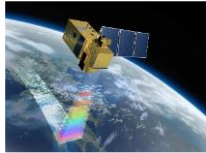
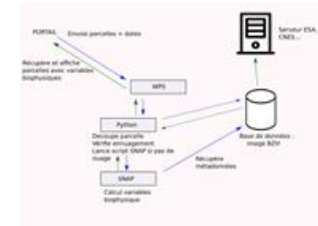
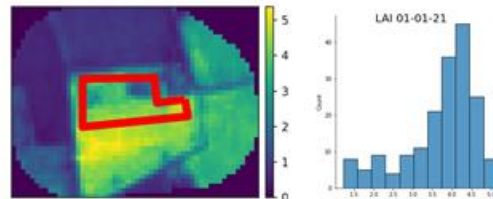
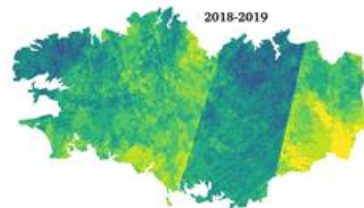


Valorisation des images Sentinel-2 pour le suivi des couverts d'interculture (CI) en Bretagne : élaboration du web service WS-CI



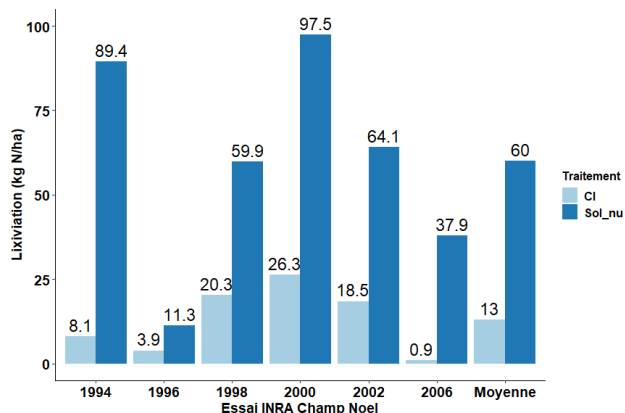
T. Lorée, T. Morvan, J. Guil, H. Nicolas, H. Squividant



Eléments de contexte

Les couverts d'interculture pièges à nitrates (CIPAN ou CI) constituent un levier très efficace pour limiter / maîtriser les pertes de N par lixiviation du nitrate, en particulier sur les intercultures longues

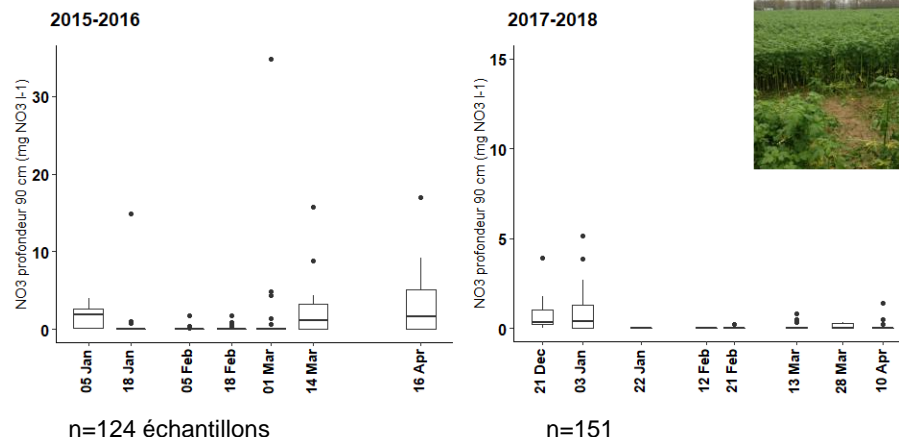
Essai de Champ Noël Rotation maïs / blé – phacélie



Hanocq et Morvan, 2012

EFELE

Rotation maïs / blé – moutarde – [NO₃] sous CI moutarde :



n=124 échantillons

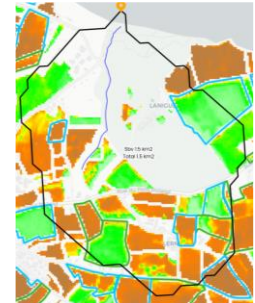
n=151

Morvan et al, 2020

Contexte et motivation

Les marges de progrès possibles et attendues concernant la mise en œuvre et l'évaluation de l'efficacité des CI pourraient être facilitées par la valorisation des **fortes potentialités des données Sentinel-2** pour :

- Améliorer le diagnostic de l'efficacité des couverts -- > caractérisation de la dynamique de croissance et de l'hétérogénéité spatiale intraparcellaire des CI
- Compléter les observations / mesures de terrain et améliorer l'estimation de l'azote absorbé par le couvert à son maximum d'absorption (terme Mrci)
- Analyser l'évolution de la couverture des sols entre années successives, à différentes échelles : exploitation agricole ou territoire

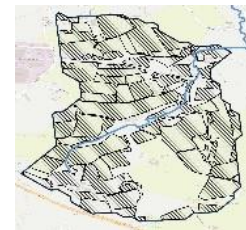


Contexte et motivation

Acteurs potentiellement intéressés par cette utilisation des données Sentinel-2 :

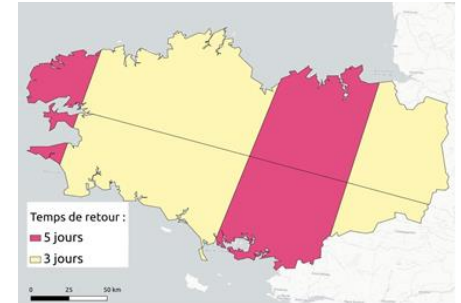
- Le décideur, le conseiller / animateur de BV... --> intérêt d'un outil d'analyse et de diagnostic de la couverture des sols par les CI, à l'échelle d'un groupe d'exploitations, d'un BV, d'une baie Algues Vertes, d'un captage...,
- L'agriculteur :
 - Questionnement sur ses pratiques en vue de les améliorer (démarche d'apprentissage)
 - Objectif de mieux estimer la disponibilité en N résultant de la minéralisation de la biomasse du couvert --> amélioration de la gestion globale de l'azote sur son parcellaire

Proposition d'élaborer un web service (WS), décliné en un WS agriculteur et un WS territoire, apportant des réponses différenciées aux attentes de ces différents acteurs.

