



Alpages sentinelles

Alpages Sentinelles - Indicateurs agroclimatiques Définitions et modalités de calcul à différentes échelles Version du 17 novembre 2021

Ce document technique synthétise les définitions et modalités de calculs des indicateurs agroclimatiques mis à disposition sur l'interface agroclimatique d'Alpages Sentinelles. Ces indicateurs permettent d'élaborer des profils agroclimatiques à l'échelle d'un alpage et des surfaces d'alpage d'un territoire.

Il reprend les six familles d'indicateurs détaillées dans l'interface et propose une justification de l'intérêt des indicateurs choisis vis-à-vis du développement des végétations d'alpage. Il détaille également la manière dont sont calculés ces indicateurs à l'échelle i) du pixel, ii) de l'alpage, et iii) de l'ensemble des surfaces d'alpages d'un territoire (Fig. 1).

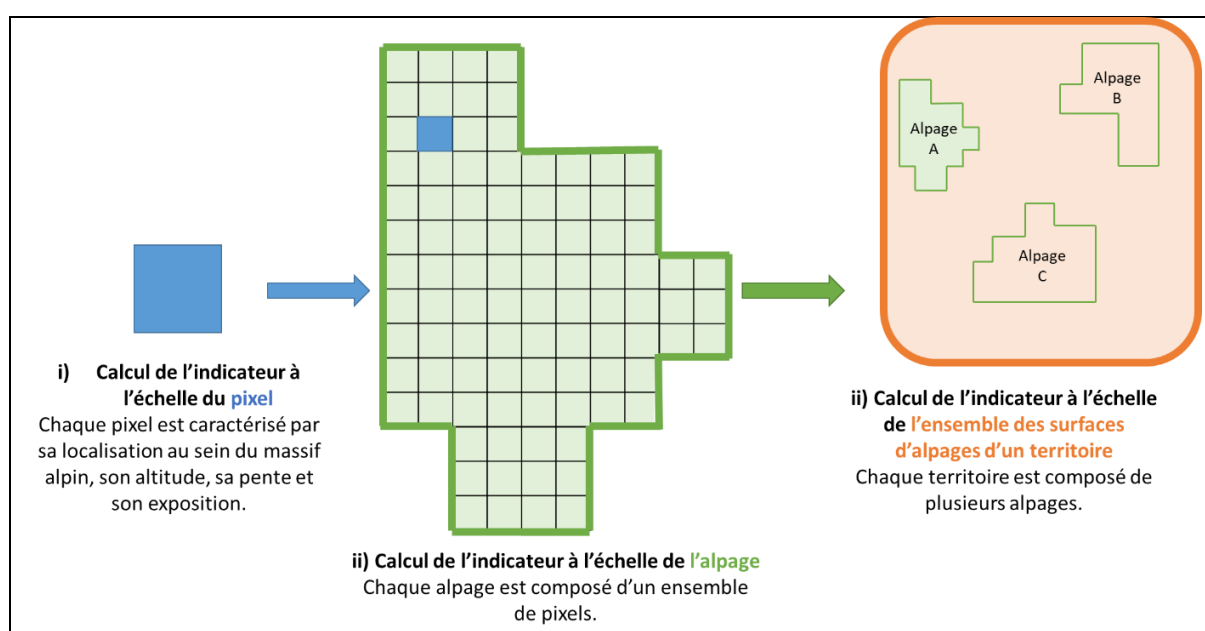


Figure 1 : Démarche de travail pour le calcul des indicateurs agroclimatiques (Alpages Sentinelles)

1. Données mobilisées

Données météorologiques

Les données présentées sont issues des **modèles de Météo-France**. Il s'agit des données de réanalyse Safran Montagne (modélisation climatique basée sur les valeurs des stations de Météo France, chaîne de modélisation SAFRAN-Crocus développée par Météo-France).

