



## VISITE DES LIEUX OÙ L'ON ÉTUDIE LES MILIEUX DE MONTAGNE

Le territoire de Torgnon accueille deux sites qui permettent à tout le monde de connaître les modes de réalisation de la **recherche scientifique** qui a pour finalité la **collecte des données** utiles à interpréter l'étendue du changement climatique à la montagne.

Torgnon est le siège d'une activité importante d'observation et de **surveillance** des impacts des changements climatiques sur les écosystèmes alpins. Les stations de détection sont situées dans des zones bien précises où il y a les conditions physiques et de végétation adaptées aux différents types et techniques de détection. L'*Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Valle d'Aosta* (ARPA Vda) a placé dans chaque station des instruments de détection scientifique **de haute technologie**, capables de mesurer les différents paramètres physiques utiles à comprendre les réponses de la végétation au changement des conditions climatiques au fil du temps. Les données collectées sont disponibles – même au moyen de systèmes de transmission à distance – pour l'élaboration à l'aide de protocoles d'analyse spécifiques.

La visite des sites de Tellinod et de Tronchaney est particulièrement intéressante, parce qu'elle montre la série spéciale d'instruments technologiques dédiés à la collecte continue des données climatiques (température, humidité, précipitations, vitesse et direction du vent, hauteur de la neige) et de données scientifiques particulières (radiation solaire, radiation de la couverture végétale, température du sol, valeurs de CO<sub>2</sub> absorbée et libérée par la végétation et par le sol, etc.).

La visite des sites de surveillance peut s'effectuer à pied ou à vélo et elle bénéficie de la facilité d'accès depuis Champturné grâce au réseau de sentiers présents le long des vallons couverts en partie par des forêts et en partie par des pâturages qui caractérisent la partie nord du territoire de Torgnon. Accompagnés d'un guide, il est possible de saisir les implications de ces activités de recherche et de surveillance et de mieux comprendre comment les milieux de montagne répondent au changement climatique.





## SUJETS D'APPROFONDISSEMENT

### LA PHÉNOLOGIE : UN OUTIL POUR MESURER LES EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Chaque année, les plantes et les animaux se développent en fonction des saisons. Ce développement peut être divisé en étapes bien définies.

Par exemple, à la fin de l'hiver les plantes commencent à bourgeonner, puis elles développent les feuilles, les fleurs et les fruits ; au final, la plante meurt ou elle se met au repos avant l'hiver suivant.

La vie des plantes et des animaux est rythmée par des événements périodiques qui se succèdent chaque année à peu près à la même période. La suite de ces événements est définie **phénologie** et chaque étape du développement des plantes et des animaux est un **stade phénologique**.

Ces événements se produisent chaque année, mais leur date précise peut varier d'une année à l'autre, car ils sont très influencés par les conditions environnementales, notamment par les facteurs climatiques.

Par exemple, on s'attend à ce qu'un mélèze change son couleur et perde ses aiguilles en automne, mais il n'est pas possible de prévoir avec précision la date à laquelle ce changement se produira chaque année.

**La phénologie est l'étude des variations annuelles des événements périodiques de la vie végétale et animale, en fonction du climat.**

### LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

On entend souvent parler de changement climatique. Mais pourquoi le climat change ? Quels sont les fondements de cette affirmation ?

La collecte de données historiques des températures a permis d'effectuer des analyses sur l'évolution de cette donnée au niveau global.

Depuis le début du XXe siècle, le climat sur la Terre a subi un **réchauffement** moyen de 0,8° C. C'est un changement de température tout à fait anormal, à cause de son étendue et de son rythme, puisqu'il dépasse largement toutes les variations de température qu'il a été possible de reconstruire sur les 1000 dernières années.

Cependant, ce réchauffement n'est pas homogène sur toute la planète. En Europe, la température moyenne a augmenté de 0,95° C au cours du XXe siècle, alors que les Alpes se sont réchauffées de 1 à 3° C, selon les endroits, au cours des 60 dernières années.

Le phénomène a une étendue si vaste que les cycles naturels (variation de l'activité solaire, de l'orbite de la Terre, volcanisme, etc.) ne peuvent pas être la seule cause. Après le début de l'ère industrielle, la combustion massive du pétrole, des gaz naturels et du charbon dans les pays industrialisés, ainsi que l'élevage intensif ont contribué à modifier la composition de l'atmosphère. Cette combustion a introduit de grandes quantités de gaz (principalement dioxyde de carbone et méthane) dans l'atmosphère et les études scientifiques ont démontré que ces molécules sont à l'origine de l'augmentation de l'effet de serre.

Aujourd'hui, la **quantité de CO<sub>2</sub>** dans l'atmosphère est supérieure de 30% à celle que l'on observait avant l'ère industrielle.

