

LE PRODUIT NEIGE

DU CES SURFACE ENNEIGÉE



OPenIG – Occitanie Pyrénées en Intelligence Géomatique

## CONTEXTE

La neige joue un rôle crucial dans les processus écologiques, climatiques et hydrologiques de montagne. En particulier, la dynamique de la fonte contrôle l'état hydrique du sol, la recharge des aquifères et le débit des rivières qui approvisionnent les régions en aval. Les capteurs spatiaux ne permettent pas actuellement de mesurer la hauteur de neige ou son équivalent en eau en zone de montagne. La variable qui peut être obtenue par télédétection est la surface enneigée.

Le pôle de données et de services surfaces continentales Theia, créé fin 2012, a pour vocation de faciliter l'usage des images issues de l'observation des surfaces continentales depuis l'espace notamment par la mise à disposition de produits développés au sein des **Centres d'Expertise Scientifique (CES)**. C'est le CES « surface enneigée » du pôle Theia regroupant des équipes du Cesbio, IGE, CNRM (CEN), LTHE et Legos qui a développé un produit Neige. Sa production opérationnelle a démarré fin 2017.

Afin de favoriser l'appropriation par l'administration, ainsi que par les acteurs économiques, des nouveaux outils basés sur des technologies spatiales, le ministère de la Transition écologique et Solidaire (MTES) et le ministère de la Cohésion des Territoires et des Relations avec les Collectivités Territoriales (MCTRCT) ont élaboré un Plan d'applications satellitaires (PAS) en 2018. Parmi les 20 actions thématiques de ce plan, l'action 16 sur la surveillance des changements climatiques exprime le besoin de connaître et d'évaluer la couverture du manteaux neigeux et son évolution au fil des saisons. Dans cette perspective, le produit Neige Theia a été identifié comme répondant à cette problématique.

C'est dans ce contexte et à la suite d'une collaboration avec le Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) que OPenIG, qui co-anime l'Animation Régionale Theia en Occitanie, s'est vu confier la mission de valoriser et promouvoir les produits Neige issus du CES Theia et de Copernicus.



# SPECIFICATIONS DU PRODUIT

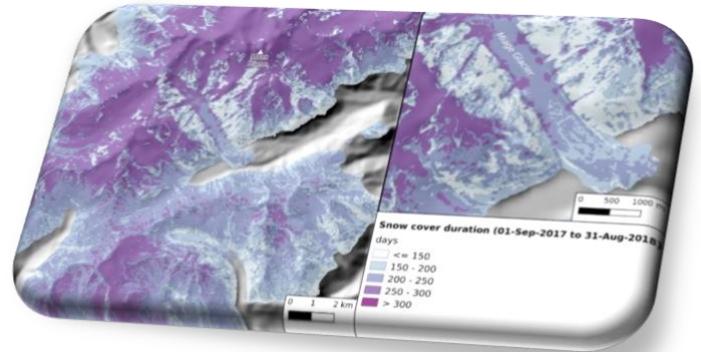
## Les produits Theia

Le produit neige Theia est actuellement disponible sous deux formes :

- **Surface d'enneigement** : produit 2B mono-date généré tous les 5 jours (correspondant à la fréquence de passage du satellite Sentinel-2) indiquant la présence ou non de neige par pixel non nuageux (20m x 20m), accompagné d'un masque de nuage.
- **Synthèse annuelle** : produit 3B multi-dates, générée à partir des masques de neige (résolution 20m x 20m). Ces produits de synthèse contiennent plusieurs informations :
  - o Durée d'enneigement : la valeur de chaque pixel correspond au nombre de jours enneigés
  - o Date d'apparition de la neige : correspond à la date de début de la période d'enneigement maximale
  - o Date de disparition de la neige : correspond à la date de fin de la période d'enneigement maximale
  - o Nombre d'observations utilisées pour réaliser la synthèse : indicateur qualité

