

# GIEE MODULAGRO - 2018 / 2021

## Le numérique pour diminuer l'usage des produits phytosanitaires et engrais de synthèse

Avec  
la contribution  
financière du compte  
d'affectation spéciale  
développement  
agricole et rural  
CASDAR



MINISTÈRE  
DE L'AGRICULTURE  
ET DE L'ALIMENTATION

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*



# AGRO D'OC Union des CETA d'OC

- ❖ Coopérative agricole de Services
- ❖ Spécialisée en Grandes cultures
- ❖ Organisée en 53 CETA (dont 7 en AB)
- ❖ 1150 adhérents
- ❖ 145 000 hectares
- ❖ 39 salariés – **13 ingénieurs-conseils**



Réunion CETA



Publications



Visites terrain

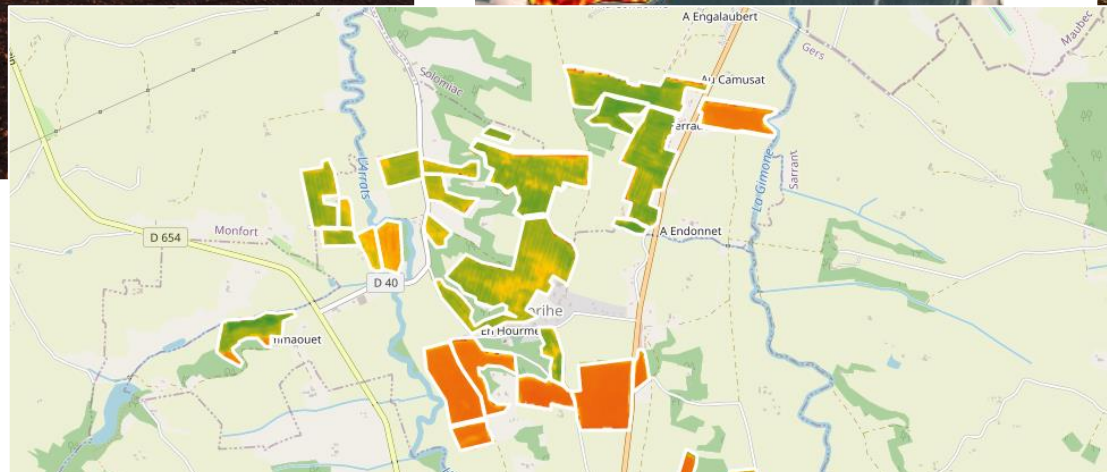
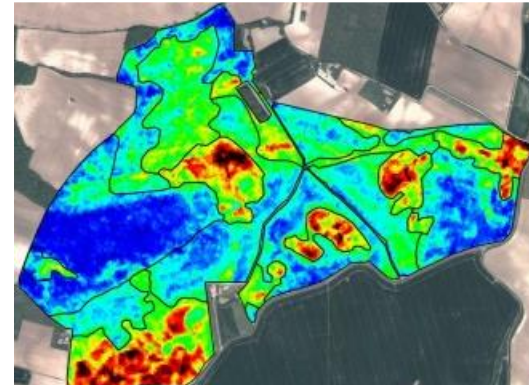


# Agriculture de précision

Avoir les bons outils...

mais surtout

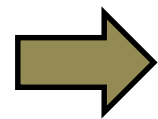
... Se poser les bonnes questions



# Agriculture de précision : quels objectifs ?

❖ Mettre la **bonne dose**, au **bon endroit** et au **bon moment** !

- Bon endroit = **zonage intra-parcellaire**
- Bonne dose, bon moment = **règles de décision agronomiques**



**Modulation intra-parcellaire**

**Engrais**  
(N, P, K, S)

**Densité  
semis**

**Phyto**

**Amendements**



# Comment créer un zonage parcellaire ?

*Carto conductivité/résistivité*



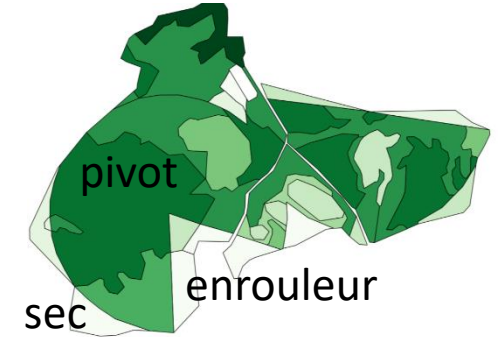
**Carte de potentiel des sols**  
« une fois pour toutes »

*Carto historique (1950-1965)*



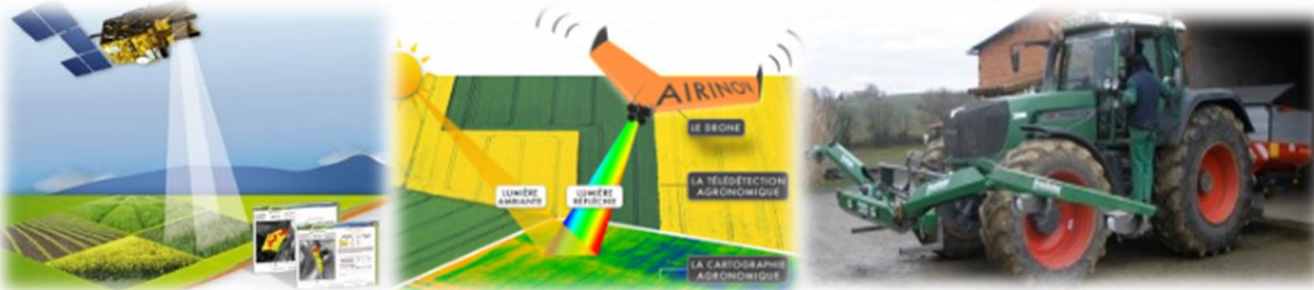
**Carte historique des parcelles**  
Historique de conduite des sols

*Carto type de conduite (agriculteur)*



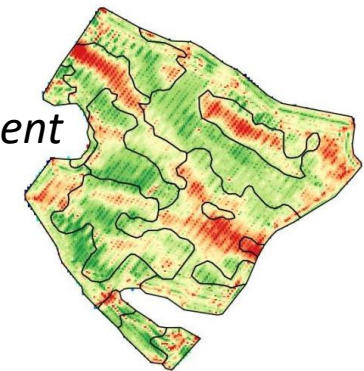
**Carte de zonage du type de conduite**  
Type irrigation, type travail du sol

*Carto Satellite / Drones / Capteurs embarqués*



**Carte de l'état végétatif**  
Pilotage des interventions

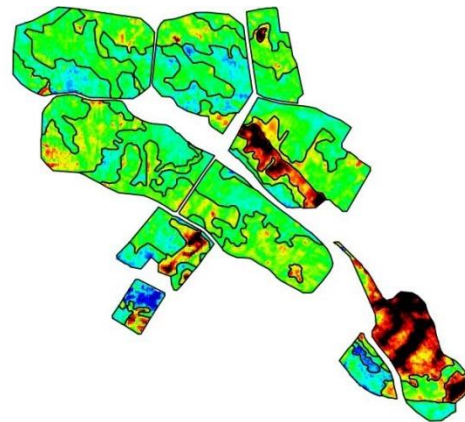
*Carto Rendement*



**Carte du résultat de l'année**  
Intègre données sol, climat, agro

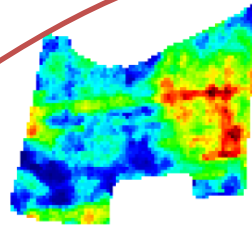
# Genèse du projet MODULAGRO

- Tests du pilotage fertilisation **FARMSTAR / CERELIA (2010)**
  - Limites : coût/ha, réactivité, « **boite noire** »
- **Volonté de repartir de la donnée « Sol » (2014)**
  - Création de cartes de potentiel (zonage + caractérisation)
  - Rencontre société Géocarta

