



Terranum



Couverture végétale des sols agricoles

Mesure par imagerie satellitaire optique Sentinel-2 et suivi du taux de couverture végétale des sols agricoles du Canton de Vaud sur la période 2015-2025

Bureau d'étude Terranum

Bussigny, le 13 mai 2026



Référence

Projet	Mesure par imagerie satellitaire optique Sentinel-2 et suivi du taux de couverture végétale des sols agricoles du Canton de Vaud sur la période 2015–2025
Mandant	Direction Générale de l'Environnement (DGE), État de Vaud Représentée par François Füllemann, pédologue cantonal
Mandataire	Bureau d'études géologiques et hydrologiques TERRRAUM Sàrl Représenté par Clément Michoud, Dr ingénieur géologue
Contrat	2024-SOL-FFU_RLGEO 125.01 du 4 avril 2024

Document

Titre court	Couverture végétale des sols agricoles vaudois
Auteur	Dr Clément Michoud, ingénieur géologue Terranum
Co-auteurs	Dr Pascal Horton, ingénieur hydrologue Terranum, en appui au § 3.1 Marie Lartot, environnementaliste stagiaire DGE, en appui au § 4.2 Ian Bonhôte, environnementaliste Terranum, en appui au § 5.2
Type	Rapport technique
Versions	v1.0 du 30 novembre 2025 > Période 2015–2024 v2.0 du 13 mai 2026 > Compléments 2024–2025

Note

Terranum certifie l'exécution du mandat dans les règles de l'art, sur la base de l'état actuel des connaissances. L'expertise est fondée sur le principe que, sauf préavis contraire, toutes les informations et documents de bases remis par le mandant ou un tiers recommandé par lui sont exacts. Toute interprétation devra prendre en considération l'entier des résultats obtenus et recommandations émises, qui, par ailleurs, ne seront pas transposables à une autre région, même similaire, ou à des conditions in-situ modifiées.



Table des matières

1. Cadre et objectifs de l'étude.....	7
1.1. Contexte.....	7
1.2. Objectifs.....	7
1.3. Données sources.....	8
2. Analyse des données initiales 2018–2023.....	9
2.1. Images Sentinel-2.....	9
2.2. Chaîne de traitement GRID–Genève.....	10
2.2.1. Prétraitements.....	10
2.2.2. Algorithme FC3.....	10
2.3. Tests du FC3.....	11
2.3.1. Sur prairies temporaires.....	11
2.3.2. Résultats trimestriels.....	12
2.3.3. Lecture de la série temporelle.....	12
2.4. Statistiques sur fractions PV/NPV/BS.....	13
2.4.1. Selon les types de culture.....	13
2.4.2. Selon les pratiques agricoles.....	15
2.4.3. Selon les rotations culturales.....	17
2.5. Indice de couverture végétal des sols.....	19
3. Extension sur toute la période 2015–2024.....	22
3.1. Prise en main du code.....	22
3.2. Ajout d'un filtre nuages en post-traitement sur toute la période.....	22
4. Évolution des taux de couverture de 2015 à 2024.....	24
4.1. Décomposition de la Surface Agricole Utile.....	24
4.1.1. Selon les catégories de cultures.....	24
4.1.2. Selon les zones de Compensation Qualités Paysagères.....	26
4.2. Suivi du taux de couverture sur les terres assolées.....	29
4.2.1. Bilan des mesures.....	30
4.2.2. Interprétations possibles sur le tournant 2022.....	33
4.3. Particularités des zones de maraîchage.....	37
5. Produits cartographiques dérivés.....	39
5.1. Cartes de protection des sols par couverture végétale.....	39
5.2. Cartes indicatives de danger d'érosion des sols agricoles.....	40
5.2.1. Calculs des taux potentiels d'érosion.....	40
5.2.2. Établissement des cartes indicatives.....	44
5.2.3. Comparaisons avant/après 2022.....	45
6. Conclusions et perspectives.....	46
6.1. Synthèse.....	46
6.2. Recommandations et perspectives.....	46



7. Liste des livrables	48
7.1. Géodonnées remises	48
7.2. Autres données.....	50
8. Bibliographie	51
9. Annexes	53
9.1. Fiches de synthèse.....	53
9.2. Scripts QGIS.....	59
9.3. Ajout de la période 2024-2025.....	60
9.3.1. Mesures complémentaires.....	60
9.3.2. Nouvelles cartes de protection des sols.....	60
9.3.3. Liste des livrables supplémentaires.....	62



1. Cadre et objectifs de l'étude

1.1. Contexte

En 2023, la section *Sols* de la *Direction Générale de l'Environnement* du Canton de Vaud (DGE-Sols) initie un projet de mesure du taux moyen annuel de couvert végétal des sols agricoles. Un premier mandat de recherche est alors attribué au centre genevois de *Base de données sur les ressources mondiales* (GRID-Genève) dans le but de développer une méthode de mesure du taux de couverture végétale mensuel et annuel avec des images satellites gratuites.

Selon ses conclusions (Chatenoux 2023), il est préconisé de suivre la méthode de la *Couverture Végétale Fractionnée* (*Fractional Vegetation Cover*, code FC3 élaborée par Scarth et al. 2010, Schmidt et al. 2010, Muir et al. 2011) appliquée aux données optiques de *Sentinel-2* (satellite de l'Agence Spatiale Européenne (ESA), d'une résolution spatiale de 10 m et temporelle de 5 jours). Cet algorithme FC3 permet en effet d'estimer pour chaque pixel de l'image les proportions de végétation verte (végétation vivante), de végétation non verte (plantes sèches, chaumes) et de sols nus.

Les images de la moyenne mensuelle FC3 couvrant l'ensemble du Canton de Vaud entre avril 2018 et août 2023 sont traitées et restituées par le GRID-Genève à la DGE-Sols. Dans le but de pleinement exploiter et interpréter ces données FC3, un second mandat d'exploitation est alors attribué au bureau d'études géologiques et hydrologiques *Terranum Sàrl* (Terranum).

1.2. Objectifs

Ce mandat d'exploitation a pour objectifs principaux (1) d'analyser les données existantes en étudiant le comportement du FC3 en fonction des types de cultures et des pratiques culturales, (2) de créer un indice de couverture des sols facilement compréhensible et communicable, (3) d'exécuter la chaîne de traitement sur les périodes 2015-2018, 2023-2024 puis 2024-2025 et (4) d'étudier l'évolution sur le long-terme la couverture végétale des sols.

Phase 1 : Analyse des données existantes 2018-2023

- Analyse de la justesse des résultats sur les données mensuelles, trimestrielles et annuelles en les comparant à des parcours culturaux et des champs connus ;
- Préviation des résultats attendus selon les types de cultures ;
- Détermination de valeurs seuil pour la classification des résultats ;
- Création d'un indice de couverture des sols facilement interprétable et communicable ;
- Détermination de la mise en forme de la géodonnée.

Phase 2 : Exécution du traitement FC3 pour les années 2015-2017 et 2023-2024

- Prise en main de la chaîne de traitement créée par le GRID-Genève ;
- Mise en place de l'environnement d'exécution chez Terranum ;
- Exécution pour les années 2015, 2016, 2017, 2023 et 2024 ;
- **Rendu** des résultats cartographiques (images FC3 et indices de couverture) ;



Phase 3 : Analyse de l'évolution temporelle des mesures pour la période 2015–2024

- Analyse de l'évolution temporelle de l'indice de couverture des sols ;
- Synthèse de l'évolution temporelle de la couverture des sols agricoles entre 2015–2024 selon les régions et les types de cultures ;
- **Rendu** de fiches recto-verso synthétisant les résultats clés, destinées à tout public.

Phase 4 : Production des produits dérivés

- Établissement des cartes de protection des sols par couverture végétale ;
- Établissement des cartes de susceptibilité des sols à l'érosion ;
- **Rendu** des résultats cartographiques ;
- **Rendu** d'un rapport technique v1.0 détaillant méthodes et l'ensemble des résultats.

Phase 5 : Ajout de la période 2024 2025

- Exécution du traitement pour 2024–2025, mises à jour des produits associés ;
- Documentation des résultats en annexe 9.3 du rapport technique v2.0.

1.3. Données sources

Pour ce mandat, les ressources suivantes ont été utilisées :

Données satellites :

- Images multispectrales satellitaires Sentinel-2, librement distribuées par l'ESA
- Chaîne de traitement FC3, codée par le GRID-Genève et hébergée sur leur serveur
- Images FC3 mensuelles, trimestrielles et annuelles d'avril 2018 à juillet 2023

Données relatives au code FC3, version GRID-Genève :

- Code source FC3 implémenté sur le serveur du GRID-Genève
- Présentations du GRID données lors des séances du 1^{er} mandat (Chatenoux 2023)

Données agricoles :

- Parcellaire 2022 avec codes de cultures issu du recensement annuel Acorda
- Délimitation des zones de compensation qualité paysagères (CQP) de la SAGRI ;
- Archives du journal AgriHebdo

Occupation du territoire :

- Modèle numérique de terrain haute résolution swissALTI3D (état 2019)
- Orthophotos swissIMAGE recouvrant l'ensemble du territoire (états 2016, 2020, 2023)
- Cartographie de l'utilisation du territoire et de la couverture du sol du cadastre cantonal (état septembre 2024) et du swissTLM3D 2.2 2024 (état 2020)
- Cartes d'Agroscope de risques d'érosion dans les terres arables et les prairies permanentes (état 2019)

Données météorologiques :

- Atlas hydrologique suisse (période 1981–2010)
- Mesures journalières *nbcn daily meteosuisse* des stations Genève, Payerne et Neuchâtel
- Nouvelles données pluviométriques saisonnières HydroMaps de MétéoSuisse (état 2025)



2. Analyse des données initiales 2018–2023

2.1. Images Sentinel-2

Les images multispectrales acquises depuis juillet 2015 par la constellation Sentinel-2 sont distribuées librement par l’ESA à travers le *Copernicus Data Space Ecosystem* (CDSE).

La résolution spatiale des données dépend de la bande spectrale : dans notre cas, les bandes visibles (RGB) et infra-rouges nécessaires à notre étude ont une résolution de 10 et 20 m (cf. Tableau 1 et Figure 1).

Depuis 2017, la résolution temporelle est de 5 jours en moyenne, soit ± 6 images par mois. Mais l’Ouest du Canton se situe dans une bande de recouvrement entre 2 orbites adjacentes (n°8 et 108) et bénéficie ainsi d’une acquisition tous les 2.5 jours, soit ± 12 images par mois.

A noter que la mission d’acquisition est programmée jusqu’en 2037 au moins.

Tableau 1: Extrait des bandes spectrales intéressantes, installé dans le capteur MSI des satellites Sentinel-2.

Bande	Abréviation	Nom complet / utilisation	Résolution (m)
B02	B	Blue	10
B03	G	Green	10
B04	R	Red	10
B05	RE1	Red-edge 1	20
B06	RE2	Red-edge 2	20
B07	RE3	Red-edge 3	20
B08	NIR1	Near infrared large	10
B8A	NIR2	Near infrared narrow	20
B11	SWIR1	Short-wave infrared 1	20
B12	SWIR2	Short-wave infrared 2	20

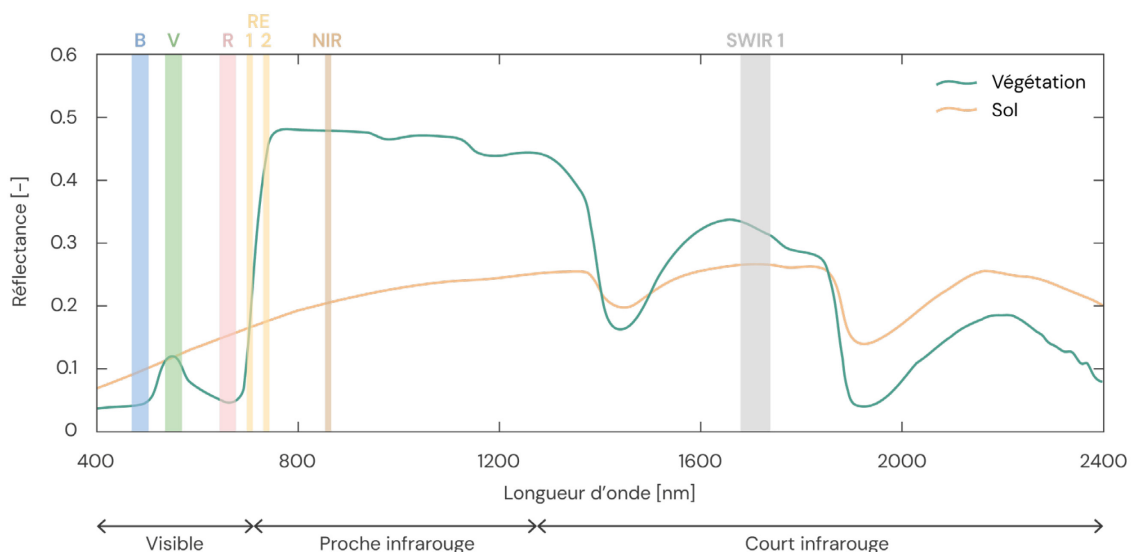


Figure 1: Bandes spectrales (sélection) captées par les capteurs MSI de la constellation Sentinel-2 et réponses spectrales du sol et de la végétation en fonction de la longueur d’onde (modifié d’après Zeng et al. 2022)



2.2. Chaîne de traitement GRID-Genève

2.2.1. Prétraitements

La première étape de la chaîne de traitement implémentée sur le serveur de calcul du *GRID-Genève* (Chatenoux 2023) recherche l'ensemble des images disponibles dans la zone d'intérêt et la période souhaitée sur le CDSE. Les tuiles sélectionnées sont ensuite téléchargées au niveau de pré-traitement L2A (*Bottom-of-Atmosphere*) corrigeant les distorsions atmosphériques.

Le modèle de classification issu de *Sen2Cor* (Louis et al. 2021) est également téléchargé avec chaque image, catégorisant chaque pixel dans 11 classes. Ne sont gardés que les pixels classés comme végétation, non-végétation, eau, non-classé, et (curieusement) neige ou glace, masquant ainsi une partie des zones nuageuses et des erreurs instrumentales.

Enfin, les tuiles sont reprojctées en coordonnées suisses MN95 à une résolution de 10 m (avec augmentation d'échelle des bandes SWIR de 20 m à 10 m).

2.2.2. Algorithme FC3

L'algorithme de *Couverture Végétale Fractionnée FC3* (*fractionalcover3*, codé et distribué par Scarth et al. 2022) implémenté dans la chaîne de traitement permet d'estimer pour chaque pixel des images L2A masquées les proportions entre 0.000 et 1.000 (ou 0 et 10'000) de :

- Végétation verte, photosynthétique (végétation vivante) → fraction PV ;
- Végétation non verte, non-photosynthétique (ex. plantes sèches) → fraction NPV ;
- Sol nus → fraction BS.

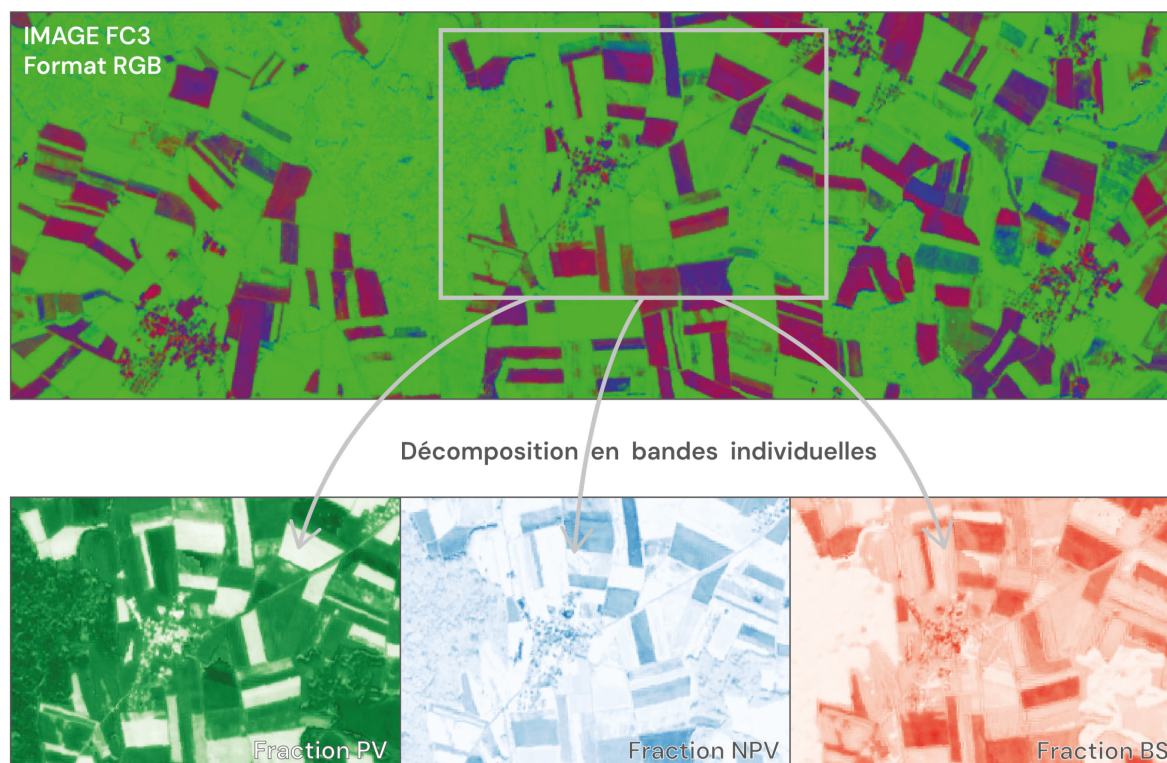


Figure 2 : Extrait d'une image FC3 de novembre 2021 du pied du Jura, représentée selon une image RGB (haut), ou décomposée selon ses bandes PV en vert, NPV en bleu et BS en rouge (en bas).



Les fractions PV, NPV et BS sont calculées sur les bandes spectrales R, G, NIR et SWIR avec un réseau de neurones initialement calibré sur des images Landsat (constellation américaine similaire à Sentinel-2) et un ensemble de mesures de terrain de différents types de couvertures de sol en Australie (Muir et al. 2011).

Les valeurs au-delà de la plage attendue (entre 0 et 1) sont saturées. Ainsi, si l'une des trois fractions dépasse 1, elle est ramenée à 1 et les deux autres sont fixées à 0. À l'inverse, si l'une des fractions est inférieure à 0, sa valeur est fixée à 0 (les deux autres fractions ne sont dans ce cas pas modifiées). Les trois fractions sont ensuite normalisées pour assurer que leur somme vaille toujours 1 en chaque pixel.

Les images FC3 peuvent être affichées en une image RGB, ou être décomposées selon leur bande PV en vert, NPV en bleu et BS en rouge (cf. Figure 2).

Telle qu'implémenté, l'algorithme du *GRID-Genève* fournit une image par mois, moyennant en chaque pixel les résultats de toutes les images disponibles du mois en question. Pour plus d'informations sur la chaîne de traitement et sa validation, se référer à Chatenoux 2023.

2.3. Tests du FC3

2.3.1. Sur prairies temporaires

Ce mandat a pour objectif de mesurer la couverture végétale des sols agricoles en se basant sur le FC3. Il apparaît donc important d'analyser en premier lieu le comportement des résultats FC3 sur les prairies permanentes, dont la couverture végétale est assurée toute l'année.

Pour ce faire, des pixels situés dans des prairies permanentes à Grancy (pied du Jura, cf. Figure 3), l'Auberson (Jura vaudois), Corcelles-le-Jorat (Jorat) et Château-d'Oex (Alpes vaudoises) sont sélectionnés et les séries temporelles de leurs fractions PV/NPV/BS sont analysées.

Quatre conclusions majeures peuvent être tirées de ce premier exercice :

1. Le comportement du FC3 est similaire pour les prairies en zone de plaine comme en zone de montagne, et à l'Est comme à l'Ouest et au Nord du Canton ;
2. Le comportement attendu du FC3, i.e. fraction PV élevée et fractions NPV/BS faibles, est effectivement mesuré, avec de légères fluctuations saisonnières ;
3. Même pour un sol couvert à l'année de végétation verte, le niveau de base de la fraction PV est de ± 0.8 (et non 1), et celui de BS est de ± 0.2 (et non 0) ;
4. Des pics des fractions BS ou NPV peuvent localement être mesurés et imputés à des erreurs de mesures ou à un mauvais filtre atmosphérique, particulièrement en hiver.

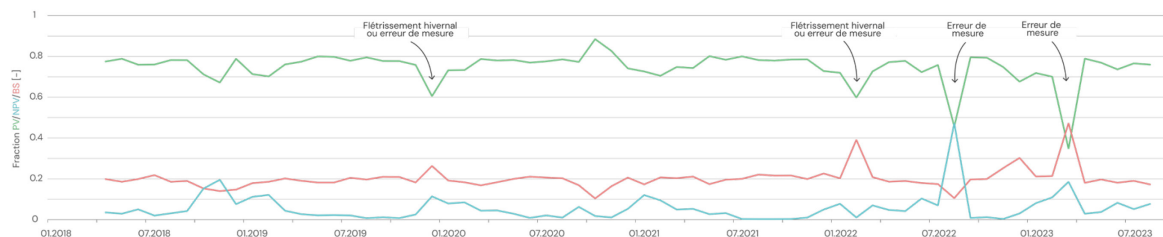


Figure 3 : Série temporelle des fractions PV/NPV/BS moyennes mensuelles pour une série de prairies permanentes centrées sur Grancy, au pieds du Jura.



2.3.2. Résultats trimestriels

Pour rappel, la chaîne de traitement du GRID-Genève génère une carte par mois. Or des artefacts peuvent encore être mesurés, même avec cette résolution mensuelle (cf. § 2.3.1). Afin de réduire l'impact de ces erreurs tout en conservant la capacité d'interprétation des séries temporelles liées aux itinéraires culturaux, une carte trimestrielle est réalisée sur la base des valeurs médianes saisonnières de PV/NPV/BS. La Figure 4 illustre sur une parcelle de grande culture la différence entre valeurs moyennes mensuelles et trimestrielles. Les valeurs trimestrielles, moins bruitées, restent toujours interprétables sur le long-terme.

Pour mieux correspondre au calendrier des pratiques agricoles et des cycles de végétation, ces médianes sont calculées sur la base des saisons météorologiques (et non civiles), soit : pour le 1^{er} trimestre les mois de décembre-janvier-février, pour le 2^{ème} trimestre les mois de mars-avril-mai, pour le 3^{ème} trimestre les mois de juin-juillet-août et pour le 4^{ème} trimestre les mois de septembre-octobre-novembre.



Figure 4 : Série temporelle des fractions PV/NPV/BS moyennes mensuelles (haut) et trimestrielles (bas) extraites sur une même parcelle de grandes cultures.

2.3.3. Lecture de la série temporelle

Avec une connaissance approfondie des pratiques agricoles suisses, il est possible d'interpréter les variations des fractions FC3 avec une étonnante précision.

A titre d'illustration, une première série temporelle (Figure 5) des mesures FC3 est extraite sur une parcelle dont l'itinéraire cultural est connu et le carnet des champs (détaillant et datant chaque intervention) est à disposition.

En ce sens, l'exemple du colza associé est caractéristique (cf. années 2021-2022 sur Figure 5) :

- À l'automne, le colza et le couvert associé se développent bien, augmentant la fraction PV de manière significative ;
- Durant l'hiver, le colza perd ses plus grandes feuilles vertes et le couvert associé sèche petit à petit, diminuant légèrement la fraction PV et augmentant légèrement la fraction NPV ;
- Au printemps à la reprise de la végétation, la croissance du colza est rapide et recouvre vite le couvert sec, coïncidant avec une nouvelle hausse de la fraction PV et une baisse de la fraction NPV ;



- Après moisson, et même en l’absence d’un semis précoce d’interculture d’été, les repousses des pertes de graines de colza recouvrent rapidement les chaumes, augmentant significativement la fraction PV (par rapport à une interculture entre blé et seigle par exemple).