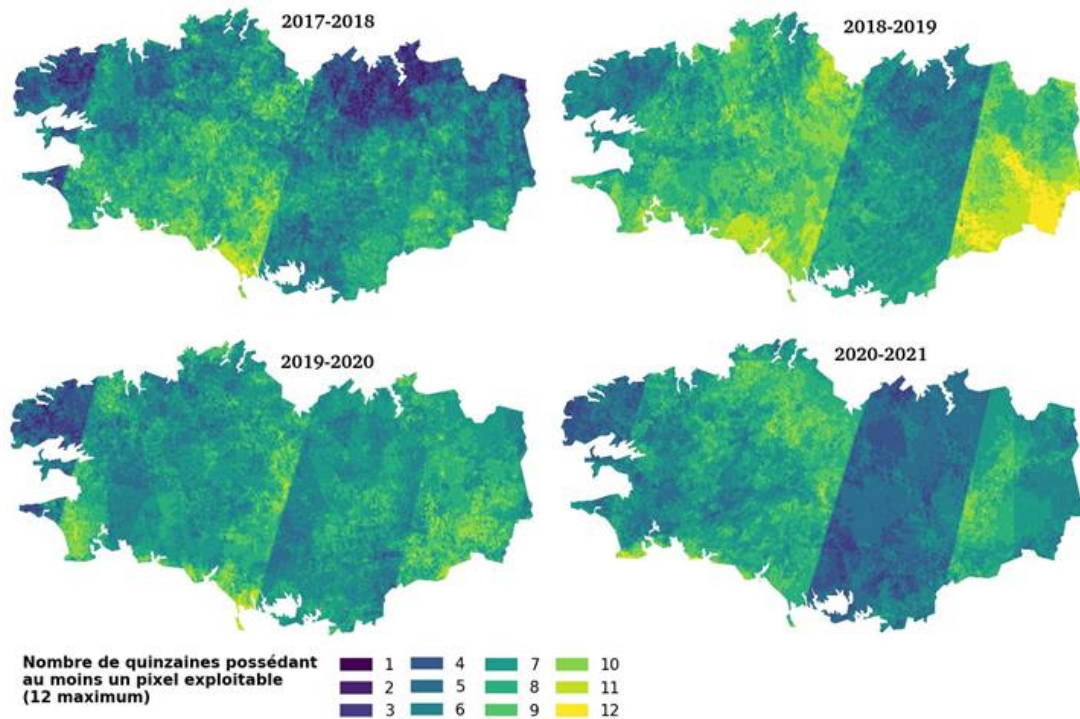


Les raisons de la forte potentialité des données Sentinel-2

- Une acquisition de données à haute fréquence : temps de retour de 5 jours, et même de 3 jours sur 64 % du territoire breton,
- Une disponibilité satisfaisante en images sur la période automne-hiver de développement des CI (T. Lorée et al, 2021)
- Des bandes spectrales permettant le calcul d'indices de végétation (IV) pertinents
- Une approche très fine de l'hétérogénéité spatiale des couverts (pixels de 10 m = 100 points par ha)
- L'accès gratuit aux données -- > développement de services à très faible coût
- La possibilité de décrire une trajectoire d'évolution depuis l'automne-hiver 2017-2018



Disponibilité en images sur la temporalité de la quinzaine de jours



3 facteurs déterminants de la disponibilité en images :

- Un effet année
- La période de retour des satellites -- > bandes à 5 jours très nettement identifiées
- La localisation géographique -- > gradient Nord-Sud et Ouest-Est

% de pixels pour lesquels on dispose d'au moins une donnée sur 5 quinzaines ou plus :

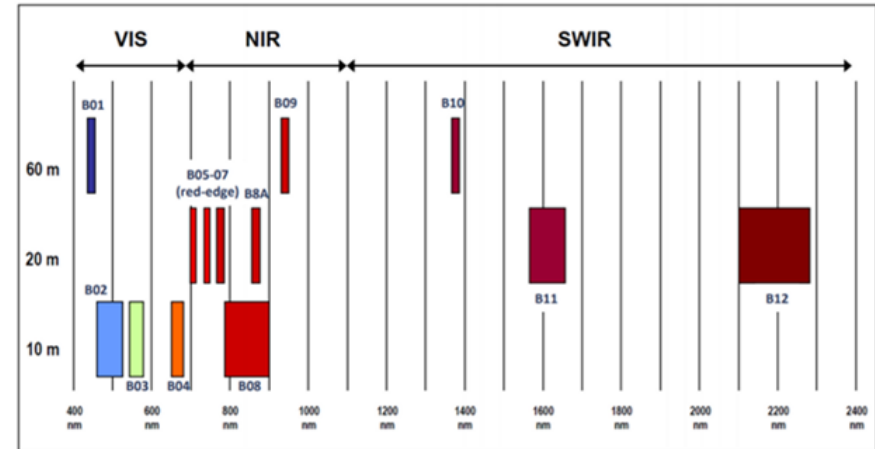
2017-2018	86.2
2018-2019	98.5
2019-2020	96.5
2020-2021	89.4

T. Lorée, T. Morvan, H. Nicolas, 2021. Étude exploratoire de la potentialité de l'utilisation des images Sentinel-2 pour le suivi des couverts d'interculture en Bretagne

Bandes spectrales Sentinel-2

Instrument de mesure : **imageur optique multispectral MSI** qui mesure la réflectance :

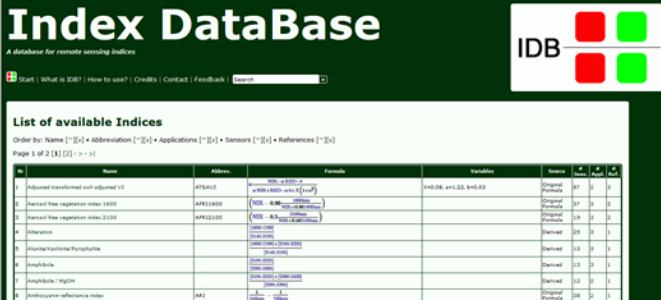
- pour 13 bandes spectrales situées dans le VIS, le PIR (NIR) et le MIR (SWIR),
- largeur des bandes de 15 nm (B5-B6) à 180 nm (B12)
- 3 bandes destinées aux corrections atmosphériques (B1, B9 et B10)
- résolution :
 - 10 m pour Bleu/Vert/Rouge et PIR,
 - 60 m pour les 3 bandes utilisées pour la correction atmosphérique
 - 20 m pour les autres bandes



