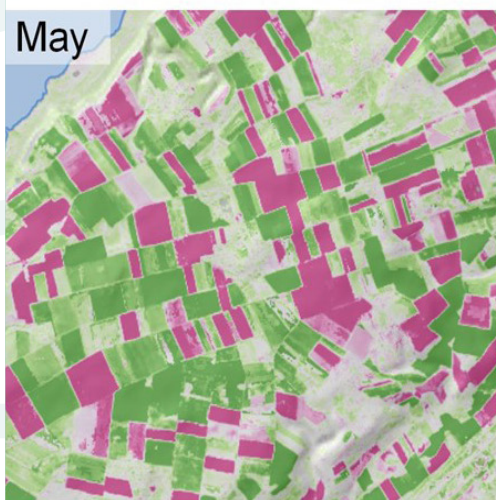




Végétation et utilisation du sol

CCSols, rapport n° 5

Septembre 2023

Engagé en Suisse
pour une précieuse ressource

Mentions légales

Auteurs : Felix Stumpf, Thorsten Behrens, Karsten Schmidt, Armin Keller

Année de parution : 2023

Éditeur : Centre de compétences sur les sols (CCSols).

Le CCSols travaille sur mandat de trois offices fédéraux : l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), l'Office fédéral de l'agriculture (OFAG) et l'Office fédéral du développement territorial (ARE) et est rattaché à la Haute école des sciences agronomiques, forestières et alimentaires (HAFL) de la Haute école spécialisée bernoise (HESB-BFH) de Zollikofen.

Photo de couverture : Les cartes raster avec les anomalies mensuelles du NDVI à titre d'exemple pour l'année 2021 sur la rive sud du lac de Neuchâtel (graphisme: CCSols)

Mise en page : Fabrice Wullschleger avec un modèle créé par Magma Branding, Sandrainstrasse 3, 3007 Berne, <https://magma-branding.ch>

Citation recommandée : Stumpf F., T. Behrens, K. Schmidt et A. Keller (2023). Cartes de la végétation et de l'utilisation du sol dans l'espace et dans le temps basées sur la télédétection visant à étayer les cartographies des sols durant la phase conceptuelle et les travaux sur le terrain. Rapport n° 5, BFH-HAFL, CH 3052 Zollikofen-Berne, disponible sur www.ccsols.ch

Copyright : Conformément au symbole de licence ci-dessous, la reproduction non commerciale du rapport est souhaitée, mais avec indication de la source et envoi d'un exemplaire justificatif à l'éditeur. Le partage est soumis aux mêmes conditions de licence.



Table des matières

1. Contexte	4
2. Bases de données	5
2.1 Sentinel -2	5
2.2 Corrections atmosphériques	5
2.3 Indice de végétation spectral (NDVI)	7
2.4 Séries temporelles matricielles NDVI	7
3. Produits	8
3.1 NDVI par mois pour toutes les années (2018 à 2022)	8
3.2 NDVI par mois agrégé pour toutes les années de 2018 à 2022 (référence)	9
3.3 Différence entre le NDVI par mois et la référence (anomalies)	10
3.4 Variabilité NDVI	11
4. Structure des données des cartes matricielles	12
5. Contact et fourniture des données	14
6. Bibliographie	15

1. Contexte

La végétation et l'utilisation du sol déterminent à long terme les processus pédologiques et les propriétés des sols et constituent donc d'importants facteurs pédogénétiques (D'Amico et al., 2014; Dror et al., 2022). Elles influencent notamment le cycle du carbone et des éléments nutritifs, modifiant ainsi la biologie et la physique des sols (De Vries et al. 2013). Au fil du temps, les modifications de la végétation et de l'utilisation du sol ont, en outre, un effet sur des propriétés des sols telles que la matière organique, la masse volumique apparente et la capacité de rétention en eau (Haghighi et al. 2010). C'est la raison pour laquelle les variables environnementales de la végétation et de l'utilisation du sol à l'échelle du territoire ainsi que leur évolution dans le temps fournissent des cartes de base importantes pour les cartographies des sols (Lamichhane et al., 2019; Venter et al., 2021). Elles peuvent apporter une aide aussi bien pendant la phase conceptuelle que durant les travaux sur le terrain.