Le changement climatique concerne désormais un grand nombre d'êtres vivants sur l'ensemble de la planète. De plus en plus d'études scientifiques mettent en relief le lien entre la hausse de la température au cours des 30 dernières années et les changements du cycle biologique, de la dynamique des populations, de l'abondance et de la distribution des espèces animales et végétales.

Parmi les modifications observées, celles relatives à la phénologie des plantes et des animaux jouent un rôle fondamental.





## CARACTÉRISTIQUES DES STATIONS DE SURVEILLANCE ARPA DANS LE TERRITOIRE DE TORGNON

Les stations de surveillance d'ARPA Valle d'Aosta présentes sur le territoire de Torgnon sont dédiées à la collecte de données scientifiques et d'observations phénologiques à distance, utiles à l'étude à long terme du changement climatique et de son impact sur les écosystèmes de montagne.

Les stations de surveillance sont situées à des endroits représentatifs de deux milieux typiques de haute montagne :

- **Tellinod - prairie alpine, instruments au sol – 2 164 m d'altitude**
- **Tronchanev - forêt de mélèzes, instruments au sol et tour de collecte des données (20 m de haut) – 2 160 m d'altitude**

La réponse différente de la végétation de ces deux milieux au changement climatique est l'une des raisons de la réalisation de deux différents sites de surveillance.

En particulier, les espèces végétales présentes dans la prairie alpine (surtout graminées) ont une réponse plus rapide au changement climatique et leurs stades phénologiques anticipent ou retardent de manière plus sensible, en fonction du changement des conditions climatiques saisonnières, par rapport aux espèces arborées présentes dans la forêt (mélèze).

Pour la station de Tronchanev, située dans la forêt de mélèzes, il a été nécessaire de réaliser une tour de détection afin de positionner des instruments spécifiques au-dessus de la couverture végétale arborée.

Les instruments présents dans les deux sites peuvent collecter les données en continu et les envoyer à distance à la station de l'ARPA Valle d'Aosta, où s'effectuent le traitement des données et le partage sur les différentes plates-formes de collaboration scientifique commune avec les autres centres de recherche européens et extra-européens.

Les instruments de mesure présents enregistrent deux catégories de données :

- **données climatiques** : température, humidité, précipitations, vitesse et direction du vent, hauteur de la neige, présence de la neige au sol ;
- **données chimico-physiques** : radiation solaire, radiation de la couverture végétale, température du sol, valeurs de CO<sub>2</sub> absorbée et libérée par la végétation et le sol, flux de la sève.

Une webcam et une caméra numérique sont présentes dans les deux sites pour la détection en continu des conditions de la couverture végétale et de la présence de neige au sol.

Les images collectées par la webcam et par les caméras numériques en couleurs sont également utiles à l'étalonnage des images détectées par satellite et à leur interprétation correcte. En particulier, il s'avère utile d'associer aux images en fausses couleurs détectées par satellite au moyen de technologies non optiques (par exemple l'infrarouge), la couleur prédominante des mélèzes au printemps (augmentation du composant vert causée par la feuillaison) et en automne (variation graduelle du vert à l'orange, au jaune, jusqu'au marron/gris des branches nues). Cela permet d'associer aux données ponctuelles de terrain les informations à plus large échelle issues de l'analyse des images satellitaires, en étendant ainsi l'analyse des séries annuelles aux territoires non directement concernés par les campagnes de détection sur le terrain.

Il est conseillé, à tous ceux qui souhaitent approfondir ces thèmes, de visiter les sites de surveillance accompagnés d'un guide.





## LE RELEVÉ PHÉNOLOGIQUE SELON LES PROTOCOLES QUALITATIFS ET QUANTITATIFS

La collecte des données à distance est accompagnée d'une série d'opérations de relevé phénologique effectuées sur le terrain, au moyen du choix et du marquage de zones d'intervention convenables. Ces opérations sont accomplies conformément à des protocoles communs et elles peuvent prévoir la mesure de stades bien définis ou de niveaux de croissance et l'observation de l'aspect des espèces végétales.

Dans ce cas, les protocoles prévoient :

- pour les **plantes herbacées** : mesure, à des intervalles réguliers, de la croissance en mm d'essences spécifiques, toujours sur les mêmes individus (mesure de la donnée physique) ;
- pour les **plantes arborées** : observations empiriques basées sur l'aspect lié à des stades phénologiques spécifiques tels que germination/feuillaison/floraison ou jaunissement des mélèzes, toujours sur les mêmes individus (date de l'événement).

L'élaboration et la corrélation des données climatiques, physiques et phénologiques ont permis d'obtenir des tendances et de mettre en relief des aspects intéressants liés au cycle végétatif des plantes en haute montagne.

Chaque espèce a sa phénologie, qui dépend du patrimoine génétique, mais aussi de facteurs extérieurs comme la photopériode et la température, les précipitations et l'ensoleillement, d'où l'importance de recueillir des séries continues et pluriannuelles de données climatiques et chimico-physiques.