Représentation des différentes bandes spectrales sentinel-2. VIS : Visible, NIR : proche infrarouge, SWIR : infrarouge cour. (Source : Gaetano, Le programme Copernicus et la mission Sentinel-2, 2018)

Les indices de végétation (IV)

- IV fondé sur l'utilisation des données multispectrales pour calculer une grandeur qui rende compte de l'état de la végétation
- Simplement calculés par une différence ou un ratio : ex du **NDVI** basé sur la différence (PIR – R), normalisée par la somme (PIR + R).
- Indices plus complexes :
 - prise en compte de l'influence du sol , de certaines caractéristiques de l'atmosphère
 - méthode statistique de type réseau de neurones....
 - Combinaison d'IV
- IV centrés sur l'utilisation du Vert (550 nm), du Rouge (660 nm), du PIR et du red-edge (rouge limite – 735 nm)
- Plus de 300 IV recensés dans l'Index DataBase (IDB)



Index DataBase
A database for remote sensing indices

Home | What is IDB? | How to use? | Credits | Contact | Feedback | Search

List of available Indices
Order by: Name [^] | Abbreviation [v] | Applications [^] | Sensors [^] | References [^]

Page 3 of 2 [1] [2] > >>

#	Name	Abbrev.	Formula	Variables	Source	Co.	Pa.	Co.
1.	Adjusted transformed soil adjusted VI	ATEAVI	$\frac{1}{2} \frac{(NIR - RED) - a_{soil} \cdot (NIR + RED)}{(NIR + RED) + a_{soil} \cdot (NIR - RED)}$	TM10B, TM12B, TM14B	Global	01	2	3
2.	Normalized fire vegetation index 1810	AFI1810	$\frac{NIR - 0.86 \cdot (NIR + RED)}{NIR + RED}$	TM10B, TM12B, TM14B	Global	27	2	2
3.	Normalized fire vegetation index 2110	AFI2110	$\frac{NIR - 0.86 \cdot (NIR + RED)}{NIR + RED}$	TM10B, TM12B, TM14B	Global	19	2	2
4.	Alteration		$\frac{NIR - 0.86 \cdot (NIR + RED)}{NIR + RED}$	TM10B, TM12B, TM14B	Global	28	2	2
5.	Alumina/Calcium/Phosphorus		$\frac{TM10B - 0.5 \cdot (TM12B + TM14B)}{TM10B + TM12B + TM14B}$	TM10B, TM12B, TM14B	Global	19	2	1
6.	Asphaltic		$\frac{TM10B - 0.5 \cdot (TM12B + TM14B)}{TM10B + TM12B + TM14B}$	TM10B, TM12B, TM14B	Global	19	2	1
7.	Asphaltic + MgOx		$\frac{TM10B - 0.5 \cdot (TM12B + TM14B)}{TM10B + TM12B + TM14B}$	TM10B, TM12B, TM14B	Global	19	2	1
8.	Asphaltic + MgOx		$\frac{TM10B - 0.5 \cdot (TM12B + TM14B)}{TM10B + TM12B + TM14B}$	TM10B, TM12B, TM14B	Global	19	2	1
9.	Asphaltic + MgOx		$\frac{TM10B - 0.5 \cdot (TM12B + TM14B)}{TM10B + TM12B + TM14B}$	TM10B, TM12B, TM14B	Global	19	2	1
10.	Asphaltic + MgOx		$\frac{TM10B - 0.5 \cdot (TM12B + TM14B)}{TM10B + TM12B + TM14B}$	TM10B, TM12B, TM14B	Global	19	2	1
11.	Asphaltic + MgOx		$\frac{TM10B - 0.5 \cdot (TM12B + TM14B)}{TM10B + TM12B + TM14B}$	TM10B, TM12B, TM14B	Global	19	2	1
12.	Asphaltic + MgOx		$\frac{TM10B - 0.5 \cdot (TM12B + TM14B)}{TM10B + TM12B + TM14B}$	TM10B, TM12B, TM14B	Global	19	2	1
13.	Asphaltic + MgOx		$\frac{TM10B - 0.5 \cdot (TM12B + TM14B)}{TM10B + TM12B + TM14B}$	TM10B, TM12B, TM14B	Global	19	2	1
14.	Asphaltic + MgOx		$\frac{TM10B - 0.5 \cdot (TM12B + TM14B)}{TM10B + TM12B + TM14B}$	TM10B, TM12B, TM14B	Global	19	2	1
15.	Asphaltic + MgOx		$\frac{TM10B - 0.5 \cdot (TM12B + TM14B)}{TM10B + TM12B + TM14B}$	TM10B, TM12B, TM14B	Global	19	2	1
16.	Asphaltic + MgOx		$\frac{TM10B - 0.5 \cdot (TM12B + TM14B)}{TM10B + TM12B + TM14B}$	TM10B, TM12B, TM14B	Global	19	2	1
17.	Asphaltic + MgOx		$\frac{TM10B - 0.5 \cdot (TM12B + TM14B)}{TM10B + TM12B + TM14B}$	TM10B, TM12B, TM14B	Global	19	2	1
18.	Asphaltic + MgOx		$\frac{TM10B - 0.5 \cdot (TM12B + TM14B)}{TM10B + TM12B + TM14B}$	TM10B, TM12B, TM14B	Global	19	2	1
19.	Asphaltic + MgOx		$\frac{TM10B - 0.5 \cdot (TM12B + TM14B)}{TM10B + TM12B + TM14B}$	TM10B, TM12B, TM14B	Global	19	2	1
20.	Asphaltic + MgOx		$\frac{TM10B - 0.5 \cdot (TM12B + TM14B)}{TM10B + TM12B + TM14B}$	TM10B, TM12B, TM14B	Global	19	2	1
21.	Asphaltic + MgOx		$\frac{TM10B - 0.5 \cdot (TM12B + TM14B)}{TM10B + TM12B + TM14B}$	TM10B, TM12B, TM14B	Global	19	2	1
22.	Asphaltic + MgOx		$\frac{TM10B - 0.5 \cdot (TM12B + TM14B)}{TM10B + TM12B + TM14B}$	TM10B, TM12B, TM14B	Global	19	2	1
23.	Asphaltic + MgOx		$\frac{TM10B - 0.5 \cdot (TM12B + TM14B)}{TM10B + TM12B + TM14B}$	TM10B, TM12B, TM14B	Global	19	2	1
24.	Asphaltic + MgOx		$\frac{TM10B - 0.5 \cdot (TM12B + TM14B)}{TM10B + TM12B + TM14B}$	TM10B, TM12B, TM14B	Global	19	2	1
25.	Asphaltic + MgOx		$\frac{TM10B - 0.5 \cdot (TM12B + TM14B)}{TM10B + TM12B + TM14B}$	TM10B, TM12B, TM14B	Global	19	2	1
26.	Asphaltic + MgOx		$\frac{TM10B - 0.5 \cdot (TM12B + TM14B)}{TM10B + TM12B + TM14B}$	TM10B, TM12B, TM14B	Global	19	2	1
27.	Asphaltic + MgOx		$\frac{TM10B - 0.5 \cdot (TM12B + TM14B)}{TM10B + TM12B + TM14B}$	TM10B, TM12B, TM14B	Global	19	2	1
28.	Asphaltic + MgOx		$\frac{TM10B - 0.5 \cdot (TM12B + TM14B)}{TM10B + TM12B + TM14B}$	TM10B, TM12B, TM14B	Global	19	2	1
29.	Asphaltic + MgOx		$\frac{TM10B - 0.5 \cdot (TM12B + TM14B)}{TM10B + TM12B + TM14B}$	TM10B, TM12B, TM14B	Global	19	2	1
30.	Asphaltic + MgOx		$\frac{TM10B - 0.5 \cdot (TM12B + TM14B)}{TM10B + TM12B + TM14B}$	TM10B, TM12B, TM14B	Global	19	2	1