Ces données sont adaptées aux conditions de montagne. Elles sont calculées à l'échelle de petits massifs montagneux (**23 massifs météorologiques** sur la zone alpine couverte par cette interface). Au sein de chacun de ces massifs, les données météorologiques sont déclinées en fonction de l'altitude, de la pente et de l'orientation.

Une description détaillée de ce jeu de données est disponible dans l'article : Vionnet et al. (2012) The detailed snowpack scheme Crocus and its implementation in SURFEX v7.2, Geosci. Model Dev., 5, 773-791, doi :10.5194/gmd-5-773-2012.

Attention, **ces données modélisées ne prennent pas en compte les spécificités de microclimat locales** (orages localisés, vents, microrelief...). Elles ne peuvent donc pas traduire exactement les conditions expérimentées sur l'alpage sélectionné mais donnent un contexte global et approximé des conditions météorologiques et de leurs évolutions.

Contours des unités pastorales

Les contours des unités pastorales proviennent de **l'Enquête Pastorale 2012-2014** (détails consultables en ligne : <https://enquete-pastorale.inrae.fr/> et dans le rapport suivant : Dobremez, L., Bray, F. & Borg, D., (2016) Principaux résultats de l'Enquête Pastorale 2012-2014 dans le massif des Alpes. pp. 86)

Seules les unités pastorales se situant dans ces massifs météorologiques (dits massifs SAFRAN) sont prises en compte dans les analyses.

Le croisement entre les données météorologiques de simulation et les données spatiales de chaque alpage permet de produire des indicateurs synthétiques pertinents pour l'activité pastorale à différentes échelles.

Echelles de travail

Trois échelles sont mobilisées dans ce travail (pixel, alpage, surfaces d'alpage d'un territoire).

- **Pixel** : Il s'agit de l'unité de base sur laquelle les calculs sont réalisés. Chaque pixel est caractérisé d'une part par sa localisation dans un massif de montagne cohérent d'un point de vue météorologique (massif SAFRAN) et d'autre part par son altitude, sa pente et son exposition. Les calculs réalisés à l'échelle du pixel ne sont pas consultables directement dans l'interface, ce sont des intermédiaires nécessaires à la production des valeurs mises à disposition pour les alpages et les surfaces d'alpages d'un territoire.

- **Alpage** (unité pastorale) : Le calcul de chaque indicateur à l'échelle de l'alpage est réalisé en fonction de règles d'agrégation propres à chaque variable tel qu'indiqué dans ce document (sections suivantes).
- **Surfaces d'alpages d'un territoire** : différents types de territoires sont proposés (parc national ou naturel régional, petite région agricole, département ...). Le calcul de chaque indicateur à cette échelle est réalisé en fonction de règles d'agrégation propres à chaque variable tel qu'indiqué dans ce document (sections suivantes). A cette échelle, l'interface vise d'une part à donner des valeurs de référence pour l'ensemble des surfaces d'alpage du territoire, sous la forme d'indicateurs agrégés. D'autre part, l'interface donne à voir la variabilité interne des différentes unités qui le composent c'est-à-dire le degré de différenciation entre les alpages d'un territoire.

2. Indicateurs de déneigement

C'est à partir de la fonte du manteau neigeux, sur une période de temps suffisamment longue, que le démarrage de la croissance des végétations peut se faire, sous condition de l'accumulation de températures positives.

De plus, la date de déneigement est un indicateur qui sert de base au calcul d'autres indicateurs agro-météo (cumul des températures, épisodes de gel...).

Deux indicateurs sont proposés :

- La proportion de surfaces déneigées à des dates données (proportion d'un alpage déneigé au 1er mai par exemple),
- Les dates correspondant à des seuils de déneigement (1/4 de la surface d'un alpage par exemple).

A l'échelle du pixel

Pour tous les indicateurs de cette famille, un point est considéré comme déneigé lorsque l'on peut identifier la fin d'un couvert continu de neige pour l'année en cours, en comptant le nombre de jour depuis le 1^{er} janvier.