Les données satellitaires permettent une description à grande échelle et simultanée de la végétation et de l'utilisation du sol sur toute la surface à des taux de répétition temporelle élevés. Les données satellitaires multitemporelles peuvent être converties en une série temporelle de prises de vue qui fourniront des informations sur la végétation et l'utilisation du sol dans l'espace et dans le temps (Araya et al., 2018; Fatholouloumi et al., 2020; Silva-Coira et al., 2021).

La présente documentation détaille la dérivation de cartes de la végétation et de l'utilisation du sol à partir de données de télédétection. Ces cartes portent sur la période de 2018 à 2022 (5 ans). Elles décrivent l'état de la végétation par mois de plusieurs façons : sous forme de moyenne mensuelle, sous forme de référence mensuelle sur plusieurs années (moyenne sur 5 ans), sous forme d'écart mensuel par rapport à la référence et sous forme de variabilité. Elles permettent aux cartographes d'évaluer notamment la disponibilité des ressources hydriques et les conditions pédologiques de surfaces spécifiques et d'en tenir compte dans leur cartographie. Comme les années 2018 et 2022 ont été très sèches, les séries temporelles de la végétation peuvent éventuellement fournir des informations sur l'évolution dans le temps du régime hydrique des sols. Suivant la région et les caractéristiques, elles permettent d'obtenir des indications précieuses pour la délimitation spatiale d'unités cartographiques.

Les cartes sont mises à la disposition des cantons par le CCSols sous la forme de paquet de données standardisé par commune.

2. Bases de données

2.1 Sentinel-2

Le programme spatial européen « Copernicus » de l'Union européenne gère la mission d'observation de la Terre assistée par les satellites Sentinel-2. Celle-ci vise à relever principalement des ressources environnementales terrestres sur l'ensemble du globe. Depuis 2018, les satellites Sentinel-2 fournissent des données spectrales optiques issues du spectre visible et de l'infrarouge dans 13 canaux et avec un taux de répétition global de 5 jours. La résolution spatiale des clichés est, suivant le canal, de 10 m, 20 m ou 60 m. Les canaux avec une résolution spatiale de 60 m sont surtout utilisés pour les corrections atmosphériques des données. Les canaux à plus haute résolution servent à cartographier la végétation, l'utilisation et la couverture du sol ainsi que leurs évolutions.

2.2 Corrections atmosphériques

Les capteurs multispectraux des satellites Sentinel-2 enregistrent la réflexion de la surface terrestre à la limite supérieure de l'atmosphère (« Top of Atmosphere »). Ce signal « Top of Atmosphere » est perturbé sous l'effet de la dispersion et l'absorption par les gaz et aérosols atmosphériques ainsi que de l'ombrage et de la topographie (Shakun et al., 2022). Des algorithmes de correction permettent de réduire au minimum les effets des perturbations atmosphériques et de masquer les zones de couverture nuageuse (Louis et al., 2021; Zupanc, 2017). Ces étapes de travail comportent une série de volumineux calculs correctifs des données brutes. Le signal corrigé obtenu correspond à la réflexion spectrale de la surface terrestre. Les effets atmosphériques de toutes les images satellitaires Sentinel-2 utilisées ont été corrigées à l'aide des algorithmes « Sen2Cor » et « S2cloudless » (Louis et al., 2021 ; Zupanc, 2017 ; ESA, 2023b ; Sentinel-Hub, 2023

Tableau 1 : Caractéristiques des capteurs

Sentinel-2. La liste présente la résolution spectrale basée sur les longueurs d'onde centrales des canaux, leur utilité et leur résolution spatiale.