Intérêt et limites des indices de végétation (IV)

Indices de végétation pertinents pour décrire la couverture végétale :

- FCOVER et FAPAR : proportion de sol recouvert par la végétation et fraction de radiation solaire absorbée par la photosynthèse --- > couverture du sol / hétérogénéité
- LAI et CCC : indice de surface foliaire et teneur en chlorophylle --- > corrélés avec la biomasse du couvert et l'azote absorbé, mais pas de relation générale entre les IV et les var agronomiques d'intérêt (déterminants liés à l'espèce végétale)
 - ➔ *nécessité de construire un référentiel pour élaborer des indicateurs de niveau de biomasse et d'azote absorbé.*
- Besoin d'une mesure de biomasse réalisée au cours du cycle de développement pour quantifier précisément la biomasse et l'azote absorbé, requis pour calculer Mrci.
 - ➔ *Une mesure de terrain (biomasse fraîche) convertie en biomasse sèche et en N absorbé par la méthode Merci*



La méthode MERCI



Elaborée par la CRA Nouvelle Aquitaine
Coll. Arvalis, INRAE(UMR AGIR) et Bordeaux Sciences Agro

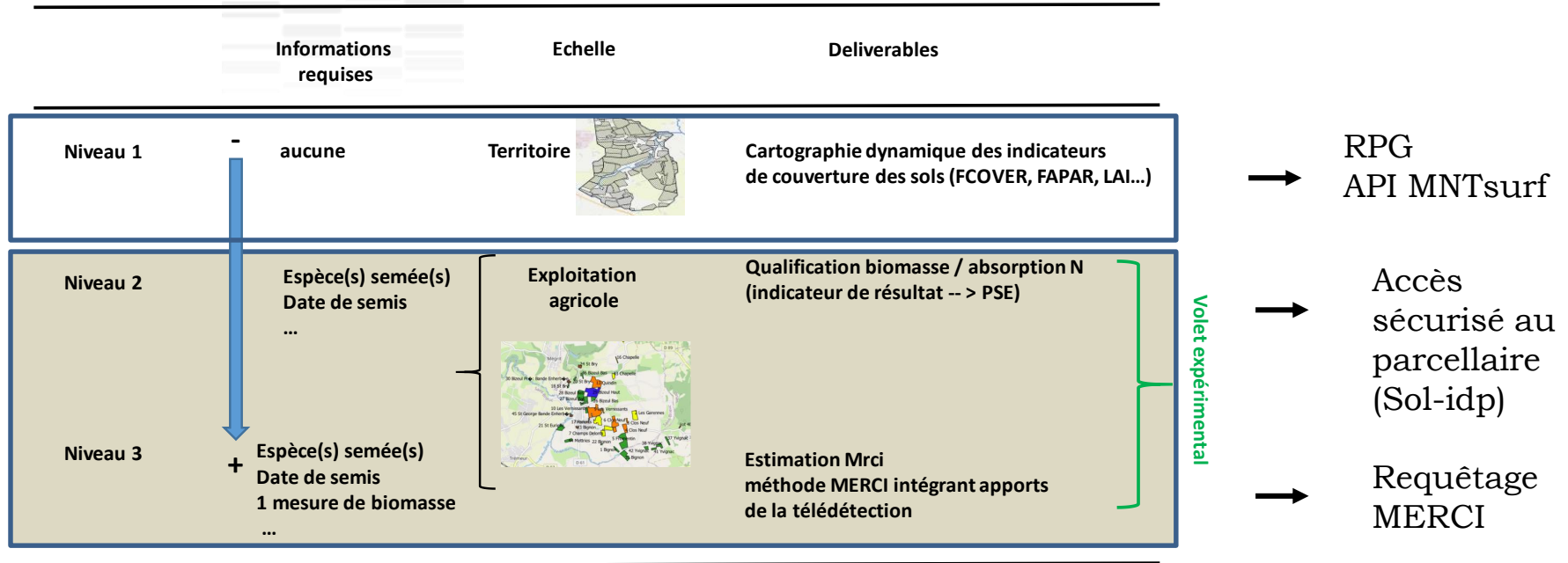
Objectif initial d'estimer la biomasse et les quantités de N absorbées et restituées par les CI

Méthode fondée sur :

- L'estimation de la biomasse sèche et de N absorbé, à partir de la mesure de la biomasse fraîche -- > mesure convertie en biomasse sèche et N absorbé grâce à un référentiel issu d'expérimentations
- L'estimation de la dynamique de minéralisation de l'azote du couvert -- > approche modèle réalisée avec STICS pour estimer la disponibilité en N pour la culture suivante (terme Mrci)

Outil initialement disponible sur un fichier excel, converti en un web service gratuit et d'accès libre depuis 2020, sous l'url <https://methode-merci.fr>