A partir de la chaîne de modélisation SAFRAN-Crocus développée par Météo-France, on dispose d'une hauteur de neige au sol. Par approximation, **si le couvert neigeux est inférieur à 5 cm, le milieu est considéré comme déneigé**. On considère **un réel changement d'état du milieu (enneigé / déneigé) si celui-ci est effectif sur une période supérieure à 10 jours** (sinon, il s'agit d'un épisode ponctuel d'enneigement ou de déneigement).

En pratique :

- 1- D'une période estivale à l'autre, (ici de début août d'une année civile à fin juillet de l'année civile suivante) chaque année est caractérisée par une alternance de périodes enneigées (plus de 5 cm au sol, pendant plus de 10 jours) et déneigées (moins de 5 cm pendant plus de 10 jours).
- 2- Entre le 1er janvier et le 31 juillet de l'année considérée, on conserve la date de déneigement la plus tardive.
- 3- Dans le cas où l'alpage est définitivement déneigé au 1^{er} janvier, le nombre de jours retenus comme date de déneigement est égal à 0.

Date d'atteinte des 25% de déneigement

A l'échelle de l'alpage

Pour chaque alpage, la valeur de l'indicateur correspond à **la date à laquelle au moins un quart des pixels constituant la surface de l'alpage sont déneigés**. Cette date est indiquée en jours juliens, c'est-à-dire en nombre de jours cumulés depuis le 01^{er} janvier d'une année donnée.

NB : cette logique de calcul a pour objectif de se rapprocher de la notion de quartier bas sans garantir toutefois la continuité spatiale du déneigement ni impliquer que la part déneigée constitue effectivement une unité de gestion.

A l'échelle des surfaces d'alpages d'un territoire

L'indicateur de niveau territoire est calculé comme **la moyenne des valeurs prises par chaque alpage**, c'est-à-dire comme la moyenne des dates d'atteinte des 25% de déneigement pour les différents alpages du territoire (par exemple, les alpages de ce territoire sont déneigés sur ¼ de leur surface au 17 juin). Cette date est indiquée en jours juliens.

Proportion déneigée au fil de la saison

A l'échelle de l'alpage

A chaque date (01^{er} avril, 01^{er} mai, 01^{er} juin, 01^{er} juillet), l'indicateur représente la proportion de la surface totale de l'alpage qui est déneigée, en % ; soit le ratio entre le nombre de pixels déneigés et le nombre total de pixel de l'alpage à une date donnée (par exemple, au 01^{er} juin, 27% de la surface de l'alpage est déneigée).

A l'échelle des surfaces d'alpages d'un territoire

L'indicateur de niveau territoire considère la proportion des surfaces d'alpage du territoire qui est déneigée à chaque date, en % (par exemple, au 01^{er} juin, 30% des surfaces d'alpage du territoire est déneigée).

Il est calculé comme le ratio entre d'une part la somme des surfaces déneigées sur les différents alpages et d'autre part la superficie totale des alpages considérés sur le territoire choisi.

3. Indicateurs de températures moyennes

Ces indicateurs traduisent un contexte général sur la période de démarrage, de croissance et de mobilisation des végétations d'alpages. Des températures basses limitent la vitesse de développement des végétations (croissance foliaire et avancée des stades phénologiques). Des températures très élevées peuvent également impacter leur développement ou leur mobilisation.

Trois indicateurs sont proposés (températures **minimales**, températures **moyennes**, températures **maximales**) pour sept période retenues : **les mois d'avril à juillet**, ainsi que **les saisons de printemps** (mars – avril – mai), **d'été** (juin- juillet – août) et **d'automne** (septembre – octobre - novembre).

Il s'agit des **températures atmosphériques**, et non de températures du sol.

A l'échelle du pixel

Chaque jour, sont extraites **les valeurs des températures minimales, maximales et moyennes** prises par chaque pixel, à partir de données au pas de temps horaire.