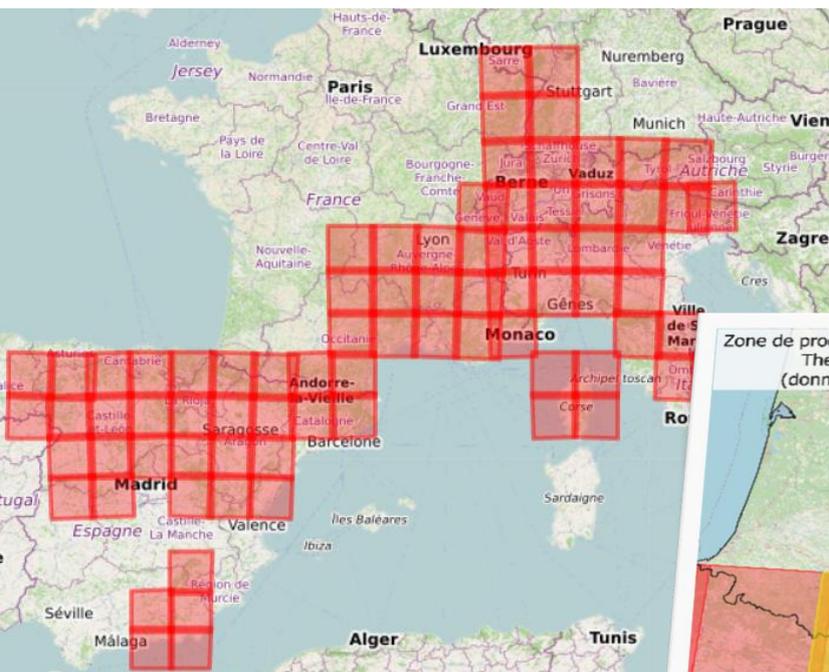


Source : Produit Neige Theia du CES Surface enneigé, <https://www.theia-land.fr/neige/>



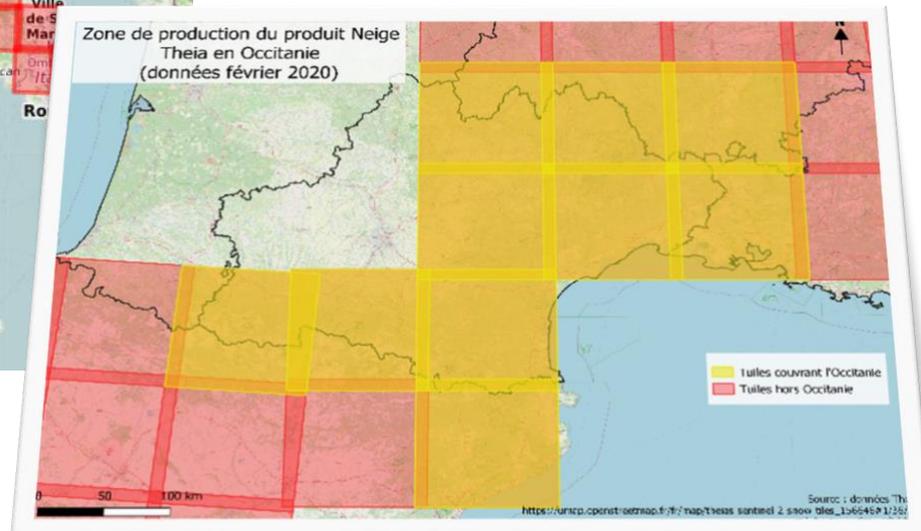
Ces produits sont générés et distribués par Theia depuis fin 2020. On trouve déjà en distribution des produits de l'année hydrologique 2019-2020 et la génération des années précédentes est en cours.

## Couverture du produit



Le produit est disponible sur les zones couvertes par la production de Theia, qui incluent le territoire français métropolitain. Il y a actuellement 127 tuiles, chacune couvrant une zone carrée de 110km de côté.

Couverture en France : Alpes, Pyrenées, Massif Central, Vosges, Corse.



Source : Zone de production du produit Neige Theia, [https://umap.openstreetmap.fr/fr/map/theias-sentinel-2-snow-tiles\\_156646#1/36/21](https://umap.openstreetmap.fr/fr/map/theias-sentinel-2-snow-tiles_156646#1/36/21)

Le produit est généré à partir d'images mono-dates ortho-rectifiées, exprimées en réflectance de surface, accompagnées d'un masque de nuages. Ces images sont ensuite traitées de manière automatique afin d'en extraire un masque de neige. Les produits neiges sont actuellement produits de manière régulière au CNES à l'aide de l'atelier de production MUSCATE, qui gère également la production de L2A pour Theia.