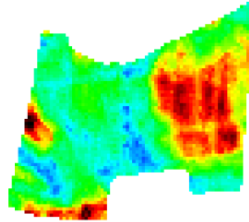


# Création d'une carte de sol par résistivité

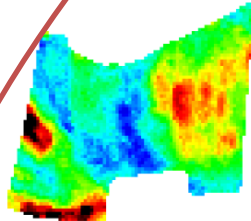
## Combinaison des 3 couches



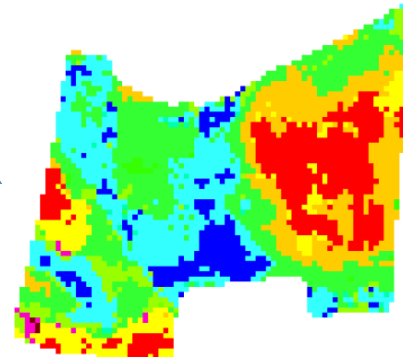
Résistivité 0-50 cm



Résistivité 0-100 cm



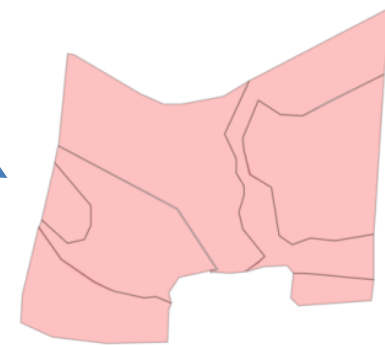
Résistivité 0-170 cm



Résistivité triée

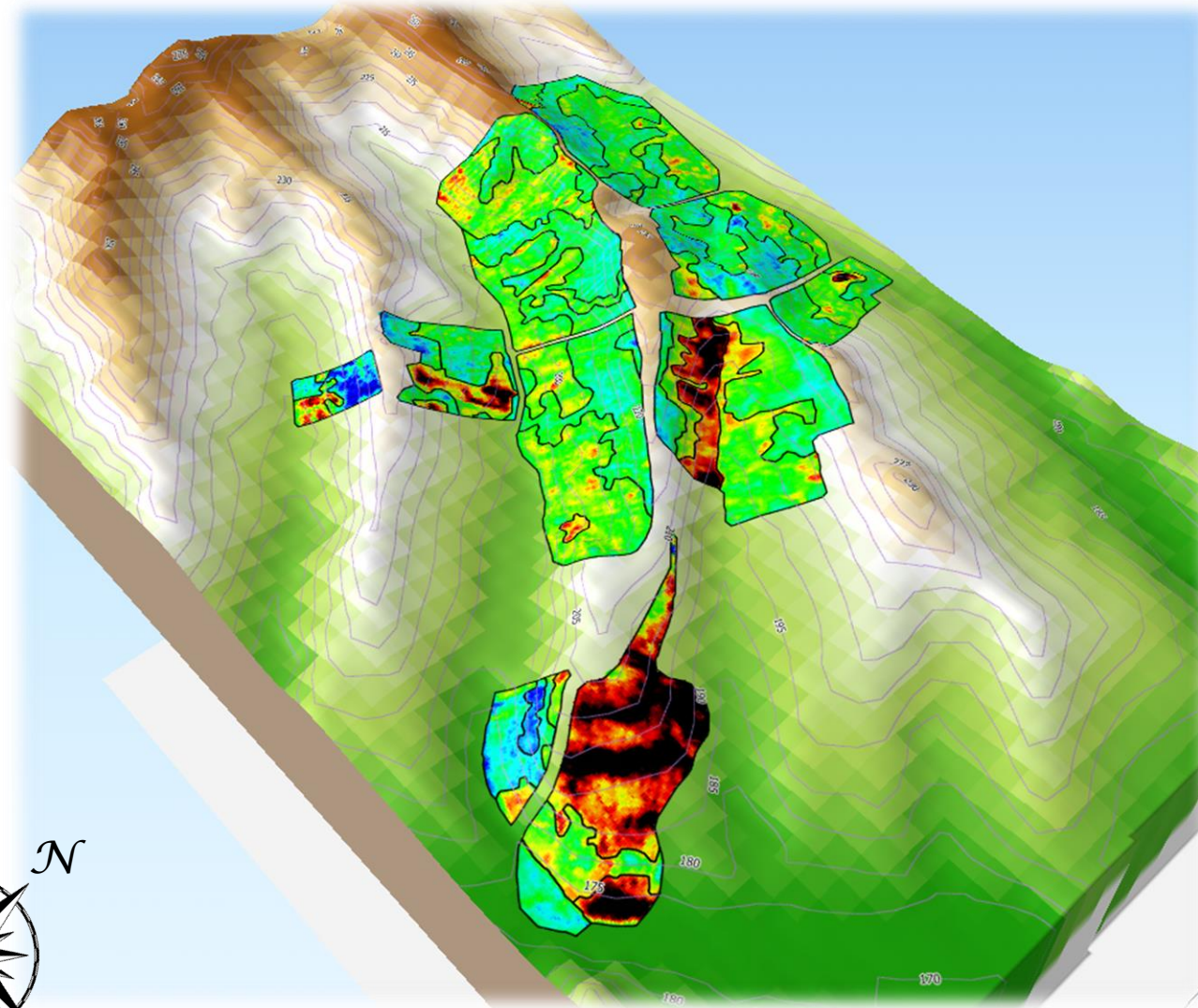
Intégration des  
informations sur la  
profondeur

Zones de la parcelle





# Exemple : Zonage global



Cartes de  
résistivité des  
sols (Géocarta)

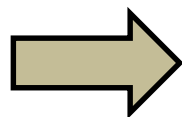


# Quel coût pour le zonage intra-parcellaire ?

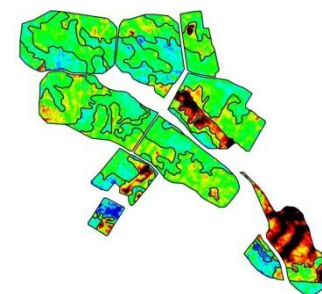
- **Acquisition** résistivité / conductivité + logiciel = 75 €/ha
- **Analyses de sol** : 1 pour 4 à 5 ha = 10 €/ha
- **Profils de sol** = réalisés dans le cadre du projet

« 1 fois  
pour  
toutes »

- Création des **cartes de préconisation**
- Récupération des **cartes de rendements**



Réalisé dans le cadre du projet



- **Équipements de modulation** (console, matériels).

# Évolution vers une nouvelle solution A2P



## Automne 2014 : Projet MODULAGRO – 15 adhérents

Objectif de départ : repartir du sol dans l'approche de la modulation d'intrants => définir un zonage de « potentiel du sol » et moduler les intrants à partir de ce zonage.

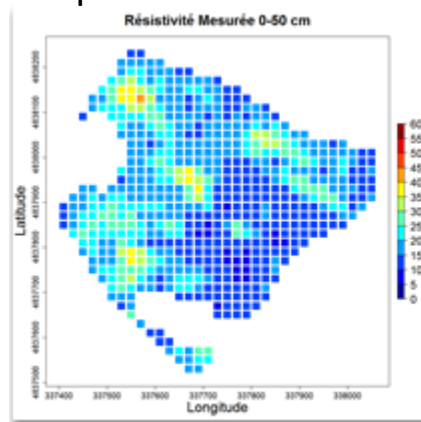
## Été 2016 : Arrivée des images SENTINEL

« gratuites », précises (10 x 10 m) et fréquentes (tous les 5 j.)



