.



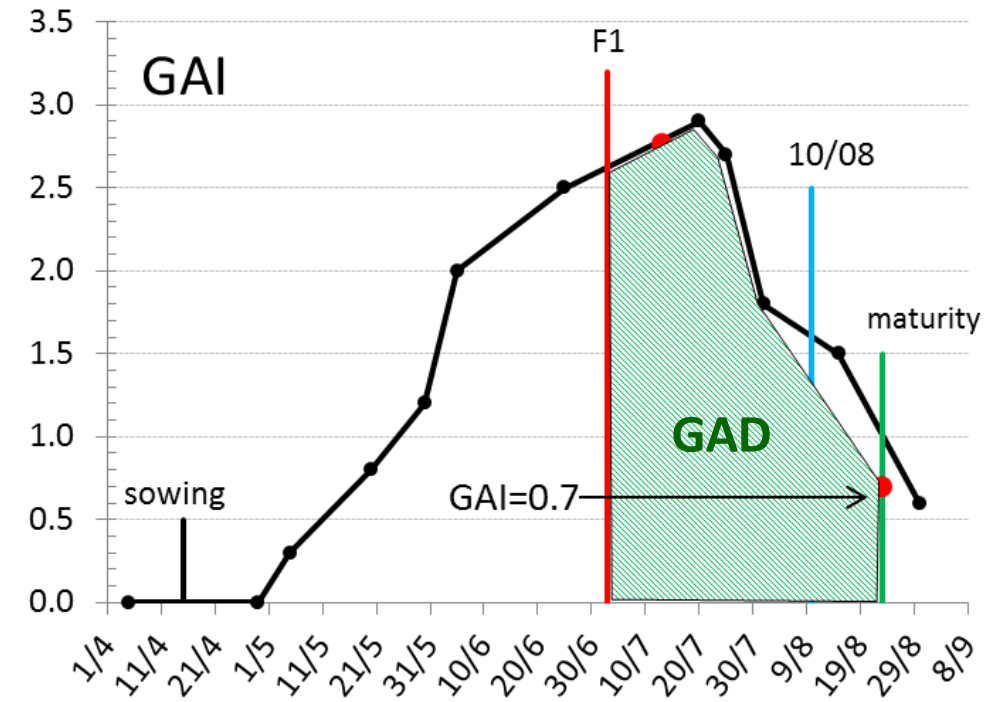
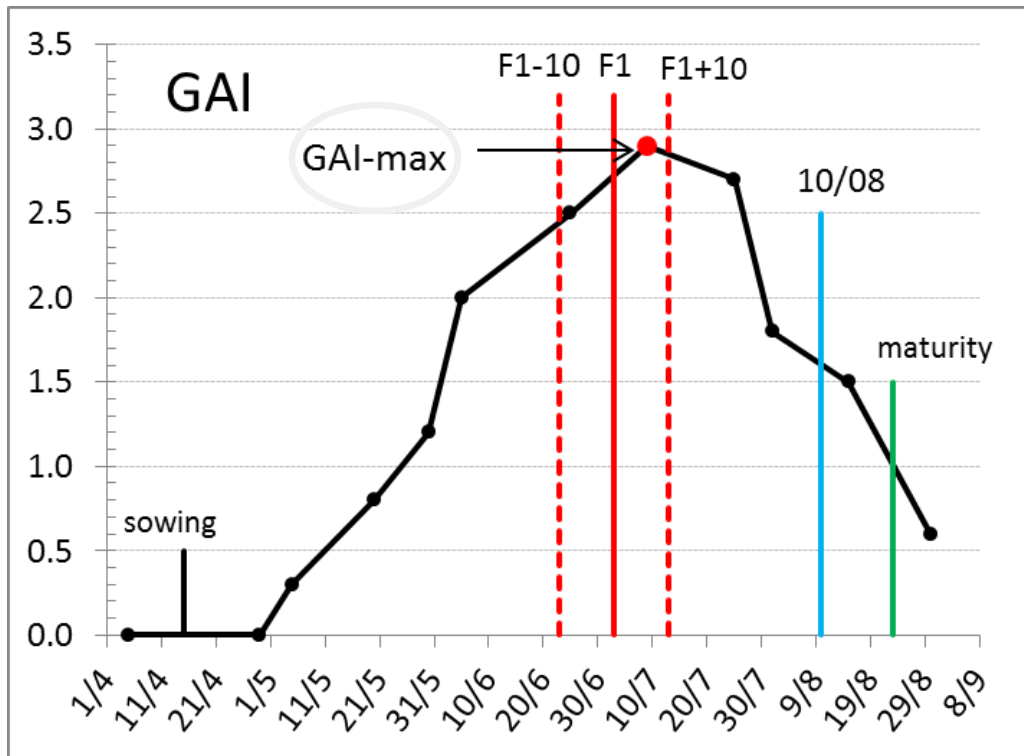
Landsat 8 (30 x 30 m) + Deimos (20 x 20 m) en 2014 à **6 dates**

Spot 5 (Take Five, 20 x 20 m) en 2015 à **13 dates**

Sentinel 2A (10 x 10 m) en 2016 à **5 dates**

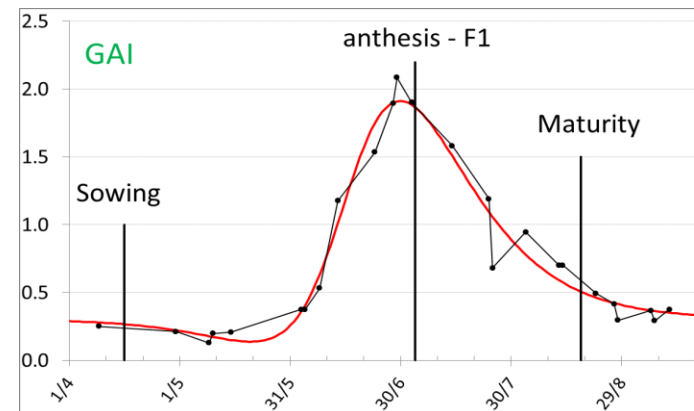


Détermination du GAI_{max} ($m^2.m^{-2}$) et du GAD ($m^2.day^{-1}$) à partir des GAI_j



Interpolation linéaire à partir des données de GAI à chaque date

Dates F1 et M3 simulées par SUNFLO

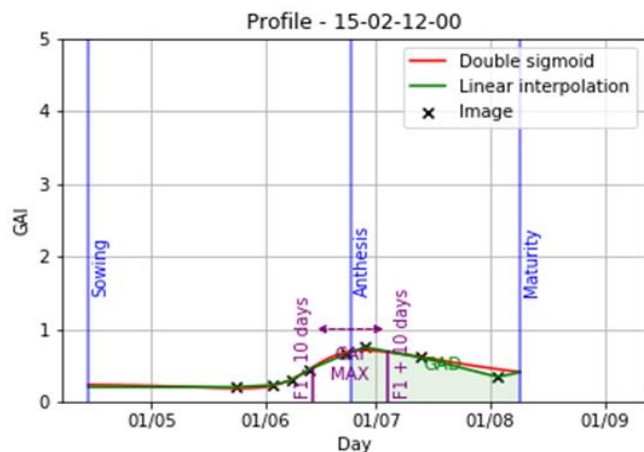
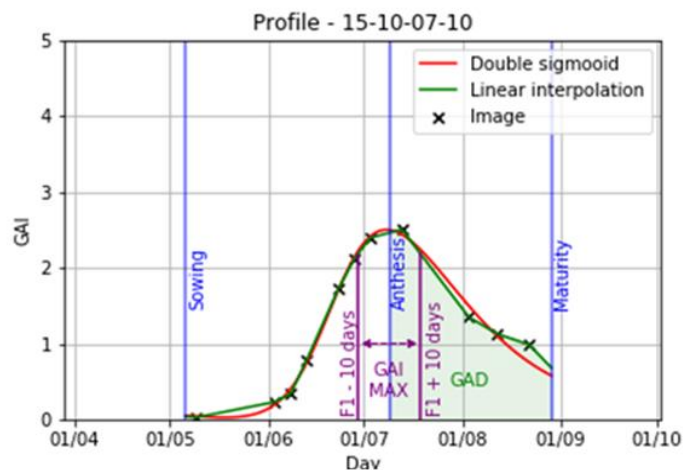