Pour mieux saisir l'importance de ces données, il faut comprendre les mécanismes à la base du développement des stades phénologiques et le rôle des différents paramètres relevés, en analysant ce qui se passe au printemps.

La photopériode (durée relative du jour et de la nuit) diffère selon la latitude, mais elle ne change pas d'une année à l'autre pour la même zone. Ce facteur permet à l'organisme d'évaluer de manière fiable la période de l'année. La température est un facteur climatique déterminant à l'étage alpin tempéré. La plupart des plantes se basent sur les températures des semaines précédentes (de 2 à 12 semaines) pour évaluer le changement saisonnier et mette en œuvre les réponses phénologiques.

A la fin de l'hiver, les plantes doivent accumuler une certaine quantité de chaleur pour se développer. Cette accumulation de chaleur se produit au-dessus d'une température-limite, qui correspond à la température à partir de laquelle la plante devient active (en général elle est comprise entre 0 et 5°C). Chaque jour, la plante « accumule » les degrés au-dessus de la température-limite, jusqu'à atteindre la quantité de chaleur appropriée pour son développement. Cette somme de chaleur est exprimée en degrés-jour (ou °g).

Par exemple, au printemps le mélèze nécessite une quantité de chaleur très modeste (moins de 40°g) pour le bourgeonnement ; les aiguilles du mélèze se développent très rapidement à partir du moment où la température retourne à des valeurs positives au printemps. Le mélèze est une espèce précoce, tandis que le sapin nécessite 316°g pour l'éclosion des bourgeons. Les aiguilles du sapin se développent très tard au printemps. Ce développement tardif est une adaptation qui évite aux aiguilles jeunes, très sensibles au froid, d'être endommagées par une gelée tardive.

Une synthèse des données collectées est disponible à l'adresse <https://goo.gl/NUEwjg>





## LA RECHERCHE PHÉNOLOGIQUE ET LES PROTOCOLES DE SURVEILLANCE

La phénologie est l'étude des variations, en fonction du climat, des phénomènes périodiques de la vie végétale et animale. La phénologie est un indicateur du climat et, surtout, un élément-clé de l'adaptation des êtres vivants aux changements climatiques. L'étude de la phénologie devient de plus en plus importante au sein du changement climatique, car elle permet d'évaluer les effets de ce changement et la réponse des êtres vivants.

Comme toute recherche scientifique, l'efficacité de la recherche phénologique repose sur la qualité, la quantité et la distribution géographique des données collectées. A cet effet, il est indispensable d'établir les règles de collecte des données, afin que chaque chercheur utilise les mêmes méthodes décrites dans les **protocoles de surveillance**. Cela permet aux centres de recherche de comparer et d'analyser les données sans craindre qu'elles n'aient pas été collectées correctement.

Dans le cas de l'observation phénologique, ces protocoles prévoient la détection de deux types de données : les données physiques et les données sensorielles.

Les données physiques demandent un équipement spécifique, qui peut être plus ou moins technologique selon la donnée collectée et le mode de mesure. Par exemple, les données concernant la température, la vitesse du vent, l'enneigement, la quantité de lumière solaire sont importantes et leur mesure utilise des instruments assez simples. Il est aussi possible d'étendre la recherche en recueillant des données extrêmement particulières comme les flux de carbone, le spectre des couleurs de la végétation, les relevés à l'infrarouge par satellite, qui sont l'apanage exclusif de la communauté scientifique.

Cependant, il est possible de collecter des données sensorielles, qui prévoient une simple observation visuelle des caractéristiques spécifiques des espèces végétales et animales. Ces protocoles de relevé permettent aux personnes passionnées de participer à la recherche scientifique, sans la nécessité de se doter d'instruments particuliers.

Dans le cas des observations sur la phénologie végétale, par exemple, les observations se concentrent d'habitude sur les périodes de changement plus intense comme le printemps et l'automne et seulement sur des espèces particulières chez lesquelles ces variations sont reconnaissables plus facilement.

Le programme **Phénoclim** est un exemple particulièrement intéressant : il s'appuie sur un réseau d'observateurs, distribués sur l'ensemble de l'arc alpin, situés entre 200 et 2 000 mètres d'altitude. Le protocole de détection de ce programme prévoit, pour la végétation, l'observation hebdomadaire des plantes choisies (qui ne doivent jamais changer au fil des années) et la détermination des dates auxquelles les différents stades phénologiques se présentent. Au printemps l'on observe la germination, la feuillaison et la floraison ; en automne le jaunissement et la chute des feuilles.

Grâce à la simplicité de la méthode d'observation **tous peuvent participer** à la recherche scientifique : particuliers, écoles, associations, parcs, centres de recherche spécialisés.

Les données collectées par les **observateurs phénologiques** disséminés dans les Alpes sont envoyées, saison après saison, au centre scientifique de référence – le CREA de Chamonix – qui a la possibilité de recueillir et d'élaborer une grande quantité de données significatives et comparables, car elles ont été collectées selon la même méthode.