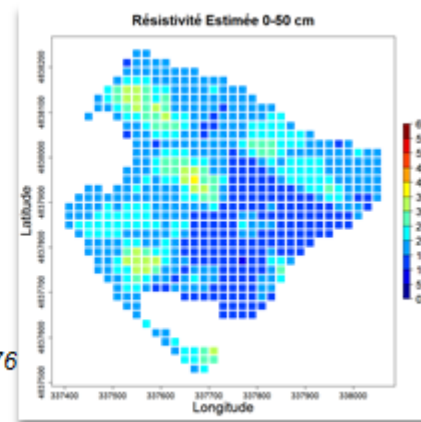
## Été 2017 : Travaux recherche avec le CESBIO

Zoner le « potentiel de sol » avec superposition images satellites



Carte de résistivité

Carte issu d'images satellites



Très bonne corrélation entre les 2 types de données.

Pour les puristes : Le coefficient de corrélation est à 0.76

Parcelle Sarjet - V. CETTOLO CETA  
L'Isle-Jourdain



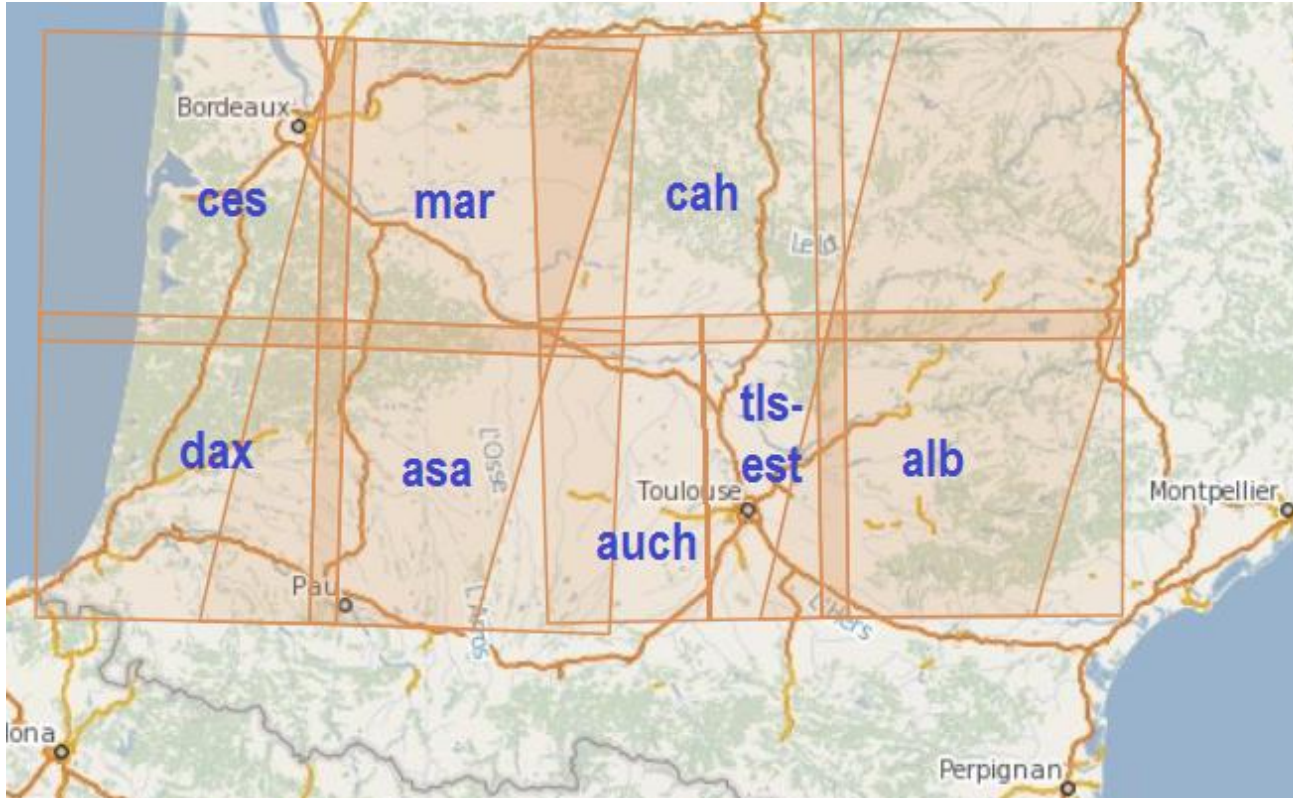
## 2018 : GIEE MODULAGRO => pré-lancement de PRECIDOC

Test avec 20 adhérents : carte de modulation ferti et densité semis



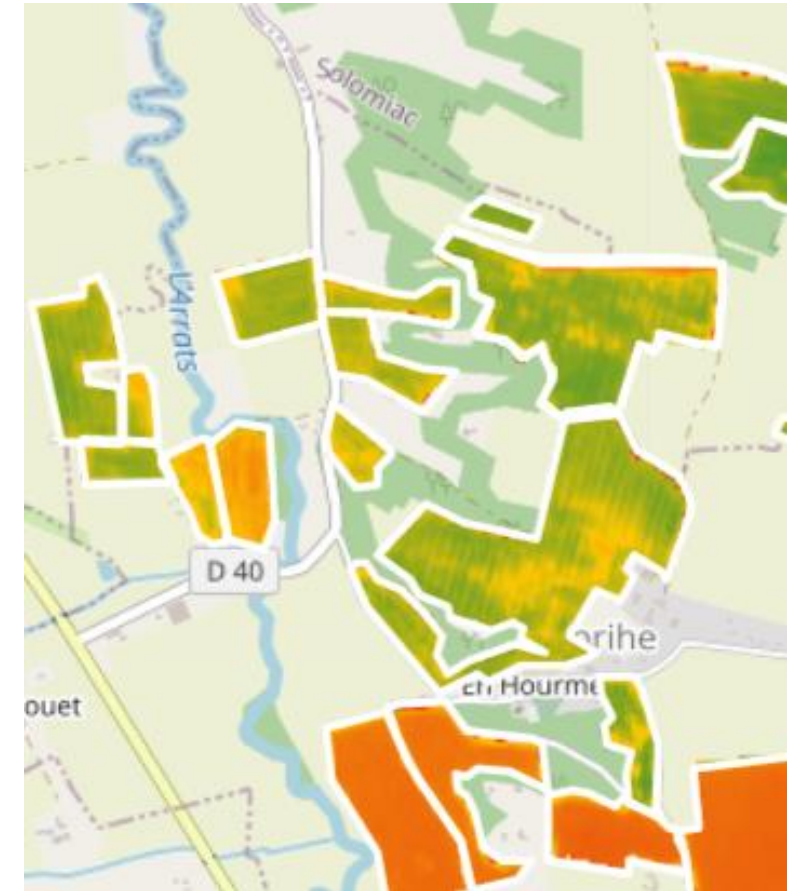


# Les « tuiles » et images de SENTINEL



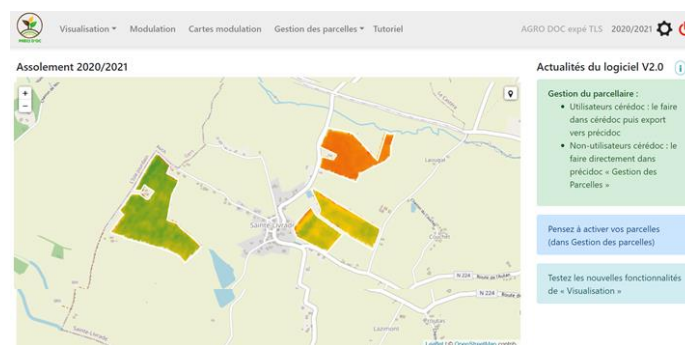
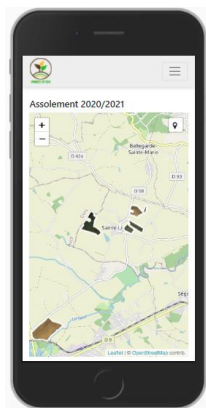
1 image / dalle tous les 5 jours (en moyenne ½ sans nuages)