Ajustement à une double sigmoïde



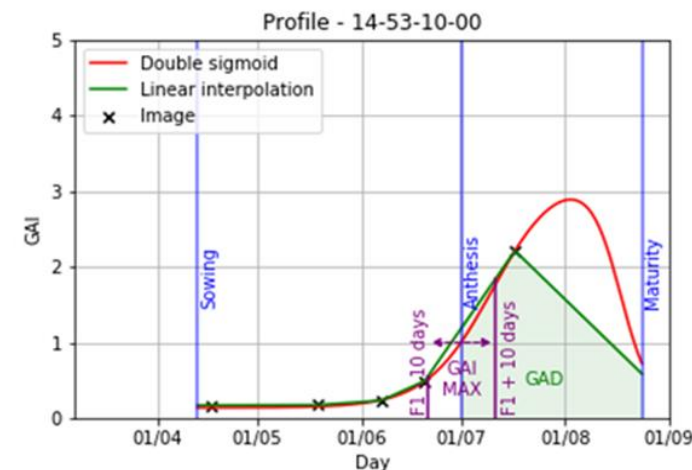
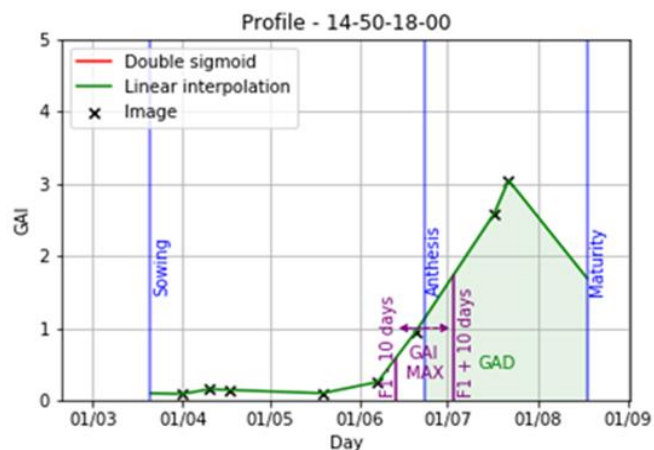
Sélection des profils GAI cohérents

VALIDES



Certains profils GAI ont été écartés car incohérents : re-semis (date non connue), salissement par les adventices, nombre et positionnement des images limitants....

NON RETENUS





Prédiction du rendement et de la teneur en huile : 2 approches

1) Etablissement de modèles statistiques :

$$\text{Rendement} = f(\text{GAImax}, \text{GAD})$$

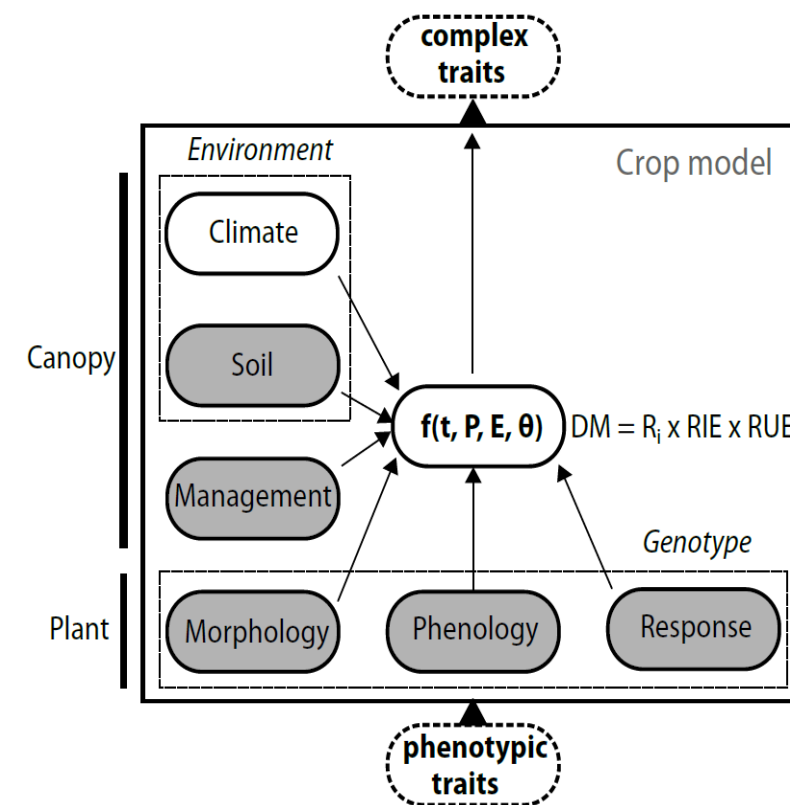
GAImax = Green Area Index maximal (floraison)

GAD = Green Area Duration

2) Assimilation des données satellites dans un modèle de culture dynamique (SUNFLO) – Casadebaig *et al.* (2011)



- Prédiction anticipée du rendement (du 10/07 au 10/08)
- Prédiction à la parcelle ou à l'échelle du mini-bassin de collecte

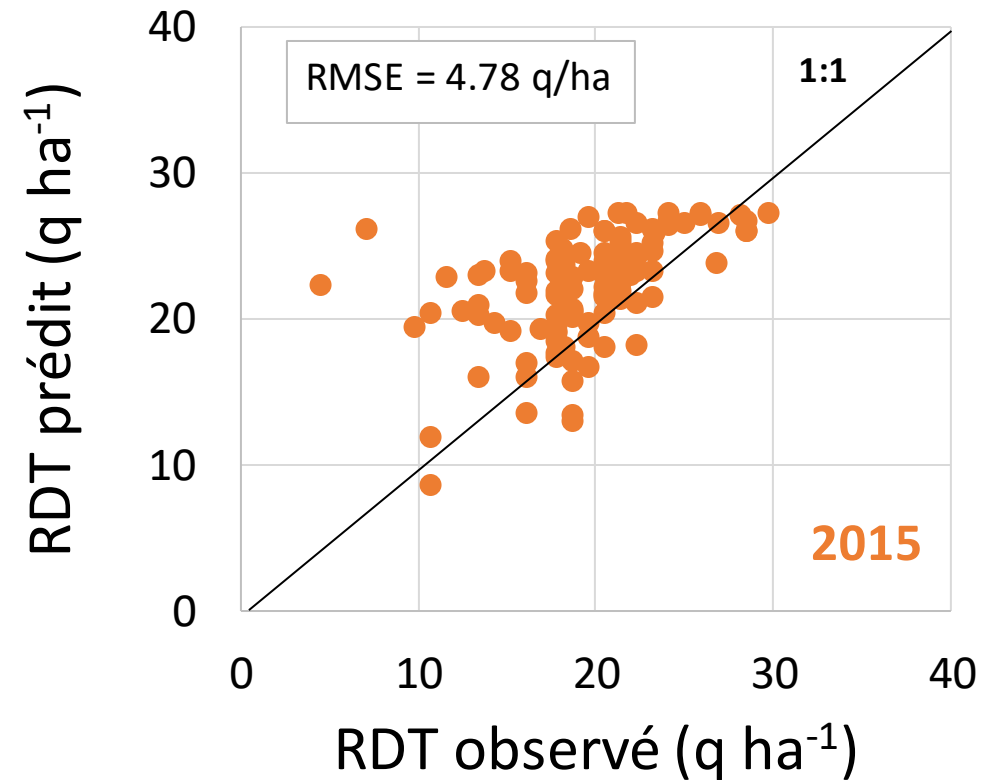
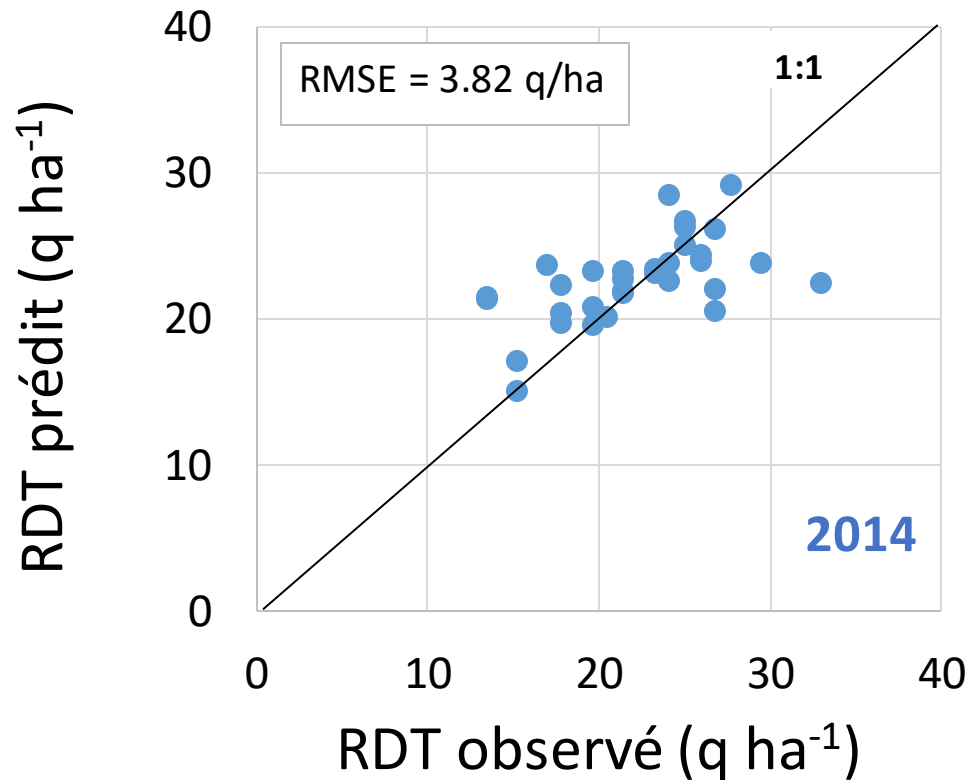




