

# CIPANHUB : un web service multi-agent interopérable dédié au suivi expérimental des couverts d'interculture

## Correspondance

[thierry.morvan@inrae.fr](mailto:thierry.morvan@inrae.fr)

Tom LOREE<sup>1</sup>  
Thierry MORVAN<sup>2</sup>  
Gwenaél MORIN<sup>2</sup>  
Hervé SQUIVIDANT<sup>3</sup>

## Résumé.

Les couverts d'interculture pièges à nitrates (CIPAN) constituent un levier très efficace pour la maîtrise des pertes par lixiviation de l'azote dans les agrosystèmes. Leur biodégradation après destruction contribue en outre à fournir de l'azote à la culture suivante, en quantités très variables selon la biomasse et l'azote absorbé par le couvert. Les données de télédétection des satellites Sentinel-2 présentent de fortes potentialités pour cette problématique. Elles permettent d'élaborer des modèles prédictifs fondés sur l'utilisation d'indices de végétation, et paramétrés à partir de mesures au sol des variables d'intérêt agronomiques. Cela implique la mise en œuvre d'un volet expérimental déployé à grande échelle dans un laps de temps court sur un grand nombre de parcelles, mobilisant de fait une équipe d'une quinzaine de personnes chargées d'appliquer le protocole expérimental. Ce protocole est simple sur le principe, mais demande de réunir un nombre assez important de mesures et de métadonnées ; c'est pourquoi, il a donc été décidé de créer un portail web, pour i) faciliter l'appropriation du protocole par les préleveurs, ii) simplifier l'acquisition des données et des métadonnées, et iii) gérer l'avancement de la campagne. Le portail, baptisé CIPANHUB, a été développé en interne en utilisant des protocoles de diffusion cartographique interopérable (WMS, WFS), et le framework Flask développé en Python, car il est léger et simple d'utilisation. Les données sont stockées dans une base PostgreSQL avec l'extension PostGis pour la géographie. Le portail a été développé pour suivre le chemin de la donnée, de la création de la parcelle à la saisie du résultat d'analyse. Il n'est pas bloquant pour les utilisateurs s'ils ne possèdent pas toutes les informations nécessaires à une étape donnée. Une application dédiée a été créée pour fiabiliser les données de localisation par smartphone. Le bilan du fonctionnement et de l'utilisation du portail CIPANHUB lors des 2 campagnes est très satisfaisant : la continuité de service a été proche de 100 %, et le retour des utilisateurs a été très positif.

En conclusion, cette application web open source dédiée à la saisie d'informations collectées sur des réseaux de parcelles pourrait être facilement adaptée à d'autres contextes expérimentaux, et en particulier dans le cadre des sciences participatives.

## Mots-clés

Couverts d'interculture, biomasse, absorption d'azote, portail web, interopérabilité, protocoles WMS et WFS

1 SAS, INRAE, Institut Agro, 35000 Rennes, France.

2 Chambres d'agriculture de Bretagne, 56500 Bignan, France.

3 SAS, Institut Agro, INRAE, 35000 Rennes, France.

# CIPANHUB: an interoperable multi-agent web service dedicated to the experimental monitoring of cover crops during intercropping periods

**Correspondence**  
[thierry.morvan@inrae.fr](mailto:thierry.morvan@inrae.fr)

Tom LOREE<sup>1</sup>  
Thierry MORVAN<sup>2</sup>  
Gwenaël MORIN<sup>2</sup>  
Hervé SQUIVIDANT<sup>3</sup>

## Abstract.

Cover crops are an effective tool for reducing nitrogen leaching in agrosystems, and their bio-degradation after destruction provides nitrogen for the following crop, though in highly variable amounts depending on their biomass and the nitrogen they have absorbed. Remote sensing data from Sentinel-2 satellites show great potential for addressing this variability through the development of predictive models based on vegetation indices and parameterised using field measurements of variables of agronomic interest. Doing so requires implementing a short-term but large-scale experimental project on many fields, using a team of data collectors. The experimental protocol for this project is simple in theory, but requires collecting many measurements and metadata. Thus, a web portal was created to make it easier for the data collectors to learn the protocol, simplify the collection of data and metadata, and manage the progress of the project. We developed the portal, called CIPANHUB, using interoperable cartographic distribution protocols (WMS, WFS) and the Flask framework developed in Python, because it is light and easy to use. The data are stored in a PostgreSQL database with the PostGis extension for geography. The portal was developed to follow the path of the data, from the creation of the field to the entry of the results, without preventing users from completing a given step if they do not have all the necessary information. A specific application was created to ensure the reliability of location data using a smartphone. The performance and use of the CIPANHUB portal during the 2 campaigns has been very successful: the service continuity has been close to 100%, and the feedback from users has also been very positive. In conclusion, this open-source web application dedicated to collecting information on networks of fields could easily be adapted to other experimental contexts, particularly in the context of participative science.