## NDVI



# PRECI D'OC

## Solution d'Agriculture de Précision



✓ Version 1.0 : 2018

✓ Version 2.0 : 2020



# PRECI D'OC : solution d'Agriculture de Précision 100% WEB

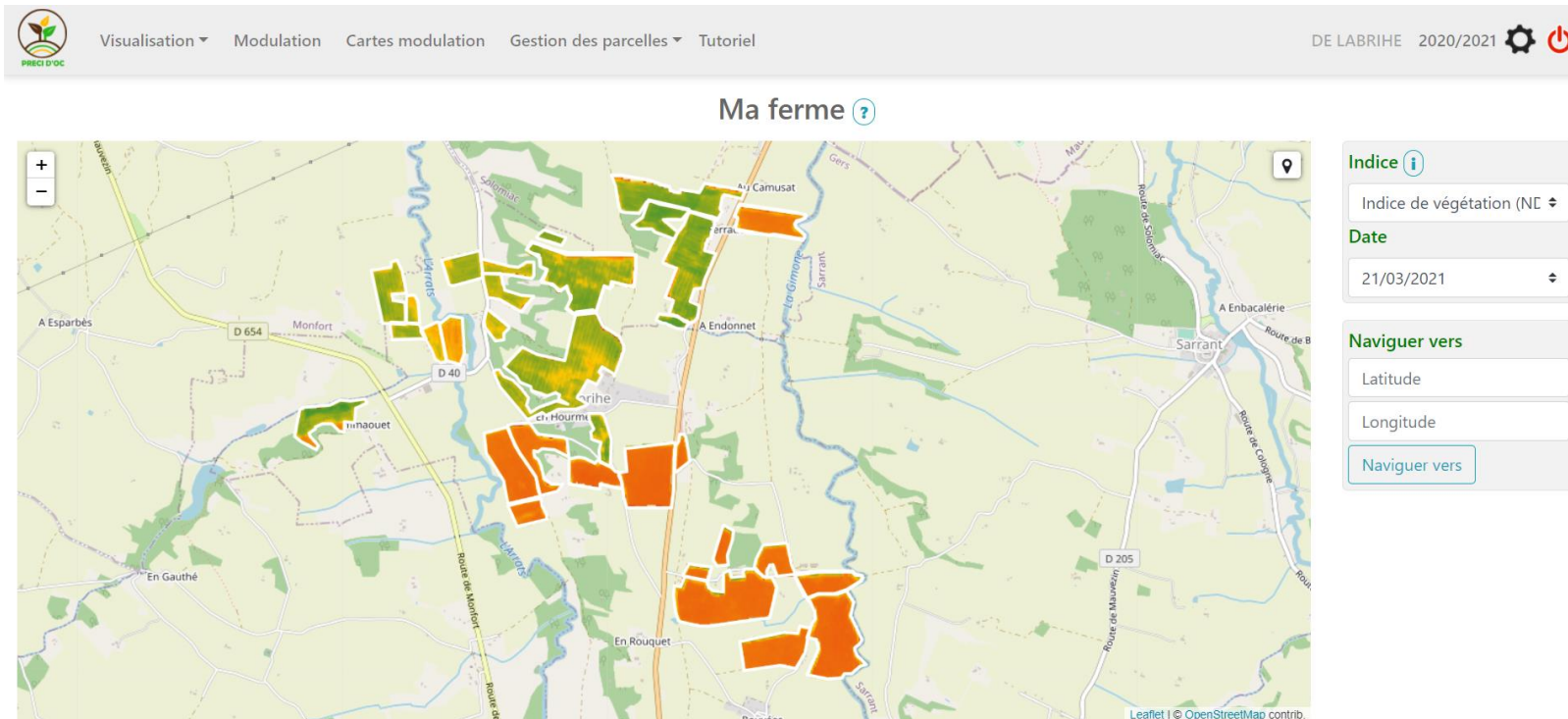
PRECI D'OC  
Visualisation

- ✓ Visualiser l'évolution de la **végétation** et de son **hétérogénéité** sur **vos parcelles** (indice NDVI).

PRECI D'OC  
Modulation

- ✓ Générer des **cartes de modulation** pour utilisation sur :
  - Toutes consoles de tracteur (format .shp ; IsoXML)
  - Impression papier (format .pdf)