Figure 5 : Série temporelle des fractions PV/NPV/BS et PV+NPV pour une parcelle de grandes cultures céréalières dont la conduite agricole est connue. Haut : sans interprétation. Bas : avec interprétations sur quelques points de mesures remarquables tout au long de la rotation.

2.4. Statistiques sur fractions PV/NPV/BS

L’un des objectifs derrière la mesure du niveau de couverture du sol est de quantifier annuellement le taux de sol couvert (ou inversement de sol nu) selon (1) la culture mise en place, (2) l’itinéraire cultural et (3) l’ensemble d’une rotation d’en moyenne 5 ans en Suisse.

Un second objectif est d’analyser l’évolution de ces taux de couverture entre 2015 et 2024 ; ce point est cependant traité dans la Section 3.

2.4.1. Selon les types de culture

En préambule, il faut noter que :

- En l’absence de données sur les dates de semis et de récoltes par parcelle, une année entière est considérée pour le calcul des taux annuels, comprenant donc une partie des précédents et des suivants culturaux. Ainsi, les calculs sont réalisés sur les périodes de septembre à août pour les cultures d’automne et de décembre à novembre pour celles de printemps.
- Même si différencier les fractions PV+NPV permet de comprendre et d’étudier les dynamiques de couverture du sol et de biomasse, il faut bien considérer la somme PV+NPV pour quantifier le taux de couverture. En effet, un sol couvert par de la végétation non-verte, sèche, est tout de même couvert. C’est le cas par exemple d’une culture de jachère fleurie l’hiver ou d’un blé arrivé à maturité avant moissons.



Sur la base des données du recensement agricole 2022, toutes les parcelles de prairies permanentes, blés d'automne, colzas d'automne, pois protéagineux d'automne, maïs grain, betteraves sucrières et pommes de terre ayant une surface supérieure à 1'000 m² (avec une zone tampon de -10 m pour éviter les effets de bord) ont été extraites sur l'ensemble du Canton. Les parcelles sélectionnées couvrent une superficie totale de 30'000 ha. Pour chaque type de culture, la moyenne et l'écart-type annuels des fractions BS, PV, NPV et PV+NPV ont été calculés (cf. Tableau 2 et Figure 6).

Tableau 2 : Statistiques des valeurs moyennes annuelles (± 1 écart-type) des fractions BS/NPV/PV et PV+NPV calculées sur l'ensemble des parcelles d'une même affectation de la campagne 2022 (cultures d'automne : période de mesure 09.2021 > 08.2022 ; cultures de printemps : période de mesure 12.2021 > 11.2022). * Les parcelles de prairies permanentes sont limitées aux zones des terres assolées, i.e. plaine, colline et montagne 1.

Affectation	BS	NPV	PV	PV+NPV	PV/(PV+NPV)	Ratio
Prairies perm. 4'482 ha *	1'915 (± 337)	852 (± 424)	7'351 (± 421)	8'135 (± 331)	0.90	1 (ref.)
Blé d'automne 13'458 ha	2'485 (± 451)	2'941 (± 525)	4'676 (± 665)	7'505 (± 461)	0.62	0.92
Colza d'automne 5'369 ha	2'130 (± 390)	2'135 (± 420)	5'839 (± 561)	7'849 (± 404)	0.74	0.96
Pois protéagineux 507 ha	2'992 (± 572)	3'003 (± 801)	4'342 (± 907)	6'890 (± 680)	0.63	0.85
Maïs grain 2'381 ha	2'924 (± 666)	2'574 (± 762)	4'571 ($\pm 1'072$)	7'063 (± 675)	0.72	0.87
Betteraves sucrières 2'533 ha	3'040 (± 542)	1'992 (± 560)	5'209 (± 690)	6'860 (± 600)	0.73	0.84
Pommes de terre 1'104 ha	3'832 (± 706)	2'739 (± 668)	3'642 (± 926)	6'070 (± 739)	0.68	0.75

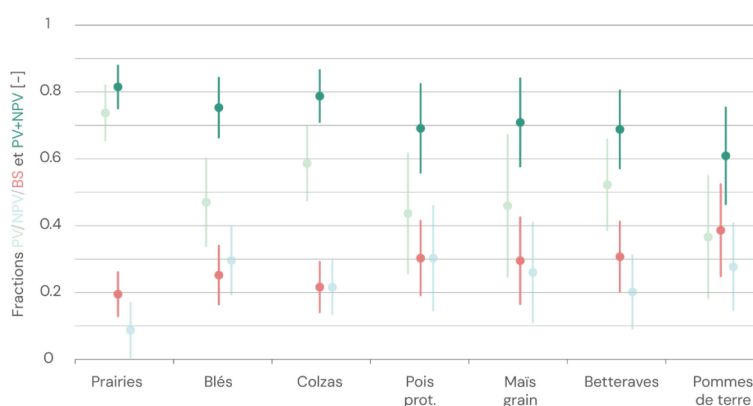


Figure 6 : Comparaison des fractions moyennes annuelles (± 2 écarts-type) de PV/NPV/BS et de PV+NPV pour différentes cultures de la campagne 2022 (cf. Tableau 2).

Pour information, fin 2021 et 2022 ont été marquées par des températures supérieures aux moyennes de saison et une longue période de sécheresse avec un manque persistant de précipitations et ensoleillement important.

Sans surprise, la couverture optimale, avec le taux le plus élevé et le plus de végétation verte, est obtenue par les prairies permanentes.



Mais pour les terres ouvertes, les principaux résultats sont les suivants :

- Les parcelles de colza et de blé d’automne présentent la meilleure couverture végétale de la sélection, atteignant un taux PV+NPV équivalent à ± 94 % de celui d’une prairie.
- Les parcelles de pois protéagineux, de maïs grain et de betteraves présentent des niveaux de couverture comparables, mais moins élevés, avec un taux PV+NPV équivalent à ± 85 % de celui d’une prairie.
- Enfin, les parcelles de pommes de terre ont les moins hauts niveaux de couverture de la sélection, avec un taux PV+NPV équivalent à ± 75 % de celui d’une prairie.

De plus, en détails :

- La part de couverture du sol assurée par de la végétation verte est particulièrement élevée pour les colzas, maïs grain et betteraves, avec un taux de ± 73 %. En revanche, ce taux reste faible pour les blé et pois protéagineux. Plusieurs facteurs expliquent ces différences :
 - Le colza bénéficie d’une longue période de croissance, semé dès la mi-août (contre mi-octobre pour le blé) ;
 - Le maïs et la betterave présentent une courte (voire non-) période de maturité créant un dessèchement de la tige avant récolte, contrairement au blé et au pois ;
 - La conduite de l’interculture peut aussi jouer un rôle, avec par ex. la repousse rapide et dense des graines perdues de colza après la récolte.
- Les fractions FC3 des parcelles de prairies, blés et colzas ont une faible dispersion autour de leur moyenne. À l’inverse, les écart-types élevés observés pour les pois, le maïs grain et les pommes de terre révèlent d’importantes disparités entre les parcelles. Ces variations pourraient s’expliquer par :
 - Des conditions météorologiques locales différenciées, bien que l’année 2022 ait été globalement marquée par une sécheresse sur tout le Canton ;
 - L’hétérogénéité des potentiels agronomiques des sols ;
 - La diversité des itinéraires culturels, avec des rotations et un travail du sol différents.

2.4.2. Selon les pratiques agricoles

Pour illustrer les disparités de mesure de couverture du sol entre champs d’une même culture, cinq parcelles individuelles de pommes de terre sont analysées (cf. Tableau 3 et Figure 7).

Ces statistiques mettent en évidence des différences significatives de couvertures des sols entre les parcelles de pommes de terre. Ainsi, le taux de couverture varie entre 92 % et 116 % de celui du Canton, avec des ratios de végétation verte compris entre 51 % et 75 %.

De plus, ces différences affectent également les deux parcelles de Grancy, malgré des conditions météorologiques identiques et potentiels agronomiques proches. De fait, ces résultats mesurent ici la grande influence de la diversité des itinéraires d’une même culture sur la couverture du sol.

Dans ce cas précis, en comparant les séries temporelles (cf. Figure 8), il est même possible d’imputer ces variations à :

- Une gestion différente de l’interculture avant et après plantation, avec pour Grancy 1 un couvert probablement chétif et Grancy 2 un couvert dense et conservé tardivement ;
- Une couverture moins importante des pommes de terre dans Grancy 1 que Grancy 2.



A noter enfin que ces statistiques à large échelle n’ont été menées que sur la campagne 2022, année pour laquelle le recensement agricole est mis à disposition. Il serait nécessaire de reconduire ces statistiques sur plusieurs années en bénéficiant des recensements agricoles adéquates pour consolider ces premiers résultats.

Tableau 3 : Statistiques des valeurs moyennes annuelles (± 1 écart-type) des fractions BS/NPV/PV et PV+NPV calculées sur une sélection de parcelles de pommes de terre de la campagne 2022 (culture de printemps : période de mesure 12.2021 > 11.2022).

Lieu de la parcelle	BS	NPV	PV	PV+NPV	PV/(PV+NPV)	Ratio
Canton 110'400 a	3'832 (± 706)	2'739 (± 668)	3'642 (± 926)	6'070 (± 739)	0.60	1 (ref.)
Grancy 1 277 a	4'162 (± 298)	2'725 (± 308)	3'472 (± 240)	5'563 (± 403)	0.62	0.92
Grancy 2 520 a	3'807 (± 206)	1'868 (± 230)	4'499 (± 208)	5'992 (± 284)	0.75	0.99
Orbe 1'156 a	2'769 (± 203)	3'695 (± 391)	4'156 (± 216)	7'034 (± 272)	0.59	1.16
Chapelle/Moudon 437 a	4'104 (± 262)	2'857 (± 302)	3'185 (± 208)	5'855 (± 261)	0.54	0.96
Granges-p.-Marnand 399 a	4'132 (± 281)	2'913 (± 322)	2'988 (± 429)	5'867 (± 278)	0.51	0.97

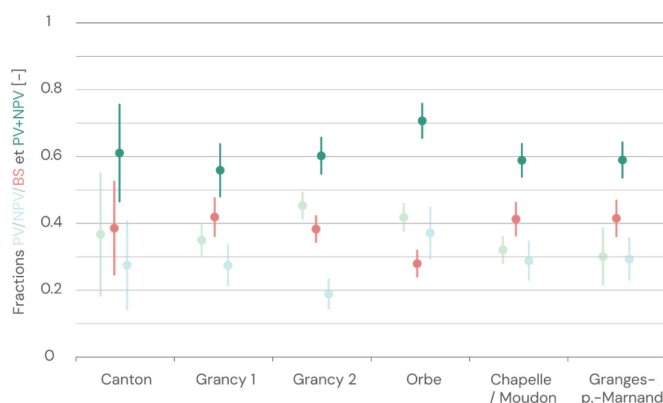


Figure 7 : Comparaison des fractions moyennes annuelles (± 2 écarts-type) de PV/NPV/BS et de PV+NPV pour différentes parcelles de pommes de terre de la campagne 2022 (cf. Tableau 3).

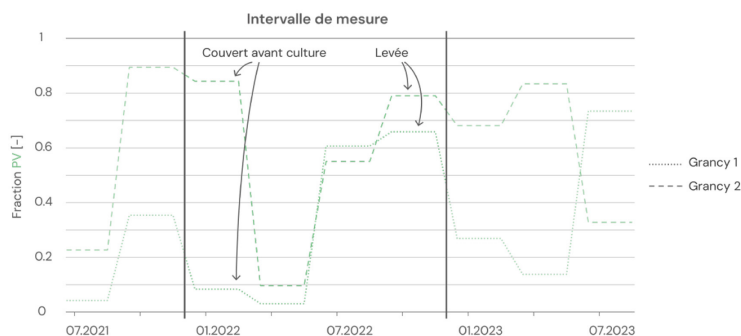


Figure 8 : Comparaison des séries temporelles des fractions PV des parcelles Grancy 1 et Grancy 2, montrant des différences significatives dans la gestion de l'interculture avant plantation et dans la levée de la culture elle-même.



2.4.3. Selon les rotations culturales

Après avoir analysé les statistiques des différents types de cultures individuelles pour l'année 2022, examinons maintenant l'impact de l'ensemble d'une rotation (succession des cultures sur la même parcelle au fil des années) sur le taux de couverture du sol.

Pour ce faire, et en l'absence de données de recensement couvrant plusieurs années consécutives, une série de tests a été effectuée sur différentes parcelles autour de Grancy, dont le contexte est bien connu des auteurs (cf. Tableau 3, Figure 9 et Figure 10).

Il est évident que, comme déjà mentionné, il serait nécessaire de disposer de l'ensemble des recensements de 2018 à 2023 pour réaliser une étude plus représentative et robuste au niveau cantonal. Cependant, des premiers résultats peuvent déjà être extraits de la Figure 11 :

- Le taux de couverture des deux parcelles ayant une rotation riche en prairies temporaires est similaire à celui des deux parcelles de grandes cultures céréalières, mais avec une part de végétation verte supérieure.
- Le taux de couverture des deux parcelles de grandes cultures céréalières comprenant aussi betteraves et pommes de terre est plus faible de $\pm 6\%$, avec notamment avec un taux de sol nu plus élevé que les premiers exemples.
- Enfin, les deux parcelles de grandes cultures céréalières conduites sous agroforesterie ont des taux de couverture similaires à celles sans agroforesterie. Mais la redécouverte de cette pratique est relativement récente, avec des arbres encore peu développés et un nombre limité de parcelles. Nous manquons donc pour le moment de recul pour évaluer précisément l'influence de l'agroforesterie sur la mesure FC3.

Tableau 4 : Statistiques des valeurs moyennes (± 1 écart-type) sur toute une rotation des fractions BS/NPV/PV et PV+NPV calculées sur une sélection de parcelles du pied du Jura (période de mesure 09.2018 > 08.2023).

Parcelle	BS	NPV	PV	PV+NPV	PV/(PV+NPV)	Ratio
1035 (prairie) 238 a	1'866 (± 177)	637 (± 108)	7'593 (± 160)	8'172 (± 156)	0.93	1 (ref.)
1028 1'479 a	2'094 (± 177)	1'067 (± 226)	6'999 (± 344)	7'924 (± 203)	0.88	0.97
1029 742 a	2'274 (± 229)	1'463 (± 550)	6'435 (± 781)	7'695 (± 239)	0.84	0.94
1007 116 a	2'125 (± 195)	2'224 (± 390)	5'715 (± 423)	7'878 (± 207)	0.73	0.96
1010 272 a	2'352 (± 249)	2'526 (± 312)	5'194 (± 331)	7'672 (± 262)	0.68	0.94
1014 617 a	2'862 (± 173)	2'121 (± 217)	5'265 (± 283)	7'022 (± 186)	0.75	0.86
1001 209 a	2'717 (± 263)	2'326 (± 392)	5'180 (± 269)	7'225 (± 256)	0.72	0.88
1003 717 a	2'451 (± 183)	2'118 (± 214)	5'490 (± 291)	7'524 (± 188)	0.73	0.92
1004 451 a	1'988 (± 202)	1'554 (± 162)	6'484 (± 258)	8'004 (± 203)	0.81	0.98

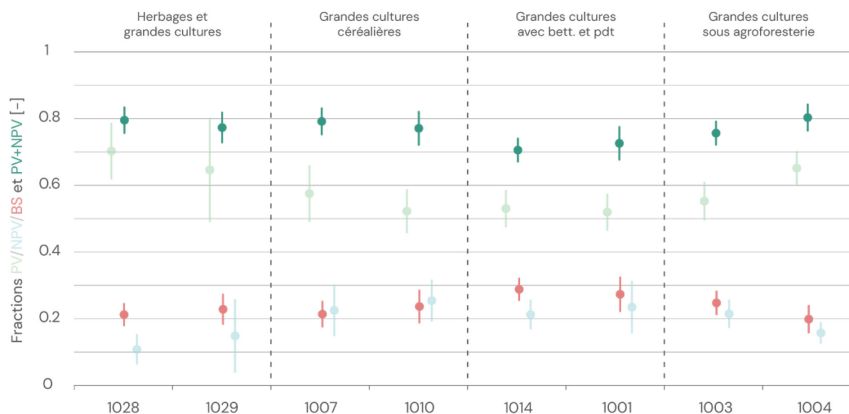


Figure 9 : Comparaison des fractions moyennes sur 5 ans (± 2 écarts-type) de PV/NPV/BS et de PV+NPV pour différentes parcelles uniques du pied du Jura suivant différents types de rotations (période de mesure : 09.2018 > 08.2023).

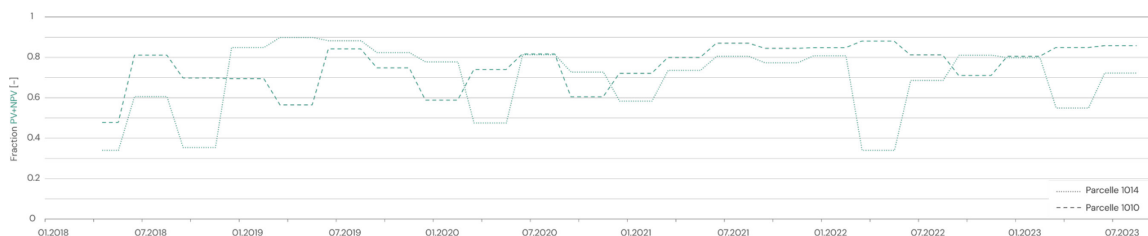


Figure 10 : Exemple de comparaison des séries temporelles des fractions PV+NPV des parcelles 1010 et 1014 illustrant les différences de couverture de sols tout au long d’une rotation de grandes cultures céréalières (parcelle 1010) et céréalières avec betteraves et pommes de terre (parcelle 1014).

Enfin, en se basant cette fois sur les moyennes extraites d’un ensemble de parcelles aux rotations de mêmes types (cf. Figure 11), nous pouvons confirmer que plus la rotation est diversifiée et compte de cultures exigeantes comme la pomme de terre et la betterave :

- Plus la fraction de sol nu est importante ;
- Plus les écarts-types sont aussi importants, montrant ainsi la grande influence que peut avoir l’itinéraire culturel sur le taux de couverture du sol.

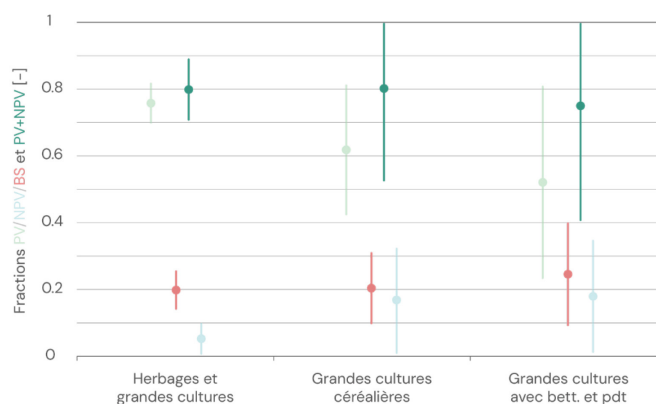


Figure 11 : Comparaison des fractions moyennes sur 5 ans (± 2 écarts-type) de PV/NPV/BS et de PV+NPV pour différentes parcelles agréées du pied du Jura suivant différents types de rotations (période de mesure : 09.2018 > 08.2023).



2.5. Indice de couverture végétal des sols

Afin d'interpréter les données FC3 en termes de couverture du sol, un indice compris entre 1 et 5 est créé pour convertir les données FC3 en classes facilement interprétables et communicables :

- Sols nus :
 - Classe 1 : sol nu marqué
 - Classe 2 : sol nu
- Niveau intermédiaire :
 - Classe 3 : sol peu couvert
- Sols couverts :
 - Classe 4 : sol couvert par de la végétation sèche, non-verte
 - Classe 5 : sol couvert par de la végétation verte

L'indice est déterminé à partir des valeurs médianes trimestrielles des fractions PV (végétation verte), NPV (végétation non-verte) et BS (sol nu), soumises au filtre post-traitement de couverture nuageuse. Comme illustré dans l'arbre décisionnel de la Figure 12, la procédure de classification suit une logique séquentielle. Ainsi, pour chaque pixel d'une image FC3 :

- Étape initiale : évaluation de la couverture par de la végétation verte via la fraction PV ;
- Étape suivante en l'absence de couvert végétal vert dominant : vérification de la présence dominante de végétation sèche via la fraction NPV ;
- Dernière étape en l'absence de couvert végétal sec : estimation du niveau de sol nu via la fraction BS.

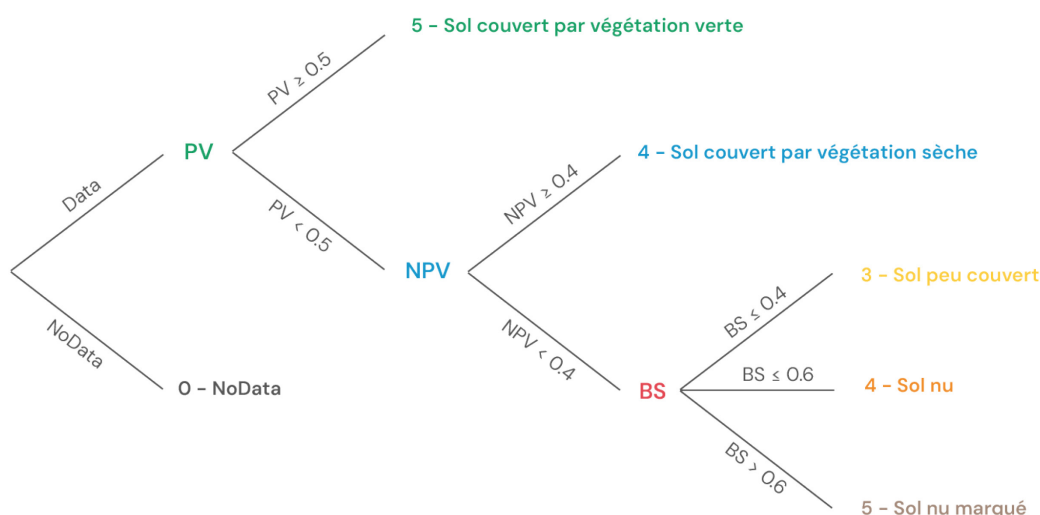


Figure 12 : Arbre de classification de l'indice de couverture des sols selon fractions PV, NPV et BS.

Enfin, l'indice de couverture, calculé à une résolution de 10 m x 10 m est spatialement lissé selon un filtre de type *Sieve* sur une surface de 2'000 m² pour limiter les petites fluctuations de mesure et faciliter la lecture de la carte à une échelle régionale.



A noter que la chaîne de traitement nécessaires au calcul de l'indice trimestriel de couverture des sols (filtre en post-traitement des zones à forte densité de nuages, calcul des médianes trimestrielles de PV/NPV/BS, reclassification en indice de couverture, lissage spatiale) est codée dans une chaîne de scripts QGIS.

Les Figures 13 et 14 illustrent l'application de l'indice de couverture sur les données FC3 dans une région du pied du Jura, avec une variation significative selon les saisons illustrant l'enchaînement des rotations et l'influence des itinéraires culturaux.