## Keywords

cover crops, biomass, nitrogen uptake, web service, interoperability, WMS and WFS protocols

---

<sup>1</sup> SAS, INRAE, Institut Agro, 35000 Rennes, France.

<sup>2</sup> Chambres d'agriculture de Bretagne, 56500 Bignan, France.

<sup>3</sup> SAS, Institut Agro, INRAE, 35000 Rennes, France.

## Introduction

Les couverts d'intercultures pièges à nitrates (CIPAN) constituent un levier très efficace pour maîtriser les pertes par lixiviation de l'azote (N) durant la période automnale et hivernale. La dynamique de développement et d'absorption de N par les CIPAN doit cependant être suffisamment précoce pour concurrencer la lixiviation (Justes *et al.*, 2012). Une autre fonction des CIPAN consiste à contribuer à la fertilisation de la culture suivante, du fait de la minéralisation partielle de l'azote prélevé par la plante. La quantité d'azote minéralisé correspond au terme MrCi de la méthode du bilan prévisionnel (Comifer, 2013). Elle est fonction de la biomasse développée, de l'espèce, ou des espèces dans le cas d'un couvert multi-espèces, et de la teneur en N. Les quantités d'azote minéralisées peuvent être de fait très variables et requièrent la mise en œuvre de la méthode MERCI, fondée sur des prélèvements de la biomasse de couverts, pour être estimées assez précisément (Minette, 2019, Constantin *et al.*, 2019). Toutefois, cette méthode a pour inconvénients d'être chronophage et difficilement applicable de manière systématique. Dans ce contexte, les données de télédétection des satellites Sentinel-2 présentent de fortes potentialités sur cette problématique des CIPAN. Ces données pourraient, en effet, être valorisées, d'une part pour améliorer le diagnostic de l'efficacité des CIPAN, et d'autre part pour affiner l'estimation de la biomasse du couvert et de l'azote absorbé à son maximum d'absorption.

Ces perspectives ont motivé le montage d'un projet par l'UMR SAS, en partenariat avec les Chambres d'Agriculture de Bretagne (CAB), afin d'élaborer un web service dédié à l'agriculteur et au conseiller agricole. Ce web service, nommé WS-CI, pour « Web Service sur les Couverts d'Interculture », a pour objectifs de caractériser la dynamique de développement des couverts, et d'aider à la prédiction de la biomasse et de l'azote absorbé par le couvert. L'élaboration de cet outil a requis la mise en œuvre d'un volet expérimental sur un réseau de parcelles sur lesquelles des mesures au sol ont été réalisées. Ces mesures ont été faites sur des zones homogènes de 20 m x 20 m, et les données obtenues, mises en relation avec les données satellitaires, permettent de paramétrer des modèles prédictifs (Verrelst *et al.*, 2015, Dusseux *et al.*, 2019, 2021). Le protocole expérimental est relativement simple sur le principe, mais requiert de respecter un certain nombre de critères pour aboutir à une mesure de qualité. Les informations à fournir pour chaque prélèvement sont nombreuses et peuvent être compliquées à partager (photo à envoyer) ou à maîtriser : par exemple les coordonnées géographiques peuvent être inversées ou la projection fautive.

Pour éviter les erreurs et gagner du temps pour la mise en base des données, la réalisation d'un outil web, nommé CIPANHUB, permettant d'harmoniser les résultats « à la source » est vite apparu nécessaire lors des réunions de préparation de la campagne. Ce choix a été rendu possible par la facilité d'accès des moyens mis disposition par l'écosystème GéoSAS (<https://geosass.fr>). CIPANHUB a été développé en interne, conformément aux principes d'interopérabilité des infrastructures de données géographiques en utilisant les standards OGC WMS et WFS (Béra *et al.*, 2015). Le portail web se devait d'être souple dans son usage, avec possibilité de l'utiliser avec un smartphone en direct sur le terrain ou depuis un ordinateur fixe en utilisant ses notes, afin de pallier le problème des zones avec une mauvaise connexion mobile. L'utilisateur est immédiatement autonome : la documentation du portail ainsi que le protocole de prélèvement sont disponibles en page d'accueil.

Outre la gestion du dossier d'expérimentation, le web service CIPANHUB permet de renseigner directement en ligne les données, métadonnées et de les mettre en base. Il intègre également un outil d'aide à la localisation précise des coordonnées GPS des zones de prélèvement impérativement requises par le protocole.