Evaluation de modèles « statistiques » pour la prédiction du rendement

Ex. modèle de régression polynomiale $Rdt = a + b \text{ GAD} + c \text{ GAD}^2$

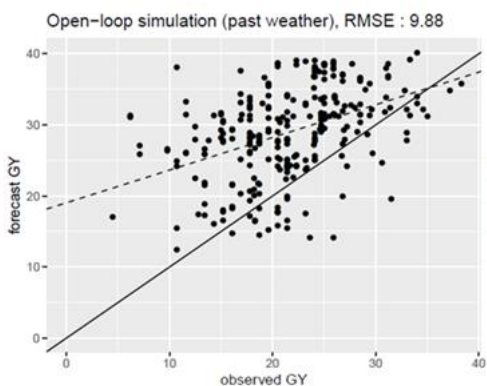
Apprentissage sur 2 années et test sur la 3^{ème} année - RMSE = root mean square error



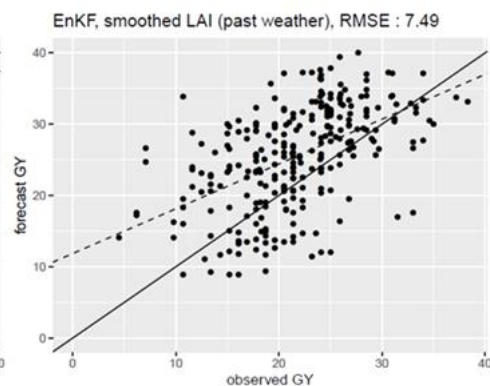


Prédiction du rendement par assimilation des données GAI dans un modèle de culture selon la méthode du filtre de Kalman (EnKF)

Open-Loop (sans assimilation)



EnKF (assimilation)



| Weeds | Diseases | Cover Irregularities | Number of Plots | RMSE | | | |
|-------|----------|----------------------|-----------------|-----------|------|------|------|
| | | | | Open-Loop | DI | EnKF | LSE |
| Yes | Yes | Yes | 281 | 9.88 | 8.53 | 7.49 | 7.92 |
| Yes | Yes | No | 159 | 9.79 | 8.53 | 7.65 | 7.97 |
| Yes | No | Yes | 165 | 9.14 | 8.13 | 7.22 | 8.3 |
| Yes | No | No | 88 | 9.1 | 8.28 | 7.71 | 8.8 |
| No | Yes | Yes | 54 | 9.7 | 7.6 | 6.47 | 7.02 |
| No | Yes | No | 32 | 10.11 | 7.89 | 6.79 | 6.8 |
| No | No | Yes | 33 | 7.39 | 6.18 | 5.51 | 6.72 |
| No | No | No | 18 | 7.11 | 6.5 | 5.87 | 6.28 |

La prédiction du rendement s'améliore lorsqu'on écarte les parcelles avec facteurs limitants



Prédiction à l'échelle du bassin de collecte

Assimilation des données dans SUNFLO

| | Obs | open-loop (simulation) | DI | EnKF | LES | |
|-----------|-------|---------------------------|---------|----------|-----------|-------------|
| | | | forçage | filtrage | inversion | |
| GY (q/ha) | 21.67 | 29 | 27.74 | 26.7 | 25.06 | GAI brut |
| | | | 27.54 | 25.47 | 23.97 | lissage GAI |
| Oil (%) | 50.07 | 50.86 | 50.73 | 50.38 | 49.72 | GAI brut |

Modélisation statistique:

GY = 22.36 à 23.17 q/ha selon les modèles testés

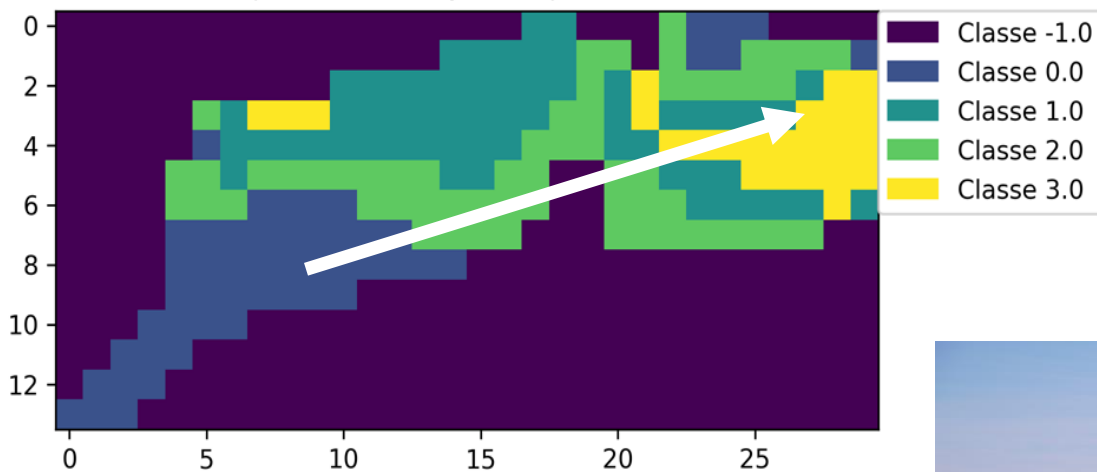
Prédiction de la teneur en huile moins précise