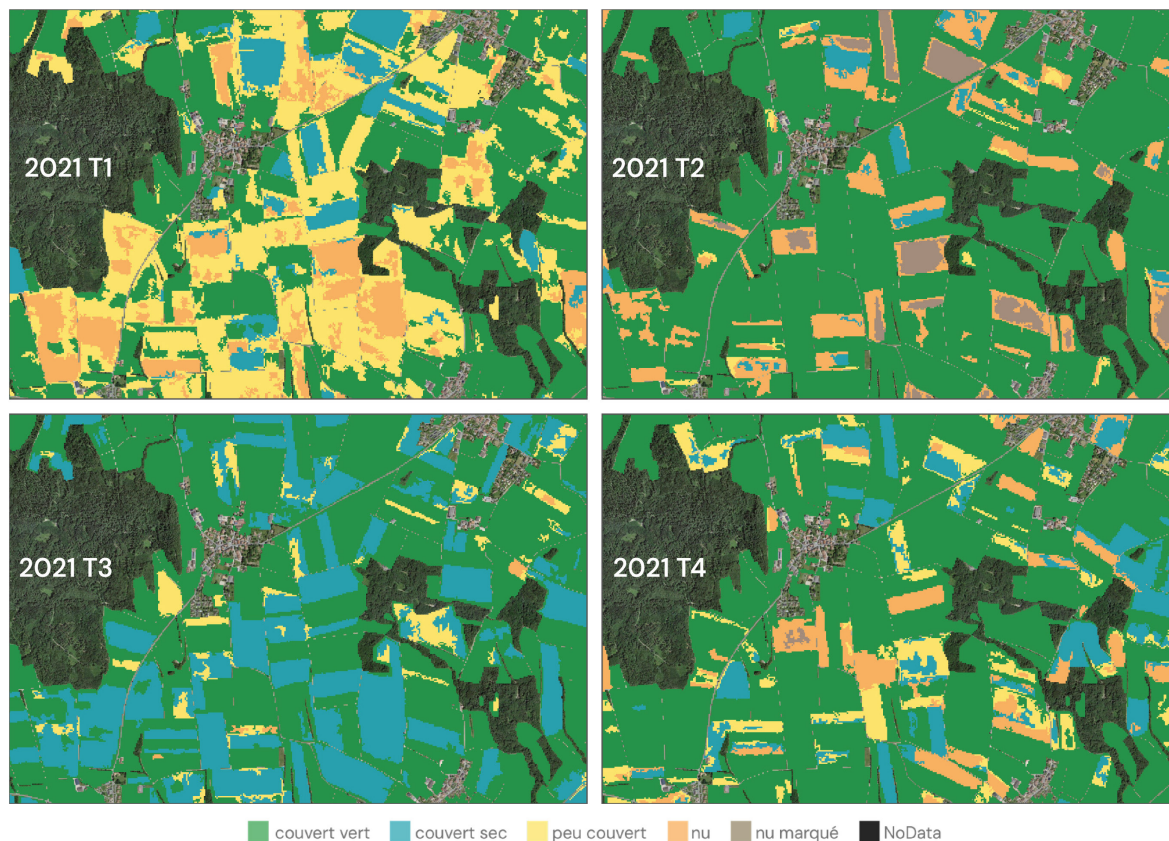


Figure 13 : Évolution au cours de l'année 2021 de la carte des indices de couverture des sols agricoles, extraite autour de Grancy au pied du Jura.

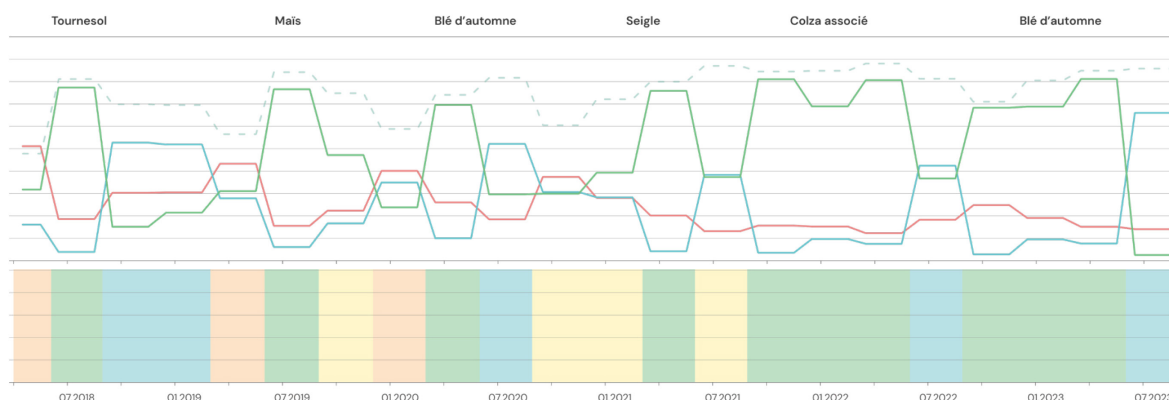


Figure 14 : Exemple des séries temporelles des fractions moyennes trimestrielles PV/NPV/BS (haut) et de l'indice de couverture des sols correspondant (bas), extraite sur une parcelle de grandes cultures céréalières (cf. Figure 5).



Notes sur le comportement de l'indice de couverture des sols

Trois remarques additionnelles quant au comportement de l'indice sont apportées :

- L'indice de couverture ne semble pas influencé par la couleur de la terre ; la plaine de l'Orbe, très riche en terres noires organiques, ne présente en effet pas un indice sol nu particulièrement élevé ni un indice de sol couvert faible (cf. § 4.2.1).
- Dans les zones de maraîchage, les sols couverts par des bâches (noires ou blanches) ressortent avec le développement de la végétation. En l'absence de végétation (au semis ou plantation), l'indice mesuré sera de classe 1 ou 2 ; en présence de végétation qui couvre les bâches, l'indice mesuré sera de classe 4 ou 5.
- Dans les vergers, la présence de filets anti-grêle ne gêne pas la mesure des fractions du FC3, grâce aux bandes du spectre infra-rouge sur lesquelles sont en partie basées leurs mesures.

Enfin, il faut noter les limitations suivantes :

- Les conditions nuageuses persistantes (particulièrement en hiver) peuvent en toute logique limiter les capacités de mesure de l'indice de couverture du sol ;
- L'algorithme FC3, et l'indice de couverture du sol qui en découle, a été ici optimisé pour un suivi statistique des sols couverts sur le long terme et à large échelle. **La chaîne de traitement n'a pas été conçue pour du conseil agronomique ou agrologique à la parcelle.**



3. Extension sur toute la période 2015–2024

3.1. Prise en main du code

La base de code du GRID-Genève comprend une série de notebooks Jupyter structurant le calcul en plusieurs étapes. Cependant, certaines fonctions nécessaires au bon fonctionnement de la chaîne de traitement (notamment la fonction de masquage des nuages basée sur la classification SCL des images Sentinel-2) manquaient et ont dû être ajoutées. De plus, les scripts fournis avaient été développés pour fonctionner directement sur le système du GRID-Genève, qui n'est pas ouvert aux tiers. Il a donc été nécessaire de modifier la stratégie d'accès aux données satellitaires, en recourant à un catalogue STAC fourni par le GRID-Genève.

Une fois la chaîne de calcul fonctionnelle, l'effort a porté sur la performance et l'ergonomie d'utilisation : un script en ligne de commande (CLI) a été ajouté pour permettre des téléchargements automatisés sans passer par le notebook, et le traitement a été parallélisé afin d'accélérer significativement le téléchargement de nombreuses tuiles. De plus, la génération des images RGB de prévisualisation a été retravaillée (composition, rendu, conversion des valeurs) afin de produire des aperçus plus exploitables. Les images originales et les masques sont désormais conservés pour retro-analyses si besoin. La gestion des données manquantes (valeurs NoData et masques NaN) a également été améliorée. Enfin, plusieurs corrections mineures ont également stabilisé le script et optimisées la taille des fichiers en sortie.

3.2. Ajout d'un filtre nuages en post-traitement sur toute la période

Pour filtrer les zones nuageuses, la chaîne de traitement du GRID-Genève s'appuie sur l'algorithme Sen2Cor proposé de base par l'ESA (Louis 2021, cf. § 2.2.1). Or Sen2Cor est un algorithme polyvalent, conçu de manière à ne pas appliquer des critères trop restrictifs dans son processus de filtrage, à la vue du grand nombre d'applications possibles. Ici, Sen2Cor n'est pas assez strict ne supprime pas toujours correctement la couverture nuageuse, même dense.

Les Figures 15 et 16 illustrent deux situations fréquentes. L'image estivale de juillet 2018 compte très peu de nuages et ne nécessite aucun post-traitement. En revanche, l'image hivernale de décembre 2015 est marquée par un fort stratus couvrant le Plateau des rives du Léman jusqu'à la Broye, et ne peut être utilisée en l'état.

Afin d'améliorer et garantir les résultats du suivi de l'indice de couverture végétal des sols, il est donc nécessaire d'améliorer ce filtre des nuages en post-traitement. Pour ce faire :

- Le Canton est divisé en 44 petits bassins versants répartis dans les neuf zones de Compensation Qualité Paysagère (cf. § 4.1.2 et Figure x) ;
- Pour chaque image FC3 mensuelle, si :
 - Plus de 33 % des prairies temporaires d'un bassin versant sont sans donnée ;
 - ou :
 - Plus de 25 % des prairies temporaires d'un bassin versant ont un indice de couverture des sols inférieur à 5 (*Sol couvert par de la végétation verte*, cf. § 2.5) ;



alors :

- Toutes les données FC3 du bassin versant ne sont pas considérées comme fiable et sont supprimées pour le mois considéré.

Ainsi, seules les données mensuelles FC3 ayant un comportement statistiquement fiable démontré par une mesure correcte de la majorité des prairies permanentes sont conservées pour la suite de l'étude.

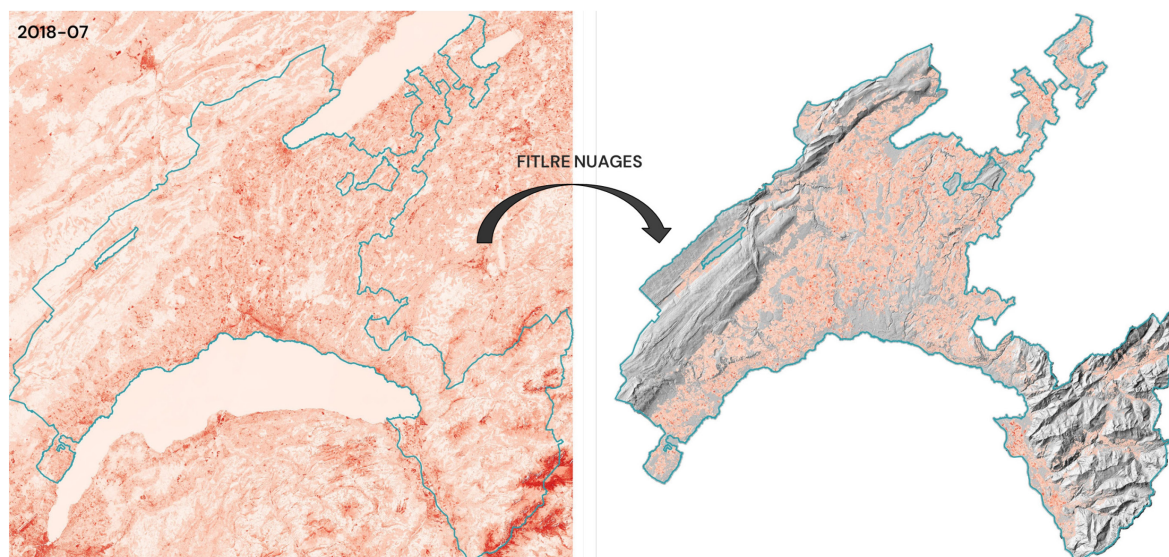


Figure 15 : Fraction BS de l'image FC3 de juillet 2018, où très peu de nuages sont observés (gauche). Ici le filtre post-traitement des nuages ne supprime donc aucune donnée (droite).

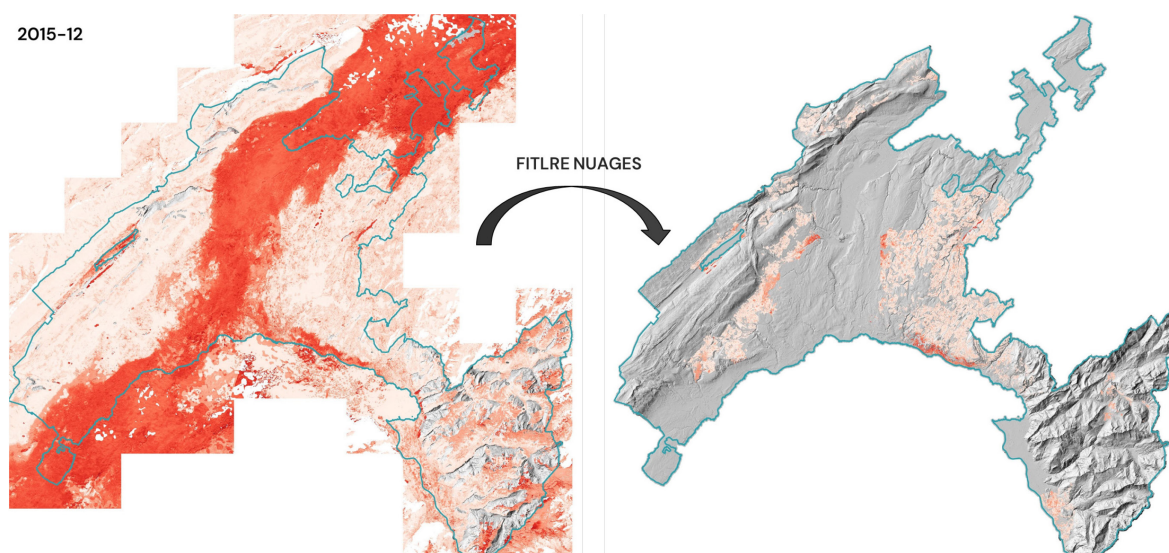


Figure 16 : Fraction BS de l'image FC3 de décembre 2018, où un fort stratus couvre le Plateau (gauche). Ici, le filtre post-traitement des nuages supprime donc toutes les données des petits bassins versant du Plateau (droite).



4. Évolution des taux de couverture de 2015 à 2024

4.1. Décomposition de la Surface Agricole Utile

4.1.1. Selon les catégories de cultures

Afin d'analyser l'évolution temporelle des taux de couverture des sols, il est tout d'abord nécessaire de subdiviser la Surface Agricole Utile (SAU) en différents types de cultures. En effet, comparer des taux de couvertures sur des parcelles viticoles, d'herbages, de grandes cultures céréalières ou de maraîchage n'est pas pertinent, tant les conditions et contraintes culturales sont différentes. La SAU vaudoise, qui s'étend sur un total de 104 726 ha, est donc répartie en six catégories, en fonction du code cultural attribué à chaque parcelle lors du recensement de 2022 (cf. Tableau 5 et Figure 17) :

- **Arboriculture** – majoritairement vergers basses tiges ;
- **Maraîchage de plein champ** – serres et autres cultures hors sol exclues ;
- **Prairies et herbages permanents** – prairies et pâturages, hors estives (non-SAU) ;
- **Terres assolées (TA)** – terres ouvertes et prairies temporaires ;
- **Viticulture** – vignes et surfaces de promotion de la biodiversité dédiées ;
- **Zone tampon** – zone de 5 m autours de chaque polygone, excluant les pixels non-entièrement inclus dans une catégorie pour limiter les effets de bord.

Tableau 5 : Répartition des différents codes culturaux dans les 6 catégories types de cultures.

Catégorie	Codes culturaux correspondants
Arboriculture	'702 Cult. fruitière (pommes)', '703 Cult. fruitière (poires)', '704 C. fruit. (fruits noyaux)', '712 Sapins de Noël', '714 Arbustes ornementaux', '715 Autres pépinières', '718 Truffières', '720 Châtaigneraies', '722 Pépinières viti'
Maraîchage	'705 Baies pluriannuelles', '706 Pl. arom. méd. pluriannu.', '707 Mpr pluriannuelles', '708 Houblon', '709 Rhubarbe', '710 Asperges', '711 Champignons', '719 Cult mûriers', '721 C hort plein air', '725 Permaculture', '731 Autres cult. fruitières', '545 Cult. mar. plein champ', '554 Cul.horti. plein champ', '797 Autres surf.pérennes', '798 Autres cultures pérennes'
Prairies et herbages permanents	'611 Prairies extensives', '612 Prairies peu intensives', '613 Prairies perm. (fauche)', '616 Pâturages attenants', '617 Pâturages extensifs', '634 Prairies riv. cours d'eau', '693 S prom biodiv (pât)', '618 Pâturages boisés', '625 Pâturages boisés(non sce)', '851 Surfaces a litière'
Terres assolées	'501 Orge de printemps', '502 Orge d'automne', '504 Avoine', '505 Triticale', '506 Méteil de céréales four.', '507 Blé fourrager', '508 Maïs grain', '509 Riz', '511 Amidonnier engrain', '512 Blé de printemps', '513 Blé d'automne', '514 Seigle', '515 Méteil de céréales pani.', '516 Epeautre', '519 Semences de maïs', '521 Maïs (ensilage et vert)', '522 Betteraves sucrières', '523 Betteraves fourragères', '524 Pommes de terre', '525 Plants de pommes de terre', '526 Colza de printemps huile', '527 Colza d'automne huile', '528 Soja', '531 Tournesol huile', '534 Lin', '536 Féveroles', '537 Pois protéagineux', '538 Lupins', '539 Courges a huile', '541 Tabac', '542 Millet', '543 Ensilage de céréales ou mélange avec légumineuses non battus', '544 Cameline', '547 Racines de chicorée', '548 Sarrasin', '549 Sorgho', '551 Baies annuelles', '553 Pl. arom. méd.annuelles', '555 Bde cult ext (cér oléag légum)', '556 Jachères florales', '557 Jachères tournantes', '559 Ourlets sur t assolées', '566 Pavot', '567 Carthame', '568 Lentilles', '569 Mélange féverole pois céréales min. 30 % légumineuses battus', '572 Bandes fleuries (SPB)', '573 Moutarde', '574 Quinoa', '575 Chanvre pour graines', '577 Autre chanvre', '591 Colza d'automne mpr', '592 Tournesol mpr', '594 SPB spéc (TO contrib)', '597 Autres t. o. avec contrib', '598 Autres terres ouvertes', '631 Légumineuses (semence)', '632 Graminées (semence)', '694 S prom biodiv (hors pât)', '601 Prairies temporaires', '602 Autres prair arti contrib'
Viticulture	'735 SPB spéc (Vignes)', '701 Vigne', '717 Surf. viti. biodiv.'

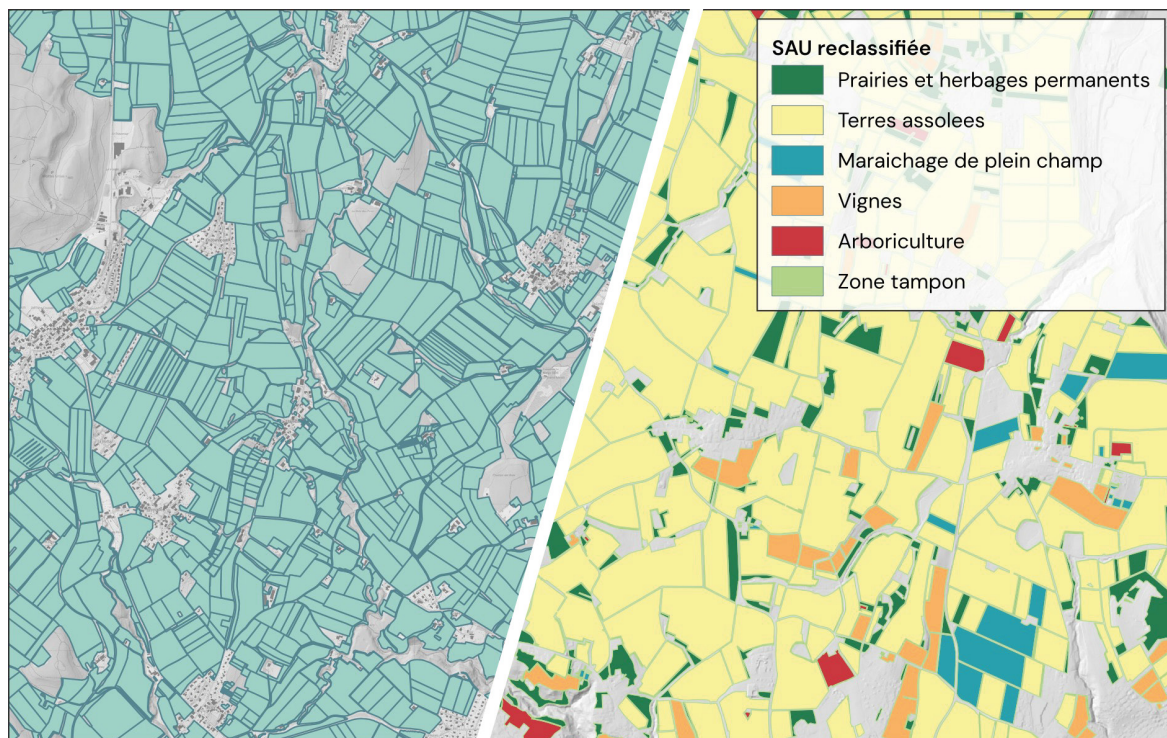


Figure 17 : Reclassification de la SAU brute telle que recensée en 2022 (gauche) en six catégories culturelles (droite).

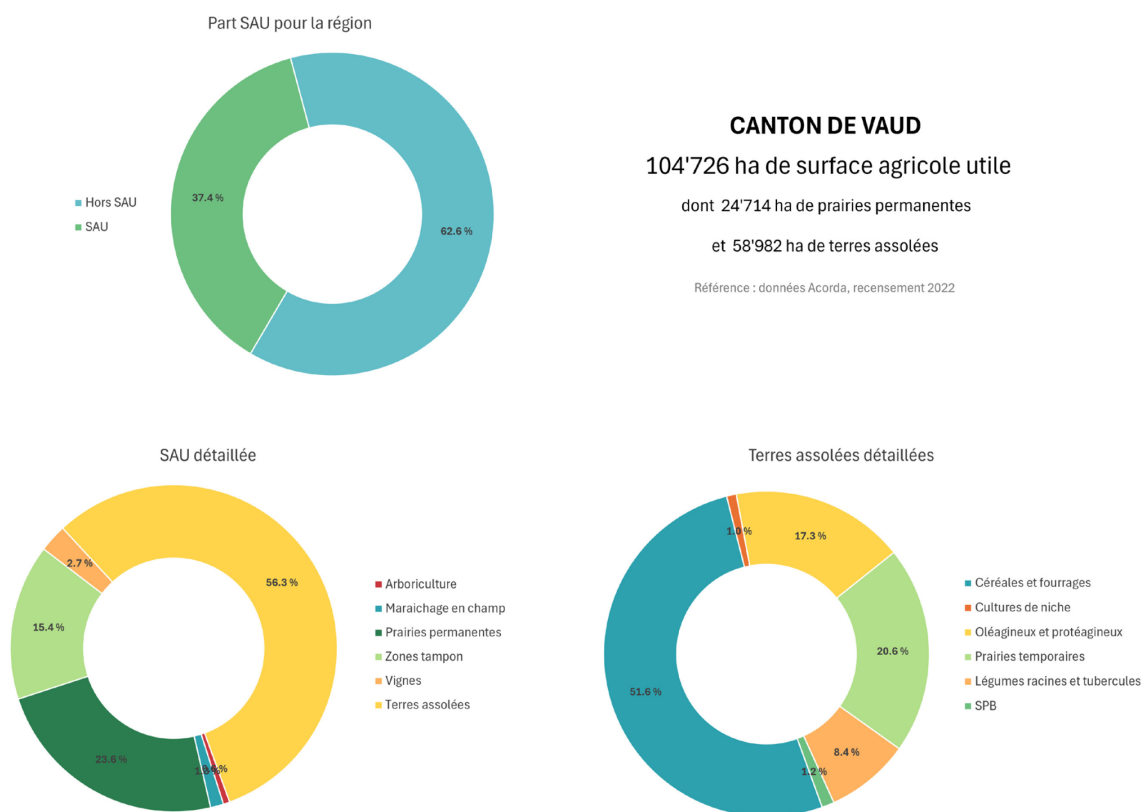


Figure 18 : Décomposition de la SAU vaudoise, basé sur le recensement 2022.



Les terres assolées mesurées (58 986 ha sur un total de 65 000 ha) représentent 56 % de la SAU mesurée et 97.7 % des sols travaillées, principalement avec des cultures de céréales et de prairies temporaires (à 72 %). Les cultures intensives, telles que betteraves et pommes de terre, ne représentent que 8 % des TA mesurées (cf. Figure 18). Les autres terres ouvertes cultivées en maraîchage (1 354 ha) constituent marginalement 1.3 % de la SAU et 2.3 % des terres ouvertes mesurées.