A l'échelle de l'alpage

La valeur des indicateurs pour chaque alpage est une moyenne des températures de l'ensemble des pixels présents **sur la tranche altitudinale la plus représentée sur l'alpage** (catégories d'altitude par tranches de 300 mètres). Dans les données mobilisées, la température atmosphérique ne dépendant ni de la pente ni de l'exposition, il s'agit de valeurs uniques pour une plage d'altitude donnée.

Sur chaque période de temps considérée (mois, saison) et pour la tranche altitudinale la plus représentée sur l'alpage, on calcule **les moyennes sur les valeurs préalablement extraites par pixel au pas de temps quotidien** :

- la moyenne des températures minimales,
- la moyenne des températures maximales,
- et la moyenne des températures moyennes.

A l'échelle des surfaces d'alpages d'un territoire

A l'échelle des territoires, on ne mobilise que l'indicateur de **températures moyennes**, et non ceux des températures minimales et maximales comme à l'échelle de l'alpage.

Cet indicateur est traduit par **la distribution des valeurs de l'indicateur calculé pour chacun des alpages**, à travers d'une part la **valeur médiane** et d'autre part la **gamme de variation** des valeurs prises par l'ensemble des alpages.

4. Indicateurs de cumul de températures

La somme des températures journalières positives après déneigement conditionne le démarrage, le développement foliaire et l'avancée des stades phénologiques de la végétation.

- Un cumul de 300°J correspond environ au stade de démarrage des végétations en alpage (fermeture du couvert par tallage des graminées). La date d'atteinte de ce seuil traduit donc la précocité de ce démarrage.
- Un cumul de 600°J correspond environ au stade épiaison de certaines graminées d'alpage, et ainsi à la possibilité d'une première valorisation par les troupeaux. La date d'atteinte de ce seuil traduit donc la précocité de maturité de la végétation.

A noter : ces seuils ne sont pas absolus et ne peuvent pas traduire la diversité des réalités de terrain. Toutefois, ils peuvent être considérés comme des repères d'évolutions interannuelles.

Un cumul très rapide des températures printanières (courte durée entre les stade d'atteinte des seuils de 300 et 600°J dans le cas de printemps très chauds) semble entrainer une avancée rapide des stades phénologiques de la végétation, au détriment du développement foliaire et donc de la biomasse produite.

Deux indicateurs sont proposés :

- **la date d'atteinte d'un cumul de température de 300°C Jour** à compter de la date de déneigement (GDD300),
- **la date d'atteinte d'un cumul de température de 600°C Jour** à compter de la date de déneigement (GDD600),

Le calcul de ces deux indicateurs permet de visualiser **l'écart en nombre de jours** entre les dates d'atteinte des cumuls de températures de 300 et 600°C Jour (GDD600-300). Ce nombre de jours traduit la vitesse d'accumulation des degrés jours au cours de la première pousse de l'herbe.

A l'échelle du pixel

A chaque pixel est affectée une température journalière correspondant à **la moyenne des 24 valeurs horaires de température**. Lorsqu'elles sont positives (et donc qu'elles contribuent à la croissance des végétations), **ces températures moyennes quotidiennes sont cumulées** depuis la date de déneigement jusqu'à la date d'atteinte du seuil considéré (ex : 300°). Les dates d'atteinte des différents seuils sont exprimées en jours juliens.

A l'échelle de l'alpage

Pour chaque alpage, les valeurs des indicateurs correspondent à :

- **GDD300 : la date à laquelle 25% de la surface de l'alpage atteint le seuil minimum de 300°J,**
- **GDD600 : la date à laquelle 25% de la surface de l'alpage atteint le seuil minimum de 600°J.**

Si un quart des pixels de l'alpage n'atteint pas le seuil de GDD300 ou GDD600 en date du 31 juillet d'une année donnée, alors l'indicateur ne peut pas être calculé pour cette année-là.