**Liberté totale** sur la règle  
de décision agronomique  
(répartition et dose)



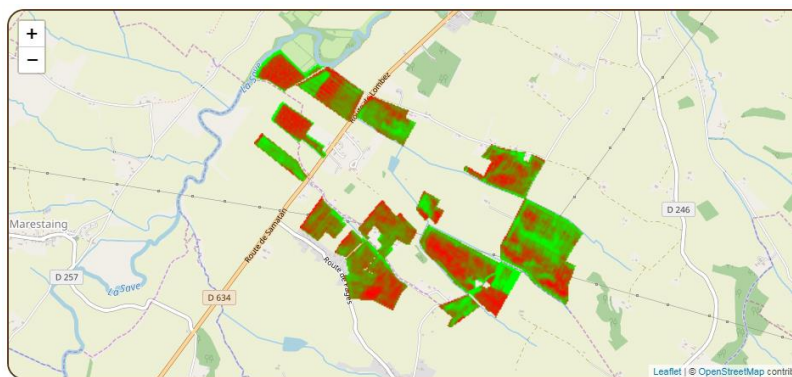
# Utilisation de PRECI D'OC



**2018 : Lancement de PRECI D'OC auprès du GIEE MODULAGRO**

**2019 : Lancement à tous les adhérents AGRO D'OC**

❖ **Visualisation : 230 adhérents / 35 000 ha**



*Visualisation NDVI*



*Choix date*



*Masque nuage*



# Utilisation de PRECI D'OC



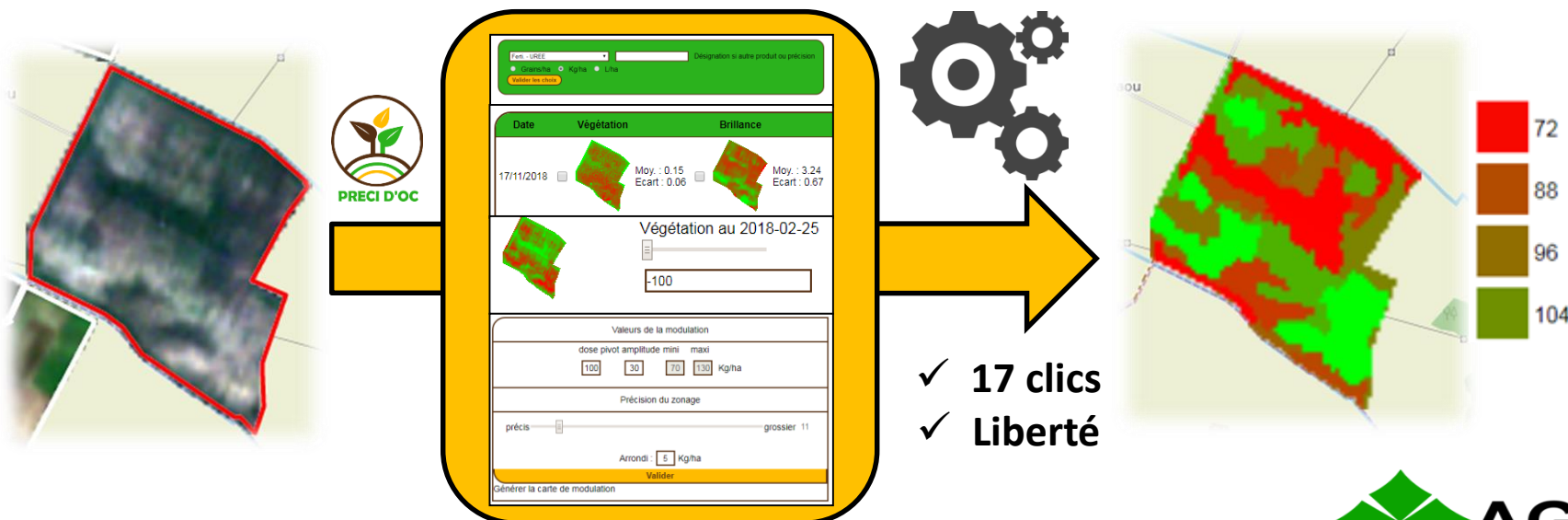
❖ Version « **Modulation** » : 57 adhérents en 2019

590 parcelles / 800 cartes / 5 400 ha

10 parcelles/  
adhérents

1,4 cartes/parcelle

7 ha/carte



# Quels intrants moduler ?

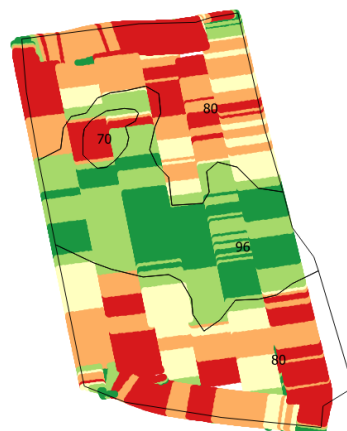


**PRECI D'OC**

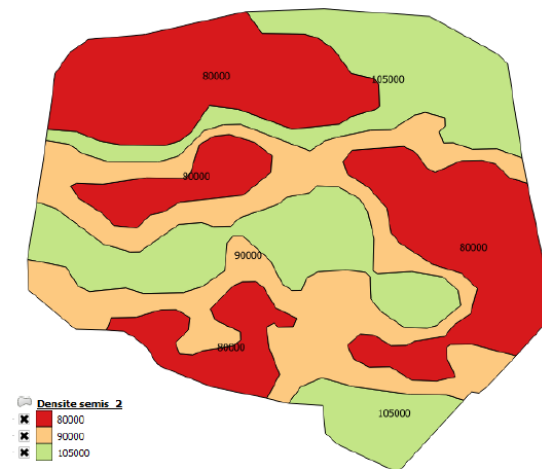
**Fertilisation & Amendements**



**Pulvérisation**



**Densité de semis**





# PRECIDOC permet de générer des cartes pour tous les intrants

## ❖ Modulation de la fertilisation

- Modulation d'**N, P, K, S**, amendement calcaïque et **organique**
- Objectif : diminuer les quantités totales apportées.



## ❖ Modulation densité de semis

- Modulation densité semis **semoir volumétrique** et **semoir mono-graine**.
- Adaptation du matériel = de l'ordre de 10 000 €
- Gain de 50 € / ha → 200 ha pour amortissement ?



## ❖ Modulation des produits phytosanitaires

- Modulation **herbicides racinaires**, **régulateurs de croissances** et **herbicides totaux** (en cours de réalisation).
- Objectif : assurer une efficacité homogène sur toute la parcelle, réduire le risque de phytotoxicité et diminuer les quantités apportées.



# Exemple de règle de décision agronomique : Carte apport d'Azote « rendement » Blé

## 1) Choix des cartes « Sources »

Classification des images 

| Date        | Indice de végétation (NDVI)         |                                                                                   | Etat hydrique (NDWI)     |                                                                                    |
|-------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 21/03/2021  | <input checked="" type="checkbox"/> |  | <input type="checkbox"/> |  |
| 01/03/2021  | <input type="checkbox"/>            |  | <input type="checkbox"/> |  |
| 19/02/2021  | <input type="checkbox"/>            |  | <input type="checkbox"/> |  |
| 13/09/2019  | <input type="checkbox"/>            |  | <input type="checkbox"/> |  |
| nuages : 0% |                                     |                                                                                   |                          |                                                                                    |
| nuages : 0% |                                     |                                                                                   |                          |                                                                                    |
| nuages : 0% |                                     |                                                                                   |                          |                                                                                    |
| nuages : 0% |                                     |                                                                                   |                          |                                                                                    |
| nuages : 0% |                                     |                                                                                   |                          |                                                                                    |
| nuages : 0% |                                     |                                                                                   |                          |                                                                                    |

## 2) Pondération des cartes

la grange + 6m : Pondération des cartes 

 Indice de végétation (NDVI) au 21/03/2021

## 3) Calibration des doses

Valeur de la modulation

Dose pivot  Amplitude  mini  maxi  Kg/ha

Précision du zonage

précis  grossier

Arrondi :  Kg/ha

## 4) Validation de la carte

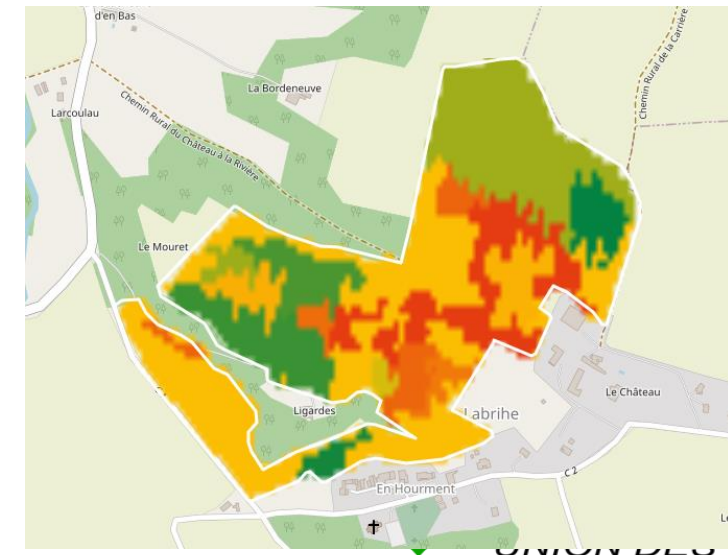
Informations générales carte

Surface : 28.52 ha Nombre de zone : 21 Dose moyenne : 200 Kg/ha Quantité totale : 5708 Kg

Nommer la carte

159 169 179 189 199 209 219

Exporter la carte de modulation





# Modulation densité de semis du tournesol : un intérêt ?

LES VIEILLES VIGNES 6

| Type de sol | ALS   |
|-------------|-------|
| Argile      | 34%   |
| Limons      | 33%   |
| Sables      | 23%   |
| Calcaire    | 8%    |
| MO          | 2,00% |
| pH eau      | 8,40  |
| P Olsen     | 55,00 |