## Présentation du protocole et du chemin de la donnée

### Protocole expérimental

Le protocole est adapté de celui mis en œuvre dans le cadre de la méthode MERCI. Il consiste à mesurer la biomasse fraîche sur 5 placettes délimitées par des quadrats de 1 m<sup>2</sup>, disposées selon une maille carrée de 20 m x 20 m correspondant à l'*Elementary Sampling Unit* (ESU) (Verrelst *et al.*, 2015) (Figure 1). L'échantillon est ensuite envoyé au laboratoire pour déterminer sa teneur en matière sèche (MS) et en azote.

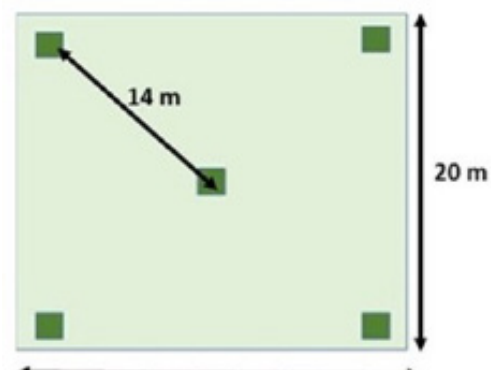


Figure 1. Localisation des placettes de l'ESU (*Elementary Sampling Unit*) dans la zone sélectionnée.

Ce protocole requiert de choisir soigneusement la zone de prélèvement, qui doit être la plus homogène possible en densité, en niveau de développement et en proportion des espèces dans le cas d'un couvert multi-espèces. L'ESU doit être éloignée de plus de 30 mètres du bord des parcelles, voire plus de 50 mètres en présence de haies.

Chaque placette doit être précisément géolocalisée, et il est demandé de prendre une photo des couverts de chacune des placettes avant le prélèvement. La biomasse aérienne des plantes est ensuite prélevée par une coupe au ras du

normes ISO et les standards OGC, mais sert simplement à définir une donnée servant à décrire une autre donnée.

2. Les mesures réalisées sur chaque placette lors du prélèvement : biomasse par espèce, hauteur moyenne du couvert, date, photo, coordonnées géographiques, commentaires.

3. Les résultats des analyses de teneur en MS et N du laboratoire, saisies en base à leur réception par le gestionnaire du portail.

Le chemin de la donnée est présenté en figure 2.

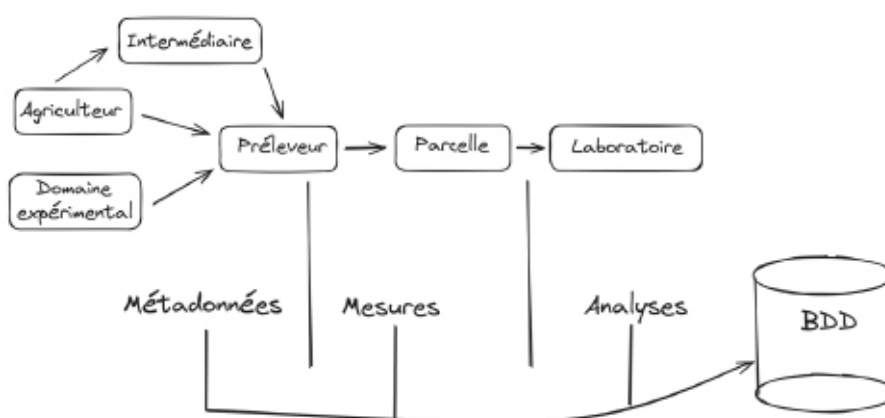


Figure 2. Chemin de la donnée.

sol, et pesée avec une précision de  $\pm 5$  g (balance suspendue HDB Kern), après tri et pesée de chaque espèce dans le cas d'un couvert multi-espèces. Un échantillon composite représentatif de la composition du couvert des 5 placettes est ensuite constitué et envoyé au laboratoire, le délai de traitement de l'échantillon étant inférieur à 24 heures.

La teneur en matière sèche (MS) est déterminée après séchage à l'étuve à la température de 70 °C. Les échantillons séchés sont finement broyés, et la teneur en N est déterminée par la méthode Dumas (AFNOR, NF ISO 13878).