Canal	Longueur d'onde [nm]	Utilité	Résolution [m]
B1 - 'Coastal aerosol'	443	Correction atmosphérique	60
B2 - 'BLUE'	492	Correction atmosphérique, utilisation du sol, végétation	10
B3 - 'GREEN'	560	Utilisation du sol, végétation	10
B4 - 'RED'	665	Utilisation du sol, végétation	10
B5 - 'Red Edge1'	704	Utilisation du sol, végétation	20
B6 - 'Red Edge2'	740	Utilisation du sol, végétation	20
B7 - 'Red Edge3'	783	Utilisation du sol, végétation	20
B8 - 'NIR'	835	Correction atmosphérique, utilisation du sol, végétation	10
B9 - 'Narrow NIR'	865	Correction atmosphérique, utilisation du sol, végétation	20
B10 - 'Water Vapour'	945	Correction atmosphérique	60
B11 - 'SWIR Cirrus'	1374	Correction atmosphérique	60
B12 - 'SWIR1'	1614	Utilisation du sol, végétation	20
B13 - 'SWIR2'	2202	Correction atmosphérique, utilisation du sol, végétation	20

2.3 Indice de végétation spectral (NDVI)

Le NDVI (« Normalized Difference Vegetation Index », indice de végétation par différence normalisé) est un indice de végétation spectral utilisé comme indicateur de la densité, de l'état et de la productivité de la végétation (Frampton et al., 2013 ; Stumpf et al., 2020). La réflexion de la végétation productive est relativement faible dans le domaine des longueurs d'onde rouges et relativement élevée dans celui de l'infrarouge. Le NDVI se calcule à partir du rapport entre ces deux domaines spectraux (RED, NIR ; cf. Tableau 1 ; Rouse et al., 1974) :

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

L'indice est échelonné de -1 à 1. D'une manière générale, les valeurs NDVI négatives correspondent à des plans d'eau et les valeurs NDVI faiblement positives à des surfaces pratiquement sans végétation. Les valeurs plus élevées indiquent un accroissement de la biomasse et une végétation saine. Le NDVI a été calculé pour chaque cellule matricielle de toutes les images de Sentinel-2 (corrigées des effets atmosphériques).

2.4 Séries temporelles matricielles NDVI

Une série temporelle matricielle est constituée de plusieurs jeux de données matricielles classées par date de prise de vue et couvrant la même étendue géographique (Picoli et al., 2018 ; Silva-Coira et al., 2021 ; Simoes et al., 2021). Toutes les prises de vue prétraitées NDVI de Sentinel-2 ont été converties en une série temporelle matricielle NDVI (Adorno et al., 2023 ; Ferreira et al., 2020 ; Moskolai et al., 2021).

Au final, il est ainsi possible d'agréger, d'analyser et de représenter pour chaque cellule matricielle le déroulement temporel du NDVI pour des intervalles de temps pertinents (figure 1 ; Griffiths et al., 2019 ; Kennedy et al., 2018 ; Verbesselt et al., 2010). Les changements du NDVI dans l'espace et dans le temps peuvent fournir des indications sur la variation spatiale du développement et des propriétés des sols ainsi que sur leur régime hydrique.

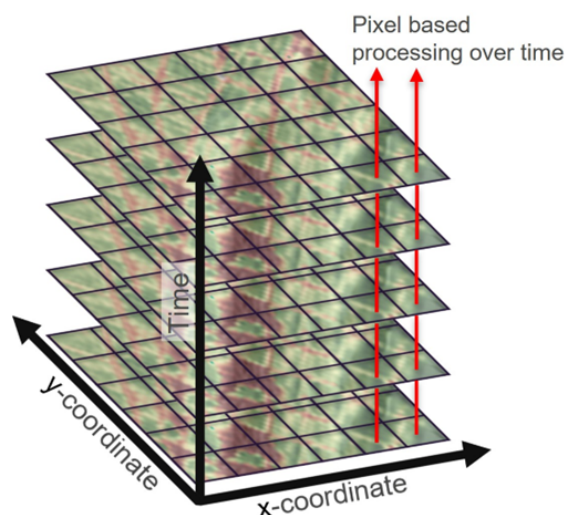


Figure 1 : Séries temporelles matricielles de la végétation et de l'utilisation du sol sous forme de jeu de données multidimensionnel dans l'espace et dans le temps (version 1.0 de 2018 à 2022, par commune).