Le projet de web service CI



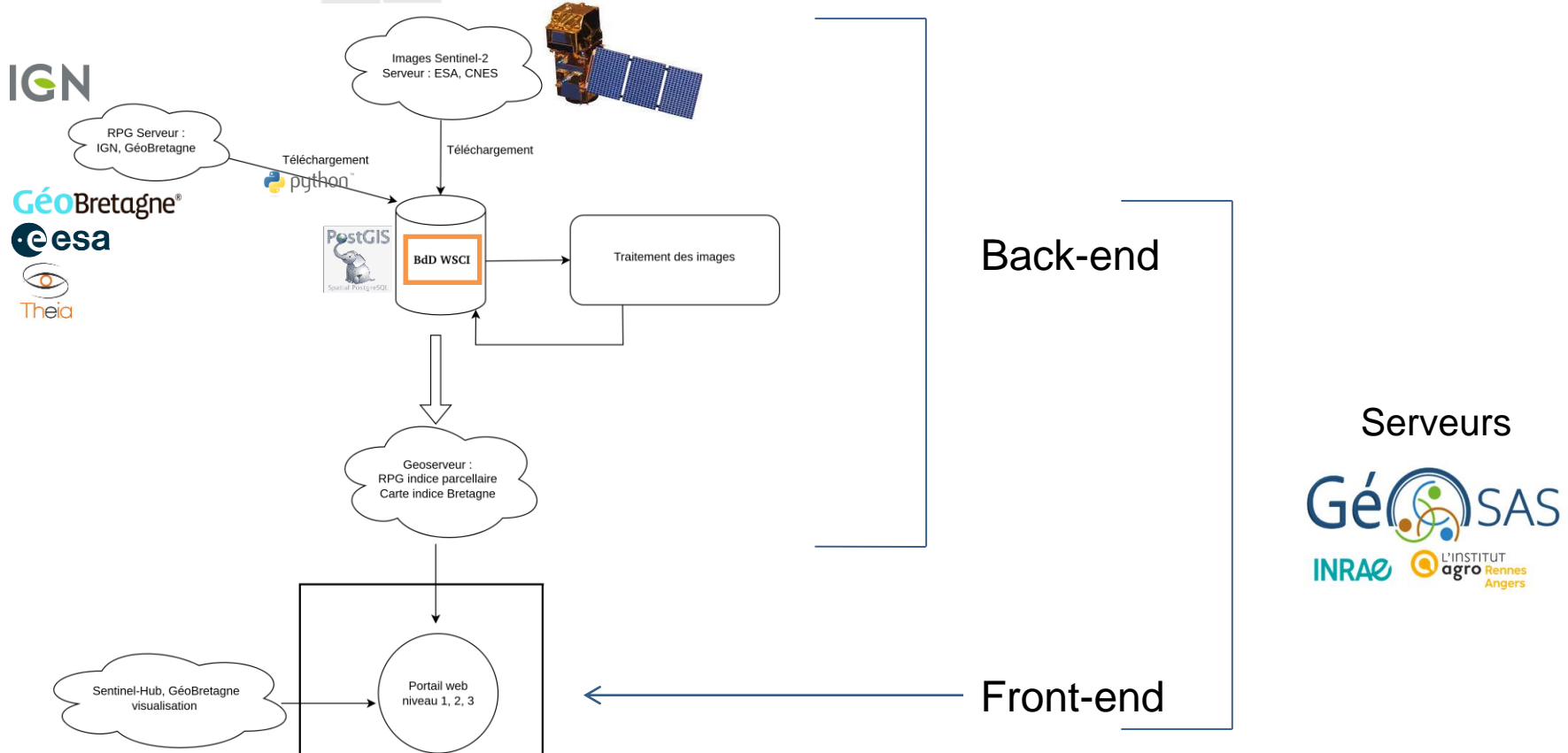
Planning prévisionnel

	2021			2022												2023						2024								
	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Jul	Août	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Jul	Août	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	
Elaboration du web service CI																														
Cahier des charges et spécification																														
Développement informatique :																														
<i>Module 'Territoire' (niveau 1)</i>																														
<i>Test</i>																														
<i>Préproduction</i>																														
<i>Production</i>																														
<i>Module 'exploitation agricole' (niveaux 2 et 3)</i>																														
<i>Test</i>																														
<i>Préproduction</i>																														
<i>Production</i>																														
Volet expérimental																														
Rédaction des protocoles et des feuilles de renseignement																														
Organisation des campagnes de mesure																														
Campagnes de mesure																														
Synthèse des données																														
Analyse de données et intégration dans le web service																														

WS-CI Territoire en pré production pour le dernier trimestre 2022

WS-CI Agriculteur en pré production à partir de l'été 2023

Architecture du service WS-CI (projet)