L'algorithme déterminant la présence ou non de neige nécessite plusieurs *inputs* :

- Produit Theia L2A (Sentinel-2 MSI, SPOT-4 HRVIR ou SPOT-5 HRG)
- Modèle numérique de terrain (MNT)

Cet algorithme, s'appuyant sur les bibliothèques Orfeo ToolBox et GDAL, a été implémenté dans une chaîne de traitement open-source appelée « Let-it-Snow ». Le code ainsi que la documentation sont disponibles sur Gitlab<sup>1</sup>. Concernant le produit de synthèse, il est généré et distribué sur une base annuelle via Theia, mais « Let-it-Snow » permet de réaliser ces synthèses sur une période personnalisée, la date de début et de fin étant des paramètres.

## ACCES AUX DONNEES

### Catalogues

Le produit Neige est accessible en téléchargement et en flux WMS via :

- [Le service de téléchargement de Theia + service WMS](#) : atelier de distribution MULTI Satellite, multi-Capteurs, pour des données multi-Temporelles (**Muscate**) mis en place par le CNES avec le concours du CESBIO. Accès au téléchargement et service WMS pour les produits 2B et 3B.
- [Aide pour l'exploitation du service WMS \(document PDF\)](#)
- [Le catalogue Theia](#) : téléchargement et visualisation des produits issus des CES dont les produits Neige niveau 2B et L3B-SNOW
- [Le serveur cartographique Theia diffuse une couche « temps réel » de l'étendue du couvert neigeux accessible en flux WMFS](#) : dans sa version actuelle, cette couche prend 3 valeurs :
  - Bleu cyan si de la neige a été détectée au cours de la dernière acquisition non nuageuse parmi les 20 derniers jours.
  - Blanc si sur la période des 20 derniers jours, toutes les acquisitions ont été nuageuses à cet endroit.
  - Transparent dans les autres cas (pas de neige détectée ou alors il y a plus de 20 jours).<sup>2</sup>

### Téléchargement et utilisation des données

1. Le **produit sur la surface d'enneigement** est fourni sous la forme d'un fichier raster (GeoTIFF 8 bits) à 20m de résolution et d'un vecteur, polygones au format Shapefile.

La légende est la suivante :

- |       |   |                         |
|-------|---|-------------------------|
| ▪ 0   | → | pas de neige            |
| ▪ 100 | → | neige                   |
| ▪ 205 | → | nuage et ombre de nuage |
| ▪ 254 | → | pas de données          |

La taille de chaque produit zippé varie selon la complexité du masque de neige et de nuage mais est généralement comprise entre 10 et 100 Mb. L'information concernant les autres fichiers du dossier zip peut être trouvée dans l'article scientifique relatif au produit<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Algorithme "Let-it-snow", [Remote Modules / let-it-snow - GitLab \(orfeo-toolbox.org\)](#)