Les prairies et herbages permanents représentent 23 % (24 714 ha) de la SAU mesurée ; la viticulture et l'arboriculture que 3.4 % (3 541 ha). Cependant, herbages, vignobles et vergers sont normalement couverts à l'année et ne représentent donc pas un enjeu majeur dans la mesure de l'évolution de couverture des sols.

Il est à noter que les zones tampon mesurent 15 % de la SAU, signifiant que 15 % de la SAU n'est pas mesurée pour limiter les effets de bords aux limites des grandes parcelles.

Dès lors, les terres assolées sont la catégorie critique ayant le plus d'impact global sur la l'évolution de couverture des sols agricoles du Canton. A l'inverse, les zones de maraîchage de plein champ ont un impact global minime mais peuvent toutefois être localement décisives dans la protection des sols.

4.1.2. Selon les zones de Compensation Qualités Paysagères

Afin de pouvoir détecter et décrire l'existence de potentielles particularités régionales, le Canton est subdivisé en 9 zones distinctes (cf. Figure 19), suivant les limites des zones de Compensation Qualités Paysagères (CQP) :

- **Alpes**, représentant 6 840 ha (soit 6.5 % de la SAU) ;
- **Broye**, représentant 10 564 ha (soit 10.1 % de la SAU) ;
- **Gros de Vaud**, représentant 19 283 ha (soit 18.4 % de la SAU) ;
- **Jura**, représentant 4 380 ha (soit 4.2 % de la SAU) ;
- **Pied du Jura**, représentant 26 777 ha (soit 25.6 % de la SAU) ;
- **Plaine de l'Orbe**, représentant 5 179 ha (soit 4.9 % de la SAU) ;
- **Plaine du Rhône**, représentant 3 541 ha (soit 3.4 % de la SAU) ;
- **Jorat**, représentant 16 978 ha (soit 16.2 % de la SAU) ;
- **Rives lémaniques**, représentant 11 183 ha (soit 10.7 % de la SAU).

Les trois plus grandes régions en superficie de SAU sont le Pieds du Jura, le Gros de Vaud et le Jorat. Ensemble, elles représentent 60 % de la SAU et 68 % des terres assolées.

En revanche, les régions des Alpes et du Jura ne couvrent que 10 % de la SAU et sont très majoritairement constituées d'herbages permanents, ne représentant que 0.5 % des TA totales et 0.1 % du maraîchage total ; ces deux régions ne sont donc pas considérées lors de l'analyse de l'évolution temporelle de la couverture des sols de TA et de maraîchages.

Le Tableau 6 décrit les types de cultures majoritaires dans les TA de chaque CQP. Dans toutes les régions, les cultures de céréales panifiables et fourragères couvrent plus de la moitié des surfaces de TA, suivies par les cultures des prairies temporaires dans les zones à bétails ou d'oléagineux et protéagineux ailleurs.

Le détail des CQP par CQP la typologie de leur SAU (catégories de cultures et classes de plantes cultivées) est disponible dans le dossier informatique « Statistiques ».

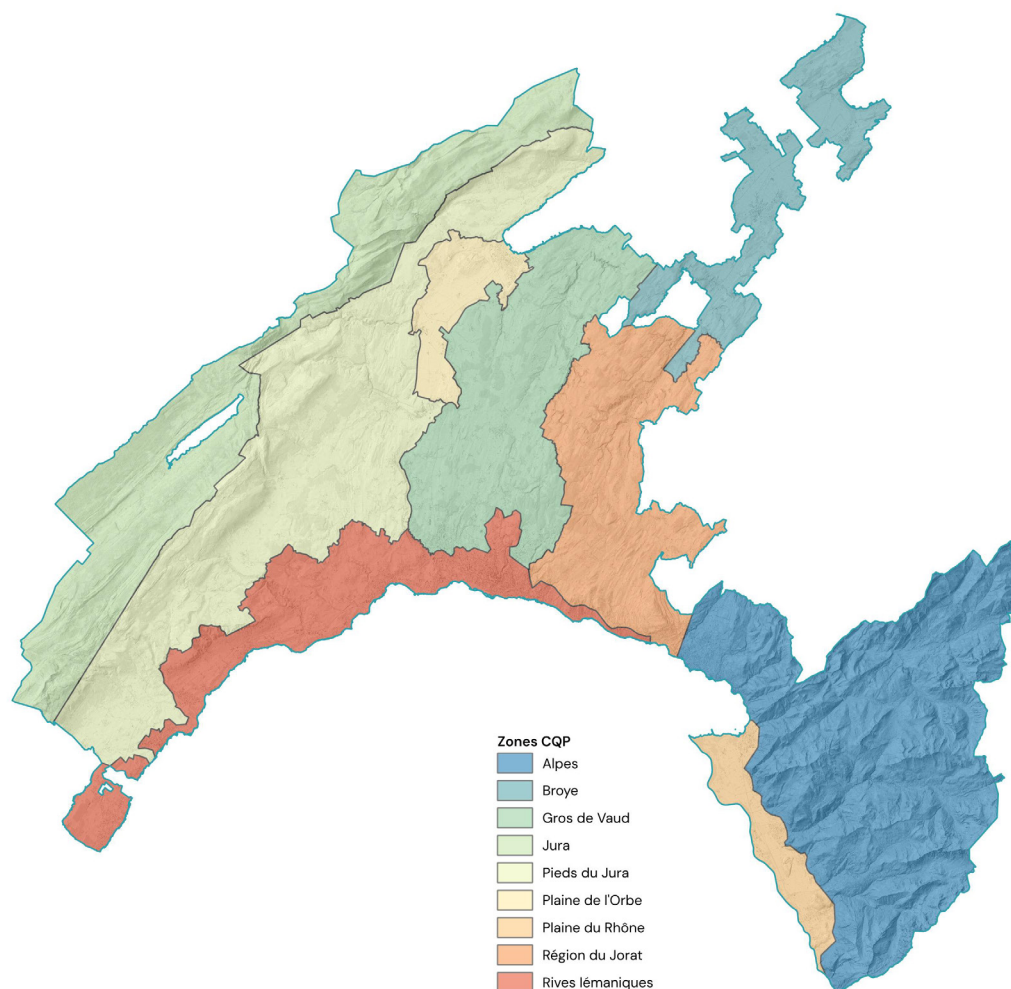


Figure 19 : Délimitations géographiques des neuf zones de Compensation Qualité Paysagère.

Tableau 6 : Type de cultures principales dans les terres assolées, par CQP (ha et % mesurés, zones tampon exclues).

CQP (ha de TA)	1 ^{ère} culture (% des TA)	2 ^{ème} culture (% des TA)	3 ^{ème} culture (% des TA)
Pieds du Jura (16 961 ha)	Céréales et fourrages (48 %)	Prairies temporaires (27 %)	Oléagineux et protéagineux (17 %)
Gros de Vaud (13 959 ha)	Céréales et fourrages (53 %)	Oléagineux et protéagineux (20 %)	Prairies temporaires (15 %)
Jorat (8 961 ha)	Céréales et fourrages (49 %)	Prairies temporaires (30 %)	Oléagineux et protéagineux (12 %)
Broye (7 419 ha)	Céréales et fourrages (53 %)	Prairies temporaires (15 %)	Légumes racines et tubercules (14 %)
Rives lémaniques (5 560 ha)	Céréales et fourrages (54 %)	Oléagineux et protéagineux (26 %)	Prairies temporaires (13 %)
Plaine de l'Orbe (3 700 ha)	Céréales et fourrages (59 %)	Oléagineux et protéagineux (17 %)	Légumes racines et tubercules (13 %)
Plaine du Rhône (1 869 ha)	Céréales et fourrages (64 %)	Prairies temporaires (17 %)	Oléagineux et protéagineux (9 %)

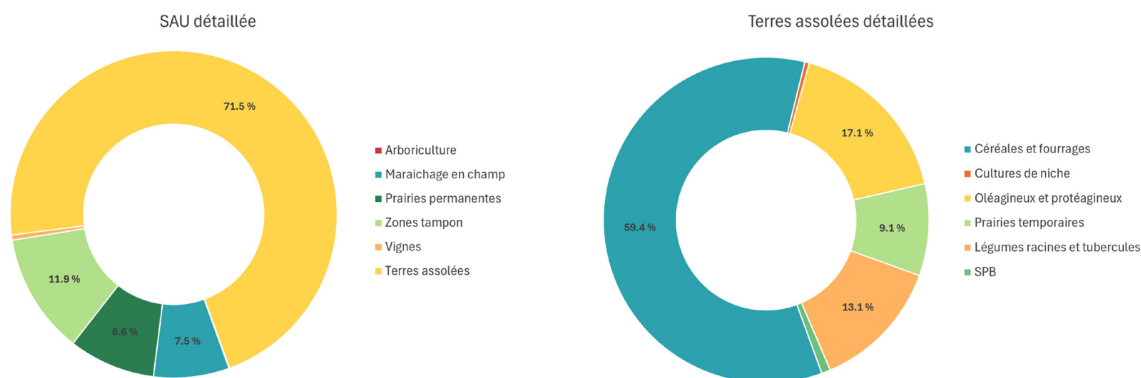


Figure 20 : Décomposition 2022 des 5 179 ha de SAU (dont 3 700 de TA) dans la **plaine de l’Orbe**.

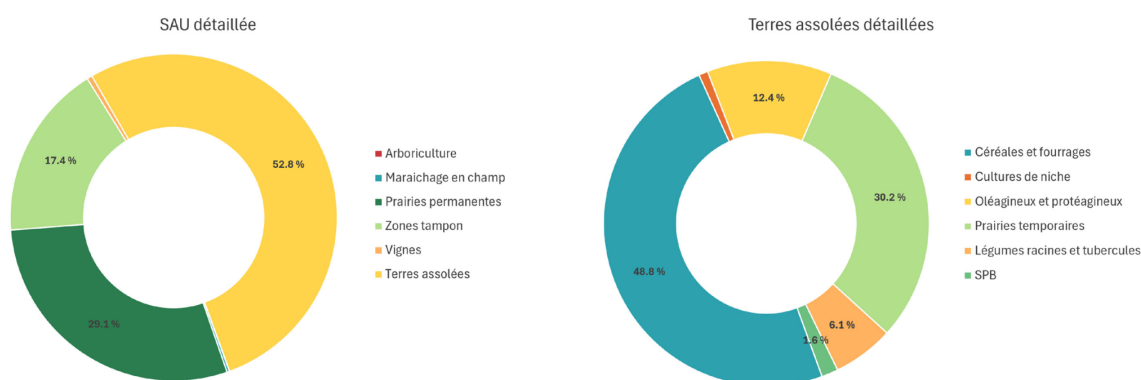


Figure 21 : Décomposition 2022 des 16 978 ha de SAU (dont 8 961 de TA) dans le **Jorat**.

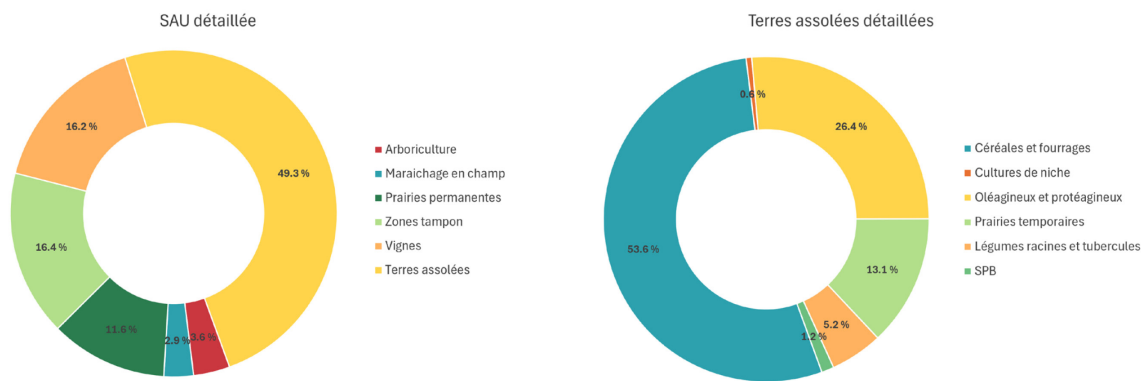


Figure 22 : Décomposition 2022 des 11 183 ha de SAU (dont 5 507 de TA) le long des **rives lémaniques**.

Les Figures 20 à 22 (extraites du dossier informatique « Statistiques ») révèlent des différences notables dans l’utilisation des terres agricoles selon les régions. Par exemple, la plaine de l’Orbe se distingue comme la région la plus intensive, avec une part élevée de terres ouvertes et peu de prairies temporaires. De plus, les cultures de pommes de terre et de betteraves y occupent 13 % des terres agricoles, complétées par une surface notable de maraîchage. À l’inverse, le Jorat est la région de grande culture la moins intensive, avec une forte présence de prairies temporaires sur plus de 30 % des terres agricoles. Le Pieds du Jura, le Gros de Vaud, la Broye et la plaine du Rhône se situent entre ces deux typologies. Enfin, la région des rives lémaniques se démarque par une grande proportion de vignes et de vergers.



4.2. Suivi du taux de couverture sur les terres assolées

Sur la base des cartes de l'indice de couverture des sols (cf. § 2.5 et 3.1), la superficie couverte par chaque indice pour chaque catégorie de culture et chaque région est mesurée trimestriellement. Cela permet ainsi d'extraire des séries temporelles qui suivent la superficie couverte par chaque indice dans chaque région (cf. Figure 23).

Ensuite, en additionnant les surfaces couvertes par les indices 4 et 5, resp. 1 et 2, il est possible de mesurer le nombre total d'hectares (ou leur pourcentage) de terres agricoles bien couvertes par de la végétation vivante ou sèche, resp. nues (cf. Figure 24).

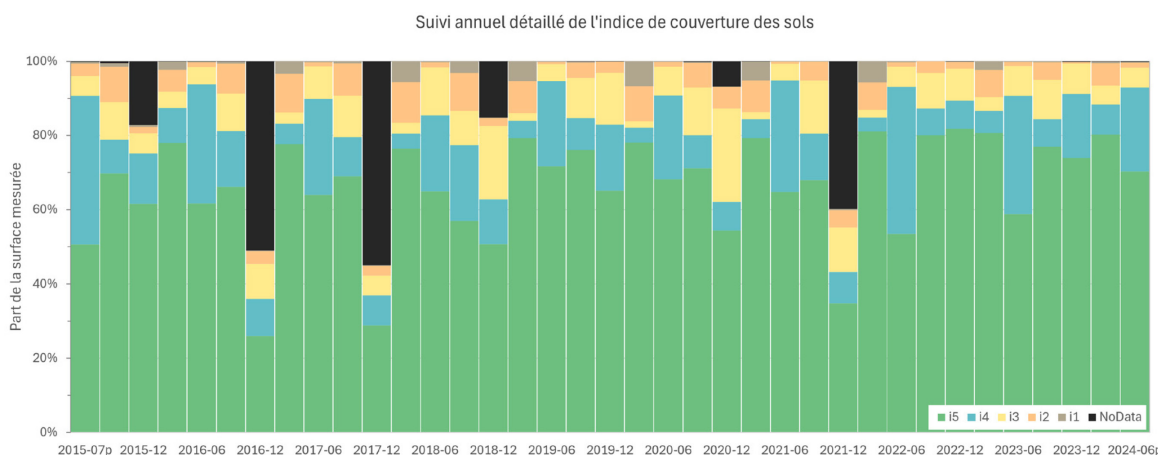


Figure 23 : Mesure trimestrielle entre juillet 2015 et août 2024 de la surface (en %) couverte par chaque indice sur l'ensemble des terres assolées du Canton.

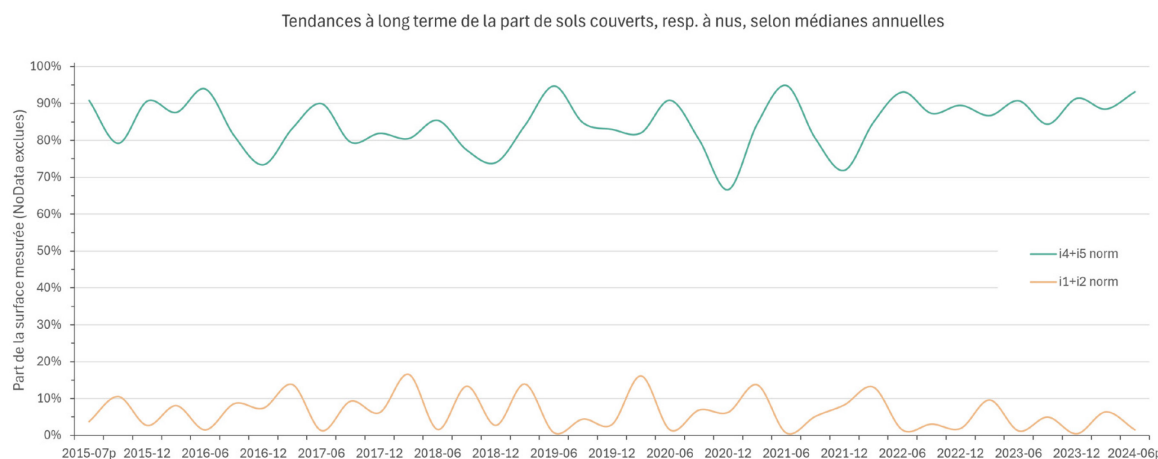


Figure 24 : Série temporelle de la part de terres assolées couvertes (courbe verte) et nues (courbe orange) sur le Canton.

Finalement, plusieurs données sont calculées et analysées : il s'agit de l'évolution de la part de sols couverts et nus entre 2015 et 2024 (1) au fil du temps, (2) durant les trimestres d'automne et d'hiver spécifiquement et (3) durant les mois de septembre uniquement.

Les résultats complets des terres assolées et zones de maraîchage sont disponibles dans le dossier informatique « Statistiques ». Les résultats complets pour les autres catégories (herbages permanents, viticulture et arboriculture) y sont également disponibles.



4.2.1. Bilan des mesures

Comme reporté sur la Figure 26, au début des mesures en 2015, plus de 83 % des sols des terres assolées mesurées sont majoritairement couverts à l'année ; à l'inverse, 7.5 % sont majoritairement nus. A la fin des mesures en 2024, plus de 89.5 % des sols des terres assolées sont majoritairement couverts à l'année ; à l'inverse, 2 % sont majoritairement nus. **En 9 ans**, cela représente une **augmentation de 3'650 ha de la surface de sols couverts** (soit 6.5 % des TA) et une **diminution de 3'230 ha de la surface de sols nus** (soit 5.5 % des TA).

Ces changements ne sont pas le fait d'une transition douce marquée par une évolution linéaire. En effet, des étés 2015 à 2022, une stagnation des taux de sols couverts et nus et des fortes variations intra-saisonnières et intra-annuelles sont mesurées. Or **un changement de comportement manifeste est constaté depuis 2022** avec un saut marqué des taux de sols couverts et nus, ainsi que des **variations saisonnières nettement lissées**, avec un maximum de gain de sols couverts en hiver. Cette tendance se maintient sur toute la période 2022-2024.

Ces constatations générales s'observent sur l'ensemble des régions CQP. Toutefois, quelques particularités régionales peuvent également être notées :

- Les niveaux initiaux du taux de sol couvert varient selon les régions (de 79 à 87 %), mais tous augmentent (cf. Figure 25). Les plus fortes progressions sont mesurées dans la plaine du Rhône (+ 8.7 %), suivie du Gros de Vaud (+ 7.0 %) et du Jorat (+ 6.6 %). Mais ces régions partaient de taux initiaux les plus bas (\pm 80 %). À l'inverse, la plus faible progression est observée dans la plaine de l'Orbe (+ 3.9 %) ; cependant, cette région était celle où le taux initial était le plus élevé (86 %).
- À la fin des mesures, **les plus hauts taux de couverture des sols de terres assolées se trouvent dans la plaine de l'Orbe (90 %) et dans le Jorat (93 %)**, malgré leurs typologies opposées du Canton (l'une est comparativement intensive, l'autre extensive, cf. § 4.1.2).
- Dans le Gros de Vaud et le Jorat, une forte augmentation du taux de sols couverts est mesurée pour les mois de septembre (+ 8.6 et 8.9 % au lieu de 5.3 % en moyenne). À contrario, la plaine du Rhône est la seule région où ce taux stagne.
- Enfin, la Broye est la seule région à connaître une diminution de la mesure des sols couverts en hiver. Or les mesures hivernales y sont souvent perturbées par une masque nuageux important et son influence sur la mesure est difficilement quantifiable. Il n'est donc pas possible d'expliquer en l'état si cette baisse est issue d'une perturbation de la mesure ou si elle est bien réelle.

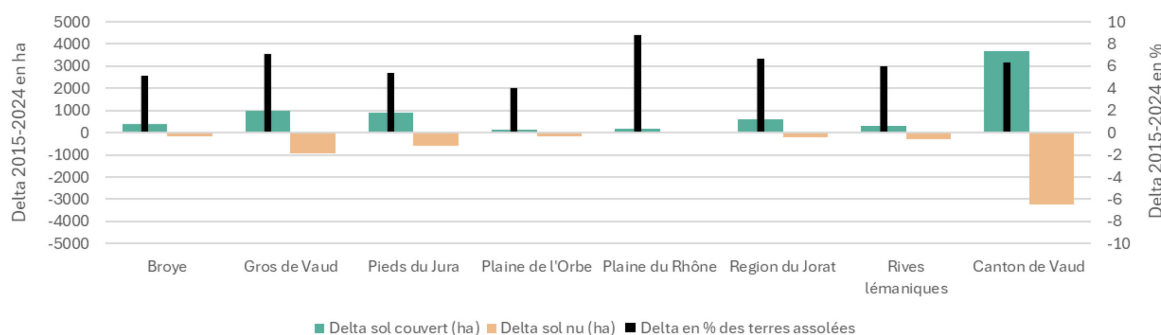


Figure 25 : Évolution 2015-2024 des surfaces de sols couverts et nus pour les terres assolées des différentes CQP.



CANTON DE VAUD - TERRES ASSOLÉES

58 986 ha mesurés

Augmentation de la surface de sols couverts : + 3 658 ha (6.2 % de la surface)

Périodes 2015-2018 → 2018-2022 : - 182 ha (0.3 %) Périodes 2018-2022 → 2022-2024 : + 3 840 ha (6.5 %)

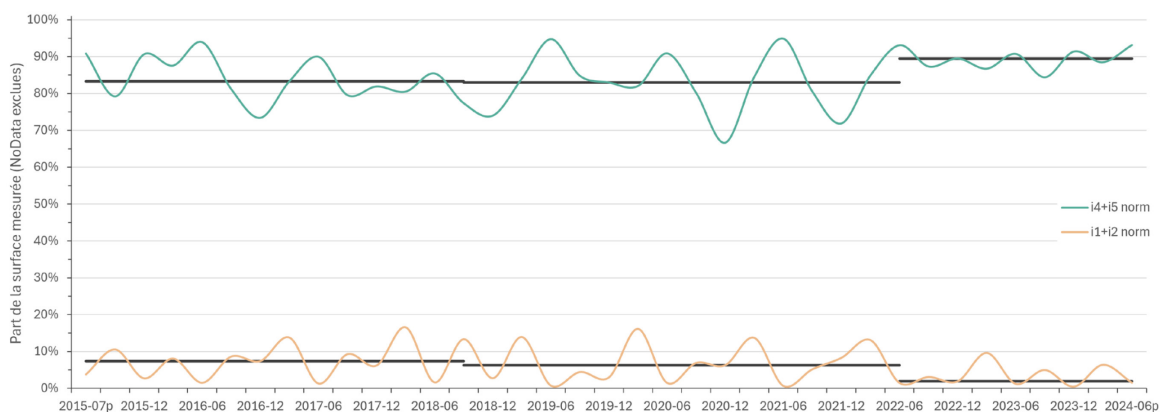
→ Hivers : + 5 028 ha (8.5 %) → Automnes : + 3 720 ha (6.3 %) → Septembres : + 3 800 ha (6.4 %)

Diminution de la surface de sols nus : - 3 239 ha (5.5 % de la surface)

Périodes 2015-2018 → 2018-2022 : - 662 ha (1.1 %) Périodes 2018-2022 → 2022-2024 : - 2 577 ha (4.4 %)

→ Hivers : - 2 953 ha (5.0 %) → Automnes : - 3 084 ha (5.2 %) → Septembres : - 2 700 ha (4.6 %)

Tendances à long terme de la part de sols couverts, resp. à nus, selon médianes annuelles



Suivi annuel détaillé de l'indice de couverture des sols

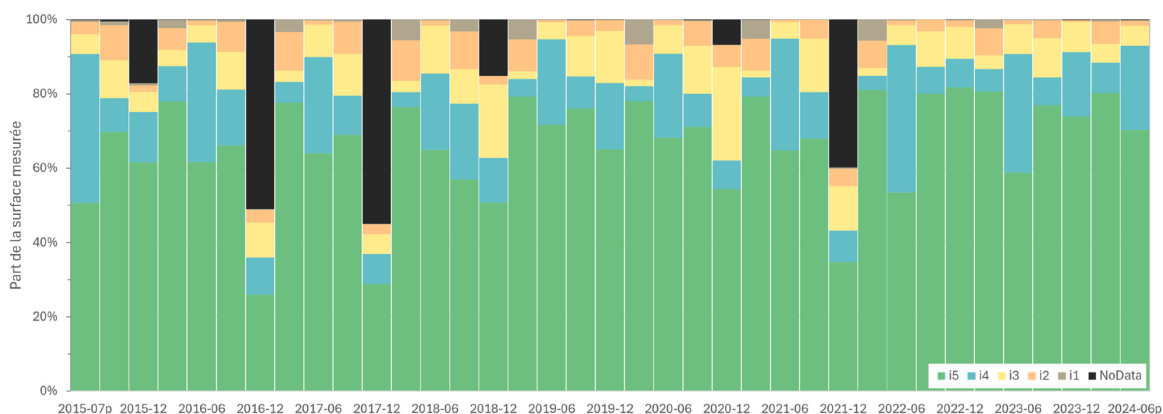


Figure 26 : Mesures des taux de sols couverts/nus et extraction de leurs tendances à long terme sur l'ensemble des terres assolées mesurées du Canton de Vaud.