Exemples de visuels de la version en développement du WS-CI Territoire

1. Sélection de la zone d'étude

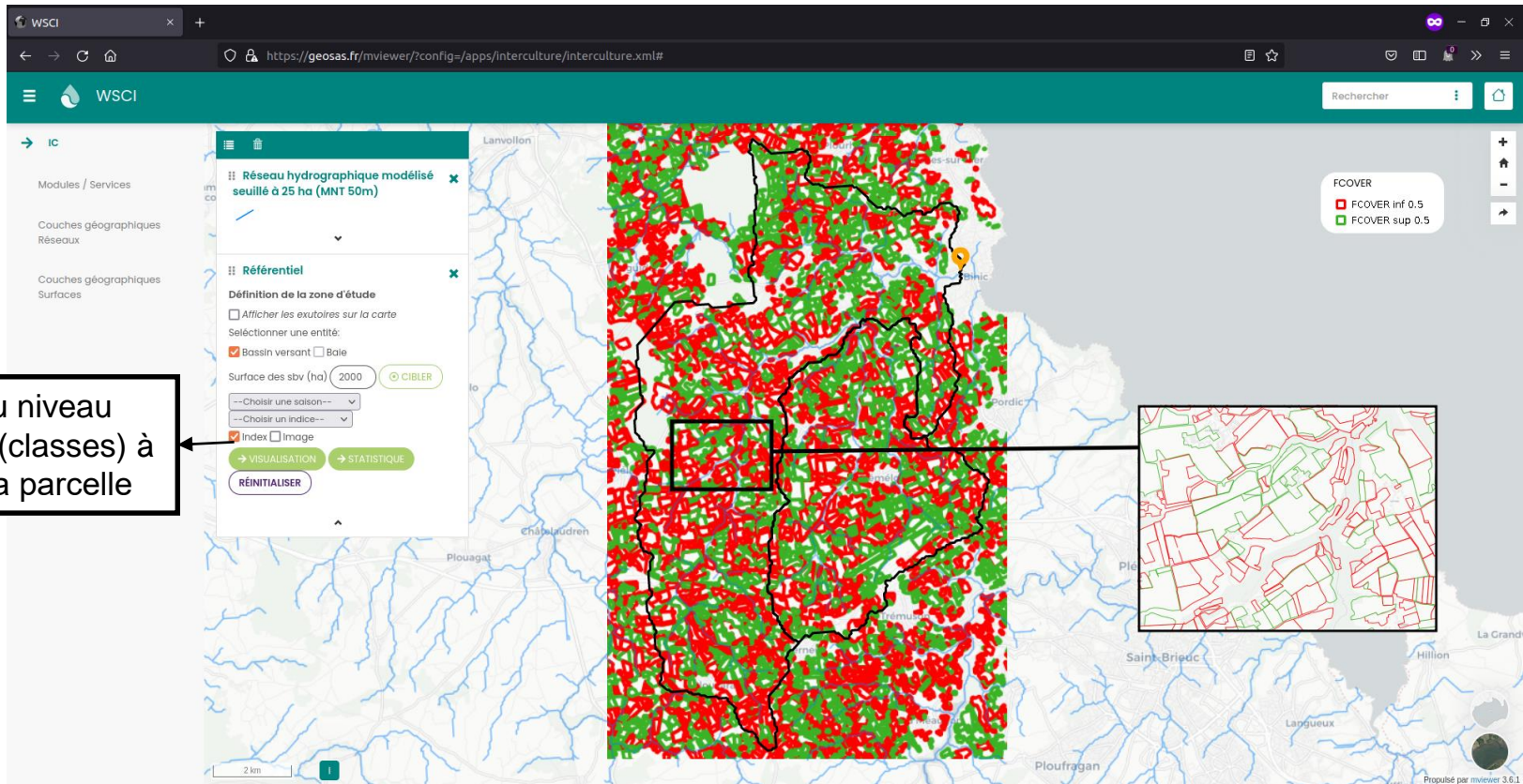
The screenshot shows the WSCI web application interface. The browser address bar displays the URL: <https://geosas.fr/mviewer/?config=/apps/interculture/interculture.xm?#>. The interface features a sidebar on the left with a menu icon and a search bar. The main content area displays a map of a watershed with a black outline. A yellow dot on the map indicates the selected study area. The central panel shows configuration options for the study area, including a dropdown menu for the season (2018-2019), a dropdown menu for the IV (1000), and a dropdown menu for the mode of representation (Image). The central panel also includes a 'RÉINITIALISER' button and a 'STATISTIQUE' button. The map shows a network of blue lines representing the hydrographic network, with a scale bar at the bottom left indicating 2 km. The bottom right corner of the map displays the text 'Proposé par mviewer 3.6.1'.