LES VIEILLES VIGNES 4

| Type de sol | Calc-arg. |
|-------------|-----------|
| Argile      | 30%       |
| Limons      | 40%       |
| Sables      | 9%        |
| Calcaire    | 20%       |
| MO          | 1,20%     |
| pH eau      | 8,70      |
| P Olsen     | 19,00     |

LES VIEILLES VIGNES 11

| Type de sol | Calc-arg. |
|-------------|-----------|
| Argile      | 28%       |
| Limons      | 37%       |
| Sables      | 16%       |
| Calcaire    | 18%       |
| MO          | 1,40%     |
| pH eau      | 8,60      |
| P Olsen     | 13,00     |

LES VIEILLES VIGNES 2

| Type de sol | SAL   |
|-------------|-------|
| Argile      | 16%   |
| Limons      | 21%   |
| Sables      | 45%   |
| Calcaire    | 16%   |
| MO          | 1,10% |
| pH eau      | 8,60  |
| P Olsen     | 21,00 |

## Essai 2019 chez B. LOUBENS

- ❖ 6 densités de semis testées (50 à 80 000 gr/ha) dans 6 zones de sol.
- ❖ Variété LG 5687HO.
- ❖ Semoir à 50cm.
- ❖ 0 azote. Apport de Bore à LPT.

Zone A : Argilo-calcaire moyen => 4,6 ha

Zone B : **Sable** argileux sup. => 8,7 ha

Zone C : Argilo-calcaire profond => 5,9 ha

Zone D : Argile très profonde et noire => 4,5 ha

Zone E : *croisement de zones* => 3 ha

Zone F : Argile profonde => 4,9 ha

❖ D et F sont similaires mais D > F

❖ A et C sont similaires mais A +sableux et C +profond



## Zone B : Sable argileux superficiel



0

8

30

34

100

140



- ❖ Horizon A : **Argile sableuse brune**. Horizon organique bien marqué. Battance en surface.
  - ❖ Activité biologique faible. Bon enracinement.
  - ❖ Bonne structure et homogène sur 0-30 (légère semelle à 8 cm)
  - ❖ Petits cailloux calcaires diam. 1cm. Calcaire.
- 
- ❖ Couche fine de **sable blanc calcaire**. Aucune racine de blé ne traverse (pas un problème structure).
- 
- ❖ Horizon B : **Sable grossier** quasi pur un peu calcaire. 2 types de sables : gris et fauve/roux
  - ❖ Aucune racine ni activité biologique constatée : **support inerte de 70 cm d'épaisseur**
- 
- ❖ Horizon C : **Marne** (roche mère peu évoluée)
  - ❖ Traces d'hydromorphie importante (sous sol imperméable)

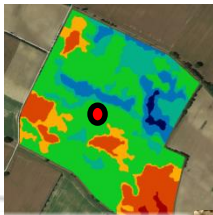
**Bilan** : Sable argileux superficiel et peu drainant. **Potentiel limité**

*Avec et pour les céréaliers*

**AGRO D'OC**  
UNION DES CETA D'OC



## Zone C : Coteau argilo-calcaire « standard »



Prof. (cm)

0

10

35

100

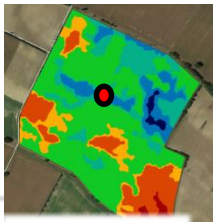


- ❖ Horizon A : **Argile calcaire plus claire**
  - ❖ Très bonne structure. Bonne verticalité de l'horizon (malgré une légère semelle de travail à 10 cm)
  - ❖ Activité biologique moyenne
  - ❖ Bon enracinement
- 
- ❖ Horizon C : **Marne** (roche mère peu évoluée)  
*Pas d'horizon B de transition*
  - ❖ Miroirs d'écoulement de l'eau très nets et verticaux : Traces d'hydromorphie assez importante
  - ❖ **Racines** constatées jusqu'à 90 cm mais très faible à partir de 70 cm.

**Bilan :** Argile calcaire commune en coteaux.  
**Potentiel correct.**



# Zone D : Argile très profonde



Prof. (cm)

0

12

80

130



- ❖ Horizon A : **Argile brune très homogène**
- ❖ Très bonne structure (malgré une légère semelle de travail à 10 cm)
- ❖ Bonne Activité biologique
- ❖ Très bon enracinement, noté dense jusqu'à 40 cm
- ❖ Peu calcaire
- ❖ Bonne porosité
- ❖ Pas de signes d'hydromorphie

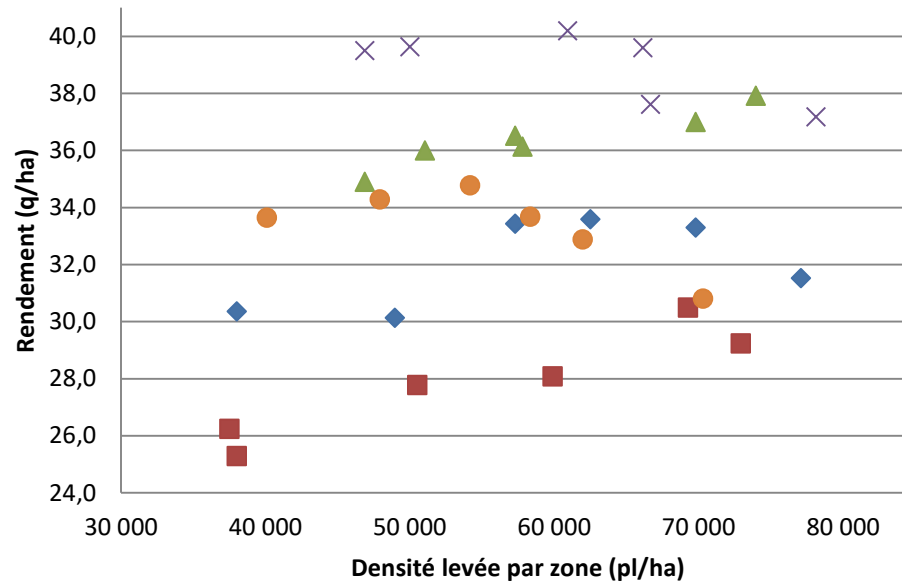
- 
- ❖ Horizon B : transition très progressive et peu marquée
  - ❖ **Racines** constatées jusqu'à **1m20**

**Bilan :** Argile très profonde et saine.  
**Excellent potentiel (meilleur de la parcelle)**

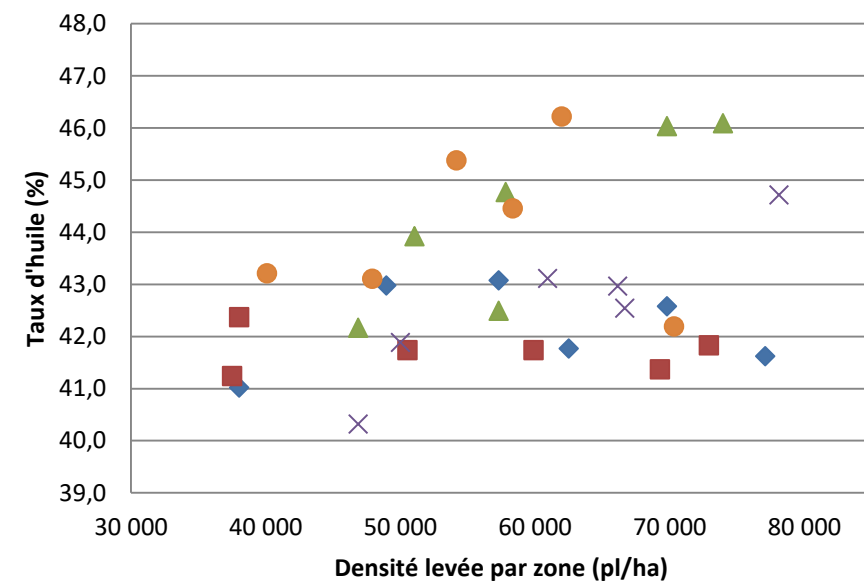


# Impact de la densité levée sur rendement et huile

## Rendement en fonction de la densité levée par zone



## % huile en fonction de la densité levée par zone



Zone B (**Sable argileux**) : réponse étonnante, la densité favorise le rendement mais pas le taux d'huile