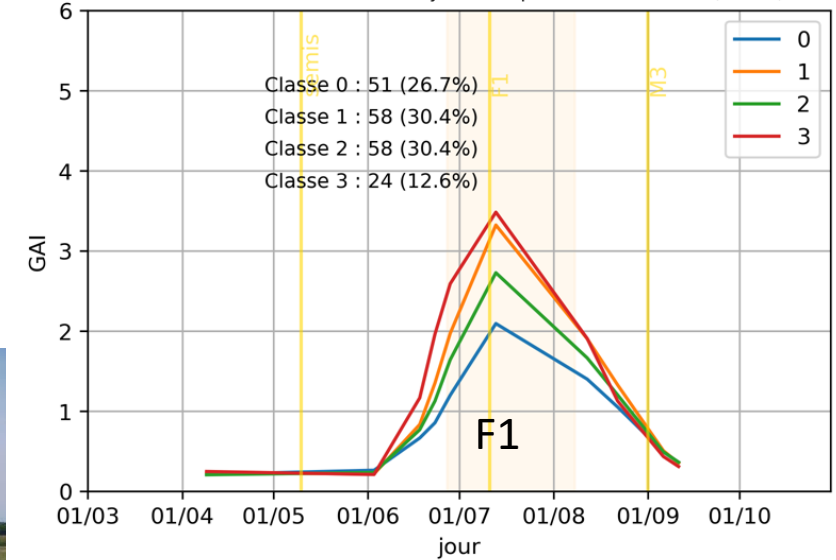
Vers un diagnostic agronomique assisté par satellite (1)

Le GAI du tournesol augmente avec la profondeur de sol croissante du sommet de la parcelle vers le bas du coteau

Classif k-means pixel des k-means cycle de la parcelle 15-11-06-00 (SPOT5)



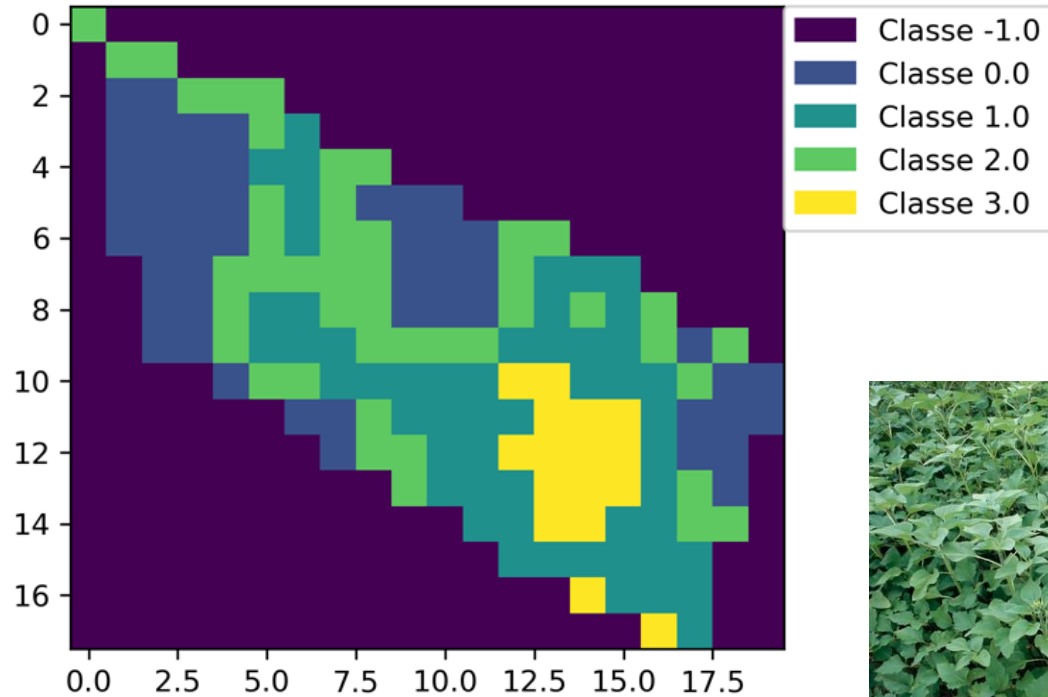
Profils des classes des k-means cycle de la parcelle 15-11-06-00 (SPOT5)



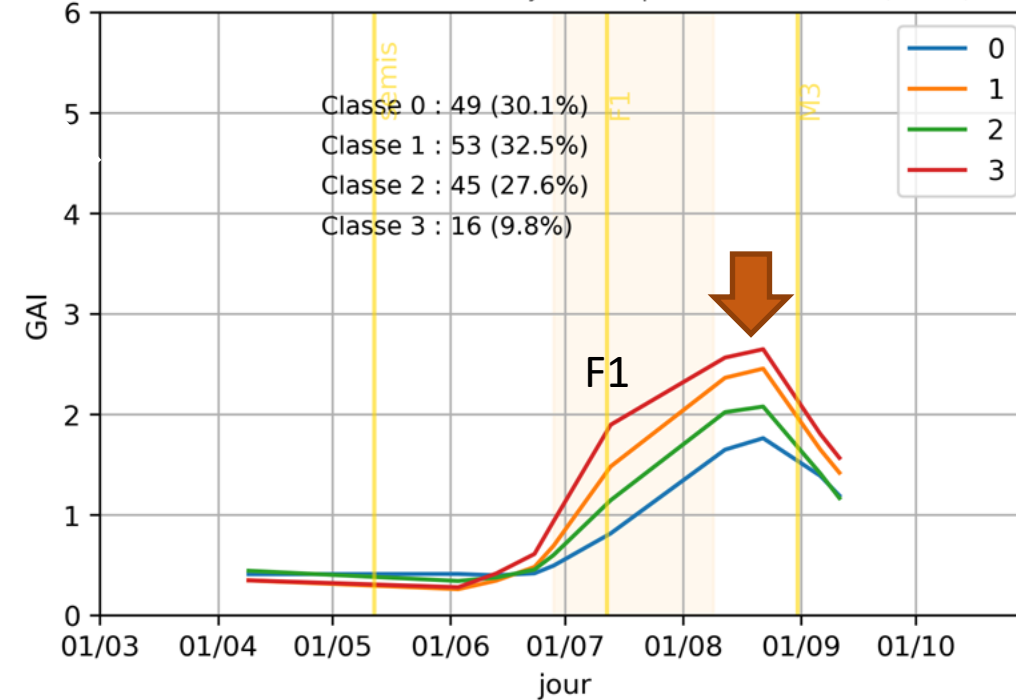


Vers un diagnostic agronomique assisté par satellite (2)

Classif k-means pixel des k-means cycle de la parcelle 15-01-17-00 (SPOT5)



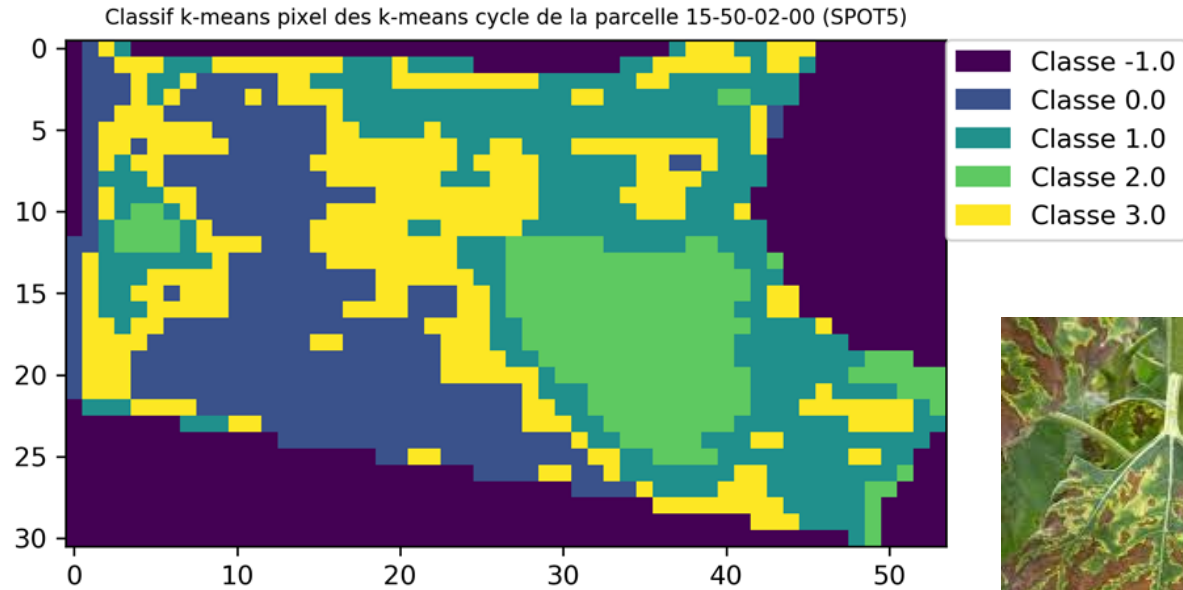
Profils des classes des k-means cycle de la parcelle 15-01-17-00 (SPOT5)