3. Produits

3.1 NDVI par mois pour toutes les années de 2018 à 2022

Les séries temporelles matricielles NDVI ont été agrégées sur la base des moyennes mensuelles afin d'obtenir des séries NDVI à haute résolution et à intervalles identiques couvrant presque tout le territoire. Ces séries portent sur les mois de mars à octobre des années 2018 à 2022 (Figure 1). En raison des corrections atmosphériques et des cellules matricielles sans valeur (pixels « No-Data »), la valeur NDVI ne peut parfois pas être déduite pour certaines zones ou périodes. Dans de tels cas, les valeurs NDVI ont été évaluées au moyen d'une régression linéaire locale basée sur les valeurs des trois mois suivants ou précédents.

Lorsque plus de deux mois sur les périodes mars-juin et juillet-octobre ne présentaient aucune valeur NDVI, toute la série temporelle a été désignée comme NoData. Les valeurs NDVI manquantes entre avril et septembre ont été évaluées par une interpolation « Spline ». Les cartes matricielles mensuelles NDVI décrivent l'état, la densité et la productivité de la végétation au fil des mois (Figure 2).

Le produit de données est constitué de 8 jeux de données matricielles NDVI par an, correspondant aux mois de mars à octobre (donc 8 x 5 ans = 40 cartes).

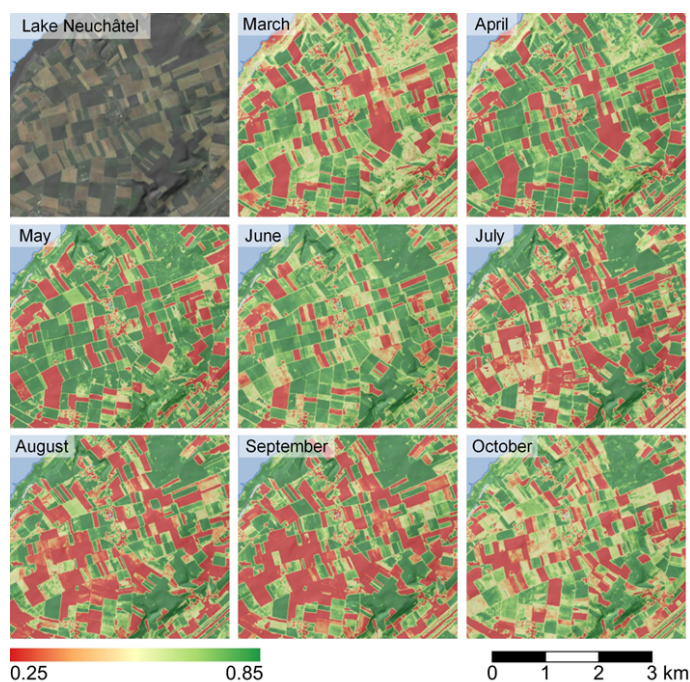


Figure 2 : Cartes matricielles mensuelles NDVI présentées à titre d'exemple pour l'année 2021 pour la rive sud du lac de Neuchâtel. Outre les différences entre les parcelles (liées à la culture), les cartes fournissent des indications sur la variation dans l'espace et dans le temps au sein des parcelles.

3.2 NDVI par mois agrégé pour toutes les années de 2018 à 2022 (référence)

La valeur moyenne sur toutes les années de 2018 à 2022 a été calculée sur la base des cartes matricielles mensuelles NDVI. Les cartes matricielles qui en résultent peuvent être considérées comme la référence pour cette période. Elles décrivent l'état, la densité et la productivité de la végétation sous forme de moyenne sur plusieurs années.

Le produit cartographique sert de référence pour évaluer les écarts des valeurs NDVI lors de certaines années plus sèches ou plus humides et pour tirer des conclusions sur des différences de développement et de nature des sols (point 3.4). Le produit est constitué de 8 jeux de données matricielles NDVI, correspondant aux mois de mars à octobre (Figure 3).