La différence, en nombre de jours, entre la date d'atteinte du seuil de 600°J (GDD600) et celle de 300°J (GDD300) est visible sur le graphique de l'interface.

A l'échelle des surfaces d'alpages d'un territoire

Les indicateurs de niveau territoire sont calculés comme **les moyennes des valeurs prises par les différents alpages du territoire** pour les dates d'atteinte des seuils de 300 et 600 °J.

5. Indicateurs de précipitation

Les précipitations, neigeuses et liquides, déterminent le volume d'eau potentiellement mobilisable pour les activités pastorales d'alpage (croissance des végétations, abreuvement des animaux, besoins pour la traite et la transformation fromagère...). Une évolution de ces régimes hydriques en termes de volume et de temporalité au cours de l'année, y compris hors saison d'estive, peut impacter la disponibilité en eau sur l'alpage (recharge des stocks d'eau : impluvium, sources...) et donc affecter l'organisation des activités pastorales.

Trois indicateurs sont proposés. Ces indicateurs correspondent à l'addition des **hauteurs de pluie et des équivalents en eau des précipitations neigeuses** (en mm), ramenées à **l'unité de surface** (en m²), sur les différentes périodes considérées :

- **printemps** : mars, avril, mai
- **été** : juin, juillet, août
- **automne** : septembre, octobre, novembre.

A l'échelle du pixel

Le modèle MétéoFrance SAFRAN Crocus fournit au pas de temps horaire un volume de précipitation par unité de surface, exprimé en **mm/m²**. Les précipitations sont ensuite cumulées pour obtenir une **valeur sur la période d'intérêt**.

A l'échelle de l'alpage

L'indicateur de niveau alpage est calculé comme **la moyenne des volumes de précipitations reçus par chacun des pixels de l'alpage** sur la période concernée, exprimée en mm/m².

A l'échelle des surfaces d'alpages d'un territoire

L'indicateur de niveau territoire correspond à **la moyenne des valeurs prises par l'ensemble des pixels des alpages** du territoire sur la période considérée.

6. Indicateurs d'eau disponible

La disponibilité en eau conditionne globalement la croissance des végétations (croissance limitée en situation de stress hydrique).

En montagne actuellement, le démarrage de la végétation et la première pousse ne sont généralement pas limités par la disponibilité en eau (stock d'eau par rétention dans les sols et fonte du manteau neigeux). Toutefois, dans certaines conditions météorologiques exceptionnelles de printemps (faible manteau neigeux couplé à pas ou peu de précipitations printanières), ou dans certains contextes méditerranéens, un stress hydrique peut limiter cette première pousse.

A contrario, la repousse des pelouses d'alpage en phase estivale est principalement conditionnée à la disponibilité en eau. Selon la précocité des milieux considérés et leurs modalités de valorisation par les troupeaux, ce sont les pluies des mois de juillet, août, septembre et octobre qui auront leur importance.

La disponibilité en eau est exprimée par deux indicateurs :

- **Le stock nival au premier jour de chacun des mois d'avril, mai et juin** : il traduit le volume d'eau effectivement disponible pour l'alimentation des sols par la fonte de la neige et est exprimé en équivalent en eau du manteau neigeux résiduel à la date considérée.
- **Le bilan hydrique de différentes périodes de croissance des végétations** : il traduit la différence entre les précipitations et l'évapotranspiration potentielle (ETP) pour les périodes suivantes : démarrage de végétation (entre le déneigement et la date d'atteinte du seuil de 300°J), mois de juillet, août, septembre et octobre.

Stock nival

A l'échelle du pixel

Le modèle Météo-France SAFRAN Crocus fournit un volume d'eau par unité de surface correspondant à l'**équivalent en eau du manteau neigeux résiduel** (c'est-à-dire à la quantité d'eau liquide équivalente au volume de neige ou glace qui est présent sur le pixel à une date donnée), exprimé en mm/m².