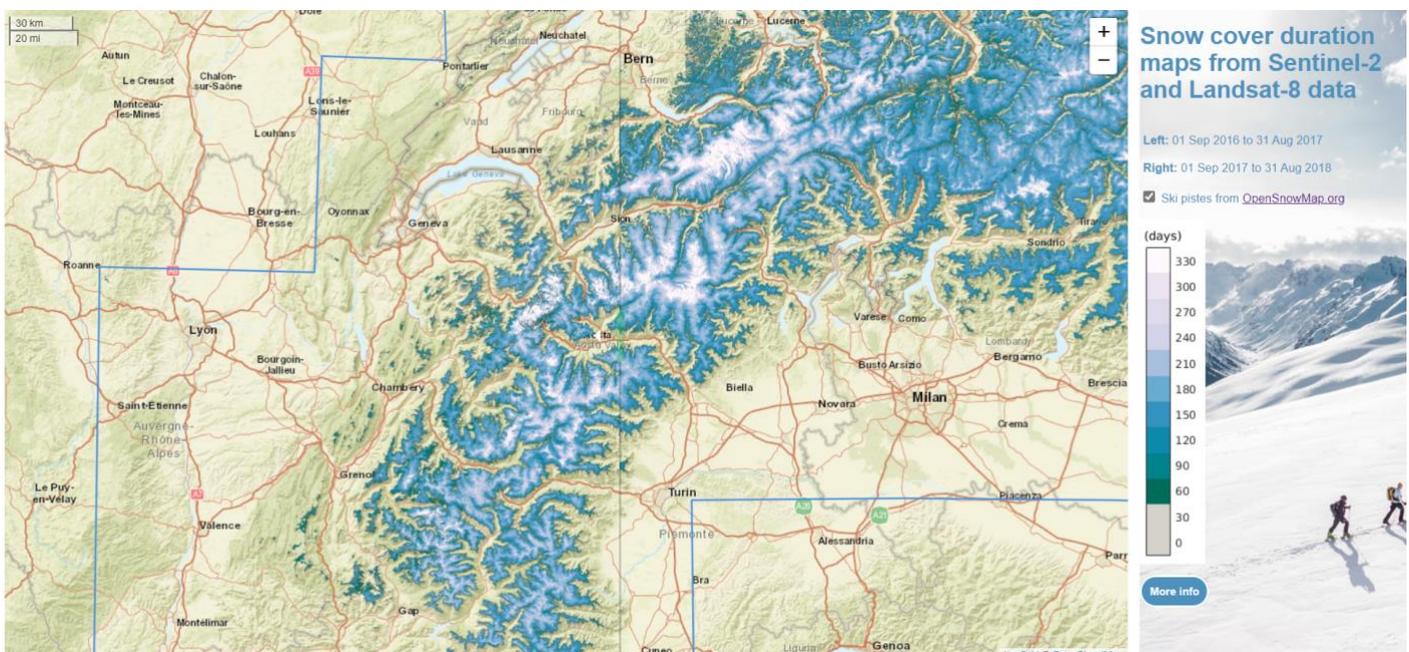
<sup>2</sup> Une amélioration prochaine est prévue pour distinguer la neige fraîchement détectée (moins de 10 jours) de la neige détectée il y a plus de 10 jours.

<sup>3</sup> Gascoin, S., Grizonnet, M., Bouchet, M., Salgues, G., and Hagolle, O.: Theia Snow collection: high-resolution operational snow cover maps from Sentinel-2 and Landsat-8 data, Earth Syst. Sci. Data, 11, 493–514, <https://doi.org/10.5194/essd-11-493-2019>, 2019.

2. Les **produits de synthèse** sont calculés pour une tuile donnée [*TILE\_ID*] et une période donnée de [*DATE\_START*] à [*DATE\_STOP*]. Les produits sont identifiés par un tag selon la convention de dénomination suivante : [*TILE\_ID*]\_ [*DATE\_START*]\_ [*DATE\_STOP*].

- *SCD\_ <tag> .tif* : carte de la durée d'enneigement (SCD), les valeurs de pixel entre [0-nombre de jours] correspondant au nombre de jours avec de la neige au sol.
- *SMOD\_ <tag> .tif* : carte de la date de disparition de la neige (Snow Melt-Out Date), définie comme la dernière date de la plus longue période enneigée. Les dates sont données en nombre de jours depuis le premier jour de la synthèse.
- *SOD\_ <tag> .tif* : la date d'apparition de la neige (Snow Onset Date), définie comme la première date de la plus longue période enneigée. Les dates sont données en nombre de jours depuis le premier jour de la synthèse.
- *NOBS\_ <tag> .tif* : le nombre d'observations claires pour calculer les synthèses SCD, SMOD et SOD.

Exemple d'une comparaison de rasters SCD, c'est-à-dire la comparaison de la durée d'enneigement entre deux années hydrologiques :



Source : « Snow cover duration maps from Sentinel-2 and Landsat-8 data », Simon Gascoin (CESBIO/CNRS), Manuel Grizonnet (CNES), Germain Salgues (Magellium), <http://osr-cesbio.ups-tlse.fr/echanges/www/majadata/simon/snowMaps.html>

## Autres liens

- Vidéo sur la chaine YouTube de Simon Gascoin : « [comment télécharger un produit et l'afficher dans QGIS](#) »
- Script en python, disponible sur le [Github de Olivier Hagolle](#) (CESBIO), pour télécharger les produits depuis votre terminal
- Fichiers de style (pour raster et vecteur) pour afficher dans QGIS le produit neige : [disponibles sur le Gitlab d'OTB](#), au sein du module Let It Snow
- [Tutoriels pour accéder aux données](#) réalisés par OPenIG