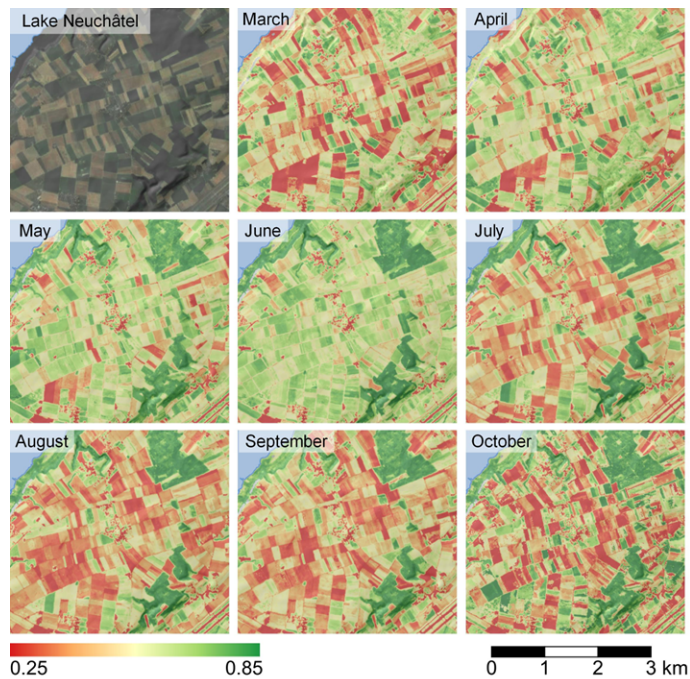


Figure 3 : Cartes matricielles mensuelles NDVI agrégées pour la période de 2018 à 2022 (référence), à l'exemple de la rive sud du lac de Neuchâtel.

3.3 Différence entre le NDVI par mois et la référence (anomalies)

Les cartes matricielles mensuelles NDVI (point 3.1) sont comparées aux références mensuelles NDVI (point 3.2) et la différence entre ces jeux de données matricielles NDVI est calculée. Le résultat informe ainsi sur les écarts entre le NDVI et la moyenne sur plusieurs années (anomalies). En d'autres termes, cette démarche permet de décrire les écarts mensuels de la productivité de la végétation par rapport à la valeur de référence sur plusieurs années. Par exemple, le jeu de données offre la possibilité d'identifier et de décrire certaines périodes qui se distinguent par des conditions environnementales extrêmes et permet ainsi de tirer des conclusions sur le sol et le régime hydrique. Le produit est constitué de 8 jeux de données mensuelles de mars à octobre entre 2018 à 2022 (

Figure 4).

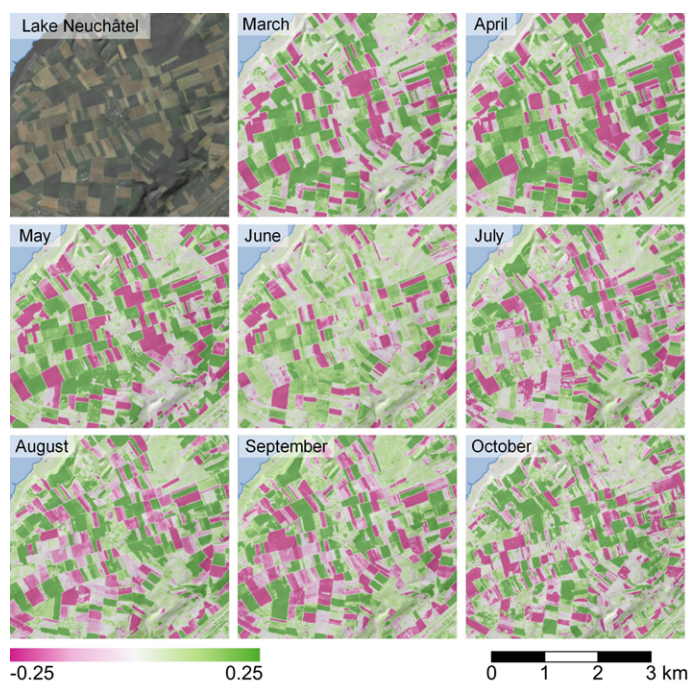


Figure 4 : Cartes matricielles NDVI avec les anomalies mensuelles NDVI, à l'exemple de l'année 2021 pour la rive sud du lac de Neuchâtel.