### Chemin de la donnée

Les données collectées sont classées en trois types :

1. Les métadonnées de la parcelle obtenues auprès des agriculteurs : date de semis, culture précédente, espèces de CIPAN semées et, en option, possibilité d'ajouter des commentaires (conditions de levée, outils utilisés pour le semis...). Ici, le terme « métadonnées » ne correspond pas aux acceptions définies par le W3C, le Dublin Core, les

## Description générale du service

### Architecture et technologies utilisées (Figure 3)

Pour la partie Front-End, ie la partie visible du site web, qui permet à l'utilisateur d'interagir avec l'application, le portail est généré dynamiquement au moyen du framework Flask développé en Python qui utilise des templates html par jinja2. Il produit des pages web, et l'utilisateur n'a besoin que d'un navigateur web pour accéder au portail. Nous avons choisi ce framework car il est léger et simple d'utilisation ; de plus, de nombreux développements ont déjà été réalisés en Python sur GéoSAS, ce qui permet de rajouter facilement de nouvelles pages au portail.

La diffusion des données cartographiques intégrées dans le portail s'appuie sur les geoserver de GéoSAS (Standard OGC : WMS, WFS), ce qui permet également de rendre les données disponibles dans des logiciels de SIG tel que Qgis. Les données sont stockées dans une base PostgreSQL avec l'extension PostGis pour la géographie.

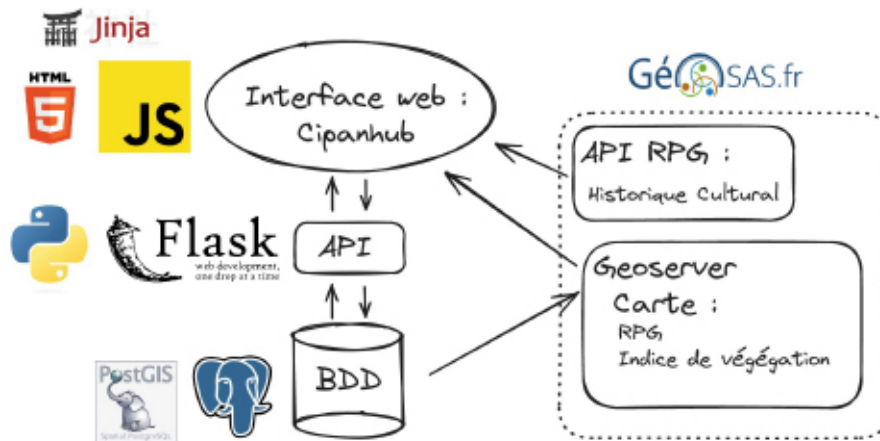


Figure 3. Architecture du web service CIPANHUB.

### Données publiques utilisées : Registre Parcellaire Graphique (RPG) et images Sentinel-2

Le Registre Parcellaire graphique (RPG) est produit par l'Agence de Services et de Paiement (ASP) et diffusé par l'IGN en version anonymisée (licence Etalab v2). C'est une base de données géographique qui définit le contour des parcelles et indique les cultures de l'année, pour les parcelles soumises à la PAC (<https://geoservices.ign.fr/rpg>). Les images satellites sont issues du programme Copernicus SENTINEL-2. Il comprend deux satellites (2A et 2B) avec une résolution temporelle de 5 jours. Ces satellites disposent d'un imageur multi-spectral de 13 bandes de 442 nm à 2200 nm (<https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-2>). Les images satellites permettent de calculer des indices de végétation.

### Description et fonctionnalités du portail

Le portail est développé pour ne pas être bloquant pour les utilisateurs qui ne possèdent pas toutes les informations

nécessaires à une étape donnée. Il dispose de sa propre base de données pour gérer les utilisateurs, qui doivent créer un compte pour pouvoir utiliser le service.

### Étape 1

La première étape ([onglet 1. Création parcelle](#)) correspond à la création du dossier parcelle (Figure 4). L'utilisateur sélectionne la parcelle du RPG de son choix, soit en naviguant sur une carte interactive, soit en renseignant les coordonnées géographiques. Pour aider à trouver des zones de prélèvement homogène, une visualisation du NDVI est proposée. La légende utilise une échelle de valeur continue, par gradient de couleur, ce qui permet une visualisation plus fine, contrairement à une échelle discrète. Les valeurs du NDVI utilisées sont : 0.25 pour sol nu ou végétation sénescente, 0.5 pour végétation très peu développée, 0.6 pour végétation en cours de développement, 0.7 pour végétation développée et 0.8 pour végétation très développée. L'échelle de couleur a été choisie avant la campagne de prélèvement, en se basant sur la littérature pour des cultures



Figure 4. Création d'une parcelle, avec pour seules informations obligatoires le nom de l'agriculteur, de l'exploitation et de la parcelle, permettant de créer un identifiant unique.

diverses (Meroni et al., 2021). La valeur haute du NDVI à 0.8 permet de mettre en valeur des couverts très développés.