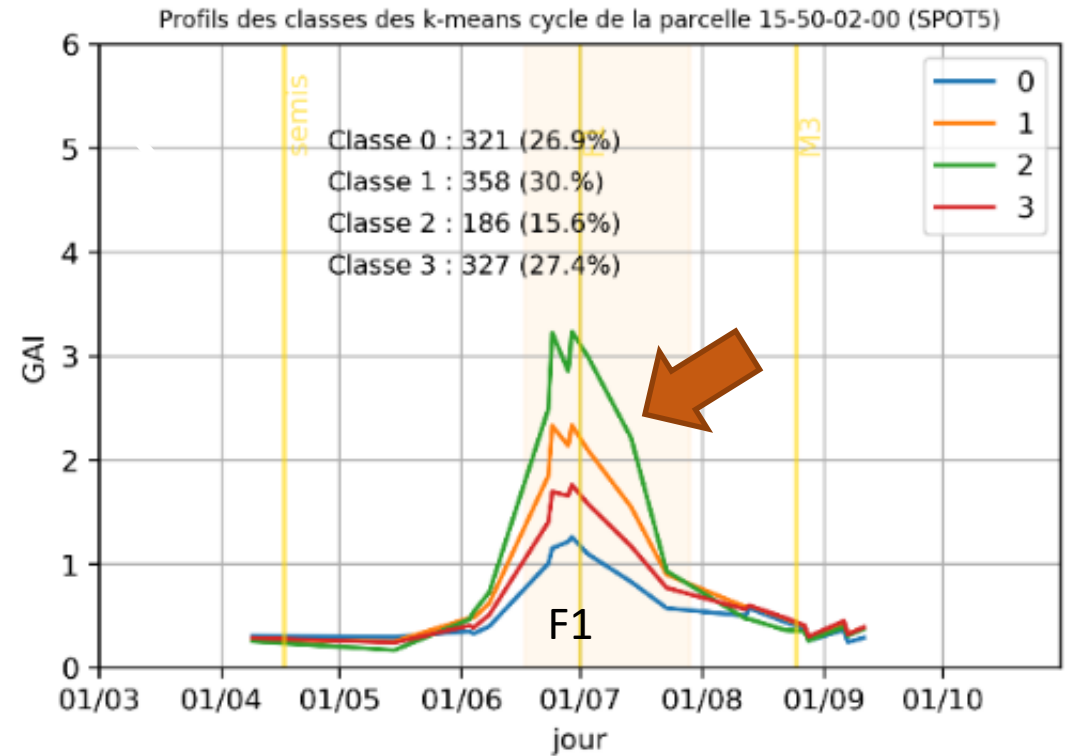
*Forte infestation par les adventices
(lampourde, chardon) : profil non conforme*



Vers un diagnostic agronomique assisté par satellite (3)



*Forte attaque de verticillium
en sol profond*

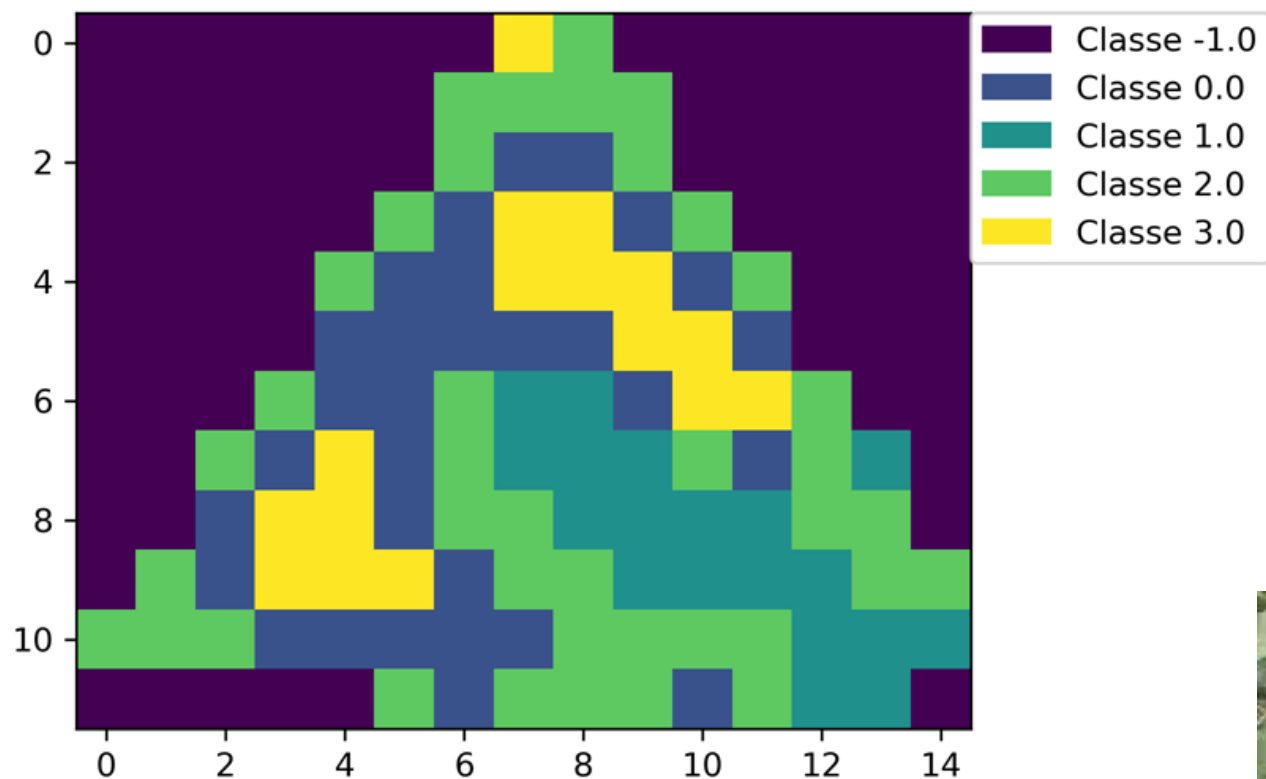


Effondrement du GAI après floraison

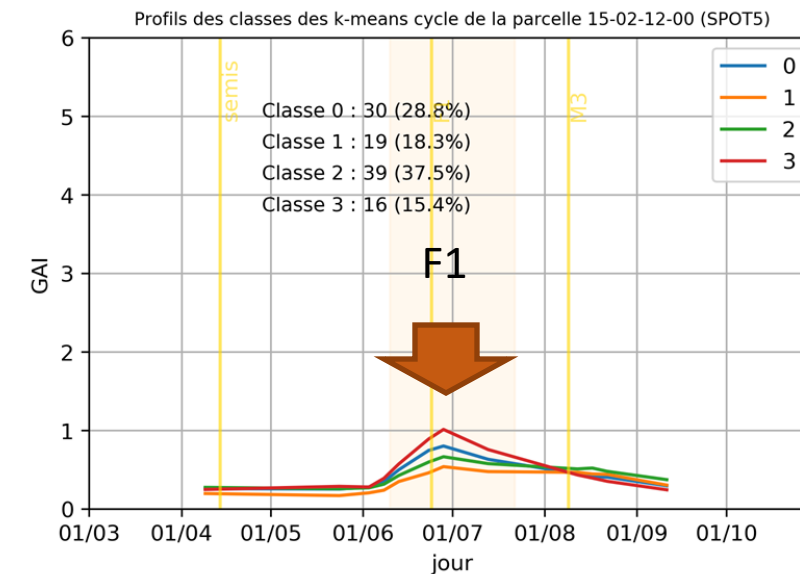


Vers un diagnostic agronomique assisté par satellite (4)