3.4 Variabilité NDVI

Sur la base des cartes matricielles mensuelles NDVI (point 3.1), on a calculé l'écart-type sur tous les mois pour chaque année et déterminé la moyenne des écarts-types en résultant sur toutes les années depuis 2018. Les cartes matricielles ainsi obtenues décrivent la variabilité annuelle et à long terme de l'état, de la densité et à long terme de l'état, de la densité et de la productivité de la végétation dans un contexte spatial. Le jeu de données permet, par exemple, d'évaluer l'intensité de l'utilisation du sol et les influences que la gestion exerce sur les surfaces agricoles. Le produit cartographique correspond à une agrégation de toutes les cartes matricielles disponibles de 2018 à 2022 et est donc constitué d'un seul jeu de données (Figure 5).

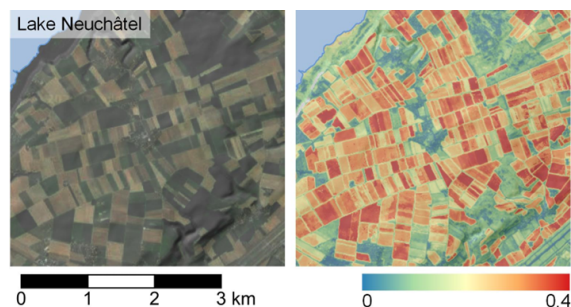


Figure 5 : Carte matricielle NDVI illustrant l'écart-type moyen entre 2018 à 2022 (variabilité NDVI), à l'exemple de la rive sud du lac de Neuchâtel.

4. Structure des données des cartes matricielles

Les cartes matricielles (89 au total) sont mises à disposition sous la forme de paquet de données standardisé (fichier ZIP à télécharger) **par commune ou par canton**. Le paquet comprend les sous-dossiers suivants :

- _ Moyenne du NDVI par mois pour la période de mars à octobre pour toutes les années étudiées
 - Répertoire dans le fichier ZIP : \01_Data_Products_NDVI_S2\01_monthly_mean
 - Exemple de nom : « S2_ndvi_mean_2020_04.tif », signifie moyenne du NDVI pour le mois d'avril en 2020 avec les données de télédétection de Sentinel 2.
 - Dérivation du NDVI pour 8 mois pour 5 années (2018 à 2022) (point 3.1)
 - 40 fichiers de données
- _ NDVI par mois agrégé (mars à octobre) pour toutes les années étudiées (référence)
 - Répertoire dans le fichier ZIP : \01_Data_Products_NDVI_S2\02_monthly_mean_reference
 - Exemple de nom : « S2_ndvi_mean_2018_2022_07.tif », signifie moyenne sur un mois du NDVI sur les moyennes mensuelles en juin entre 2018 à 2022 avec les données de télédétection de Sentinel 2.
 - Dérivation de la moyenne mensuelle du NDVI sur 8 mois pour les 5 années (point 3.2).
- _ 8 fichiers de données
- _ Différence du NDVI par mois par rapport à la référence (anomalie)
 - Répertoire dans le fichier ZIP : \01_Data_Products_NDVI_S2\03_monthly_mean_anomaly
 - Exemple de nom : « S2_ndvi_anomaly_2019_06.tif » signifie la différence entre la moyenne du NDVI pour le mois de juin de l'année 2019 et la référence (cf. plus haut, valeur moyenne des jeux de données de juin des années 2018 à 2022 sur la base de données de télédétection de Sentinel 2).
 - Dérivation de la moyenne mensuelle des anomalies du NDVI pour 8 mois sur les 5 années (point 3.3).
 - 40 fichiers de données
- _ Variabilité NDVI
 - Répertoire dans le fichier ZIP : \01_Data_Products_NDVI_S2\04_annual_sd
 - Exemple de nom : « S2_ndvi_sd_2020.tif », signifie-écart-type NDVI sur la moyenne mensuelle (mars à octobre) pour l'année 2020.
 - Écart-type moyen du NDVI sur les 8 mois de mars à octobre par année et variance du NDVI sur mars à octobre pour les 5 ans de 2018 à 2022 (point 3.4).
 - 5 jeux de données (écart-type)