Une API développée en interne permet de connaître l'historique des cultures de cette parcelle et permet de valider le choix de la parcelle (Figure 5). Les métadonnées demandées portent sur le nom de l'agriculteur et de la parcelle, l'interculture implantée, la date de semis, etc. Si l'utilisateur ne dispose pas de toutes les informations au moment de la création, il ne sera pas bloqué dans le processus, les seules informations obligatoires étant le nom de l'agriculteur, de l'exploitation et de la parcelle afin de créer une parcelle unique dans la base de données.

Nous conseillons d'utiliser la première ou la dernière option, car elles permettent d'enregistrer automatiquement la date et d'avoir des valeurs consolidées de la localisation des placettes en utilisant un outil de mesure GPS intégré au portail.

Vu le nombre important de préleveurs, il était impossible de mettre à leur disposition des GPS de précision (RTK), et les smartphones actuels disposent d'une précision suffisante pour cette étude. Il faut cependant être vigilant, car les premières mesures peuvent manquer de précision lors de l'activation du GPS.

Nous avons donc conçu un outil d'utilisation simple, mis à



Figure 5. Reconstitution de la succession culturale de la parcelle par l'API RPG, permettant à l'utilisateur d'avoir un élément d'information sur la parcelle sélectionnée.

## Étape 2

La deuxième étape (onglet 2. Prélèvement) concerne le prélèvement. Les seules informations obligatoires sont le type de couvert (l'utilisateur étant sur la parcelle voit l'interculture en place), la date de prélèvement, les coordonnées géographiques et les photos des placettes. Il est possible d'utiliser le portail de différentes manières pour cette étape, selon les affinités de chacun et les contraintes matérielles, avec 3 options possibles :

1. Utiliser un smartphone ou une tablette pour saisir toutes les mesures : coordonnées géographiques des échantillons, valeurs de biomasses, date et photos.
2. Faire les notations à la main avec un GPS de terrain pour ensuite tout saisir sur le portail au bureau.
3. Opter pour une utilisation mixte, consistant à utiliser un smartphone ou une tablette pour la saisie des coordonnées géographiques et l'envoi des photos, noter à la main les biomasses et mettre à jour le portail au bureau pour les biomasses.

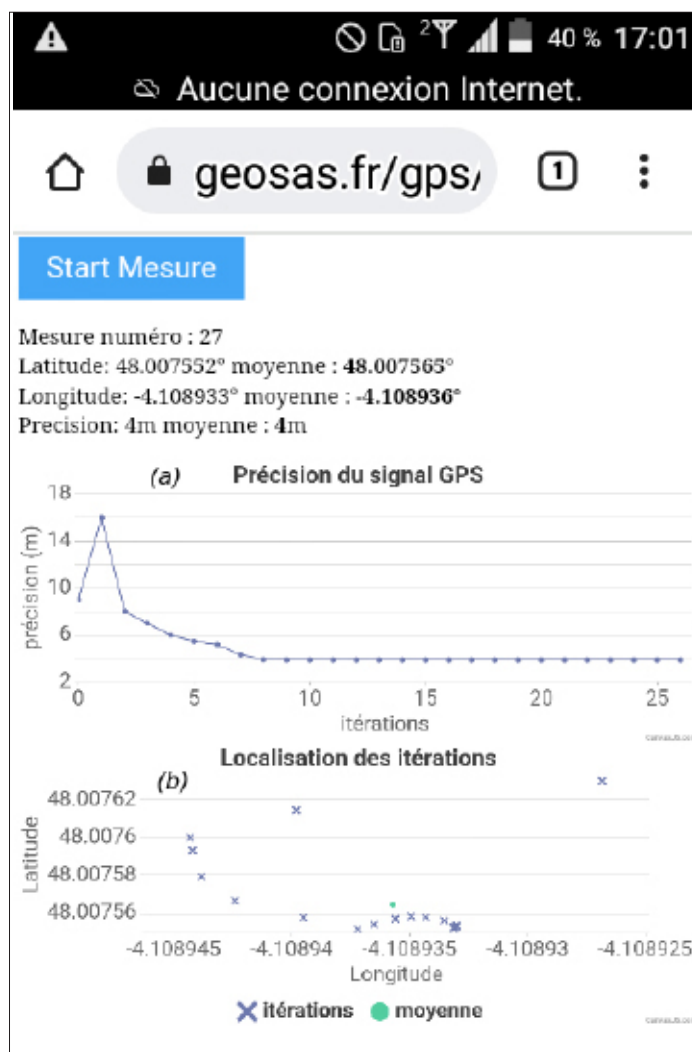
disposition des utilisateurs dans l'onglet prélèvement, permettant d'enregistrer les coordonnées GPS de la placette une fois que le signal GPS est stabilisé (Encadré 1).