En comparant mesures et tendances entre les terres assolées et l'ensemble de la SAU mesurées (cf. Figure 27), les mêmes conclusions peuvent être tirées : augmentation de la surface totale bien couverte, diminution des variations saisonnière et saut en 2022. En effet, la SAU étant constituée très majoritairement de TA ou de surfaces déjà couvertes à l'années (cf. § 4.1.1), il est logique que le comportement de la SAU suive celui des TA.

CANTON DE VAUD - TOTAL

104 726 ha mesurés

Augmentation de la surface de sols couverts : + 3 477 ha (3.3 % de la surface)

Périodes 2015-2018 → 2018-2022 : - 838 ha (0.8 %) Périodes 2018-2022 → 2022-2024 : + 4 315 ha (4.1 %)

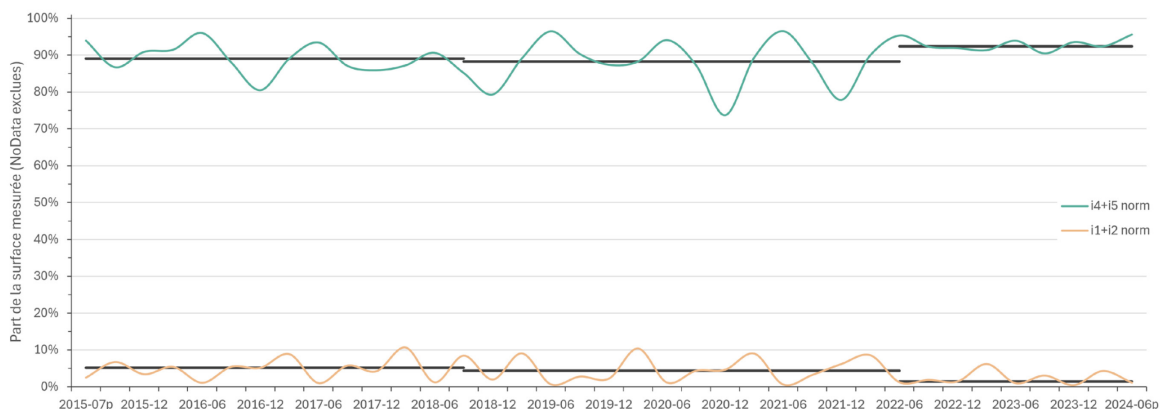
→ Hivers : + 7 155 ha (6.8 %) → Automnes : + 4 485 ha (4.3 %) → Septembres : + 4 635 ha (4.4 %)

Diminution de la surface de sols nus : - 3 865 ha (3.7 % de la surface)

Périodes 2015-2018 → 2018-2022 : - 824 ha (0.8 %) Périodes 2018-2022 → 2022-2024 : - 3 041 ha (2.9 %)

→ Hivers : - 3 441 ha (3.3 %) → Automnes : - 3 440 ha (3.3 %) → Septembres : - 3 248 ha (3.1 %)

Tendances à long terme de la part de sols couverts, resp. à nus, selon médianes annuelles



Suivi annuel détaillé de l'indice de couverture des sols

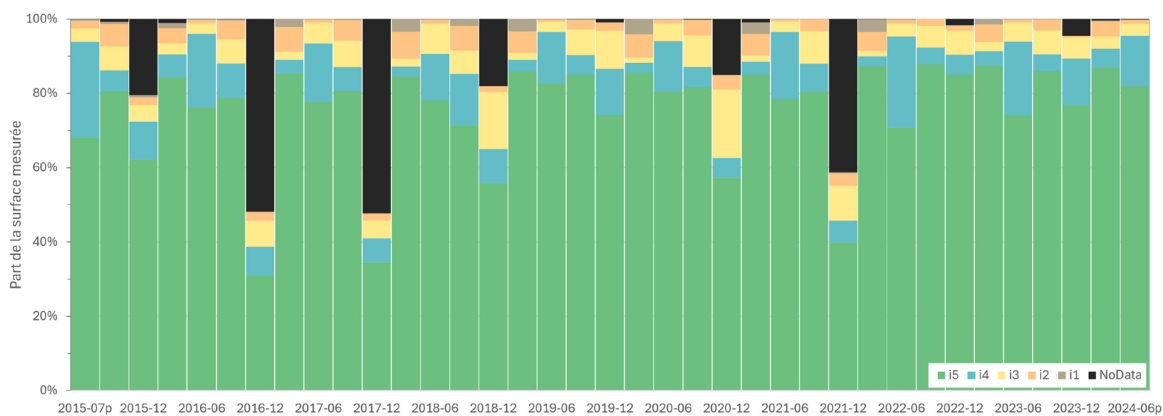


Figure 27 : Mesures des taux de sols couverts/nus et extraction de leurs tendances à long terme sur l'ensemble de la SAU mesurée du Canton de Vaud.



4.2.2. Interprétations possibles sur le tournant 2022

Données climatiques

À partir des mesures des stations de MétéoSuisse de Genève, Payerne et Neuchâtel, des données de température, d'ensoleillement et de précipitations moyennes journalières sont calculées. Pour ce faire, ces trois paramètres sont agrégés en moyennes trimestrielles ; ensuite, les valeurs moyennes des périodes 2015/2018, 2018/2022 et 2022/2024 sont comparées aux moyennes de la période de référence 1950–2024.

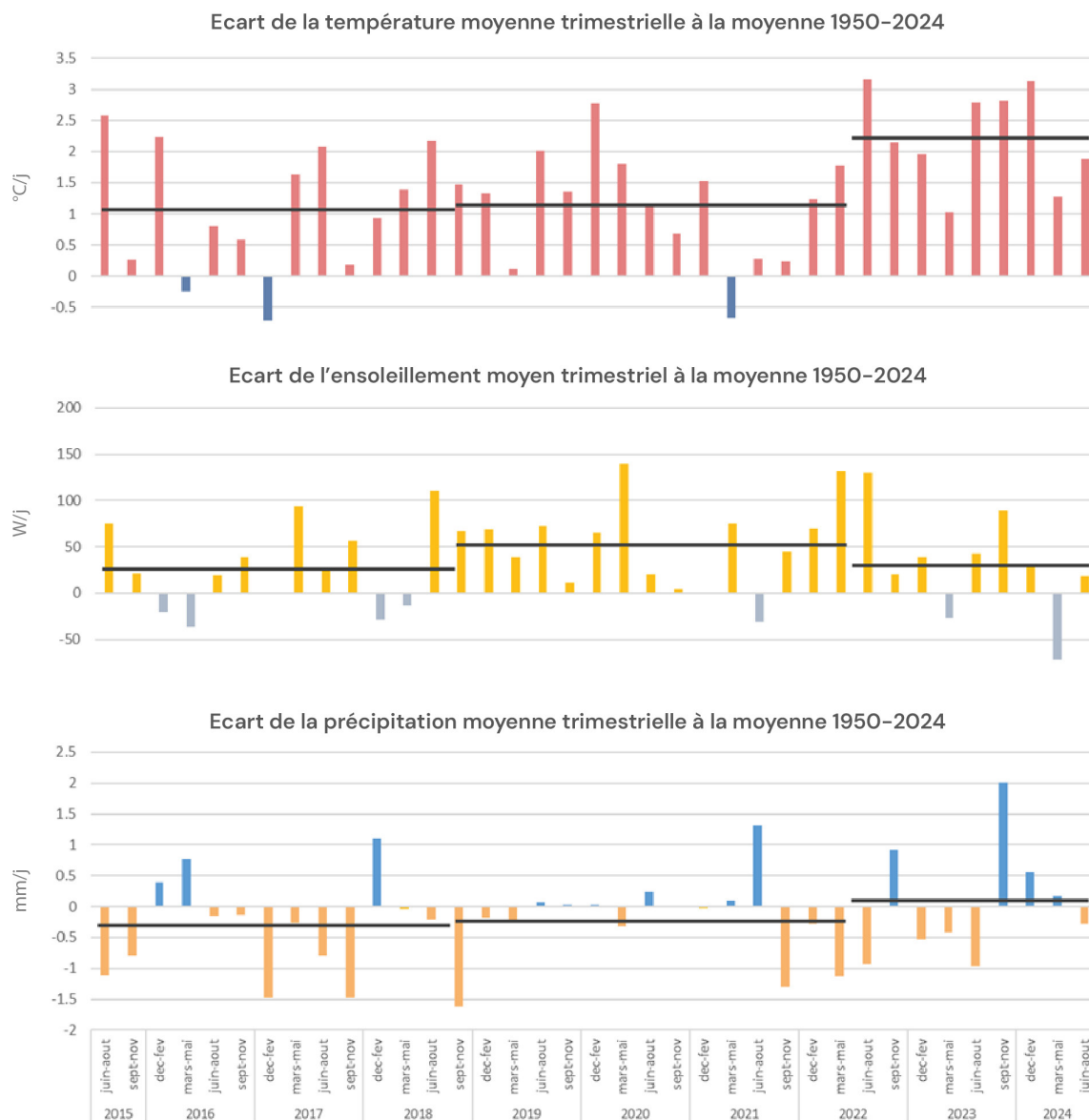


Figure 28 : Synthèse des écarts trimestriels de température, d'ensoleillement et de précipitation par rapport à la période de référence, basée sur les données journalières des stations MétéoSuisse de Genève, Payerne et Neuchâtel.

Comme représenté sur la Figure 28, les trois périodes ont été plus chaudes que la moyenne des 74 dernières années, avec un pic lors de la période 2022–2024 avec une hausse de +2° C/j. De plus, les trois périodes ont été plus ensoleillées que la moyenne des 74 dernières années, avec



un pic de +50 W/j pendant la période 2018–2022. Enfin, les précipitations moyennes ont été inférieures de -0.3 mm/j (représentant -110 mm/an) à la moyenne des 74 dernières années de 2015 à 2022, puis équivalentes pendant la période 2022–2024. Il faut noter une sécheresse importante en 2017, 2018, 2022 et 2023, et une pluviométrie plus importante fin 2023 et 2024.

Sur la seule base de ces données, il n'est pas possible de tirer des conclusions pertinentes quant au rôle potentiel des conditions climatiques sur l'évolution des taux de sols couverts ou nus. En effet par exemple, la période 2022–2024 a subi 2 épisodes de sécheresses et 2 pluvieux ; or ces épisodes ne peuvent être temporellement corrélés à des variations inter-saisonnières exceptionnelles dans cet intervalle de temps.

Pratiques culturales

Le 1^{er} juillet 2022, les programmes fédéraux de *Couverture appropriée du sol* (cf. Figure 29) et *Techniques culturales préservant le sol* (cf. Figure 30) sont initiés pour encourager la mise en de couverts d'intercultures courtes en été, la prolongation des couverts longs en hiver et la généralisation des semis simplifiés ou directs.

Or un changement des pratiques agricoles avec une intensification annuelle des couverts végétaux et une diminution du travail du sol peuvent expliquer le tournant majeur mesuré en 2022. En effet :

- L'introduction à large échelle des couverts d'intercultures courtes (semés fin juillet et détruits à l'automne, cf. Figure 31), couvrant ainsi des parcelles généralement déchaumées jusqu'alors, peut expliquer les nettes augmentation, resp. diminution, des taux de sols couverts, resp. nus ;
- L'obligation de la non-destruction du système racinaire avant le 15 février, précédant le semis d'une culture de printemps, peut expliquer le lissage des variations saisonnières en réduisant drastiquement le nombre de parcelles labourées dès le début de l'hiver (et restant donc nues jusqu'au printemps) ;
- L'encouragement à l'utilisation sur 60 % des terres ouvertes de techniques culturales simplifiées lors des semis (à la volée, sous litière, en bande fraisée, cf. Figure 32, voire direct), peut enfin expliquer le gain plus important de sols couvert (+ 6.2 %) que la perte de sols nus (- 5.5 %).

Or d'après un suivi de l'OFAG réalisé en 2025, les programmes sur la couverture appropriée et sur les techniques culturales simplifiées ont été appliqués sur 77% et 53% des terres ouvertes vaudoises (cf. archives du journal *Agri Hebdo* du 23 mai 2025). La **correspondance temporelle nette entre l'introduction de ces programmes très suivis et les changements significatifs mesurés suggère un fort lien de cause à effet.**

Ces changements sont mesurés tant dans des régions plus extensives comme le Jorat riche en prairies temporaires que des régions plus intensives comme la plaine de l'Orbe riches en pommes de terre et betteraves (cf. § 4.2.1). Ils ne dépendent donc pas seulement d'une typologie culturale, mais également de la bonne application de ces pratiques.

Cependant, une étude géostatistique, intégrant les données de rotations et techniques culturales issues des recensements agricoles annuels, serait nécessaire pour confirmer les raisons avancées expliquant cette évolution positive du taux de couverture végétale.



18
Production végétale
Vendredi 1^{er} juillet 2022
Agri

PAIEMENTS DIRECTS 2023

POLITIQUE AGRICOLE

Couverture appropriée du sol

Contributions pour une couverture appropriée du sol

<p>Mise en place</p> <p>Max. 7 semaines entre la récolte du précédent et la mise en place de la culture ou interculture</p> <p>Été</p> <p>Automne</p>	<p>Exception</p> <p>Couverture pas nécessaire si culture récoltée après le 30 septembre</p>	<p>250.-/ha</p> <p>Autres légumes annuels, petits fruits annuels, plantes aromatiques et médicinales annuelles</p> <p>1'000.-/ha</p> <p>Au moins 70% de la surface est couverte en tout temps par une culture ou une interculture</p>
<p>Culture de printemps</p> <p>Aucun travail du sol n'est effectué avant le 15 février</p> <p>Hiver</p> <p>Printemps</p>	<p>Exception</p> <p>Travail du sol en bande en vu d'un semis autorisé avant le 15 février</p>	<p>1'000.-/ha</p> <p>Vignes</p> <ul style="list-style-type: none"> Au moins 70% de la surface de vigne est enherbée Le marc est rapporté et épandu sur la surface de vigne de l'exploitation <p>Durée d'engagement de 4 ans</p>

Obligatoire pour participer

Pour toucher les contributions en 2023, les exigences doivent être respectées à partir de la récolte 2022 !

Contributions pour des techniques culturales préservant le sol

La fertilité du sol est un facteur essentiel pour la productivité à long terme. Une augmentation de la teneur en matière organique permet d'avoir une meilleure structure et donc de diminuer les risques d'érosion et de compactage.

Le stockage de carbone dans les sols est de plus en plus un levier essentiel pour lutter contre le changement climatique. La Confédération a donc retenu pour la nouvelle politique agricole deux mesures fondamentales de l'agriculture de conservation: une couverture du sol la plus exhaustive et la plus longue possible, et les techniques culturales préservant le sol (TCS).

Ces deux mesures «Couverture appropriée du sol» et «Techniques culturales préservant le sol dans les cultures principales sur terres assolées» sont liées car la première est obligatoire pour pouvoir s'inscrire à la seconde. Comme elles s'adressent aux terres ouvertes, elles représentent un enjeu financier important pour compenser la diminution de la contribution de base pour les exploitations de grandes cultures.

Limiter les périodes de sol nu

L'article de ce jour traite de la mesure «Couverture appropriée du sol» pour les grandes cultures. Les autres aspects «Couverture appropriée du sol pour la vigne» et «Techniques culturales préservant le sol dans les cultures principales sur terres assolées» seront traités au cours des prochaines semaines.

L'objectif de la mesure «Couverture appropriée du sol» est de réduire autant que possible les périodes durant lesquelles le sol est nu. Deux axes principaux ont été retenus: une couverture du sol entre la récolte et la mise en place d'une culture d'automne et une couverture du sol jusqu'en fin d'hiver pour les cultures de printemps. On peut d'ailleurs rappeler que jusqu'en 2004, il était nécessaire que certaines parcelles restent couvertes jusqu'au 15 février!

Le délai pour la mise en place de cette mesure est très court: les moissons sont en cours pour les orges et le colza, donc il faut déjà se préoccuper de ces couverts, puisque l'OPD impose que les exigences soient respectées pour les cultures mises en place en automne 2022.

STÉPHANE TEUSCHER,
CHEF DU DSC, PROMÉTÈRE

INFOS UTILES
www.prometterre.ch
Proconseil: 021 614 24 30
Fiche Agridea: normal.dot
www.agripedia.ch

Figure 29 : Principes généraux de la mesure *Couverture appropriée du sol*, communiqués au lancement de la mesure (source : archives du journal *Agri Hebdo* du 1^{er} juillet 2022).

Agri
Vendredi 8 juillet 2022
Production végétale
19

PAIEMENTS DIRECTS 2023

POLITIQUE AGRICOLE

Contribution pour les techniques culturales préservant le sol

Contributions pour des techniques culturales préservant le sol

<p>Éléments existants maintenus</p> <ul style="list-style-type: none"> Semis sous litière Travail du sol sans labour Semis en bandes Max 50% de la surface de sol travaillée Semis direct Max 25% de la surface de sol travaillée 	<p>Nouvelles exigences</p> <div style="text-align: center;"> </div> <ul style="list-style-type: none"> Min. 60% des TO de l'exploitation Exigence des couvertures Durée d'engagement de 4 ans Tarif unique 250.-/ha
--	--

Pas de contribution pour :

- Prairies temporaires en semis sous litière
- Intercultures
- Blé et triticales après maïs

Exceptions

Pas de labour entre la récolte du précédent et la récolte de la culture principale

Max 1.5 kg de matière active de glyphosate/ha/an

STÉPHANE TEUSCHER,
CHEF DU DSC, PROMÉTÈRE

INFOS UTILES
www.prometterre.ch
Proconseil: 021 614 24 30

La Confédération renforce les exigences de soutien aux semis sans labour.

Pour maintenir, voire améliorer la fertilité du sol indispensable à une production agricole à long terme, la Confédération a retenu pour la nouvelle politique agricole deux mesures fondamentales de l'agriculture de conservation: les contributions pour une «Couverture appropriée du sol» et celles pour des «Techniques culturales préservant le sol (TCS)», objet du présent article.

Ces deux mesures sont liées car pour prétendre aux CTPS, l'exploitant doit être également inscrit à la couverture appropriée du sol. Elles représentent un enjeu financier important pour compenser la diminution de la contribution à la sécurité de l'approvisionnement des exploitations de grandes cultures.

Figure 30 : Principes généraux de la mesure *Techniques culturales préservant le sol*, communiqués au lancement de la mesure (source : archives du journal *Agri Hebdo* du 8 juillet 2022).



Figure 31: Illustration d'un couvert végétal d'interculture courte semé début juillet et détruit fin septembre. Il y a quelques années, cette parcelle aurait été laissée à nue durant cette période d'interculture.



Figure 32 : Illustration d'une pratique de semis de maïs en bande fraisée (à droite), où seule la ligne de semis est travaillée et où l'inter-rang est laissé enherbé. La parcelle de gauche, en comparaison, est un semis de maïs après labour.



Enfin, plus localement :

- La forte augmentation du taux de sol couvert mesurée pour les mois de septembre dans le Jorat (cf. § 4.2.1) peut être expliquée par un semis de couverts d'été ou de prairies temporaires en fin de rotation plus important qu'ailleurs.
- Un plus faible recours qu'ailleurs aux couverts d'été pourrait expliquer le fait que la plaine du Rhône est la seule région où le taux de sols couverts stagne depuis 2015 (cf. § 4.2.1).
- La couverture nuageuse hivernale s'est révélée importante dans la Broye et la plaine du Rhône, rendant les mesures et les interprétations sur ces régions plus délicates.

4.3. Particularités des zones de maraîchage

Concernant les zones de maraîchage en plein champ (2.3 % des terres ouvertes) :

- Au début des mesures, ± 78 % des sols de maraîchage sont bien couverts, et ± 11 % sont majoritairement nus ;
- A la fin des mesures, ± 79 % des sols de maraîchage sont bien couverts, et ± 12 % sont majoritairement nus ;
- Les variations inter-saisonniers stagnent ;
- Une forte diminution des taux de sols couverts est même mesurée durant la période 2018-2022.

Aucun changement significatif n'est observé sur les zones de maraîchage entre le début et la fin des mesures. A l'heure actuelle, ce constat interpelle et soulève plusieurs questions :

- Existe-t'il un plafond du taux de sols couverts en raison des pratiques courantes actuelles ?
- Les sols identifiés comme maraîchers dans le recensement 2022 le sont-ils sur toute la période 2015-2024 ?
- Comment appréhender les effets sur la mesure globale des différences entre une culture maraîchère de type carotte ou haricot (semée sur une grande surface et pour toute une saison) et une culture maraîchère de type salade (avec un renouvellement mensuel) ?
- Enfin, la plaine du Rhône est moins bien couverte (71 %) et connaît des variations saisonnières plus importantes que les autres régions (comme la plaine de l'Orbe, couverte à 84 %). Est-ce due à une typologie différente des cultures maraîchères, comme évoqué au point précédent ? Ou est-ce également due aux mesures partiellement obstruées par une forte couverture nuageuse ?

Une prise en main de la méthode de mesure et des données finales par une personne spécialisée dans les cultures maraîchères vaudoises serait nécessaire pour résoudre cette problématique.