# USAGES ET POTENTIELS

## Besoins et utilisations

Connaissance et gestion des ressources en eau

Sentiers/routes enneigés à une date donnée

Vulnérabilité des stations de ski

Risques de crue (amélioration de la prévision)

Connaissance de la durée d'enneigement

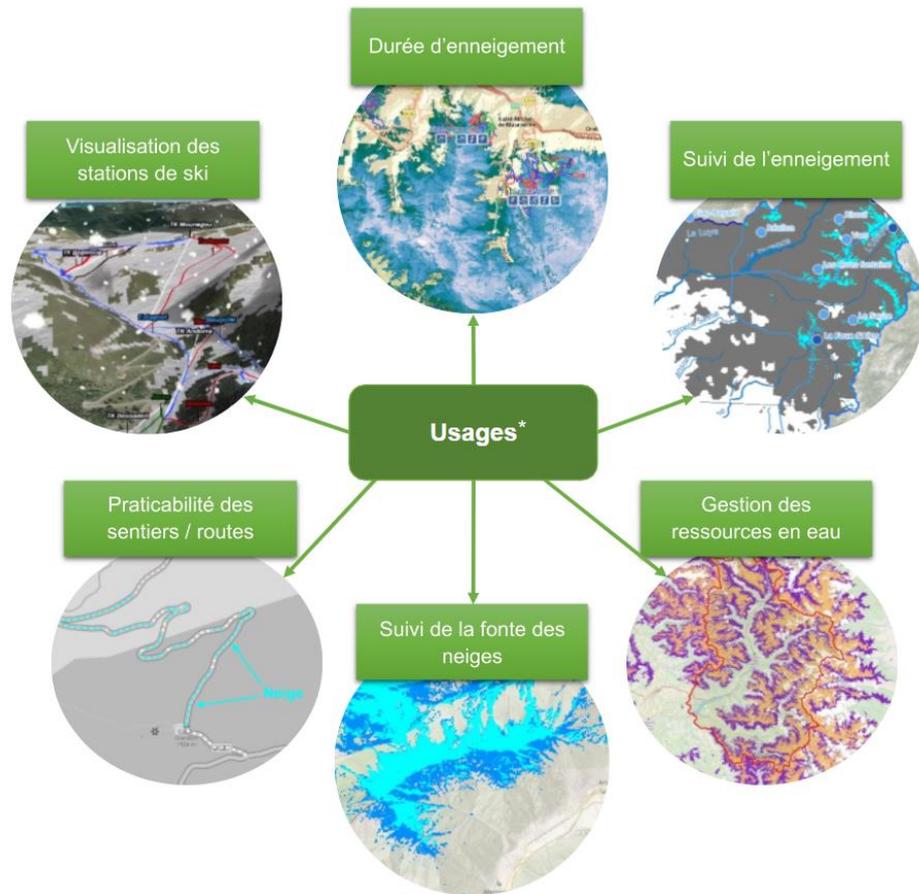
Date de déneigement / suivi de la fonte des neiges

Suivi d'espèces selon l'étendue de la couverture du manteau neigeux et de son retrait

Dynamique de la neige de culture

Suivi des alpages

Suivi du changement climatique



\* Source : production OPenIG via : « Film ProtoNeige », Bastien Bukovac, <https://www.youtube.com/watch?v=CDdENVcplyw> ; blog du CESBIO, <https://labo.obs-mip.fr/multitemp/tag/neige/> ; « Suivi de l'enneigement du bassin versant de la Durance », SMAVD, <https://www.smavd.org/suivez-lenneigement-du-bassin-versant-de-la-durance-en-ligne/>