2. Choix de la saison --> 2018-2019

3. Choix de l'IV

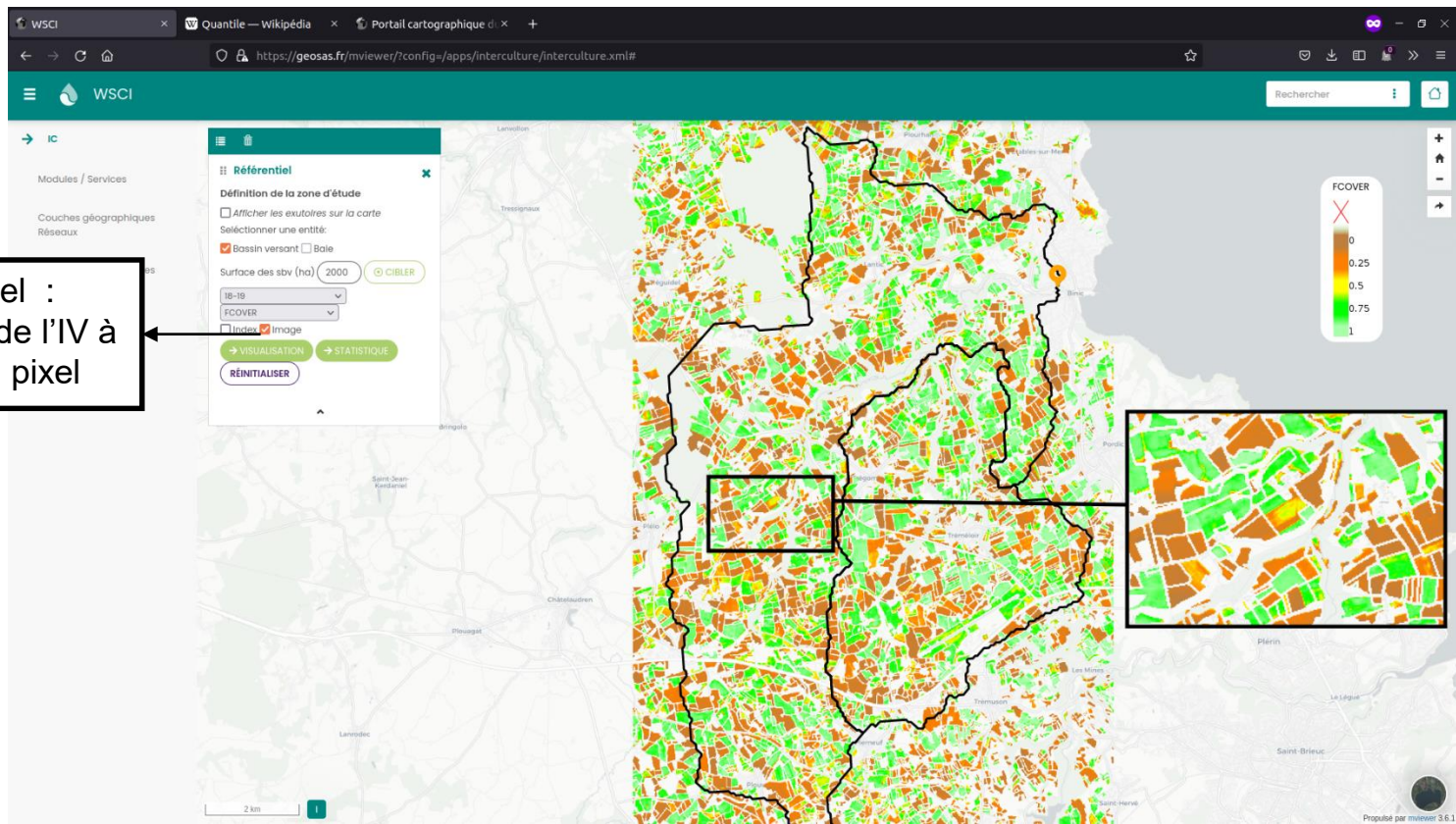
4. Choix du mode de représentation

Exemple de visuels de la version en développement du WS-CI Territoire



1^{er} visuel du niveau moyen de l'IV (classes) à l'échelle de la parcelle

Exemples de visuels de la version en développement du WS-CI Territoire



2ème visuel :
cartographie de l'IV à
l'échelle du pixel

Exemples de visuels de la version en développement du WS-CI Territoire

Extraction zonale de statistiques et de séries temporelles

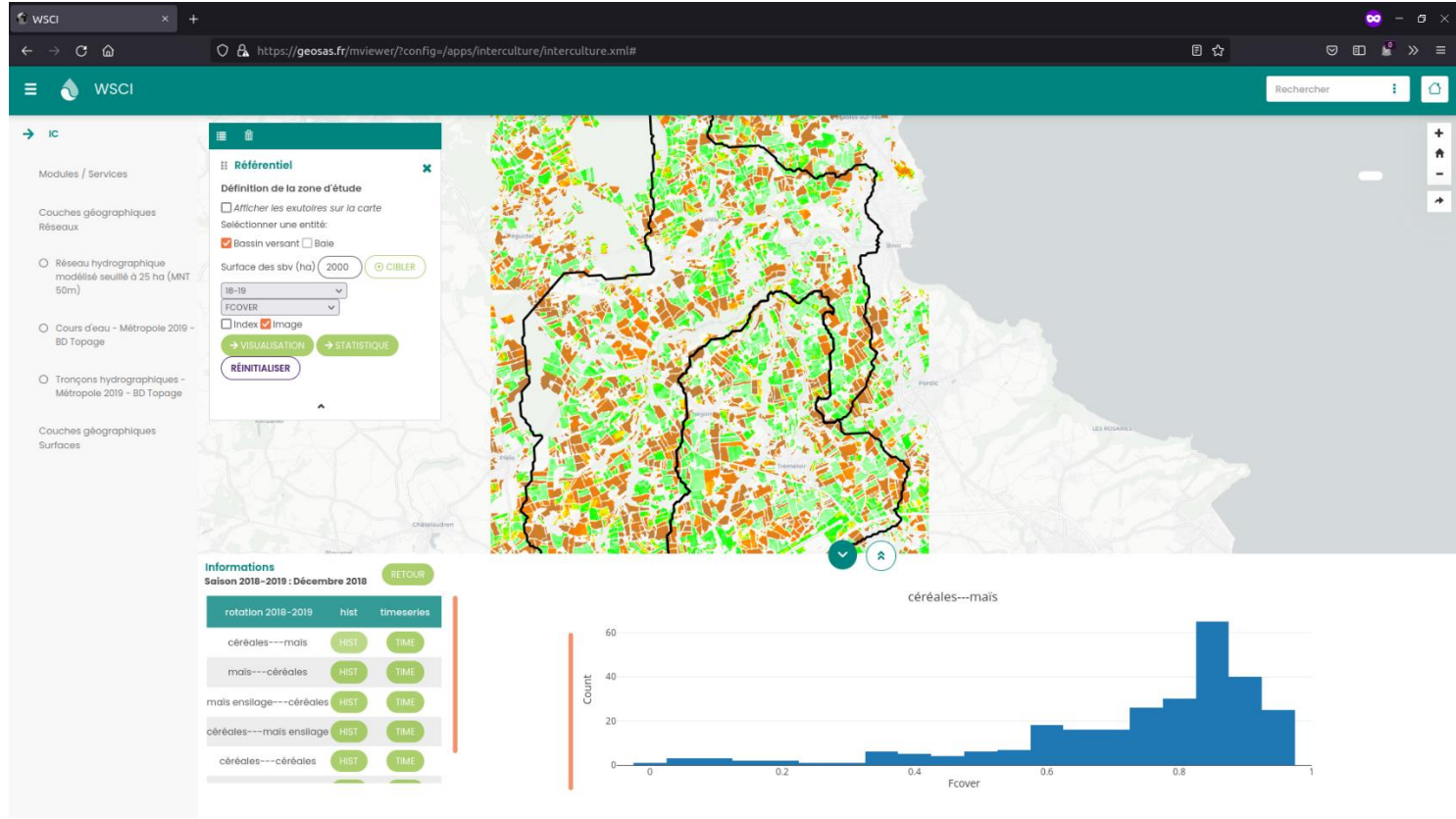
Date observation

The screenshot shows the WSCI web application interface. The browser address bar displays <https://geosas.fr/mviewer/?config=/apps/interculture/interculture.xml#>. The application has a dark green header with the WSCI logo and a search bar. On the left, there is a sidebar with a menu and a list of layers under 'Couches géographiques'. The main area features a map with a color-coded overlay. A configuration panel titled 'Référentiel' is open, showing options for 'Afficher les exutoires sur la carte', 'Sélectionner une entité' (with 'Bassin versant' selected), 'Surface des sbv (ha)' (set to 2000), 'IB-18', 'FCOVER', 'Index', and 'Image' (checked). A 'STATISTIQUE' button is visible. Below the map, there is an 'Informations' section for 'Saison 2018-2019 : Décembre 2018' with a 'STATISTIQUE AVANCÉE' button. The 'Culture principale (+5% surface)' table is shown below.