CANTON DE VAUD - MARAICHAGE DE PLEIN CHAMP

1 354 ha mesurés

Augmentation de la surface de sols couverts : + 14 ha (1.0 % de la surface)

Périodes 2015-2018 → 2018-2022 : - 72 ha (5.3 %)

Périodes 2018-2022 → 2022-2024 : + 86 ha (6.4 %)

→ Hivers : + 32 ha (2.4 %)

→ Automnes : + 63 ha (4.6 %)

→ Septembres : + 49 ha (3.6 %)

Augmentation de la surface de sols nus : + 19 ha (1.4 % de la surface)

Périodes 2015-2018 → 2018-2022 : + 31 ha (2.3 %)

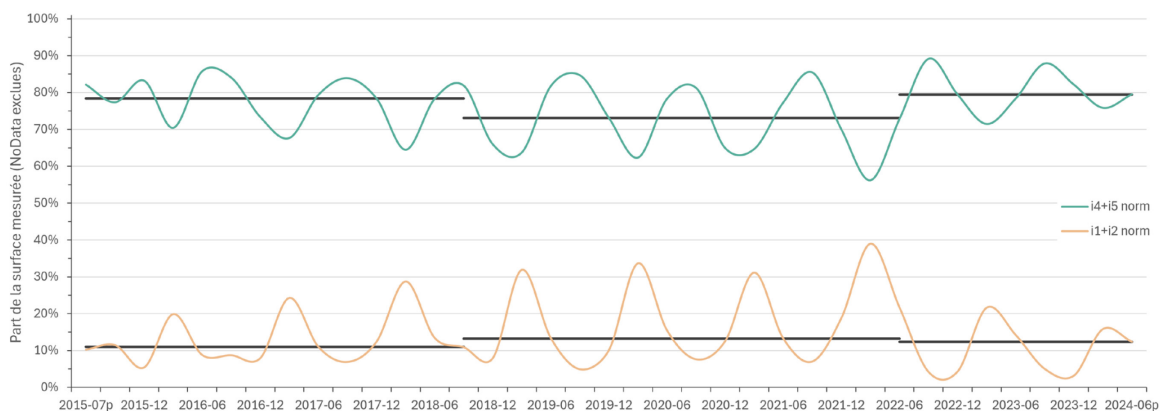
Périodes 2018-2022 → 2022-2024 : - 12 ha (0.9 %)

→ Hivers : - 57 ha (4.2 %)

→ Automnes : - 56 ha (4.1 %)

→ Septembres : - 26 ha (2.0 %)

Tendances à long terme de la part de sols couverts, resp. à nus, selon médianes annuelles



Suivi annuel détaillé de l'indice de couverture des sols

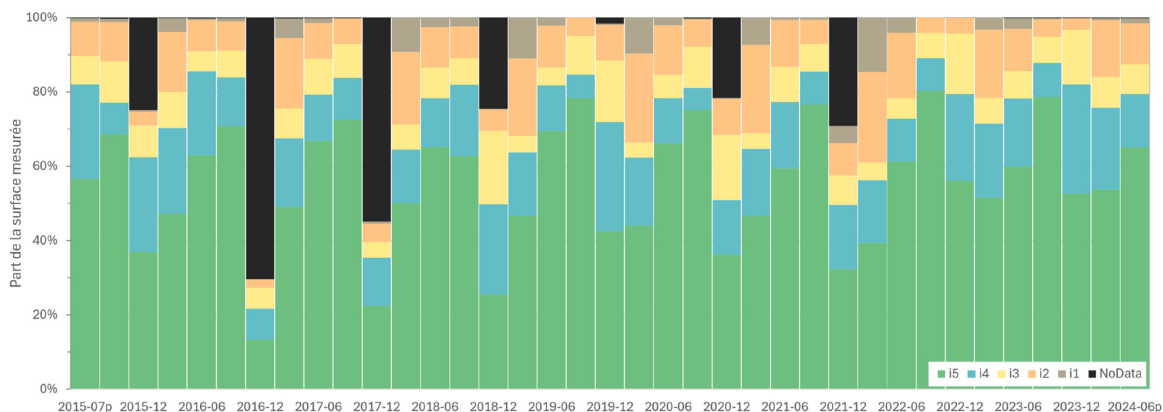


Figure 33 : Mesures des taux de sols couverts/nus et extraction de leurs tendances à long terme sur l'ensemble des zones de maraîchage.



5. Produits cartographiques dérivés

5.1. Cartes de protection des sols par couverture végétale

Synthétisant l'ensemble des mesures trimestriels de l'indice, des nouvelles cartes du taux de couverture végétale des sols sont produites. Elles résultent simplement du calcul du ratio entre le nombre de trimestres couverts (donc ayant un indice de 4 ou 5) par rapport au nombre total de trimestres mesurés durant la période considérée. Les taux de couverture végétale varient, pour la période considérée, entre 0 lorsqu'aucun trimestre n'est couvert, et 100 lorsque tous les trimestres sont couverts (cf. Figure 34).

Dans le cadre de cette étude, les cartes suivantes ont été établies :

- Analyses globales :
 - Période complète 07/2015>07/2024 ;
 - Sous-période 07/2015>05/2022 ;
 - Sous-période 06/2022>07/2024.
- Analyses saisonnières :
 - Période complète 06/2015>07/2024, hivers seuls (décembre>février) ;
 - Période complète 06/2015>07/2024, printemps seuls (mars>mai) ;
 - Période complète 06/2015>07/2024, étés seuls (juin>août) ;
 - Période complète 06/2015>07/2024, automnes seuls (septembre>novembre).

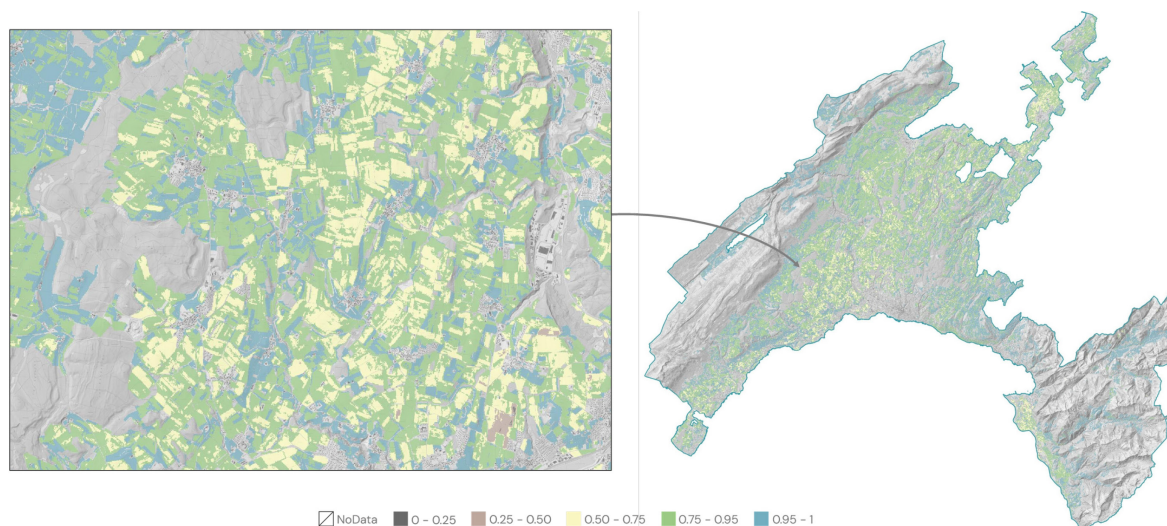


Figure 34 : Extrait de la carte des taux de couverture végétal des sols agricole, établie sur toute la période de mesure, entre juillet 2015 et août 2024.

À noter que les taux bruts sont ensuite divisés en cinq classes : t1 (0 à 25%), t2 (25 à 50%), t3 (50 à 75%), t4 (75 à 95%) et t5 (95 à 100%) pour éviter une potentielle surinterprétation des résultats basés sur des données trimestrielles.

De plus, un filtre spatial de type *Sieve* sur une surface de 1'000 m² est finalement appliqué pour lisser les résultats et ainsi simplifier la lecture de la carte.



Il est donc possible de distinguer, sur ces cartes, les taux de couverture avant et après tournant 2022 (cf. § 4.2.2.), ce qui est pertinent pour les coupler avec autres données agronomiques et pédologiques. Elles peuvent en effet être un support pour réaliser des cartes globales actuelles de qualité des sols ainsi que du conseil agropédologique (cf. § 6.2).

De plus, la distinction entre les saisons permet également d'affiner nettement les cartes de susceptibilités à l'érosion, où ces données sont un facteur clé à leur élaboration (cf. § 5.2).

Note

Il a été envisagé de réaliser des analyses saisonnières pour la période 2022-2024. Toutefois, ces analyses ne se basent que sur deux années. À l'échelle du pixel et de la saison, contrairement à l'analyse régionale sur l'ensemble de la série temporelle, les taux de couverture sont principalement influencés par la rotation et non par le travail du sol. Il faudra attendre d'avoir une série temporelle plus longue post-2022 pour que ces analyses soient significatives.

5.2. Cartes indicatives de danger d'érosion des sols agricoles

Les cartes actuelles de risques d'érosion des terres arables et des prairies permanentes datent de 2019 et ont été produites par l'Agroscope et l'Université de Berne pour la première (Bircher et al. 2019) et par l'Université de Bâle et l'Institut Fédéral de Recherches sur la Forêt, la Neige et le Paysage pour la seconde (Schmidt et al. 2019). Elles reposent sur l'équation du RUSLE (pour *Revised Universal Soil Loss Equation*), qui peut s'écrire de la manière suivante :

$$A = R \cdot K \cdot (L \cdot S) \cdot C \cdot P$$

où A est la perte annuelle moyenne de sol en [t/ha/an], R un facteur d'érosivité des précipitations en [MJ·mm/h/an], K un facteur d'érodabilité du sol en [t·h/MJ/mm], L un facteur de longueur de pente [-], S un facteur de l'angle de pente [-], C un facteur de couverture et de gestion [-], et P un facteur de pratique cultural [-] (Benavidez et al. 2018).

Or depuis la version de 2019, un nouvel MNT a été produit, les limites de la SAU ont évolué, des nouvelles mesures et modélisations de pluies ont été publiées sur HydroMaps et des taux de couvertures des sols ont été mesurés dans ce rapport. Une mise à jour des cartes de risques d'érosion devient donc pertinente.

Pour ce faire, une approche similaire aux cartes indicatives de dangers naturels réalisées par Terranum pour l'Unité des Dangers Naturels de la DGE a été suivie. Les cartes indicatives de dangers permettent de cartographier à échelles régionales les zones susceptibles d'être affectées par un aléa sans toutefois quantifier les intensités et probabilités d'occurrences de ces phénomènes ; elles constituent un prérequis essentiel pour une bonne gestion intégrée des risques naturels sur l'ensemble d'un territoire (OFEV 1997 et 2016).

5.2.1. Calculs des taux potentiels d'érosion

Les taux potentiels d'érosions sont calculés pour chaque saison selon deux scénarios, pour différencier les effets issus d'un événement rare et d'un événement courant :

- Le scénario de l'événement rare se base sur une pluie d'orage de temps de retour 100 ans et une infiltration ou évacuation des eaux de ruissellement complètement saturée ;
- Le scénario de l'événement courant se base sur une pluie d'orage de temps de retour 5 ans et une infiltration ou évacuation des eaux de ruissellement pleinement efficace.



Facteur d'érosivité des précipitations R

Le facteur R représente l'effet des précipitations sur l'érosion du sol et a été inclus à partir d'observations des dépôts sédimentaires après des tempêtes intenses (Wischmeier & Smith 1978). En premier lieu, les pluies saisonnières extrêmes d'une durée de 10 et 180 min et de temps de retour 5 et 100 ans sont téléchargées sur le service HydroMaps de *MeteoSuisse* (Fukutome et al. 2025). Puis pour chaque saison, chaque temps de retour (5 et 100 ans) et chacune des cellules de 1x1 km de la carte des précipitations correspondante, la même procédure est appliquée : un hyétogramme synthétique, représentatif d'un évènement orageux important, est défini sur la base des valeurs des précipitations téléchargées, puis le facteur d'érosivité R correspondant est calculé.

Ainsi, pour définir les hyétogrammes synthétiques :

1. Nous considérons ici un évènement de précipitation extrême d'une durée totale de 180 min, pour lequel les volumes maximaux de précipitation D10 et D180 min correspondent aux valeurs téléchargées pour chaque saison et temps de retour. À noter qu'il est en réalité peu probable d'atteindre à la fois les valeurs extrêmes pour 10 et 180 min durant un seul et même évènement (Cache et al. 2025). Le scénario considéré ici est donc conservatif.
2. Plusieurs méthodes permettent de déterminer l'évolution temporelle d'un évènement sur la base d'un ou plusieurs points de la courbe Intensité-Durée-Fréquence (García-Bartual & Andrés-Doménech 2017, Balbastre-Soldevila et al. 2019). Une fonction de type triangulaire à pan cassé (Tri2, cf. Figure 35) permet un bon ajustement aux mesures des précipitations de l'évènement de Morges du 25 juin 2024, utilisé ici comme référence.

Une procédure a donc été développée afin d'ajuster la fonction Tri2 en respectant les volumes maximaux D10 et D180 imposés en chaque pixel pour chaque temps de retour et chaque saison. Pour ce faire, il faut imposer à la fonction les paramètres suivants : temps jusqu'au pic de pluie de 10 min et temps jusqu'à la cassure du pan de 30 min. La Figure 35 donne un exemple de hyétogramme synthétique obtenu par un tel ajustement.

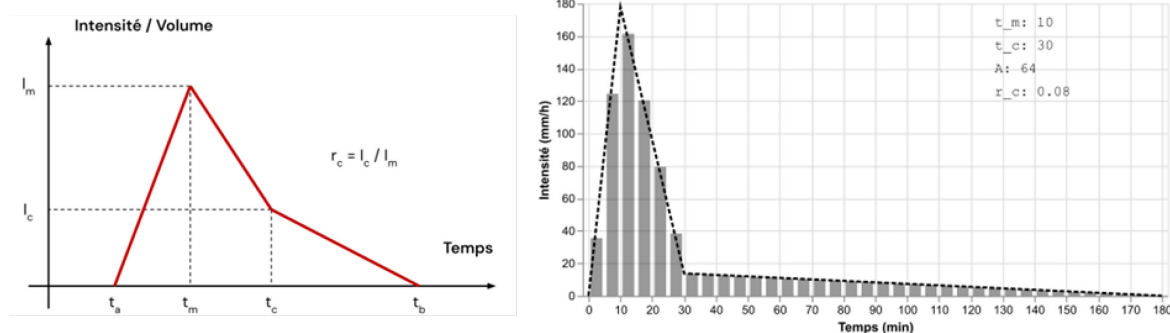


Figure 35 : (Gauche) Fonction Tri2 avec une croissance linéaire de jusqu'au pic puis une décroissance en deux segments linéaires. (Droite) Hyétogramme synthétique généré par ajustement de la fonction Tri2, pour des volumes de précipitation imposés de D10 = 25 mm et D180 = 64 mm. La ligne donne la fonction Tri2 ajustée et les colonnes sa discrétisation à un pas de temps de 5 min.

Après discrétisation du hyétogramme synthétique à un pas de temps de 5 min, l'érosivité correspondante peut être calculée, suivant une approche similaire aux cartes actuelles. Le facteur R est obtenu en multipliant l'énergie totale de l'évènement par l'intensité de précipitation maximale sur une période de 30 min.



Facteur d'érodabilité du sol K

Le facteur K représente la capacité du sol à être érodable ; il est fonction entre autres de sa granulométrie, sa structure, sa pédogénèse, sa pierrosité et de son coefficient d'infiltration. Dans le canton de Vaud, il existe soit des données pédologiques cantonales précises mais partielles, soit des données fédérales globales mais approximatives.

Dans le cadre de cette carte indicative semi-quantitative, il a donc été décidé de ne pas tenir compte de ce facteur et de le fixer à une valeur moyenne approximative $K = 0.003$. Ce paramètre est déterminé sur la base de la carte suisse du facteur K (Schmidt et al. 2018), afin d'obtenir des résultats dans des grandeurs similaires aux cartes existantes.

Facteurs de pente L·S

Le facteur de longueur de pente et de déclivité L·S décrit l'influence de la topographie sur le cheminement préférentiel de l'eau de surface et les risques d'érosion des sols à travers la pente et la longueur des versants.

L est calculé selon la formule de Desmet & Govers (1996) sur la base de la pente et de la surface contributive issue d'un algorithme de type MFD (pour *Multiple Flow Direction*). Cet algorithme a été préféré aux autres D8, Dinf et MFTD (lui-même utilisé pour la carte actuelle de risque d'érosion dans les terres arables), car il permet de reproduire une répartition plus homogène et réaliste des écoulements, en comparaison. De plus, une correction pour la largeur effective du flux dans chaque cellule est appliquée (Desmet & Govers 1996) et aucune limitation de la longueur d'écoulement maximale n'est considérée au niveau indicatif.

Par ailleurs, L est modélisé selon 2 scénarios :

- Pour les événements rares, aucune barrière hydrologique n'est placée aux limites des surfaces agricoles lors du calcul des surfaces contributives par MFD. Ceci simule un transfert d'eau possible entre surfaces, dû à :
 - Un réseau d'évacuation des eaux claires engorgé (car non dimensionné pour évacuer des pluies centennales) sur les surfaces anthropiques ;
 - À des sols saturés ne permettant pas l'infiltration d'eau sur les surfaces naturelles hors SAU (forêts, haies, etc.).
- Pour les événements courants, des barrières hydrologiques sont placées aux limites des surfaces agricoles lors du calcul des surfaces contributives par MFD. Ceci stoppe les transferts d'eaux entre parcelles, créé par :
 - Un système d'évacuation des eaux claires supposé pleinement actif avec une pluie quinquennale sur les surfaces anthropiques ;
 - Une infiltration complète des eaux de ruissellement sur les sols non-saturés des surfaces naturelles hors SAU.

Ce scénario est celui utilisé par les cartes actuelles de risque d'érosion.

S est calculé sur la base de la pente, selon la formule de Schmidt (2019b). Cette formule, développée récemment pour la carte actuelle de risque d'érosion dans les prairies permanentes, est similaire à la formule très utilisée de McCool et al. (1987) pour les pentes faibles, mais fournit de meilleurs résultats sur les pentes fortes. La valeur minimale du facteur S a été limitée à 0.03 afin d'éviter des valeurs négatives pour de très faibles pentes.



Facteur de couverture C

Le facteur de couverture et de gestion C décrit l'influence d'une couverture végétale sur l'érodabilité. Les cartes des taux de couvertures végétales (cf. § 5.1) sont donc ici directement utilisées pour calculer le facteur C selon les règles suivantes (cf. Figure 36) :

- En dessous de 25 %, le sol est considéré comme complètement nu et $C = 1$
- Au-dessus de 95 %, le sol est couvert comme une prairie permanente et $C = 0.002$, correspondant à la valeur moyenne annuelle suisse sur la carte actuelle des prairies permanentes (Schmidt et al. 2019).
- Entre 25 et 95 %, le facteur C varie linéairement entre 1 et 0.002.

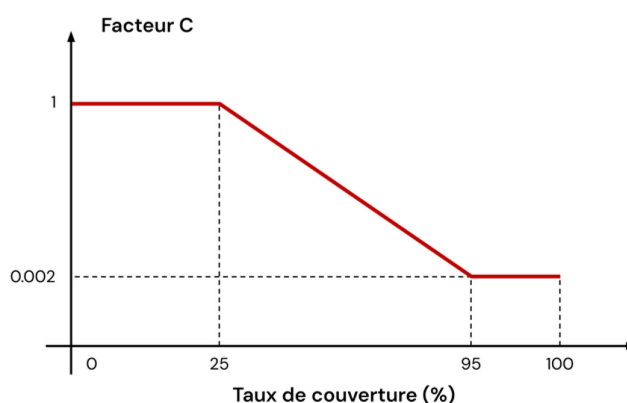


Figure 36 : Relation entre taux de couverture et facteur C.

Facteur des pratiques culturales P

Le facteur P décrit le lien entre les différentes pratiques culturales et travaux du sol sur l'érodabilité, comme l'orientation des sillons de labour par rapport à la ligne de plus grande pente dans le champ. Comme pour les cartes actuelles, le facteur P est arbitrairement fixé à 1 car inconnu à l'échelle du Canton. De plus, nous considérons ici que le facteur P peut être en partie compris dans le facteur C ; en effet, comme mentionné dans la Section 4.2, un lien partiel a été établi entre mesure de la couverture végétale et travail du sol.

Particularité de la carte actuelle de risque d'érosion des terres arables

La carte actuelle de risque d'érosion des terres arables n'inclue pas directement les facteurs C et P ; ceux-ci peuvent être calculés localement à l'aide d'un outil complémentaire disponible, se basant sur une déclaration des pratiques agricoles à la parcelle (Bircher et al. 2021).

Calculs des taux potentiels d'érosion

Les taux potentiels d'érosion sont finalement calculés en multipliant tous les facteurs mentionnés ci-dessus selon la formule du RUSLE, pour chaque scénario et chaque saison. K et P étant arbitrairement fixés, **les résultats sont considérés comme semi-quantitatifs [-]**.

Pour résumer, les données de base et la méthodologie appliquée pour l'établissement du RUSLE vaudois sont détaillées et comparées aux cartes fédérales existantes dans le Tableau 7.



Tableau 7 : Données de base utilisées pour la carte vaudoise, en comparaison avec les cartes suisses existantes.

	Carte TERRANUM SAU vaudoise	Carte actuelle suisse Terres arables	Carte actuelle suisse Prairies permanentes
Délimitations spatiales	SAU Vaud 2022 swissTLM3D 2024 v2.2	SAU (où disponible) swissTLM3D 2015 v1.3	CCI Land Cover (v2.0.7) swissTLM3D et Vector25
Facteur R	Scénarios TR5 et TR100 basés sur des modélisations de pluies extrêmes selon les temps de retour (précipitation ponctuelle extrême 1x1 km de MétéoSuisse)	Mesures sur les pluies passées, sans notion de temps de retour, selon : Séries temporelles de précipitations à 87 stations météo (intervalles de 10 min, > 15 années) Covariants spatiotemporels : neige, précipitations et topographie	Idem à Carte suisse Terres arables
Facteur K	Fixé à 0.003	Avis d'experts selon : Carte d'aptitude des sols BEK200 Cartes cantonales pédologiques (1:5k – 1:50k)	Modélisation selon : Mesures pédologiques LUCAS Europe et Suisse Covariants spatiaux : données satellite MODIS, topographie SRTM
Facteur LS	swissALTI3D 2019 2 m Scénarios avec/sans barrières Avec correction de la longueur effective du flux d'eau S calculé selon Schmidt (2019) avec corrections sur pentes faibles	swissALTI3D 2015 2 m Scénarios avec barrières Sans correction de la longueur effective du flux d'eau S calculé selon McCool et al. (1987)	swissALTI3D 2 m Scénarios avec barrières Longueur du flux d'eau fixée à 1 S calculé selon Schmidt (2019)
Facteur C	Taux de couverture saisonnier issus de ce rapport	C non considéré dans la carte disponible en ligne (Outils complémentaire disponible pour une analyse locale selon déclaration de l'exploitant)	Modélisation spatio-temporelle de toutes ces données : swissIMAGE FCIR FCover300 (PROBA-V) MODIS MOD13Q1 CCI Land Cover swissALTI3D
Facteur P	Fixé à 1 En partie compris dans C	P non considéré dans la carte disponible en ligne (Outils complémentaire disponible pour une analyse locale selon déclaration de l'exploitant)	Fixé à 1

5.2.2. Établissement des cartes indicatives

Cartes indicatives saisonnières

Pour les deux scénarios (rare et courant), les taux calculés par le RUSLE sont divisés en 4 classes (cf. Tableau 8). Les valeurs seuils de ces classes, i.e. 10, 20 et 40, sont fixées afin que :

- Les classes restent proches de celles de la carte actuelle du risque sur les terres arables ;
- Les classes assurent une répartition équilibrée des différentes zones, permettant une bonne lecture de la nouvelle carte.



Au final pour chaque saison, la **carte indicative d'érosion des sols est définie en fonction du scénario considéré et du potentiel d'érosion saisonnier** (cf. Tableau 9). Ainsi :

- **Une susceptibilité d'érosion très faible** est considérée pour un potentiel d'érosion faible modélisé avec événement rare ;
- **Une susceptibilité d'érosion faible** est considérée pour un potentiel d'érosion moyen ou élevé modélisé avec un événement rare ;
- **Une susceptibilité d'érosion moyenne** est considérée pour un potentiel d'érosion faible modélisé avec un événement courant ;
- **Une susceptibilité d'érosion élevée** est considérée pour un potentiel d'érosion moyen modélisé avec un événement courant ;
- **Une susceptibilité d'érosion très élevée** est considérée pour un potentiel d'érosion élevé modélisé avec un événement courant.

Susceptibilité annuelle à l'érosion

La susceptibilité annuelle brute est obtenue en **sélectionnant en chaque pixel le niveau maximum des susceptibilités saisonnières** filtrées (scénario du pire). Elle est ensuite soumise aux mêmes filtres spatiaux, à l'exception de la convolution qui n'est pas appliquée.