L'envoi des données est organisé à chaque prélèvement pour envoyer les plus petits volumes de données possibles et éviter les problèmes liés à des pertes de réseau. De plus, l'envoi est scindé en deux étapes :

1. Les données les plus importantes et peu volumineuses sont d'abord envoyées vers les serveurs de GéoSAS à l'intérieur d'un fichier JSON contenant la date, l'identifiant de la parcelle, le numéro de l'échantillon, la biomasse et la hauteur du couvert.
2. La photo du prélèvement est envoyée ensuite, et s'il y a une erreur d'envoi, ce ne sera pas bloquant dans l'utilisation du portail, car le préleveur pourra prendre une photo et l'envoyer plus tard.

## Encadré 1. Description générale du service GPS

Le principe est le suivant : l'application mesure en continu la position et affiche l'évolution de la précision de la mesure sur un graphe, permettant à l'utilisateur d'estimer quand le signal est stable. Cet outil a également été développé en version standalone sur une page web (<https://geosas.fr/gps>), ce qui permet, après avoir téléchargé la page sur un smartphone, de l'utiliser en mode hors connexion. La version standalone fournit les coordonnées géographiques à l'instant  $t$  ainsi que la moyenne de toutes les coordonnées (Figure ci-après).



Évolution de la précision du signal GPS (en mètre) au fur et à mesure de l'acquisition du signal jusqu'à stabilisation (a), et nuage de points représentant la localisation pour les différentes itérations (b). Un clic sur un point permet de visualiser les coordonnées.

### Étapes 3 et 4

La troisième partie (onglet 3. Suivi campagne) concerne le suivi des prélèvements : l'utilisateur dispose d'une cartographie de ses prélèvements effectués, et il peut saisir les données qu'il n'avait pas renseignées dans le portail sur le terrain (Figure 6).

La dernière partie concerne le résultat d'analyse. Au fur et à mesure que le laboratoire effectue les analyses et les en-

voie à l'administrateur du portail, la base de données est mise à jour et l'expérimentateur a donc accès quasiment en temps réel aux résultats de ses prélèvements. En fin de campagne, un rapport de synthèse est édité au format PDF pour chaque parcelle, avec visualisation de l'évolution temporelle d'indices de végétation.

La figure 7 synthétise l'ensemble de ces étapes.

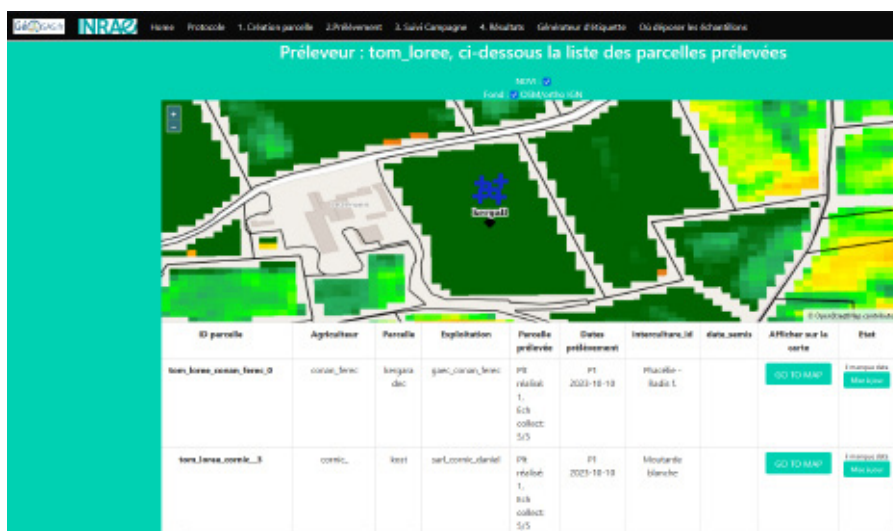


Figure 6. Tableau de bord de l'utilisateur.