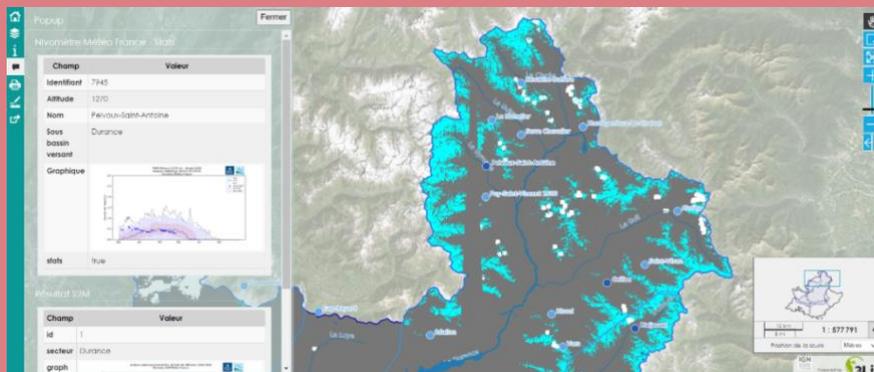
## Focus sur la Durance



L'eau de fonte nivale stockée dans les grandes retenues de Serre-Ponçon, Castillon et Sainte-Croix constitue la principale ressource mobilisée par les grands aménagements multi-usage Durance-Verdon. L'enneigement du bassin versant apparaît ainsi comme un indicateur pertinent de la disponibilité de la ressource et de l'effet du changement climatique. Le SMAVD a mis en ligne un outil de suivi du manteau neigeux qui intègre les données disponibles sur le bassin versant de la Durance : observations in-situ, résultats de modélisation et produit neige distribué par le centre de données Theia.

### DONNEES

- Météo France : hauteurs de neige, équivalent en eau.
- Produit Neige Théia : photographie du manteau neigeux tous les 5 jours.



Source : « Suivi de l'enneigement du bassin versant de la Durance », SMAVD, <https://www.smavd.org/suivez-lenneigement-du-bassin-versant-de-la-durance-en-ligne/>

### TRAITEMENT

- Téléchargement des dalles
- Reprojection
- Assemblage
- Découpage selon les limites du bassin versant.
- Configuration du projet Qgis et chargement sur LizMap

### DUREE DU TRAITEMENT

Moins d'une demi-journée à chaque récupération car scripts (GDAL) développés pour automatiser une partie des traitements.

### RESULTAT

Publié sur l'interface WebSIG du SMAVD, exploitant Lizmap. Permet de suivre les évolutions du manteau neigeux, donne des informations sur la hauteur de neige et l'équivalent en eau.

## PRECAUTIONS D'USAGE

Il s'agit d'une première version des produits qui sera amenée à évoluer. En particulier, le produit peut comporter les défauts suivants :

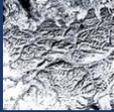
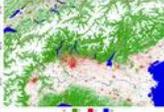
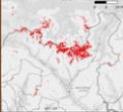
- Certains nuages froids de basse altitude peuvent être classés comme de la neige par erreur. Cela est dû au fait que ces nuages ont une signature spectrale similaire à celle du manteau neigeux.
- Les pentes enneigées qui sont raides et à l'ombre peuvent être classés comme "pas de neige", en particulier en hiver quand la hauteur du soleil est faible à l'heure de l'acquisition des images. Ces pentes ayant un faible rapport signal-sur-bruit peuvent être considérées comme "pas de données".
- Le produit n'est pas fiable dans les zones de forêts denses car la canopée masque la surface.

## EVOLUTION DU PRODUIT Les produits européens Copernicus

### Contexte

Le Copernicus Land Monitoring Service (CLMS) met à disposition de nouveaux produits sur l'Europe, générés à partir d'observations Sentinel-2. Ces produits haute résolution (High Resolution Snow and Ice – HR-S&I) sont mis en œuvre par l'Agence européenne de l'Environnement en partenariat avec Magellium, Astri Polska, le CESBIO, Météo France et avec le soutien du CNES. La production est opérationnelle depuis juillet 2020.