_ Variabilité NDVI à long terme

- Répertoire dans le fichier ZIP :
 \01_Data_Products_NDVI_S2\05_longterm_var
- Nom du fichier : «S2_ndvi_variability_2018_2022.tif» signifie la moyenne NDVI des écarts-types annuels des années 2018 à 2022.
- Écart-type moyen du NDVI sur les 8 mois de mars à octobre par année et variance du NDVI de mars à octobre sur les 5 années de 2018 à 2022 (point 3.4).
- 1 jeu de données (variance).

_ Variabilité NDVI à long terme

- Répertoire dans le fichier ZIP :
 \01_Data_Products_NDVI_S2\05_longterm_var
- Nom du fichier : «S2_ndvi_variability_2018_2022.tif» signifie la moyenne NDVI des écarts-types annuels des années 2018 à 2022.
- Écart-type moyen du NDVI sur les 8 mois de mars à octobre par année et variance du NDVI de mars à octobre sur les 5 années de 2018 à 2022 (point 3.4).
- 1 jeu de données (variance).

5. Contact et fourniture des données

Les calculs de ces produits issus de la télédétection peuvent soutenir la phase conceptuelle et les travaux sur le terrain lors de cartographies cantonales des sols. Le calcul et la fourniture des données sont effectués **à l'échelle des frontières communales ou du canton**. Les demandes relatives à ce service sont à adresser au moyen du formulaire en ligne sur le site Internet du CCSols en indiquant le numéro OFS de la commune (Office fédéral de la statistique) ainsi que le nom de la commune, respectivement le canton. Après traitement de la demande, les données sont mises à disposition de l'utilisateur sous forme d'un lien de téléchargement par commune ou par canton. Pour optimiser le déroulement du travail, nous vous prions de justifier dans le formulaire en ligne les demandes portant sur plus de trois communes.

Vos retours sont très importants pour nous. Ils nous permettent de tenir compte de vos suggestions et de poursuivre le développement de ce service du CCSols à l'intention des cantons. Nous serions donc heureux que vous nous fassiez connaître vos expériences et vos propositions d'amélioration. Vous pouvez utiliser pour cela ce contact : service@ccsols.ch.

6. Bibliographie

- Adorno BV., Körting TS., Amaral S., 2023: Contribution of time-series data cubes to classify urban vegetation types by remote sensing. *Urban Forestry & Urban Greening* 79, 127817.
- Araya S., Ostendorf B., Lyle G., Lewis M., 2018: CropPhenology: An R package for extracting crop phenology from time series remotely sensed vegetation index imagery. *Ecological Informatics* 46, 45-56.
- D'Amico ME., Freppaz M., Filippa G., Zanini E., 2014 : Vegetation influence on soil forming rate in a proglacial chronosequence (Lys Glacier, NW Italian Alps). *Catena* 113, 122-137.
- De Vries FT., Thebault E., Liiri M., Birkhofer K., et al., 2013 : Soil food web properties explain ecosystem services across European land use systems. *PNAS* 35, 14296-14301.
- Dror I., Yaron B., Berkowitz B., 2022: The human impact on all soil forming factors during the Anthropocene. *ACS Environmental Au* 2, 11-19.
- ESA, 2023a: European Space Agency: https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2 (consulté en juin 2023).
- ESA, 2023b: Sen2Cor — Atmospheric and terrain correction for Sentinel 2 images: <https://step.esa.int/main/third-party-plugins-2/sen2cor/> (consulté en juin 2023).
- Fatholouloumi S., Vaezi, AR., Alavipanah SK., Ghorbani A., Saurette D., Biswas A., 2020: Improved digital soil mapping with multitemporal remotely sensed satellite data fusion: A case study in Iran. *Science of the Total Environment* 721, 137703.
- Ferreira KR., Queiroz GR., Vinhas L., Marujo RFB., Simoes REO., Picoli MCA., et al., 2020: Earth Observation Data Cubes for Brazil: Requirements, Methodology and Products. *Remote Sensing* 12, 4033.
- Frampton WJ., Dash J., Watmough G., Milton EJ., 2013: Evaluating the capabilities of Sentinel-2 for quantitative estimation of biophysical variables in vegetation. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 82, 83-92.
- Griffiths P., Nendel C., Hostert P., 2019: Intra-annual reflectance composites from Sentinel-2 and Landsat for national-scale crop and land cover mapping. *Remote Sensing of Environment* 220, 135-151.
- Haghighi F., Gorji M., Shorafa M., 2010: A study of the effects of land use changes on soil physical properties and organic matter. *Land degradation and development* 21, 496-502.
- Kennedy RE., Yang Z., Gorelick N., Braaten J., Cavalcante L., Cohen WB., Healey S., 2018: Implementation of the LandTrendr algorithm on Google Earth Engine. *Remote Sensing* 10, 691
- CCSols, 2023: Centre de compétences sur les sols, Suisse: <https://ccsols.ch/fr/home/> (consulté en juin 2023).
- Lamichhane S., Kumar L., Wilson B., 2019: Digital Soil Mapping algorithms and covariates for soil organic carbon mapping and their implications: A review. *Geoderma* 352, 395-413.
- Louis J., Pflug B., Debaecker V., Mueller-Wilm U., Iannone Q., Boccia V., Gascon F., 2021: Evolutions of Sentinel-2 Level-2A Cloud Masking Algorithm Sen2Cor Prototype First Results. *IGARSS 2021 - IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, DOI: 10.1109/IGARSS47720.2021.9553445.