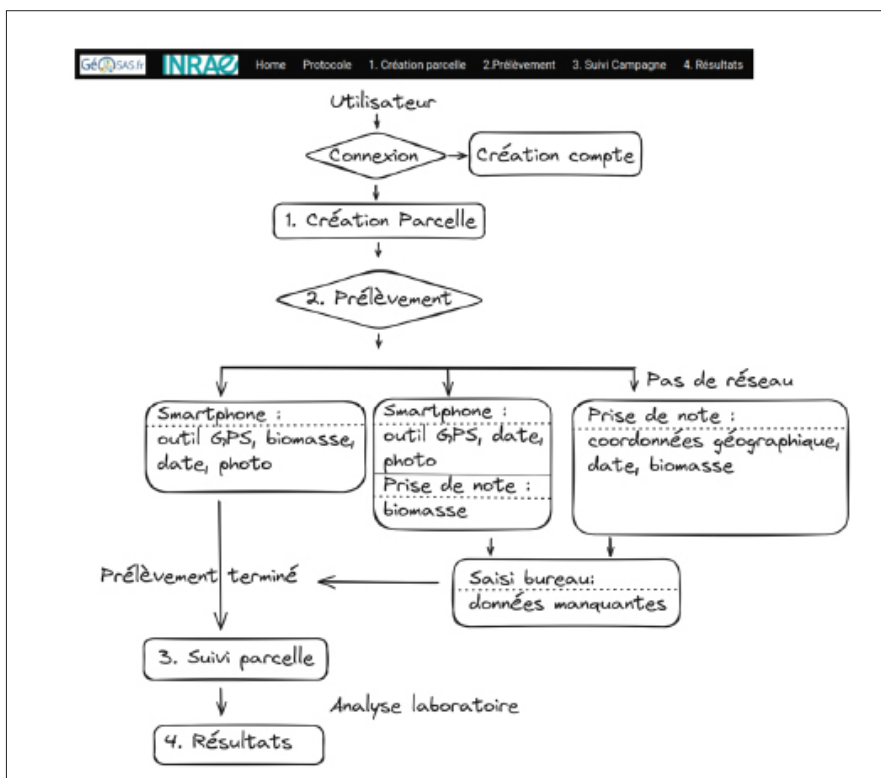


Figure 7. Schéma fonctionnel du portail



## Développements supplémentaires d'aide à l'utilisateur

**Création d'étiquette.** Pour assurer un suivi des échantillons, chaque échantillon dispose d'un identifiant unique généré à partir du nom du préleveur, de celui de l'agriculteur et d'un chiffre qui s'incrémente selon le nombre de parcelles créées par le préleveur. Un onglet du portail permet de générer, de façon dynamique, toutes les étiquettes des parcelles en cours de prélèvement ; l'utilisateur peut ensuite imprimer cette page pour créer des étiquettes à plastifier et à mettre avec les échantillons envoyés au laboratoire.

**Cartographie des points relais.** Les échantillons sont déposés dans l'un des magasins du réseau Point Vert, qui prend en charge l'échantillon, pour qu'il soit transporté au laboratoire d'analyse dans les 24 heures. Un onglet du portail permet d'afficher tous les points relais où il est possible de déposer les échantillons pour analyse. Cette cartographie est dynamique et cible la zone où l'utilisateur a fait son prélèvement ; elle n'est toutefois pas restrictive : il est possible de naviguer dans la carte pour trouver d'autres points relais.

## Utilisation du portail pour le monitoring de la campagne et la qualification des données

Deux rôles sont disponibles au sein du portail : préleveur et administrateur. La fonction d'administrateur permet de visualiser tous les résultats. Une page « administrateur » a été également écrite pour visualiser toutes les parcelles et réaliser des éditions sommaires. Les données les plus importantes, les biomasses et les coordonnées des prélèvements, ne peuvent être modifiées que par le responsable de la campagne, directement dans la base de données. L'administrateur a également accès à toutes les photos des prélèvements. Ces fonctions permettent de monitorer la campagne en temps réel. Par exemple, il est possible visualiser les prélèvements et de voir si les coordonnées géographiques sont correctes, si les biomasses mesurées correspondent aux photos. Cette partie de monitoring permet de commencer à qualifier la donnée.

## Conclusion

Le bilan du fonctionnement et de l'utilisation du portail CIPANHUB lors des 2 campagnes est très satisfaisant. Vingt-deux expérimentateurs l'ont utilisé, pour un total de 282 parcelles prélevées lors des 2 campagnes 2022/2023 et 2023/2024. Il y a eu 672 connexions à la page de création de parcelle, 607 pour le suivi de la campagne et 713 pour la consultation des résultats. Le chiffre élevé de consultation des résultats témoigne de l'intérêt des préleveurs pour cette expérimentation.

La continuité de service de CIPANHUB est proche de 100 %, et toutes les données ont pu être insérées en ligne. Pour quelques prélèvements, il y a eu des inversions entre les parcelles par les préleveurs. Mais grâce aux pages « 3. Suivi de campagne » et « 4. Résultats », les préleveurs ont pu se rendre compte de leurs erreurs, au moyen des cartes et des informations qu'ils avaient renseignées en amont. Si nous avons utilisé des tableurs échangés par mail, nous n'aurions pas pu voir ces inversions.