Classif k-means pixel des k-means cycle de la parcelle 15-02-12-00 (SPOT5)



*Forte attaque de mildiou (nanisme)
sur l'ensemble de la parcelle*





Conclusions

Possibilité de prédiction du rendement à l'échelle parcelle :

- Assimilation des données de télédétection → 4-5 images bien positionnées entre pré-floraison et maturité
- Constitution d'une base de données suffisante pour apprentissage des modèles statistiques ou de type « boîte noire »
- Modèles statistiques plus performants pour la prévision du rendement
- Repérage et correction des facteurs limitants : un potentiel pour améliorer la précision des modèles

Prédiction de la teneur en huile :

- Nécessite la connaissance de la variété semée, quelque soit le modèle utilisé
- Modèle de culture à base de processus plus performant

Suite de ce travail :

- Diagnostic agronomique basé sur la variabilité intra-parcellaire, les profils de GAI et les cartes pédologiques
- Aide à la décision pour la conduite des cultures basée sur l'indicateur surface foliaire



Remerciements

Félix Attia (INRAE AGIR)

Ahmad Al Bitar (Cesbio)

Pierre Casadebaig (INRAE AGIR)

Céline Colombet (INRAE)

Yasmil Fernandez (INRAE)

Bernard Garric (Terres Inovia)

Hervé Gibrin (CESBio)

Emmanuelle Mestries (Terres Inovia)

Arnaud Micheneau (Terres Inovia)

Ronan Trépos (INRAE MIAT)

Agriculteurs et techniciens
des 2 coopératives



CasDar n°1311



PROMISES



Références

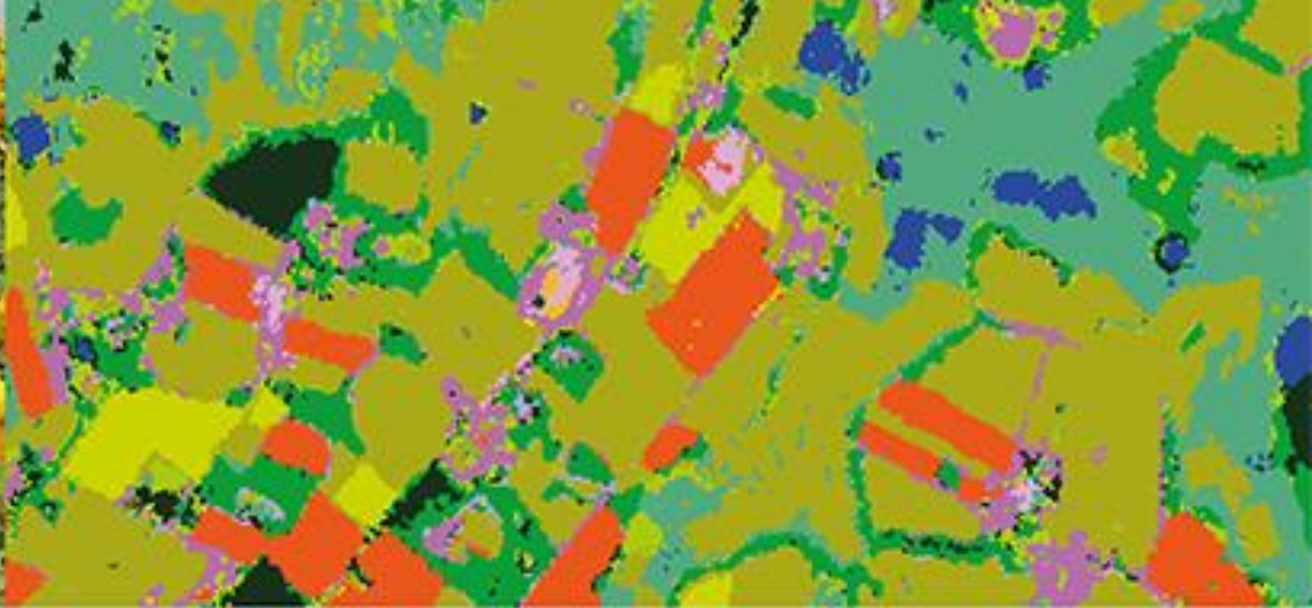
Champolivier L., Debaeke P., Dejoux J.-F., Dizien C., Micheneau A., Colombet C., Gibrin H., Pontet C., Al Bitar A., Trepos R., Ansart A., Garric B., Mestries E., Casadebaig P., Fernandez-diclo Y., 2019. Construction d'un simulateur pour la prévision du rendement et de la qualité du tournesol à l'échelle territoriale mobilisant la télédétection satellitaire. *Innovations Agronomiques* **71**, 15-34.

Debaeke P., Bret-Mestries E., Aubertot J.N., Casadebaig P., Champolivier L., Dejoux J.F., Maury P., Seassau C., 2020. Sunflower agronomy: 10 years of research in partnership within the "Sunflower" Technological Joint Unit (UMT) in Toulouse. *OCL, Oilseeds & fats Crops and Lipids* **27**, 14.

Debaeke P., Attia F., Champolivier L., Dejoux J.-F., Micheneau A., Al Bitar A., Trepos R., 2023. Forecasting sunflower grain yield using remote sensing data and statistical models. *European Journal of Agronomy* **142**, 12667

Pique G., Fieuzal R., Debaeke P., Al Bitar A., Tallec T., Ceschia E., 2020. Combining high-resolution remote sensing products with a crop model to estimate carbon and water budget components: application to sunflower. *Remote Sensing* **12**, 2967.

Trépos R., Champolivier L., Dejoux J.-F., Al Bitar A., Casadebaig P., Debaeke P., 2020. Assimilating remote sensing observations in a sunflower crop model under uncertainty on soil properties. *Remote Sensing* **12**, 3816.