- _ Moskolai WR., Abdou W., Dipanda A., Kolyang, 2021: Application of Deep Learning Architectures for Satellite Image Time Series Prediction: A Review. *Remote Sensing* 13, 4822.
- _ Picoli MCA., Camara G., Sanches I., Simões R., Carvalho A., Maciel A., et al., 2018: Big earth observation time series analysis for monitoring Brazilian agriculture. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 145, 328-339.
- _ Rouse JW., Haas RH., Schell JA., Deering DW., 1974: Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Third ERTS-Symposium, Washington D.C. 1973
- _ SentinelHub, 2023: S2cloudless - Cloud Detector for Sentinel 2 images: <https://github.com/sentinel-hub/sentinel2-cloud-detector> (consulté en juin 2023).
- _ Shakun S., Wevers J., Brockmann C., Doxani G., Aleksandrov M., Batič M., et al., 2022: Cloud mask intercomparison eXercise (CMIX): An evaluation of cloud masking algorithms for Landsat 8 and Sentinel-2. *Remote Sensing of Environment* 274, 112990.
- _ Silva-Coira F., Paramá JR., De Bernardo G., Seco D., 2021: Space-efficient representations of raster time series. *Information Sciences* 566, 300-325.
- _ Simoes R., Camara G., Queiroz G., Souza F., Andrade P., Santos L., et al., 2021: Satellite image time series analysis for big earth observation data. *Remote Sensing* 13, 2428.
- _ Stumpf F., Schneider MK., Keller A., Mayr A., Rentschler T., Meuli RG., Schaepman M., Liebisch, F., 2020: Spatial monitoring of grassland management using multi-temporal satellite imagery. *Ecological Indicators* 113, 106201.
- _ Venter SV., Hawkins HJ., Cramer MD., Mills AJ., 2021: Mapping soil organic carbon stocks and trends with satellite-driven high resolution maps over South Africa. *Science of The Total Environment* 771, 145384.
- _ Verbesselt J., Hyndman R., Newnham G., Culvenor D., 2010: Detecting trend and seasonal changes in satellite image time series. *Remote Sensing of Environment* 114, 106-115.
- _ Zupanc, 2017: Improving cloud detection with Machine Learning: <https://medium.com/sentinel-hub/improving-cloud-detection-with-machine-learning-c09dc5d7cf13> (consulté en juin 2023).

Centre de compétences sur les sols

BFH-HAFL

Länggasse 85 3052 Zollikofen

info@ccsols.ch ccsols.ch