Des inversions de coordonnées géographiques ont été identifiées sur 6 parcelles, erreur classique en géomatique. Cette erreur n'est survenue que lorsque l'utilisateur n'avait pas utilisé le mode GPS du portail, et il est probable que des erreurs de ce type auraient été plus nombreuses sans ce mode GPS. Il y a eu également une erreur de frappe pour un échantillon d'un prélèvement, mais comme les quatre autres étaient bien placés, son emplacement a pu être corrigé. En résumé, on peut donc souligner la très bonne continuité de service et le taux de satisfaction élevé des utilisateurs.

Dans le futur, avec le développement de l'IDS national Geodata INRAE (<https://geodata.inrae.fr>), il serait possible de le redéployer même pour un projet ne disposant pas de ressources informatiques dédiées.

L'utilisation du portail est libre et il a été conçu pour être facilement modifiable et le plus générique possible. Étant Open Source, il est disponible sur la forge de GéoSAS (<https://github.com/geosas/>), et il pourrait être facilement adapté à d'autres contextes expérimentaux fondés sur le suivi de réseaux portant, par exemple, sur des suivis de culture, des relevés floristiques ou faunistiques, des mesures pédologiques. Cet outil pourrait notamment être très bien valorisé dans le cadre des sciences participatives.

Pour aller plus loin en termes d'interopérabilité et de standardisation de la mesure, il serait également intéressant d'utiliser l'API SensorThings. Nous ne l'avons pas fait car ce standard était relativement récent et nous ne disposions pas de serveur dédié au moment de la création du portail, mais il est tout à fait possible d'envisager de faire cette mise à jour du portail vers l'API SensorThings.

## Remerciements

Ce projet est financé par l'Agence de l'Eau Loire Bretagne et la DRAAF Bretagne, et réalisé en partenariat avec les Chambres d'Agriculture de Bretagne.

# Références

Justes E, Beaudoin N, Bertuzzi P, Charles R, Constantin J, Dürr C, et al. (2012). Réduire les fuites de nitrate au moyen de cultures intermédiaires : conséquences sur les bilans d'eau et d'azote, autres services écosystémiques. Synthèse du rapport d'étude, INRA (France), 60 p.

Comifer (2013). Calcul de la fertilisation azotée : Guide méthodologique pour l'établissement des prescriptions locales. Cultures annuelles et prairies. Paris La Défense Cedex, France, Comifer ; 159 p.

Minette S (2019). MERCI (Méthode d'Estimation des Restitutions par les Cultures Intermédiaires) - Acquis et perspectives. Colloque Comifer, Dijon, 20-21 novembre 2019.

Constantin J, Minette S, Vericel G, Jordan-Meille L, Justes E (2019). MERCI: a simple method and decision-support tool to estimate availability of nitrogen from a wide range of cover crops to the next cash crop. *Plant and Soil*, disponible sur : <https://doi.org/10.1007/s11104-023-06283-1>.

Verrelst J, Rivera JP, Veroustraete F, Muñoz-Mari J, G.P.W. Clevers J, Camps-Valls G, Moreno J (2015). Experimental Sentinel-2 LAI estimation using parametric, non-parametric and physical retrieval methods – A comparison. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 108, 260-272.

Dusseux P, Guyet T, Pattier P, Barbier V, Nicolas H (2022). Monitoring of grassland productivity using Sentinel-2 remote sensing data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Volume 111, <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.102843>.

Dusseux P, Michel E, Airiaud A, Guyet T, Nicolas H, Pattier P (2021). Utilisation des données satellites Sentinel-2 pour quantifier la production d'herbe et de biomasse. Journées AFPP, 24-25 mars 2021.

AFNOR, NF ISO 13878. Détermination de la teneur totale en azote par combustion sèche ("analyse élémentaire"). Qualité du sol. 1998.

Bera, R., Squidadant, H., Le Henaff, G., Pichelin, P., Ruiz, L., Launay, J., Vanhouteghem, J., Aurous-seau, P., and Cudennec, C (2015). GéoSAS : A modular and interoperable Open Source Spatial Data Infrastructure for research, *Proc. IAHS*, 368, 9-14, <https://doi.org/10.5194/piahs-368-9-2015>.

Meroni M, d'Andrimont R, Vrieling A, Fasbender D, Lemoine G, Rembold F, Seguíni L., Verhegghen A. (2015). Comparing land surface phenology of major European crops as derived from SAR and multispectral data of Sentinel-1 and -2, *Remote Sensing of Environment*, Volume 253, 2021, 112232, ISSN 0034-4257, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112232>.



Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-SA). <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>.

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « NOV'AE », la date de sa publication et son URL.