Post-traitement

Un filtre spatial est appliqué aux susceptibilités brutes saisonnières afin d'éliminer les petits artefacts et améliorer la lisibilité de ces cartes, basé sur une routine comprenant des *Sieve* de taille 200 m² et une *convolution* sur une fenêtre carrée de 6x6 m avec valeur majoritaire.

Tableau 8 : Classes du potentiel d'érosion, selon les valeurs des taux calculés par le RUSLE.

Potentiel d'érosion	Nulle	Faible	Moyenne	Élevée
Valeurs RUSLE [-]	< 10	> 10	> 20	> 40

Tableau 9 : Classification des cinq niveaux de susceptibilité à l'érosion.

Susceptibilité	1. Très faible	2. Faible	3. Moyenne	4. Élevée	5. Très élevée
Scénario	Événement rare		Événement courant		
Temps de retour	Pluie TR 100 ans		Pluie TR 5 ans		
Ruissellement	Sans barrières hydrologiques		Avec barrières hydrologiques		
Potentiel RUSLE	Faible (> 10)	Moyen et Élevé (> 20)	Faible (> 10)	Moyen (> 20)	Élevé (> 40)

5.2.3. Comparaisons avant/après 2022

Deux cartes indicatives de danger d'érosion supplémentaires sont modélisées sur la base des taux moyens globaux de couvertures végétales mesurés avant et après juin et des pluies extrêmes D10 et D180 annuelles. La comparaison à échelle régionale de ces deux cartes indicatives permet de quantifier un fait intéressant.

En effet, **l'amélioration récente de surfaces couvertes et la modification des pratiques culturales** (cf. § 4.2.2) ont impliqué une **diminution du niveau de susceptibilité à l'érosion sur 21 700 ha** (contre 78 000 ha de niveaux identiques et 2 700 ha de niveaux supérieurs).



6. Conclusions et perspectives

6.1. Synthèse

L'application de l'algorithme de *Couverture Végétale Fractionnée FC3* sur les images multispectrales de la constellation Sentinel-2 permet d'obtenir à chaque trimestre depuis juillet 2015 une carte d'indice de couverture végétale des sols agricole à une résolution de 10 m.

Les terres assolées représentent 56 % des terres mesurées et 97.7 % des sols travaillés étudiés ; elles sont ainsi la catégorie critique ayant le plus d'impact global sur la l'évolution de couverture des sols agricoles du Canton. En analysant les cartes trimestrielles d'indice de couverture végétale, les observations suivantes peuvent être faites :

- En 2015, plus de 83 % des sols sont majoritairement couverts à l'année ; à l'inverse, 7.5 % sont majoritairement nus. Les variations saisonnières de taux de couverts sont importantes. Cette tendance se maintient sur toute la période 2015–2022.
- Un changement manifeste de comportement est observé depuis 2022, avec :
 - Une augmentation de la surface de sols couverts de 3'600 ha (6.5 % des TA) ;
 - Une diminution de la surface de sols nus de 3'200 ha (5.5 % des TA) ;
 - Une variabilité saisonnière lissée, avec un maximum de gain de sols couverts en hiver.

Les différences majeures mesurées depuis 2022 peuvent s'expliquer par un changement des pratiques agricoles considérant une intensification des couverts végétaux et une diminution du travail du sol. Or à l'été 2022 sont introduits les programmes *Couverture appropriée du sol* et *Techniques culturales préservant le sol*, encourageant la mise en place de couverts d'intercultures courtes en été, la prolongation des couverts longs en hiver et la généralisation des semis simplifiés ou directs.

La correspondance temporelle nette entre l'introduction de ces programmes très suivis et les changements significatifs mesurés suggère un fort lien de cause à effet, qui devrait néanmoins être confirmé par des études géostatistiques.

Sur la base de ce suivi trimestriel, des cartes de taux moyens pluriannuels et saisonniers de couverture des sols sont réalisés. Ces mesures permettent également de mettre à jour les cartes indicatives de danger d'érosion, où la couverture végétale joue un rôle clé de protection. En effet, l'amélioration récente de surfaces couvertes et la modification des pratiques culturales ont impliqué une diminution du niveau de susceptibilité à l'érosion sur 21 700 ha. Comme discuté ci-dessous, ces résultats devront être validés par des mesures sur le long terme.

Les résultats de cette étude sont synthétisés dans les fiches techniques de l'Annexe 9.1.

6.2. Recommandations et perspectives

Afin de confirmer les tendances mesurées entre 2022 et 2024 sur le long terme, il est recommandé de réaliser une surveillance satellitaire périodique et de mettre à jour ce rapport technique chaque année.

Les liens probables entre les deux programmes fédéraux de protections des sols et l'amélioration de la couverture végétale des terres assolées doivent être vérifiés par des études



géostatistiques basées sur le recensement agricole annuel. Si cela est confirmé, cette étude quantifie alors directement l'efficacité des programmes *Couverture appropriée du sol* et *Techniques culturales préservant le sol*.

Il est également recommandé de considérer voire évaluer les potentiels effets agronomiques secondaires à long terme de ces pratiques, tels que l'augmentation de l'utilisation d'herbicides, le salissement des champs, la baisse du rendement par concurrence avec les adventices, l'accessibilité au parc matériel approprié par les petites exploitations, etc.

Pour la pratique agricole, ces cartes permettent de localiser les surfaces les moins bien protégées par la végétation, et en conséquence les moins résistantes aux événements extrêmes comme les sécheresses et les fortes précipitations. Elles peuvent ainsi être intégrées aux prises de décisions agronomiques des fermes (géométrie des parcelles, choix des cultures et des techniques culturales, etc.), et servir de base pour le conseil agricole.

En effet, le couplage de ces taux de couverture végétale avec autres données agronomiques et pédologiques pourrait devenir un outil d'aide au diagnostic et au conseil agropédologique sur une région ou une culture donnée, soutenant notamment les conseils de Prométerre et Agrolmpact et la vulgarisation agricole d'Agridea ou d'AGIR.

De plus, pour la prévention contre les inondations, l'érosion et le ruissèlement de surface, les cartes indicatives de danger d'érosion peuvent également servir à localiser et hiérarchiser les surfaces à risque pour y définir des mesures de réhabilitation du cycle de l'eau ou des mesures de protection collective. Il faut néanmoins se rappeler que la chaîne de traitement actuelle est optimisée pour une étude régionale, et non à la parcelle.

Enfin, l'intégration de ces données dans les projets d'établissement d'indices et cartes de qualité globale des sols qui reflètent objectivement les pratiques indépendamment du climat et des divers contextes d'exploitation, serait également bénéfique.



7. Liste des livrables

7.1. Géodonnées remises

DONNÉES AGRICOLES

Se réfèrent au § 4.1 – Données vectorielles au format dgb

OFAG_Zones_Agricoles_Extract_VD :

Extraction pour le Canton de Vaud des zones de plaine, colline, montagnes I à IV et d'estivages selon géodonnées OFAG.

DGAV_Perimetres_CQP_Corrections_Terranum:

Délimitation sur le Canton de Vaud des 9 zones de Compensation Qualité Paysagère selon géodonnées DGAV, avec correction des erreurs topologiques

DGAV_Recensement_2022_Reclass_Terranum

SAU vaudoise issues du recensement Acorda 2022, divisée en selon les classes suivantes : arboriculture, maraîchage de plein champ, prairies et herbages permanents, terres assolées, viticulture, zone tampon

DONNÉES FC3

Se réfèrent au § 3 – Données raster, format géotiff

fc3_#fraction_m#année#mois

Mesures brutes mensuelles du FC3 entre 0 et 10'000, traitées sur la SAU vaudoise entre juillet 2015 et 2024. Le nom du fichier indique s'il s'agit de la fraction PV, NPV ou BS, ainsi que l'année et le mois mesuré. Par exemple, le fichier *fc3_pv_m201607.tif* contient les résultats de la fraction PV mesurée en juillet 2016.

INDICE DE COUVERTURE TRIMESTRIEL

Se réfèrent au § 2.5 – Données raster, format géotiff

Indice_Couvert_T-#année#mois

Indices trimestriels de couverture des sols lissés spatialement et classés de 1 à 5, déterminées sur la SAU vaudoise selon un arbre de classification séquentiel basé sur les moyennes trimestrielles des fractions PV, NPV et BS. Le nom du fichier indique l'année et le 1^{er} mois du trimestre mesuré. Par exemple, le fichier *Indice_Couvert_T-201509.tif* contient les résultats de l'indice de couverture des sols pour le trimestre de septembre (mois 09), octobre et novembre de l'année 2015.



TAUX DE COUVERTURE VÉGÉTALE DES SOLS

Se réfèrent au § 5.1 – Données raster, format géotiff

Taux_Couvert_Brut_#année1#mois1-#année2#mois2

Taux brut de couverture végétale des sols entre 0 et 100, basés sur le ratio entre le nombre de trimestres couverts (donc ayant un indice de 4 ou 5) par rapport au nombre total de trimestres mesurés durant la période allant du mois 1 de l'année 1 au mois 2 de l'année 2. Par exemple, le fichier *Taux_Couvert_Brut_201507-202205.tif* contient les résultats du taux brut de couverture végétal des sols mesuré entre juillet 2015 et mai 2022.

Taux_Couvert_Brut_#année1#mois1-#année2#mois2_#saison

Taux brut de couverture végétal des sols entre 0 et 100, mais calculé uniquement sur une saison donnée entre le mois 1 de l'année 1 et le mois 2 de l'année 2. Par exemple, le fichier *Taux_Couvert_Brut_201507-202407_printemps.tif* contient les résultats du taux brut de couverture végétale mesurés sur les trimestres de printemps uniquement (mars-avril-mai) compris entre juillet 2015 et juillet 2024.

Taux_Couvert_Reclass_#année1#mois1-#année2#mois2

Taux de couverture végétal des sols reclassé entre 1 et 5 et lissé spatialement, issu de taux brut calculé entre le mois 1 de l'année 1 et le mois 2 de l'année 2.

Taux_Couvert_Reclass_#année1#mois1-#année2#mois2_saison

Taux de couverture végétal des sols reclassé entre 1 et 5 et lissé spatialement, issu de taux brut calculé uniquement sur une saison donnée entre le mois 1 de l'année 1 et le mois 2 de l'année 2.

CARTES INDICATIVES DE DANGER D'ÉROSION

Se réfèrent au § 5.2 – Données raster, format géotiff

Carte-Indicative-Erosion_#saison

Carte indicative de danger d'érosion des sols agricoles pour une saison donnée, cartographiant les zones de la SAU vaudoise susceptibles d'être affectées par cet aléa. Ces cartes sont basées sur la modélisation semi-quantitative du potentiel d'érosion des sols par une approche RUSLE et calculé selon 2 scénarios, un rare et un courant. Le suffixe du nom du fichier indique la saison considérée lors de l'établissement de la carte.

Carte-Indicative-Erosion_Max-Annuel

Carte indicative de danger d'érosion des sols agricoles synthétique annuelle, réalisée en sélectionnant en chaque pixel le niveau maximum des susceptibilités saisonnières.



7.2. Autres données

- **Fiches de synthèses** de l'annexe 9.1 (format natif ai et exports pdf et tif)
- **Présentations** de travail interne et à destination d'une audience externe (exports pdf)
- **Statistiques** de l'évolution de l'indice de couverture végétal, se référant au § 4 (fichiers de travail excel, et exports png des figures dossier « Statistiques »)
- **Rapport technique v1.0** synthétisant méthodes et résultats (export pdf)
- **Scripts SIG** nécessaires pour extraire les cartes et séries temporelles des taux de couverture des sols (cf. § 9.2)



8. Bibliographie

- Balbastre-Soldevila R, García-Bartual R, Andrés-Doménech I (2019) A Comparison of Design Storms for Urban Drainage System Applications. *Water*, 11(4), 757
- Benavidez R, Jackson B, Maxwell D, Norton K (2018) A review of the (Revised) Universal Soil Loss Equation ((R)USLE): with a view to increasing its global applicability and improving soil loss estimates. *Hydrology and Earth System Sciences* 22.11 (2018), pp. 6059–6086.
- Bircher P, Liniger H, Prasuhn V (2019) Aktualisierung und Optimierung der Erosionsrisikokarte (ERK2)—Die neue ERK2 für das Ackerland der Schweiz. Bundesamt für Landwirtschaft (BLW).
- Bircher P, Liniger HP, Kupferschmid P, Prasuhn V (2021) Tools for USLE-CP-factor calculation and actual erosion risk on field block level for Switzerland. *MethodsX*, 8, 101569
- Cache T, Bevacqua E, Zscheischler J, Müller-Thomy H, Peleg N (2025) Simulating Realistic Design Storms : A Joint Return Period Approach. *Water Resources Research*, 61(7), 18 p
- Chatenoux B (2023) Mandat Vaud Fractional Vegetation Cover. Notes de présentation des résultats lors de la réunion du 2 novembre 2023, 35 p.
- Desmet PJJ, Govers G (1996). A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. *Journal of Soil and Water Conservation*, 51(5), 427-433.
- Fukutome, S., Alouini, S., & Frei, C. (2025). Précipitations ponctuelles extrêmes. In Plateforme de données et d'analyse. Atlas hydrologique de la Suisse. [https://hydromaps.ch/#fr/8/46.830/8.190/bl_hds--b04_b0401_precip_60m_2a_O_5v2_O\\$4/NULL](https://hydromaps.ch/#fr/8/46.830/8.190/bl_hds--b04_b0401_precip_60m_2a_O_5v2_O$4/NULL)
- García-Bartual R, Andrés-Doménech I (2017) A two-parameter design storm for Mediterranean convective rainfall. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(5), 2377-2387
- Louis J et al. (2021) S2 MPC - Level-2A Algorithm Theoretical Basis Document. <https://sentinels.copernicus.eu/documents/247904/446933/Sentinel-2-Level-2A-Algorithm-Theoretical-Basis-Document-ATBD.pdf> (dernier accès 06/08/2025)
- McCool DK, Brown LC, Foster GR, Mutchler CK, Meyer LD (1987). Revised Slope Steepness Factor for the Universal Soil Loss Equation. *Transactions of the ASAE*, 30(5), 1387-1396
- Muir J, Schmidt M, Tindall D, Trevithick R, Scarth P, Stewart JB (2011) Field measurement of fractional ground cover: a technical handbook supporting ground cover monitoring for Australia. Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics and Sciences (ABARES): Canberra, Australia, 56 p.
- OFEV (1997) Recommandations 1997: Prise en compte des dangers dus aux mouvements de terrain dans le cadre des activités de l'aménagement du territoire. Office fédéral de l'aménagement du territoire. OFAT, 42 p
- OFEV (2016) Aide à l'exécution concernant la gestion des dangers dus aux glissements de terrain, aux chutes de pierres et aux coulées de boue. Office fédéral de l'environnement, 98 p
- Scarth P, Roder A, Schmidt M (2010) Tracking grazing pressure and climate interaction - the role of Landsat fractional cover in time series analysis. Proceedings of the 15th Australasian Remote Sensing & Photogrammetry Conference
- Scarth P, Denham R, Watson F (2022) JRSRP Fractional cover v3 (Version 1.0.10). Code source de l'algorithme FC3. Disponible sur <https://doi.org/10.5281/ZENODO.7008343> (dernier accès 06/08/2025)
- Schmidt M, Denham R, Scarth P (2010) Fractional ground cover monitoring of pastures and agricultural areas in Queensland. Proceedings of the 15th Australasian Remote Sensing & Photogrammetry Conference
- Schmidt S, Ballabio C, Alewell C, Panagos P, Meusburger K (2018). Filling the European blank spot—Swiss soil erodibility assessment with topsoil samples. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 181(5), 737-748
- Schmidt S, Alewell C, Meusburger K (2019). Monthly RUSLE soil erosion risk of Swiss grasslands. *Journal of Maps*, 15(2), 247-256.
- Schmidt S, Tresch S, Meusburger K (2019b). Modification of the RUSLE slope length and steepness factor (LS-factor) based on rainfall experiments at steep alpine grasslands. *MethodsX*, 6, 219-229.
- Wischmeier WH, Smith DD (1978) Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. 537. Department of Agriculture, Science and Education Administration.
- Zeng Y, Hao D, Huete A, Dechant B, Berry J, Chen JM, Joiner J, Frankenberg C, Bond-Lamberty B, Ryu Y, Xiao J, Asrar GR, Chen M (2022) Optical vegetation indices for monitoring terrestrial ecosystems globally. *Nature Reviews Earth & Environment*, 3(7), 477–493



9. Annexes

9.1. Fiches de synthèse

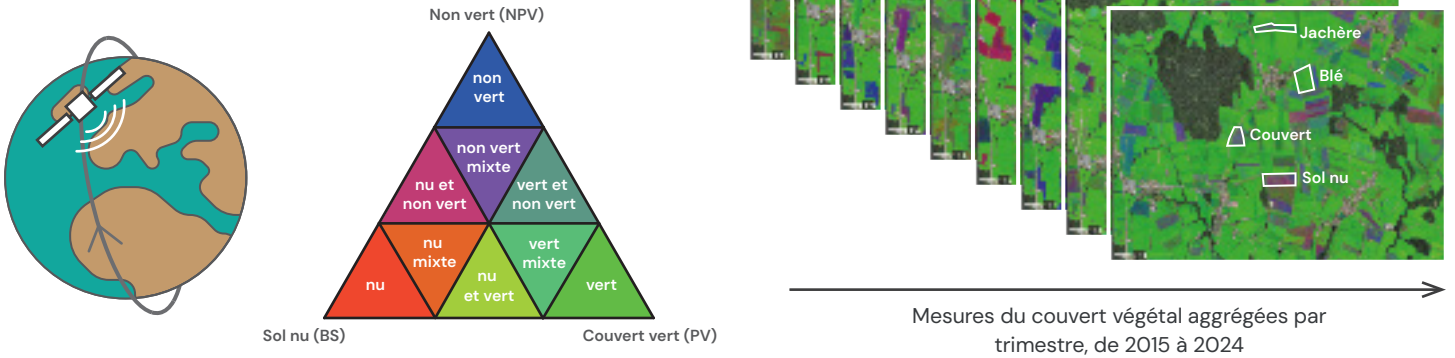
- Fiches de synthèse simplifié (recto)
- Fiche de synthèse complète (recto-verso)
- Fiche météorologique (recto)

Suivi de la couverture végétale des sols agricoles entre 2015 et 2024

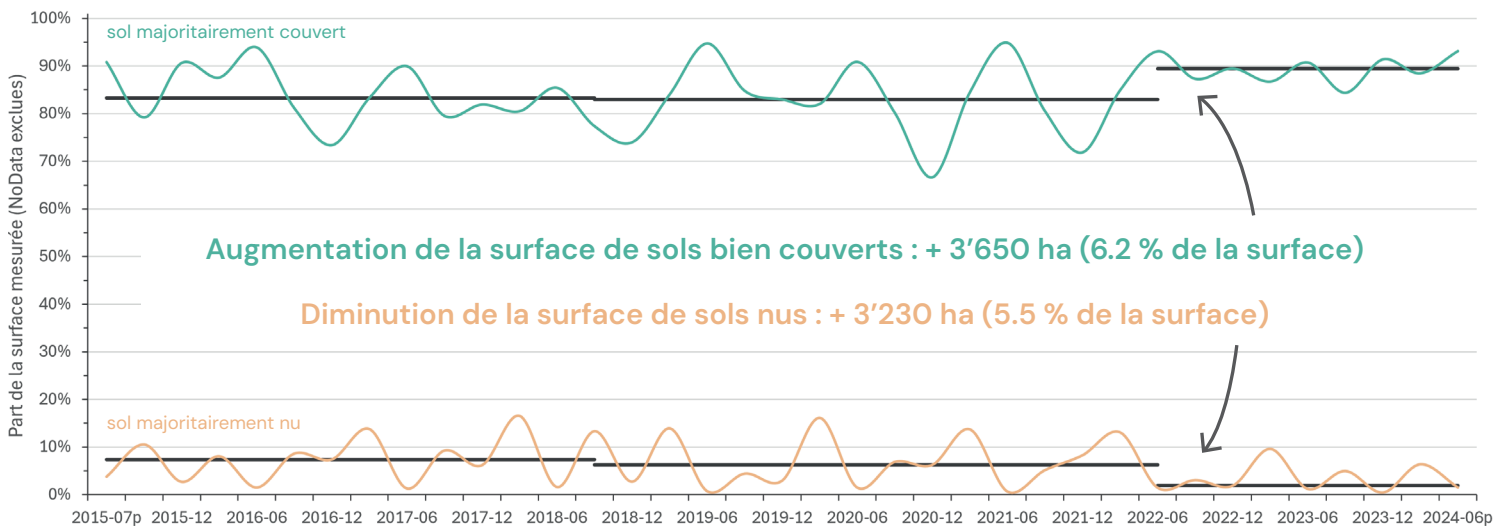
Terres assolées du Canton de Vaud (57'000 ha mesurés)

Méthodologie générale

- Images des satellites Sentinel 2 de l'ESA, résolution de 10 m / 5 jours.
- Algorithme FC3 détectant la végétation verte, la végétation non verte et le sol nu.



Tendances à long terme de la part de sols couverts, resp. nus, sur terres assolées selon médianes trimestrielles



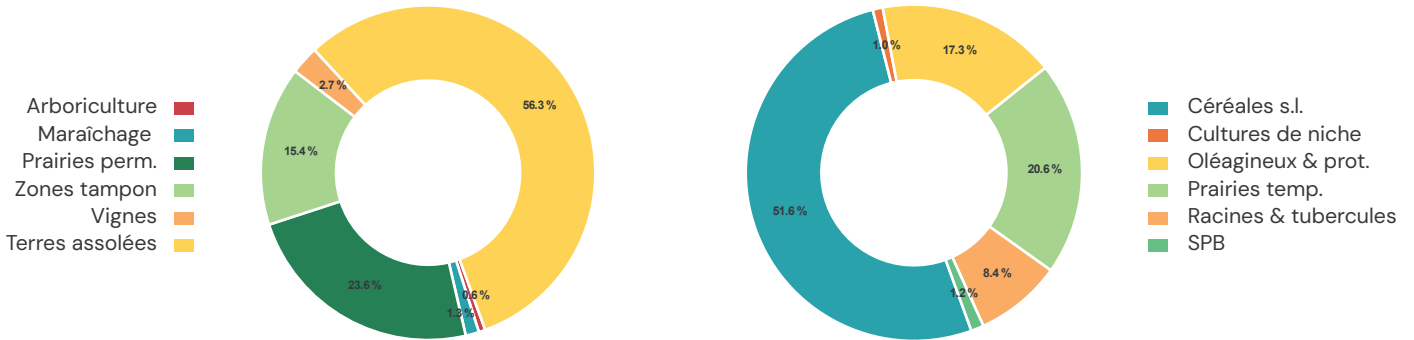
Bilan des mesures de couverture des sols agricoles entre juillet 2015 et juillet 2024 :

- Fluctuations saisonnières et intra-annuelles marquées entre 2015 et 2021.
- Changement de comportement manifeste depuis 2022, avec :
 - o Une augmentation de la surface de sols couverts de 3'600 ha (6.5 % des TA) ;
 - o Une diminution de la surface de sols nus de 3'200 ha (5.5 % des TA) ;
 - o Une variabilité saisonnière lissée, avec un maximum de gain de sols couverts en hiver.
- Les différences majeures mesurées depuis 2022 peuvent s'expliquer par un changement des pratiques agricoles considérant une intensification des couverts végétaux et une diminution du travail du sol.
- L'introduction à l'été 2022 des programmes *Couverture appropriée du sol* et *Techniques culturales préservant le sol* a encouragé financièrement la mise en place de couverts d'intercultures courtes en été, la prolongation des couverts longs en hiver et la généralisation des semis simplifiés ou directs.
- La correspondance temporelle nette entre l'introduction de ces programmes très suivis et les changements significatifs mesurés suggère un fort lien de cause à effet. Mais cette relation doit être confirmée par des études géostatistiques et une surveillance périodique à long terme.