Zone D et F (argiles profondes) : rendement peu variable, la densité favorise l'huile

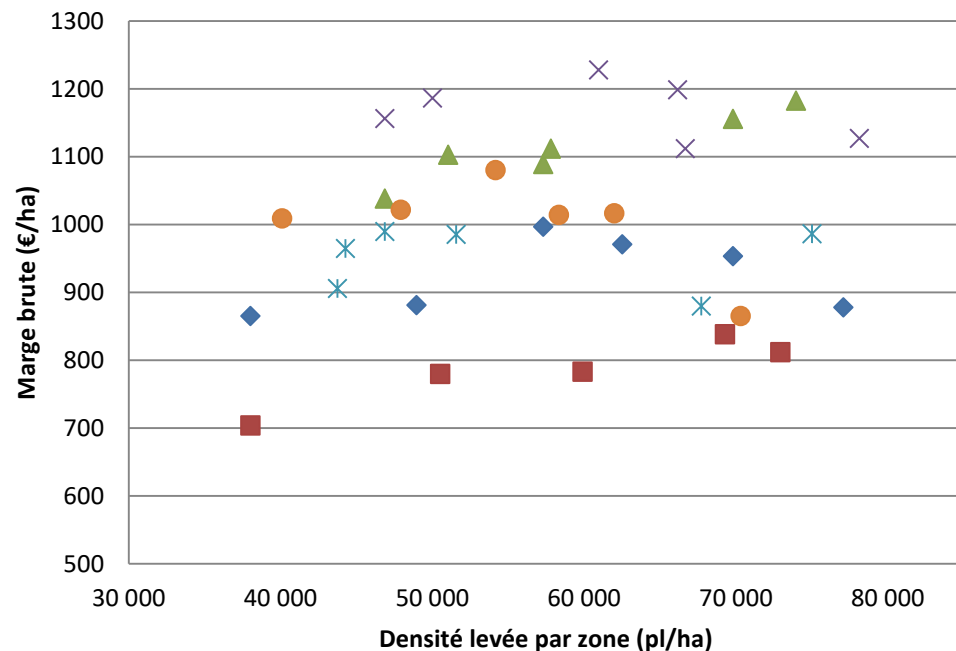
Zone C (argilo calcaire profond) : rendement et taux d'huile favorisés par la densité

- |          |                         |          |                      |
|----------|-------------------------|----------|----------------------|
| ◆ Zone A | Argilo calcaire moyen   | × Zone D | Argile très profonde |
| ■ Zone B | Sablo-argileux sup.     | × Zone E | Croisement zones     |
| ▲ Zone C | Argilo calcaire profond | ● Zone F | Argile profonde      |

# Impact de la densité de semis sur la marge brute

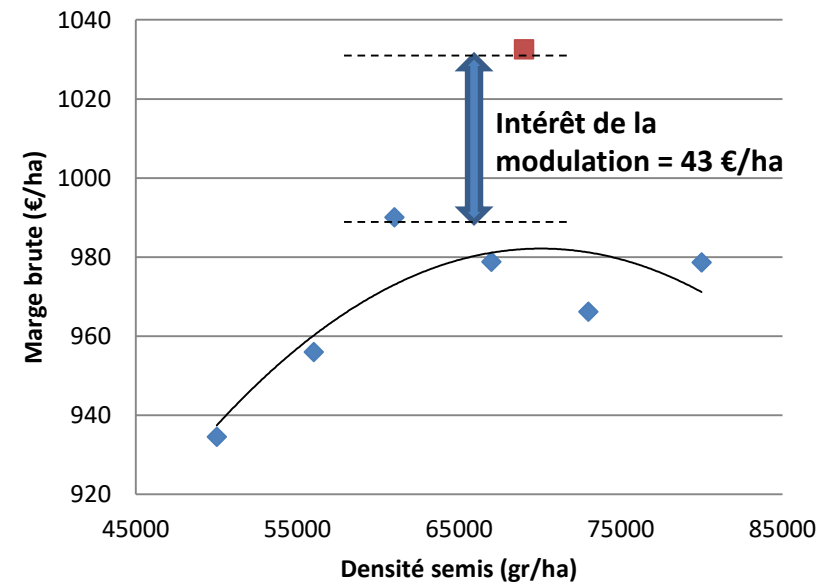
Si la parcelle entière est conduite de la même manière

## Marge brute en fonction de la densité levée par zone



◆ Zone A    ■ Zone B    ▲ Zone C  
× Zone D    \* Zone E    ● Zone F

## Marge brute moyenne de la parcelle selon la densité de semis



◆ Densité non modulée    ■ Densité modulée à l'optimum dans chaque zone

*moyenne pondérée à la surface de chaque zone*



# Moduler ? Une simple histoire de communication...

## Le système de guidage GPS



La console

L'épandeur d'engrais

# Pas équipé pour moduler, mais j'ai un smartphone

Sur la nouvelle version de Précé d'Oc, vous pouvez vous géolocaliser sur la carte en direct depuis la parcelle, en cliquant sur le bouton en haut à droite de la carte depuis votre smartphone.

Ce bouton est disponible sur l'ensemble des cartes de Précé d'Oc (onglet visualisation et modulation).



Écran d'accueil



Écran « Visualisation > Ma ferme »



Écran « Validation de la carte »

*Moins pratique qu'avec une console autonome mais utile tout de même !*



# Modulation Intra-Parcellaire : Notre Méthode

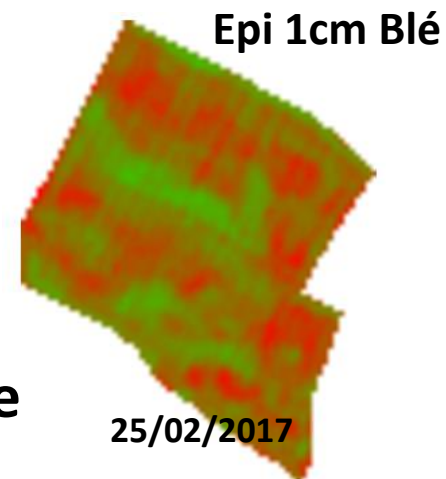
## 1) Caractériser l'hétérogénéité intra-parcellaire



ou



= Choisir une carte d'hétérogénéité



Vert = très végétatif  
Rouge = peu végétatif

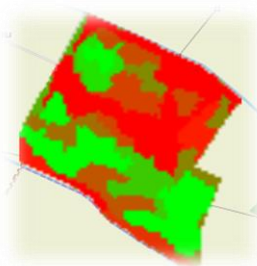
## 2) Appliquer une règle de décision agronomique

Exemple : Apport tallage sur blé tendre

- ✓ Zones végétatives = moins d'azote
- ✓ Zones peu végétatives = plus d'azote
- ✓ Choix dose pivot : 46uN
- ✓ Choix amplitude : +/- 14uN