Retrouvez toutes les présentations de l'atelier



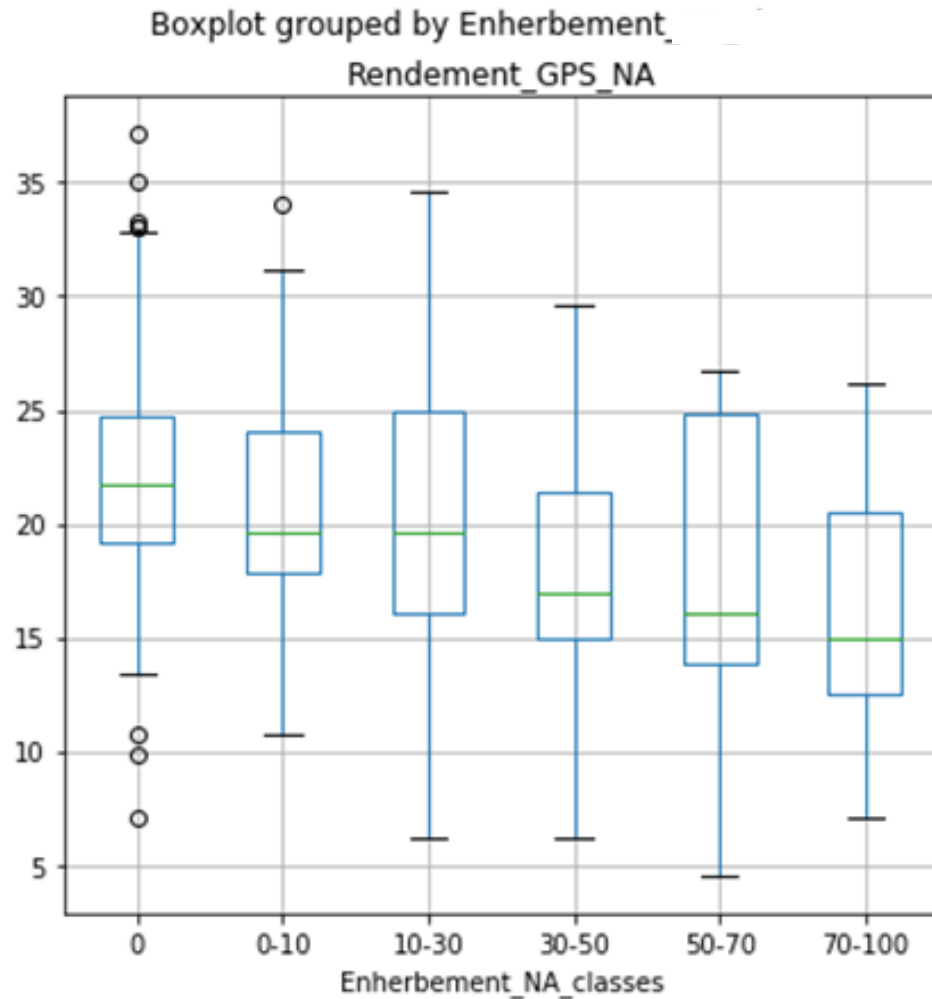
TÉLÉDÉTECTION, AGRICULTURE & ENVIRONNEMENT

sur www.theia-land.fr/2023-agriculture/

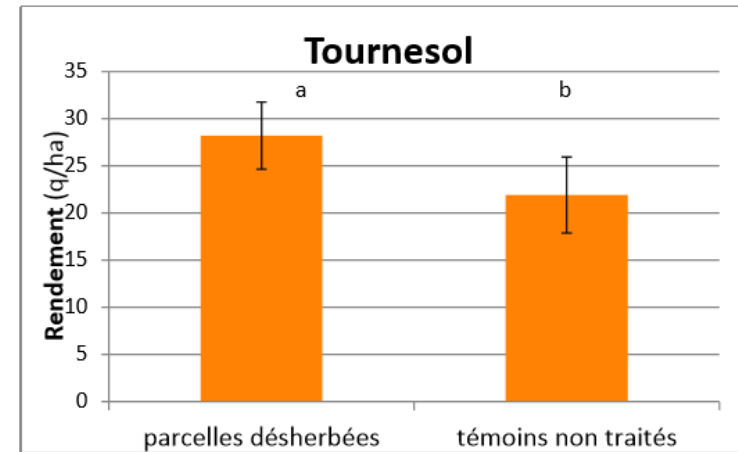




Effet du salissement sur le rendement du tournesol

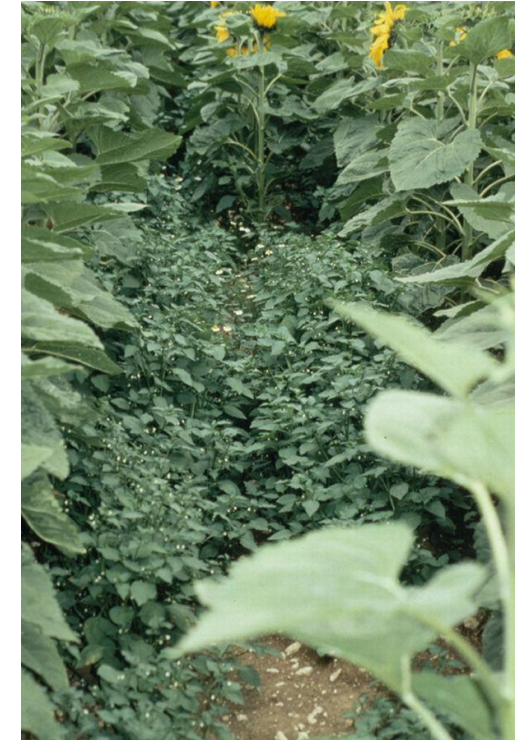


Salissement croissant →



Source : Terres Inovia

perte 6,3 q/ha soit 22,3 %
1,4 – 17,6 q/ha selon essais





Perspectives d'application et de développement

- **La prévision du rendement et de la qualité en grande culture présente un intérêt stratégique et opérationnel**
 - pour les organismes de collecte
 - pour les organismes chargés du conseil collectif (ITA), de l'évaluation variétale (ITA, GEVES) ou de l'estimation des dommages pour les cultures.
- **La mise sur le marché d'images peu coûteuses à forte résolution spatiale et répétitivité temporelle ouvre accès à de nouvelles applications (ex suivi de l'état des cultures pour diagnostic et décisions d'intervention)**
- **Un partenariat aux compétences multiples apporterait une valeur ajoutée importante vis-à-vis de la pertinence technique et "ergonomique" d'outils numériques :**
 - Agronomie, télédétection, développement d'interfaces digitales pour l'agriculture, connaissance des attentes des conseillers et agriculteurs vis-à-vis de ce type d'outil (par exemple, coopératives).



Partenariat engagé via Colza Digital

- ❑ La collaboration entre le Cesbio et Terres Inovia a également été menée dans le cadre du projet Colza Digital 2018-2021 qui visait à construire un pilote de suivi en temps réel de la culture du colza (biomasse) au moyen de capteurs satellitaires et d'objets connectés. Ce projet a rassemblé une gamme assez complète de partenaires: institut technique (Terres Inovia), prescripteurs (coopératives Terrena, Axéreal), experts de la récolte d'information et de leur traitement (Airbus, Hi-Phen, Cesbio) et un spécialiste de plateforme digitale (Wiuz).
- ❑ Différents types d'utilisateurs sont visés : les agriculteurs pour un suivi des parcelles de leur exploitation, les conseillers pour un état des lieux spatialisé de la culture sur leur aire d'activité et les coopératives pour une vision territoriale de leur production. Ce projet a permis de concrétiser avec de vraies perspectives industrielles ce que pouvait être un service basé sur les nouvelles technologies satellitaires en direction des agriculteurs.
- ❑ PROMISES avait démarré avec les premières images Sentinelles acquises en 2016. Depuis, le doublement des satellites S2 (optique) et le recours à S1 A-B (radar) permet des fréquences de revisite supérieures.

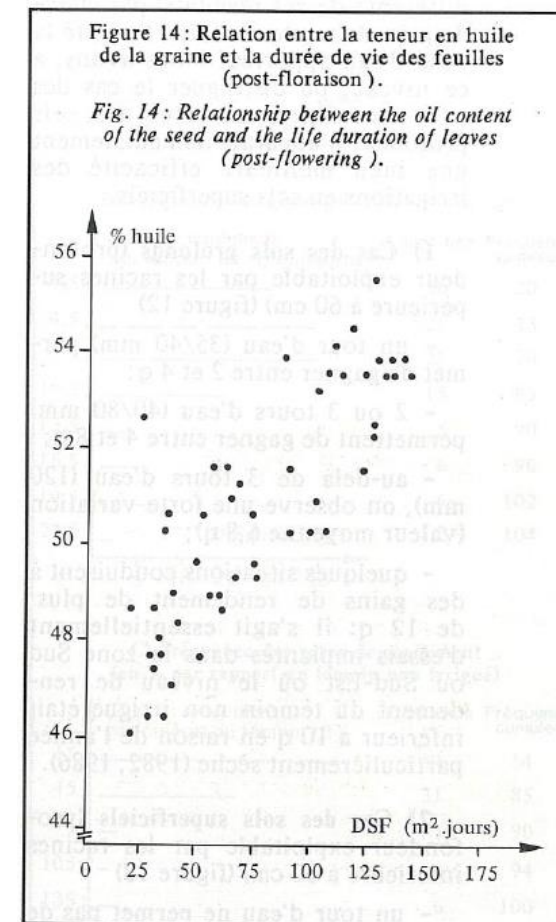


Indice foliaire et production du tournesol

- En tournesol, la surface verte totale à la floraison ($LAI_{max} \rightarrow GAI_{max}$) et la durée de cette surface active après floraison (DSF ou GAD) constituent 2 variables fonctionnelles pour la prédiction du rendement dès la mi-remplissage du grain (Merrien and Grandin, 1990 ; Merrien *et al.*, 2012).