Suivi de la couverture végétale des sols agricoles entre 2015 et 2024

Terres assolées du Canton de Vaud (57'000 ha mesurés)

Classification de la Surface Agricole Utile et des Terres Assolées telles que mesurées

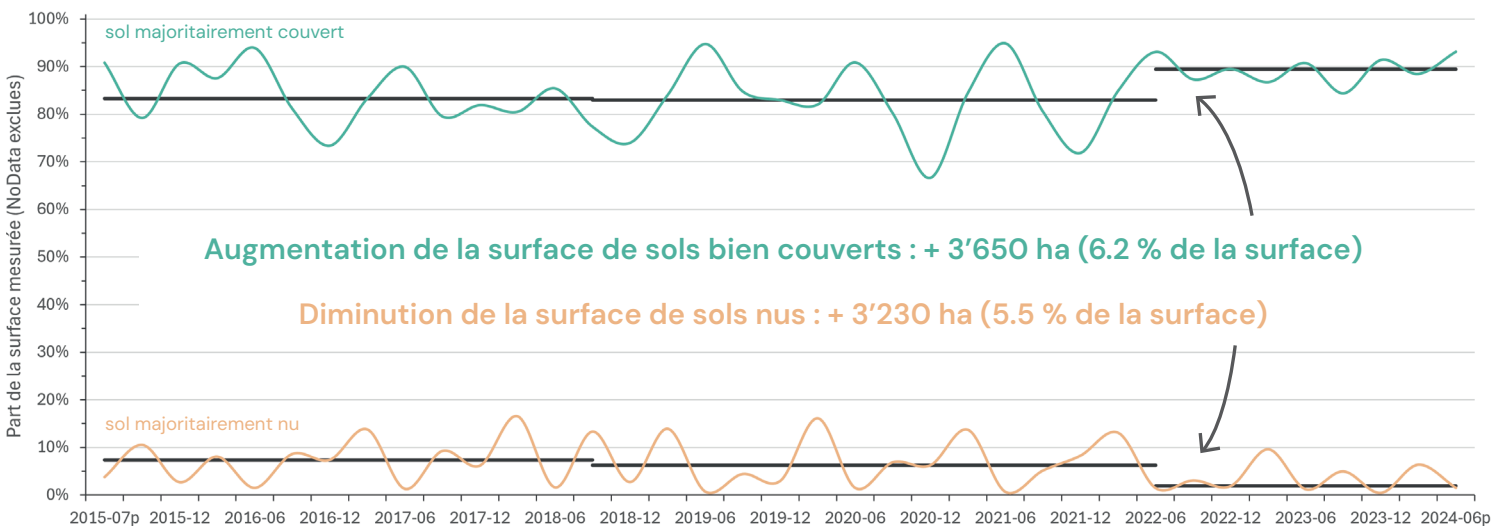


Suivi satellitaire

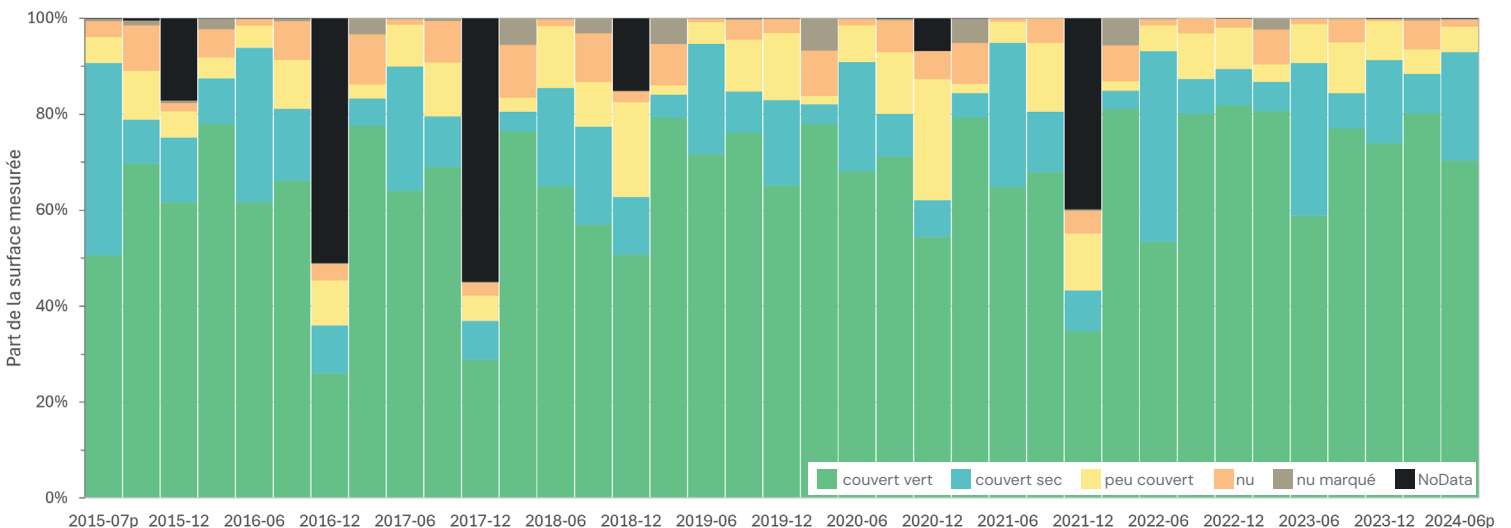
Images des satellites Sentinel 2, résolution de 10 m / 5 jours

Algorithme FC3 détectant la végétation verte, la végétation non verte et le sol nu

Tendances à long terme de la part de sols couverts, resp. nus, sur terres assolées selon médianes trimestrielles



Suivi annuel détaillé de l'indice de couverture des sols



Faits marquants sur l'ensemble du Canton de Vaud :

- Les terres assolées représentent 56 % des terres mesurées et 98 % des sols travaillés ; elles représentent la catégorie ayant le plus d'impact global sur la l'évolution de couverture des sols agricoles du Canton.
- Fluctuations saisonnières et intra-annuelles marquées entre 2015 et 2021.
- Changement de comportement manifeste depuis 2022, avec :
 - o Une augmentation de la surface de sols couverts de 3'650 ha (6.5 % des TA) ;
 - o Une diminution de la surface de sols nus de 3'230 ha (5.5 % des TA) ;
 - o Une variabilité saisonnière lissée, avec un maximum de gain de sols couverts en hiver.
- Niveaux initiaux du taux de sol couvert hétérogène selon les régions paysagères (de 79 à 87%), mais tous augmentent et tendent à s'uniformiser (de 87 à 93 %).
- Cette tendance semble se maintenir sur toute la période 2022-2024.

Particularités régionales :

- Ces changements sont mesurés tant dans des régions extensives comme le Jorat riche en prairies temporaires que des régions intensives comme la plaine de l'Orbe riches en pommes de terre et betteraves.
- Dans le Jorat, une forte augmentation du taux de sol couvert est mesurée pour les mois de septembre, pouvant s'expliquer par un semis de couverts d'été plus important qu'ailleurs.
- La Broye est la seule région à connaître une diminution des sols couverts en hiver. Or les mesures hivernales sont souvent perturbées par une couverture nuageuse importante ; il n'est donc pas en l'état possible de conclure sur l'influence des pratiques agricoles sur cette baisse.
- La plaine du Rhône est la seule région dont le taux de sols couverts n'augmente pas pour les mois de septembre. Un faible recours aux couverts d'été pourrait expliquer cette différence.

Interprétations possibles sur le tournant 2022 :

- Ces changements de comportement ne peuvent être expliqués seulement par des différences entre cultures en place et les conditions météorologiques. Cependant, le tournant majeur mesuré depuis 2022 peut venir d'un changement des pratiques agricoles en considérant une intensification annuelle des couverts végétaux et une diminution du travail du sol.
- L'introduction à l'été 2022 des programmes *Couverture appropriée du sol* et *Techniques culturales préservant le sol* a encouragé la mise en de couverts d'intercultures courtes en été, la prolongation des couverts longs en hiver et la généralisation des semis simplifiés ou directs. Or d'après un suivi de l'OFAG, en 2025, les programmes sur la couverture approprié et sur les techniques culturales simplifiées ont été appliqués sur 77% et 53% des terres ouvertes vaudoises.
- La correspondance temporelle nette entre l'introduction de ces programmes très suivis et les changements significatifs mesurés suggère un fort lien de cause à effet. Cependant, une étude géostatistique, intégrant rotations et techniques culturales issues des recensements agricoles annuels, seraient nécessaires pour confirmer les raisons avancées expliquant cette évolution positive du taux de couverture végétale.

Produits cartographiques dérivés :

- Des cartes cantonales de protection des sols par le couvert végétal sont réalisées à-partir des taux moyens annuels et saisonniers mesurés sur toute la période d'étude.
- Ces mesures ont également permis la mise à jour les cartes indicatives de danger d'érosion des sols par saison et scénario courant et extrême, où la couverture végétale joue un rôle clé de protection.

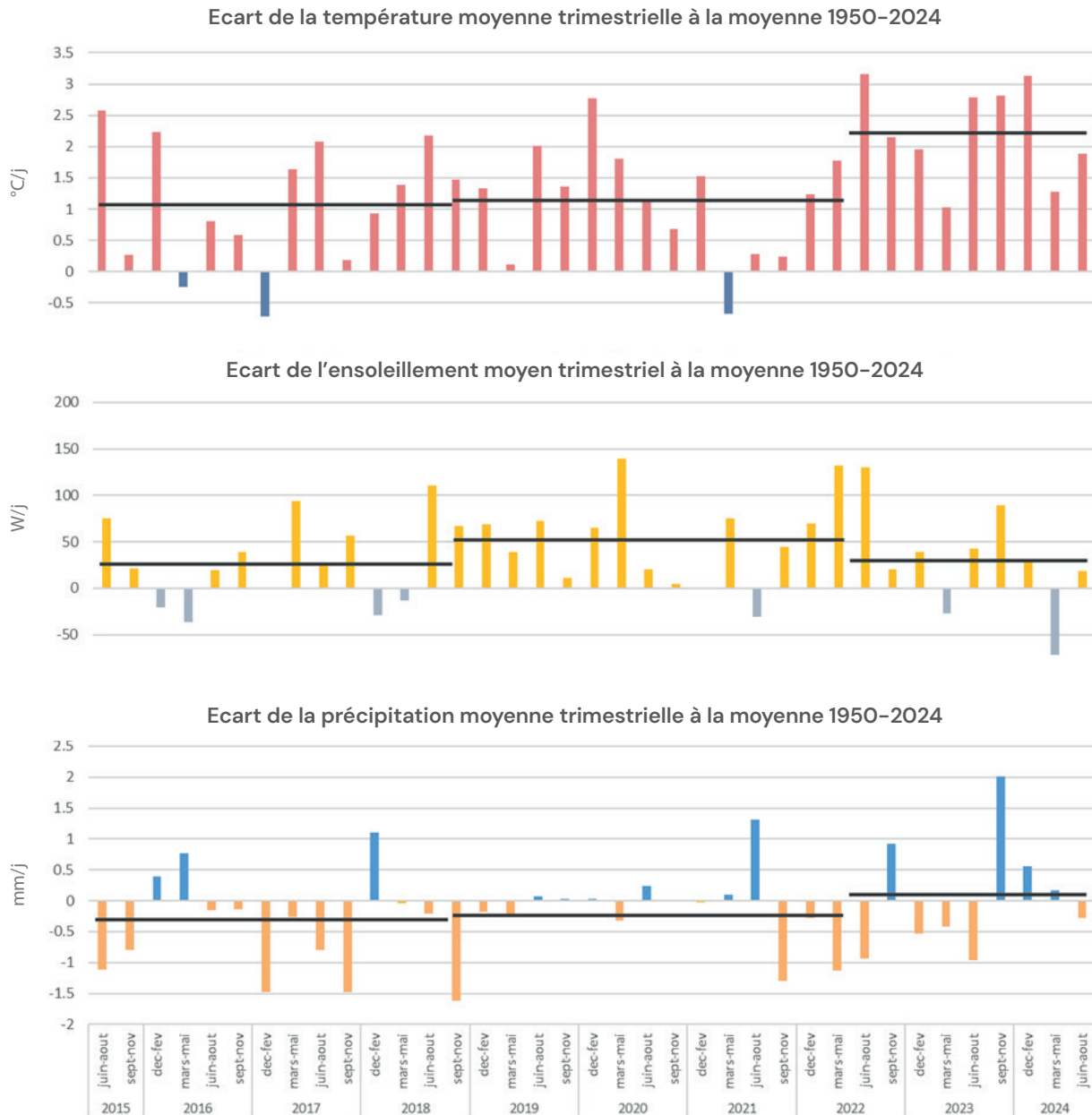
Recommandations :

- Continuer les programmes *Couverture appropriée du sol* et *Techniques culturales préservant le sol* et renforcer la vulgarisation agricole associée.
- Considérer et suivre les potentiels effets secondaires à long terme de ces pratiques (augmentation de l'utilisation d'herbicides ou du salissement des champs, baisse du rendement, etc.).
- Assurer une surveillance satellite périodique pour confirmer à long terme les tendances 2022-2024.
- Coupler ces taux de couverture végétale avec autres données agronomiques et pédologiques pour devenir un outil d'aide au diagnostic et au conseil agropédologique sur une région ou une culture donnée.

Suivi de la couverture végétale des sols agricoles entre 2015 et 2024

Synthèse des données météorologiques

Méthodologie Aggrégation des températures, de l'ensoleillement et des précipitations en moyennes trimestrielles
Puis comparaison des 3 périodes 2015/2018, 2018/2022, 2022/2024 avec la moyenne de 1950/2024



Bilan des données météorologiques :

- Les trois périodes ont été plus chaudes que la moyenne des 74 dernières années, avec la période 2022-2024 encore plus chaude avec une hausse de 2°C.
- Les trois périodes ont été plus ensoleillées que la moyenne des 74 dernières années, avec un pic de +50 W/j pendant la période 2018-2022.
- Les précipitations ont été inférieures de -0.3 mm/j (110 mm/an) à la moyenne des 74 dernières années de 2015 à 2022 puis équivalentes pendant la période 2022-2024. De plus, il faut noter :
 - o une sécheresse importante en 2017, 2018, 2022 et 2023
 - o une pluviométrie plus importante fin 2023 et 2024



9.2. Scripts QGIS

Une fois les images FC3 calculées via la chaîne de traitement du GRID-Genève (cf. § 3.1), une suite de scripts SIG codés et exécutés dans l'outil *Model Designer* de *QGIS v3.40.x* est nécessaire pour extraire les cartes et séries temporelles des taux de couverture des sols.

Les scripts sont classés et numérotés par ordre d'exécution dans les 3 dossiers suivants :

- **1. Production Indices Couverture** : créent les cartes trimestrielles d'indices de couvertures de sols agricoles (cf. § 2.5) :
 - *0_Filtre nuage_v2.model3*
 - *0_Filtre nuage_v2_Cas-Particulier_Sans-NoData-sur-SAU.model3*
 - *1_Extract_by_Mask_v2.model3*
 - *2_Mediane_v2.model3*
 - *3_Reclass_Indices_v2.model3*
 - *4_Sieve_Indices_v2.model3*

- **2. Extraction Statistiques Couvert** : extrait les statistiques des indices de couverture par zone d'intérêt (cf. § 4.2 et Annexe 9.3.1)
 - *Zonal_Histogram.model3*

- **3. Production Cartes Taux Couverture** : produisent les cartes de protection des sols par couverture des sols (cf. § 5.1 et Annexe 9.3.2)
 - *1_Reclassify_Indexes_v2.model3*
 - *2_Sommes_raster.model3*
 - *3_Calcul_Taux_Data (option).model3*
 - *4_Calcul_Taux_Couverts.model3*
 - *5_Reclass_and_Sieve_Taux.model3*



9.3. Ajout de la période 2024–2025

9.3.1. Mesures complémentaires

Au 1^{er} trimestre 2026, une mise à jour des mesures de couverture de sols a été effectuée. Elle étend les données à la période d'août 2024 à décembre 2025, en suivant la méthodologie établie lors de la première analyse (cf. § 2.2 et 3).

Comme illustré en Figure 37, ces nouvelles mesures montrent une baisse globale significative de 10 % du taux de couverture des sols agricoles à l'hiver et au printemps 2024. Cette baisse, la plus importante mesurée depuis le printemps 2022, est visible sur l'ensemble des zones du Canton et sur tous les types de cultures, terres assolées comme surfaces maraichères. L'automne 2025 marque le retour à la situation normale.

Cependant, il est impossible de tirer des conclusions de cette baisse saisonnière :

- Correspond-elle à une nouvelle tendance à la baisse de la couverture des sols due à un rééquilibrage des pratiques suite à l'introduction des mesures de 2022 ?
- Est-elle simplement la conséquence d'un hiver et d'un printemps 2024 particulièrement pluvieuse ?

En effet, l'humidité des sols et le manque de luminosité constatée lors de cette période a significativement préterité les semis et levées des cultures et intercultures d'automnes, ainsi que les rendements des moissons.

Seule une analyse périodique sur plusieurs années pourra confirmer ou affirmer les raisons de cette baisse, qui, en l'état, semble être temporaire.

9.3.2. Nouvelles cartes de protection des sols

Sur demande du mandant, les cartes de protection des sols par couverture végétale (cf. § 5.1) sont maintenant divisées en 2 catégories :

- Cartes de protection des sols **par couverture végétale verte et non-verte** (comme précédemment > décompte des classes d'indices de couverture 4 et 5)
- Cartes de protection des sols **par couverture végétale verte seule** (nouveau > décompte des classes d'indices de couverture 5 seulement)

Les cartes suivantes ont été établies sur l'ensemble de la période nouvellement mise à jour :

- Analyses globales :
 - Période complète 07/2015>11/2025 ;
 - Sous-période 06/2022>11/2024.
- Analyses saisonnières :
 - Période complète 06/2015>11/2025, hivers seuls (décembre>février) ;
 - Période complète 06/2015>11/2025, printemps seuls (mars>mai) ;
 - Période complète 06/2015>11/2025, étés seuls (juin>août) ;
 - Période complète 06/2015>11/2025, automnes seuls (septembre>novembre).



CANTON DE VAUD - TERRES ASSOLÉES

58 986 ha mesurés

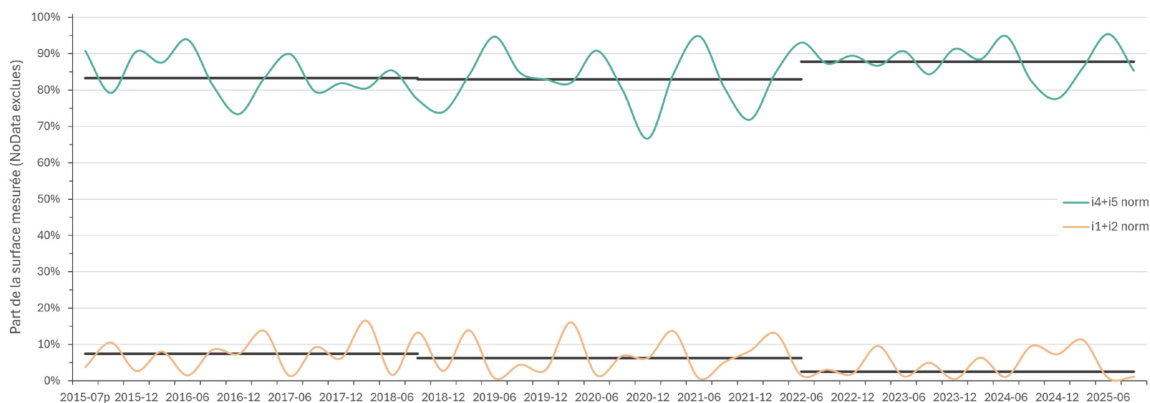
Augmentation de la surface de sols couverts : + 2 711 ha (4.6 % de la surface)

Périodes 2015-2018 → 2018-2022 : - 182 ha (0.3 %) Périodes 2018-2022 → 2022-2025 : + 2 893 ha (4.9 %)
 → Hivers : + 4 473 ha (7.6 %) → Automnes : + 3 143 ha (5.3 %)

Diminution de la surface de sols nus : - 2 891 ha (4.9 % de la surface)

Périodes 2015-2018 → 2018-2022 : - 662 ha (1.1 %) Périodes 2018-2022 → 2022-2025 : - 2 229 ha (3.8 %)
 → Hivers : - 2 529 ha (4.3 %) → Automnes : - 3 084 ha (5.2 %)

Tendances à long terme de la part de sols couverts, resp. à nus, selon médianes annuelles



Suivi annuel détaillé de l'indice de couverture des sols

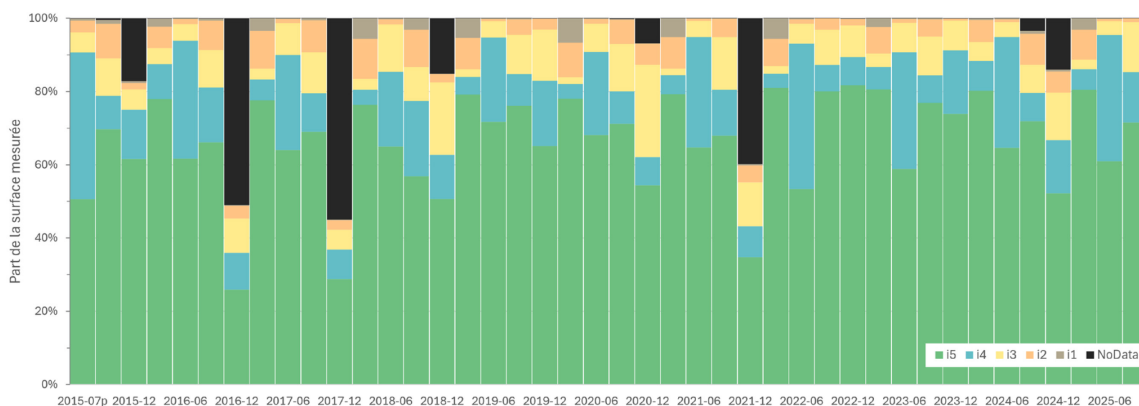


Figure 37 : Mesures des taux de sols couverts/nus et extraction de leurs tendances à long terme sur l'ensemble des terres assolées mesurées du Canton de Vaud, avec rajout de la période d'août 2024 à décembre 2025.



9.3.3. Liste des livrables supplémentaires

Cette section se réfère au § 7, listant ici les livrables supplémentaires remis lors de cette mise à jour. Les géodonnées et autres fichiers reprennent les mêmes nomenclatures et sont classés selon la même arborescence de dossier.

GÉODONNÉES FC3

fc3_#fraction_m#année#mois

Mesures brutes mensuelles du FC3 entre 0 et 10'000, traitées sur la SAU vaudoise, entre août 2024 et décembre 2025.

CARTES D'INDICE DE COUVERTURE TRIMESTRIEL

Indice_Couvert_T-#année#mois

Indices trimestriels de couverture des sols de SAU, lissés spatialement et classés de 1 à 5, entre juin 2024 et novembre 2025 (trimestres complets).

CARTES DES TAUX DE COUVERTURE VÉGÉTALE DES SOLS

Taux_Couvert_Bruts_i5_#année1#mois1-#année2#mois2 (_#saison)

Cartes brutes de protection des sols par couverture végétale verte seule.

Taux_Couvert_Bruts_i4i5_#année1#mois1-#année2#mois2 (_#saison)

Cartes brutes de protection des sols par couverture végétale verte et non verte.

Taux_Couvert_Reclass_i5_#année1#mois1-#année2#mois2 (_#saison)

Cartes lissées spatialement de protection des sols par couverture végétale verte seule.

Taux_Couvert_Reclass_i4i5_#année1#mois1-#année2#mois2 (_#saison)

Cartes lissées spatialement de protection des sols par couverture végétale verte et non verte.

AUTRES DONNÉES INFORMATIQUES

- **Statistiques** de l'évolution de l'indice de couverture végétal couvrant la période juillet 2015-décembre 2025, se référant aux § 4 et 9.7 (fichiers de travail excel, et exports png des figures du dossier « Statistiques »)
- **Rapport technique v2.0** synthétisant méthodes et résultats avec mise à jour 2024-2025 (export pdf)