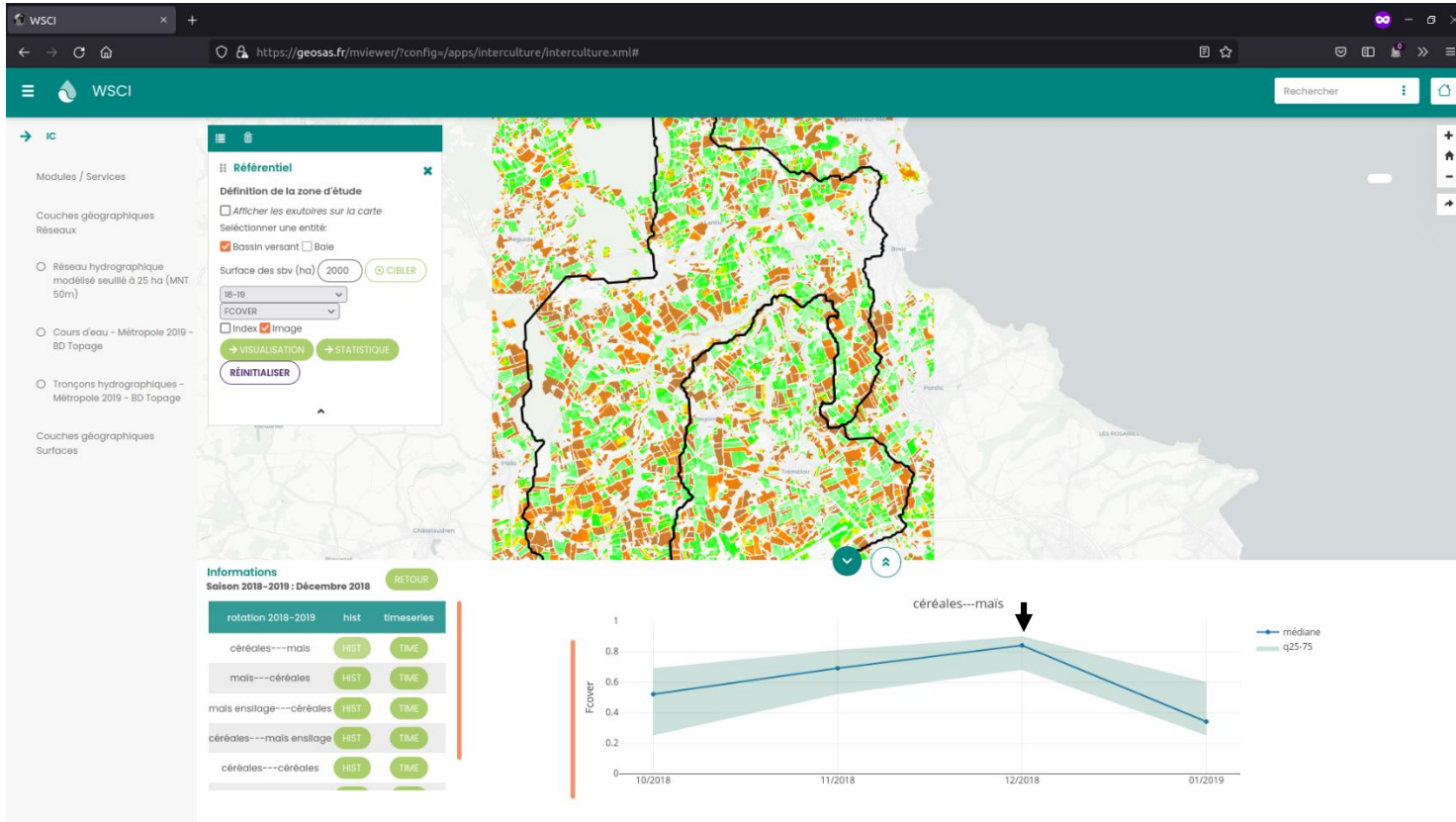
recolte 2019	surface (ha)	% surface	parcelle
céréales	2543.01	42.52	905
maïs	876.54	14.65	339
maïs ensilage	854.82	14.29	342
prairie permanente	629.46	10.52	543
prairie temporaire	557.03	9.31	352
colza	378.57	6.33	112

rotation	pct_surface	Fcover r1	rotation_2	pct_surface_2	Fcover r2	pct_surface_rotation
céréales---maïs	13.8	0.84	maïs---céréales	13.7	0.12	27.5
maïs ensilage---céréales	13	0.14	céréales---maïs ensilage	10.5	0.85	23.4
céréales---colza	6.3	0.87	colza---céréales	6	0.12	12.3
céréales---céréales	9.4	0.14		0	0	9.4

Exemples de visuels de la version en développement du WS-CI Territoire



Exemples de visuels de la version en développement du WS-CI Territoire



Le volet expérimental

- Mesures de biomasse fraîche, teneur en MS et en N de CI sur un réseau de parcelles
- Sélection de 10 types de CI
- Objectif est de disposer de 60 mesures par type de couvert, -- > 600 mesures
- Prélèvements majoritairement réalisés par les CAB (500 vs 100 par INRAE) et sollicitation de la contribution d'autres acteurs de terrain : Baies, PSE, captages ...

Couverts mono espèces

Moutarde blanche

Phacélie

Radis f.

Seigle

Avoines (av. rude, av.noire)

Avoine noire

Colza f.

Ray grass (RGI, RGA, RGH)

Navette

Sarrasin

Sorgho f.

Moha

Associations d'espèces

Phacélie / Radis f.

Phacélie / Av. rude

Vesce / Av.pr. / Phacélie /Sarrasin

Mo. Abyssinie /Phacélie / Radis ch. / Tr Al.

Av. diploïde/Radis ch. / Ph / Vesce / Tr. Al.

Av. diploïde / Seigle

To / Av. diploïde /Radis ch. / Phacélie

Av pr. / Vesce

Mo. Abyssinie / Tr. Al.



Conclusion

- **Liens avec d'autres projets :**

- **NIVA** : collaboration entre ASP, IGN et INRAE -- > *Objectif d'utiliser les données Sentinel-2 pour faire le monitoring du taux de couverture des sols en automne hiver, et atteindre un niveau de contrôle de 100 % (exigence de l'UE)*
- **CoverSat** : collaboration entre la société Terranis, le CESBIO, l'INRAE, la Coopérative Euralis et la Chambre d'Agriculture Nouvelle-Aquitaine -- > *Convergence d'objectifs entre nos projets et collaboration envisagée avec INRAE et CESBIO*

- Projet WS-CI rendu possible grâce au savoir-faire développé par l'UMR, et par le choix des standards du logiciel libre fondés sur les principes de modularité, d'interopérabilité -- > développement à coût réduit d'un **écosystème de services** (API MNT surf, API Sol, API de reconstitution de l'HC, WS Sol-AID, API Sol-IDP...)