## 3) Moduler l'application d'intrant

Carte de modulation



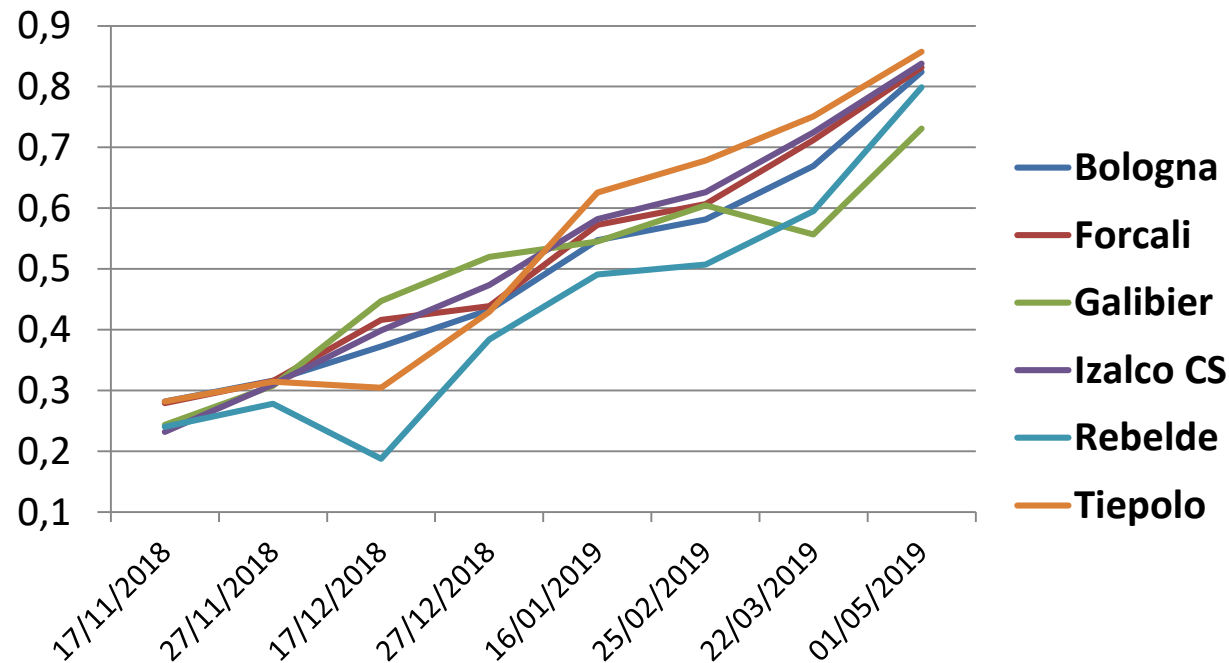
Console de modulation

## 4) Analyser a posteriori la démarche de modulation

# Perspectives

## ❖ Valoriser les données de PRECI D'OC pour les agriculteurs :

- Objectiver l'état d'une parcelle pour corriger
- Augmenter le nombre de « retours terrain »



**Exemple : 252 parcelles de blés de force 2019**

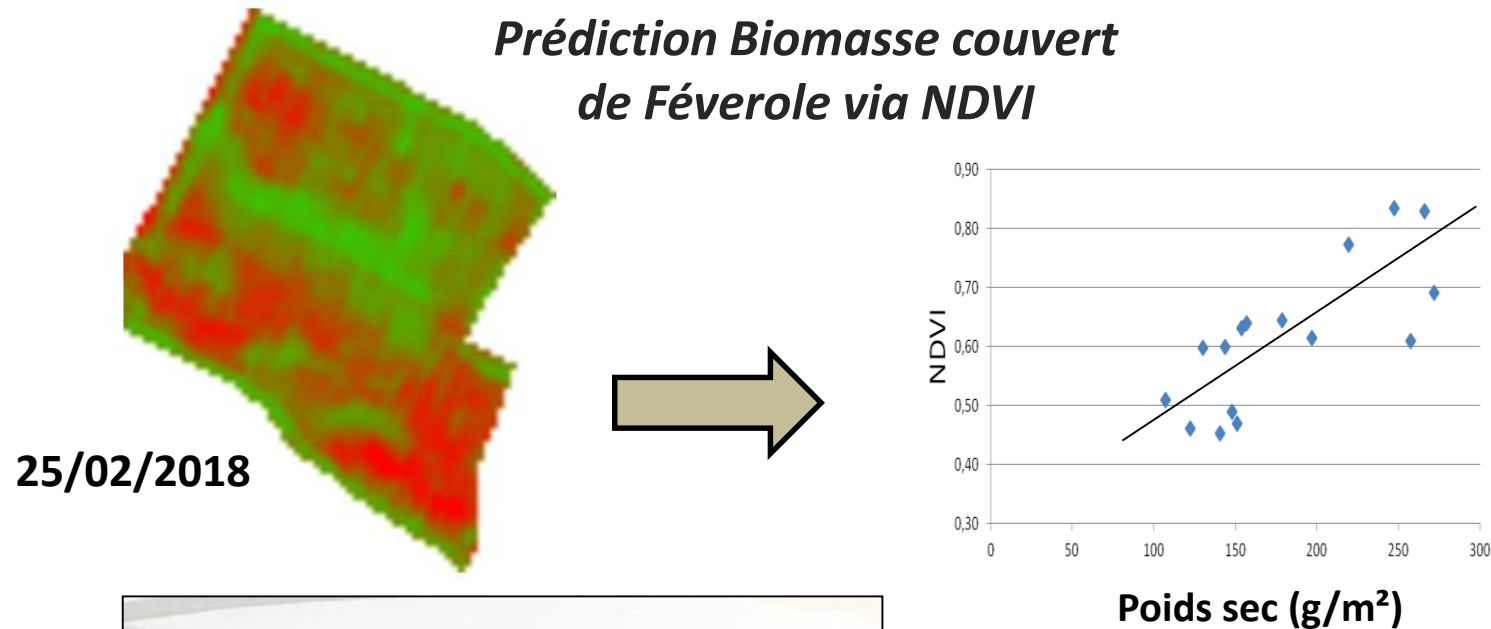
Izalco CS (99), Bologna (77), Forcali (40), Tiepolo (22), Rebelde (8) et Galibier (6).



# Perspectives

## ❖ Valoriser les données de PRECI D'OC pour les agriculteurs :

- Faire des mesures directes (rdt, biomasse...)



# Perspectives

- ❖ Accès à de nouveaux Indices hétérogénéité
- ❖ Bilans Carbone à l'échelle des parcelles
- ❖ Import des Cartes de Rendement  
Analyse démarche modulation
- ❖ Lien avec *CERE D'OC 2.0*  
(logiciel gestion parcellaire)

Céré d'Oc



Céré d'Oc



Créer une intervention 

Liste des interventions (7)

Filtrer 

Trier 

Semis 8.4ha

Effectué

lundi 3 juin 2019

Ecole Hangar Nord Bord de route

MAGPHOS CHELAL B PSA24



Fertilisation / Amendement 14.0ha

Effectué

lundi 3 juin 2019

Hangar Sud Hangar Nord

MAGPHOS



Travail du sol 7.1ha

Planifié

lundi 3 juin 2019

Ecole Hangar Nord



Traitement phytosanitaire 6.0ha

Prévu

dimanche 2 juin 2019

Hangar Nord Bord de route

MAGPHOS



Traitement phytosanitaire 8.4ha

Effectué

dimanche 2 juin 2019