A l'échelle de l'alpage

L'indicateur de niveau alpage est calculé comme **la moyenne des équivalents en eau du manteau neigeux résiduel, sur l'ensemble des pixels de l'alpage à la date considérée.**

A l'échelle des surfaces d'alpages d'un territoire

L'indicateur de niveau territoire correspond à **la moyenne des valeurs prises par l'ensemble des alpages** du territoire aux dates considérées.

Bilan hydrique à différents pas de temps

A l'échelle du pixel

Pour chaque pixel :

1. Calcul de l'ETP journalier selon la méthode de Penman-Monteith,
2. Calcul des précipitations journalières (P), comme la somme des précipitations au pas de temps horaire,
3. Calcul du bilan hydrique journalier (P-ETP),
4. Calcul du bilan hydrique sur la période considérée.

A l'échelle de l'alpage

L'indicateur de niveau alpage est calculé pour les bilans mensuels en considérant **l'ensemble des pixels** qui constitue chaque alpage. Pour le bilan hydrique de première pousse, les pixels considérés sont **les 25% atteignant en premier le seuil de 300°J** (cf. indicateur de cumul de températures).

La valeur de l'indicateur correspond à la **moyenne des bilans hydriques calculés pour chaque pixel** sur la période considérée (mois ou délai entre les dates de déneigement et atteinte du seuil de 300°J pour chaque pixel).

NB : les dates sur lesquelles le bilan hydrique de première pousse (entre les dates de déneigement et d'atteinte de 300°J) est calculé dépendent donc des pixels.

A l'échelle des surfaces d'alpages d'un territoire

L'indicateur de niveau territoire correspond à la **moyenne des valeurs prises par l'ensemble des alpages** du territoire aux dates considérées.

7. Indicateurs de gels printaniers

Suite à la fonte du manteau neigeux qui assurait une protection thermique des végétations, des épisodes de gel, plus ou moins sévères, peuvent impacter les jeunes feuilles et les méristèmes, retardant ainsi la croissance des végétations et donc leur niveau de production et leur qualité.

Pour la définition des indicateurs, on fait l'hypothèse que l'impact d'un épisode de gel dépend de deux facteurs :

- 1- **Sa sévérité** : on parlera alors de gel pour une température négative ($\leq 0^{\circ}\text{C}$), et de gel sévère pour une température inférieure ou égale à -5°C .
- 2- **Les phases de croissance des végétations** au cours desquelles il intervient : on retiendra les seuils de cumul de températures de 300°C Jour (démarrage de végétation) et 600°C Jour (épiaison) après déneigement.

Quatre indicateurs sont proposés : il s'agit du nombre de jours de gel ou de gel sévère (deux modalités) comptabilisés sur **deux périodes de référence**:

- Du déneigement au démarrage de végétation (cumul de 300°C Jour)
- Du déneigement à un stade épiaison (cumul de 600°C Jour).

A l'échelle du pixel

On comptabilise un jour de gel si la température minimale au pas de temps horaire du pixel a atteint ou est descendue **sous le seuil de 0°C (gel) ou de -5°C (gel sévère)**. La comptabilisation des jours de gel inclut donc celle des jours de gels sévères.

A l'échelle de l'alpage

Les calculs à l'échelle alpage sont réalisés sur **les 25% des pixels de l'alpage qui atteignent en premier le seuil de 300°J** (cf. indicateur de cumul de températures).

Un jour de gel est compté si **au moins un pixel** atteint la température seuil (0 ou -5°C) au pas de temps horaire, sur les périodes entre la date de déneigement de l'alpage et les dates d'atteinte du seuil de 300 ou 600°J.

A l'échelle des surfaces d'alpages d'un territoire

L'indicateur de niveau territoire correspond à **la moyenne des valeurs prises par l'ensemble des alpages du territoire** aux dates considérées.