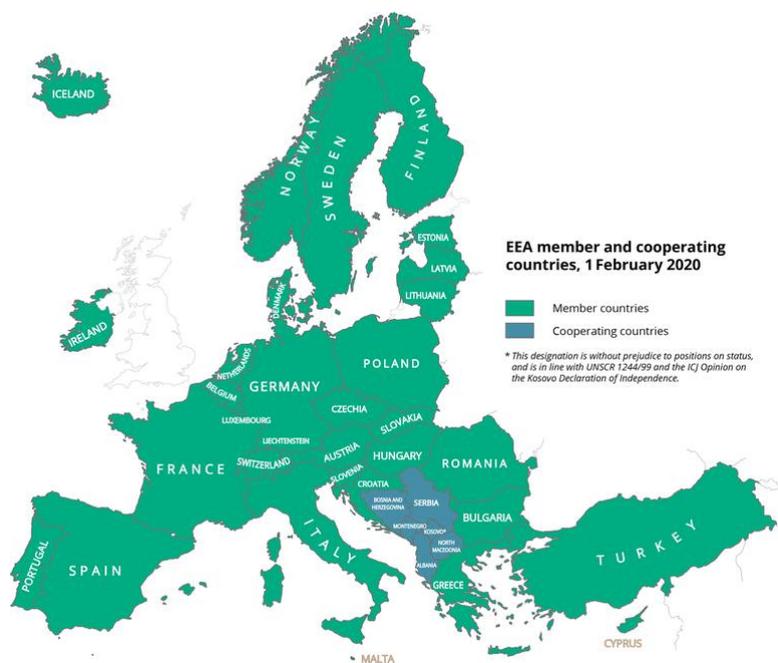
### Produits

	Couvert Neigeux		Conditions de l'état neigeux		Zone de neige persistante
					
Produits	<b>Fraction de neige par pixel</b> Fractional Snow Cover – FSC	<b>FSC avec extrapolation</b> Gap-filled Fractional Snow Cover - GFSC	<b>Neige sèche / humide</b> Wet/Dry Snow - WDS	<b>Neige humide SAR</b> SAR Wet Snow - SWS	<b>Zones de neige persistante</b> Persistent Snow Area-PSA
Contenu	Fournit pour chaque pixel la fraction (0% - 100%) de la surface couverte de neige au sol ou au sommet de la canopée	Fraction de neige par pixel avec extrapolation spatiale et temporelle. Le produit est plus complet que le FSC.	Différencie les conditions d'état de la neige dans le masque de neige défini par les informations FSC : neige humide ou sèche	Fournit des informations sur l'étendue de la neige humide dans les zones de haute montagne	Zone où la neige est présente tout au long de l'année hydrologique : produit annuellement à partir des produits FSC
Résolution spatiale	20m x 20m	60m x 60m	60m x 60m		20m x 20m
Satellite	Sentinel-2		Sentinel-1		Sentinel-2
Revisite	5 jours		6 jours		

Les produits utilisant Sentinel-2 sont basés sur le même algorithme que le produit neige Theia. Le produit FSC va plus loin il calcule la fraction de neige par pixel c'est-à-dire le pourcentage de neige contenu dans chaque pixel. Deux informations sont fournies, la fraction de neige au sommet de la canopée et la fraction de neige au sol qui prend en compte la densité du couvert arboré.

Les produits utilisant Sentinel-1 avec le radar SAR applique une détection de changement basée sur le rapport du coefficient de rétrodiffusion réduit de la neige humide par rapport aux conditions lorsque les surfaces sont exemptes de neige ou couvertes de neige sèche.

Une fois que les images S1 et S2 sont disponibles sur le Service Hub de Copernicus, les produits sont ensuite publiés dans un délai maximum de 3 à 7 heures (produit Near Real Time – NRT).



Source : "European Economic Area members and the cooperating countries", European Environment Information and Observation Network (EIONET), <https://www.eionet.europa.eu/countries>

## Accessibilité des données

- [Catalogue HR-S&I : rechercher, visualiser et télécharger les données](#)
- [Script Python : accès aux données via l'API CLMS](#)
- [Package R : accès aux données via l'API CLMS](#)
- [WMS Browser : accès aux flux des images](#)
- [Tutoriel vidéo pour accéder aux données](#)

## Précautions d'usage

Les précautions restent similaires à celle du produit neige Theia, avec quelques autres supplémentaires :

- Incertitude de 25% sur la valeur de fraction de neige
- Produit disponible sur les zones d'eau (contrairement au produit Theia) qui peuvent être parfois considérées comme de la neige : éviter de considérer ces zones.
- Le produit PSA ne doit pas être utilisé pour le suivi des glaciers car l'algorithme de détection de la neige ne distingue pas la neige saisonnière et les névés.

## LIENS UTILES

- [CES Surface enneigée – Theia](#)
- [Page du « produit neige » Theia](#)
- [Blog du CESBIO sur la collection Neige de Theia](#)
- [Les produits Neiges Copernicus](#)
- [Formulaire de contact du CLMS](#)