GAI = Green Area Index

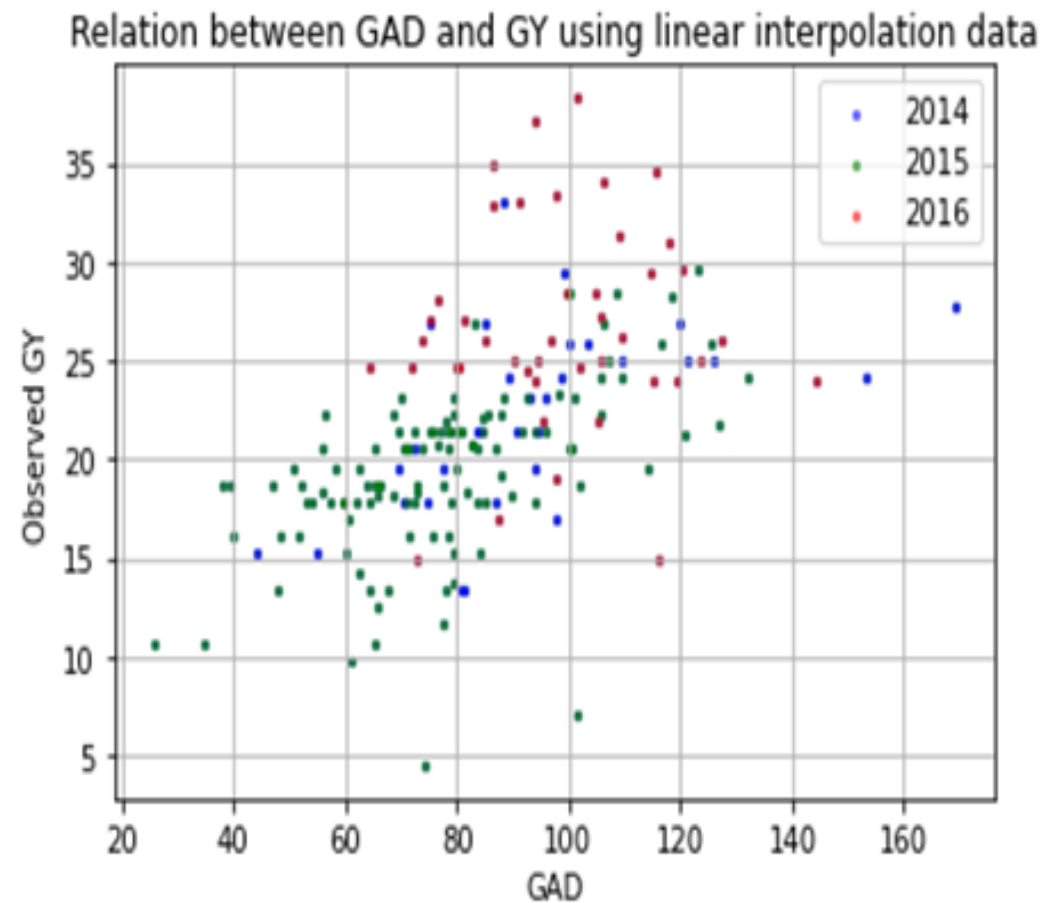
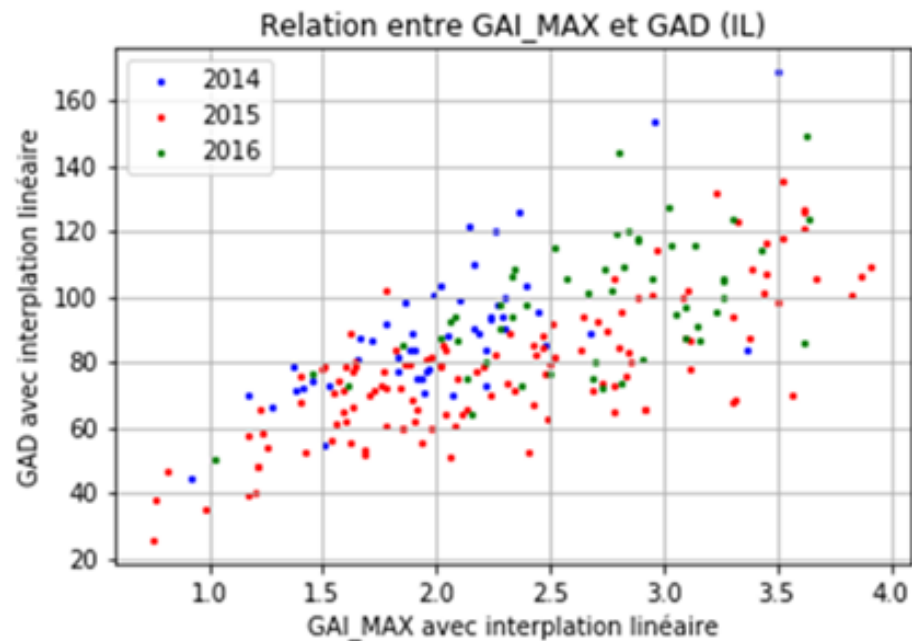
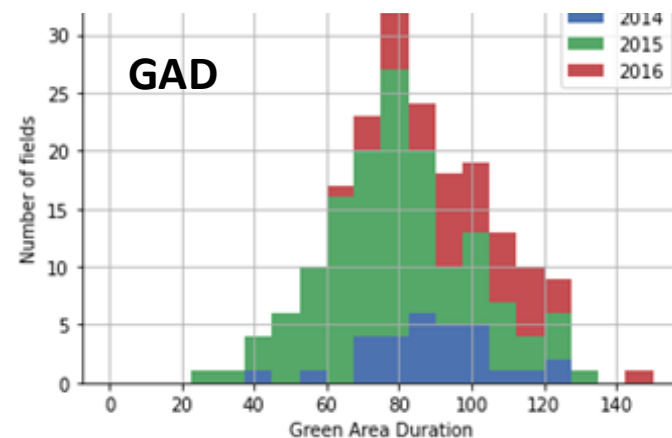
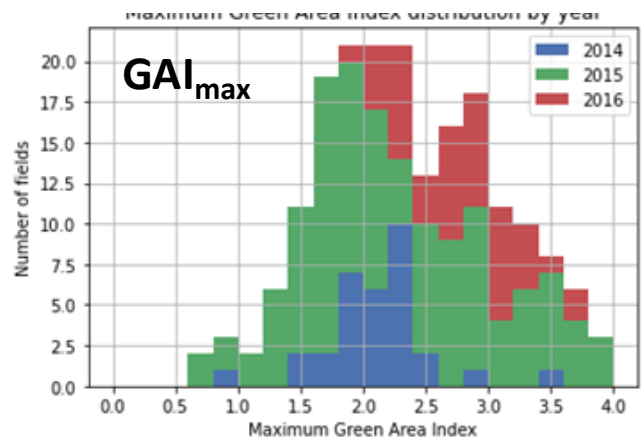
- Les valeurs des GAI “satellite” dérivées des données de réflectance du couvert peuvent être assimilées dans des modèles de culture pour réduire les incertitudes de prédiction dues à la structure et au paramétrage des modèles (e.g. Launay and Guérif, 2005; de Wit and van Diepen, 2007; Chipanshi *et al.*, 2015).



Merrien et Grandin (1990)



Variabilité GAI_{max} & GAD – relation avec le rendement





Vers un diagnostic agronomique assisté par satellite

