



Données Climatiques et météorologiques

Vincent V. Badeau

► To cite this version:

Vincent V. Badeau. Données Climatiques et météorologiques. Guide de l'expérimentation forestière.Principes de base.Prise en compte du changement climatique, CNPF/IDF, 2011, 978-2-916525-01-3. hal-02802190

HAL Id: hal-02802190

<https://hal.inrae.fr/hal-02802190>

Submitted on 5 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

DONNÉES CLIMATÉOLOGIQUES

% de recouvrement

Profondeur arrêté tarière par EG / C (cm) Épaisseur prospectable (cm) : Réserve utile maximale = Facteurs limitants et contraintes à l'entraînement :	FORME D'HUMUS * eumull / mésomull / oligomull / dysmull * hémimoder / moder / dysmoder * mor * amphitrus * hydromull / hydromoder / hydromor / tourbe / annmoor Qualificatifs : carbonaté - calcaique autres :
---	---

color. = Autres pH (eau - KCl) / labo - pHmètre color. = Mode d'observation du profil pédologique : osse = Arrêt : volontaire - forcé, cause =	OL, OF, OH	transformation O - A compléments : éléments grossiers - divers...
---	-------------------	--

[illegible][illegible]

[illegible][illegible]

Météo-France propose, via les sites de la *Climatèque* et de la *Publithèque*, des **fiches climatologiques**¹ (ou climatologies de référence) pour toutes les stations du réseau d'observation métropolitain ayant au moins dix années de mesures. Ces fiches présentent les tableaux des données moyennes (= normales) 1971-2000, les statistiques calculées sur la période de mesure des données, et les records.

Divers ouvrages sont également disponibles (voir liste en annexe F).

Données climatiques spatialisées - Météo-France

Principe

À partir des données issues d'observations selon un maillage de stations météorologiques, des **spatialisations** (extrapolations des observations pour les zones situées entre les stations) peuvent être effectuées afin de couvrir tout le territoire. La précision de ces spatialisations dépend d'une part du maillage des stations utilisées et d'autre part de la variabilité climatique sur le territoire étudié, dépendant notamment de la topographie. Plusieurs sources de ce type existent (dont certaines sont gratuites, voir annexe F), mais nous présentons ici principalement les données **AURELHY** qui ont l'avantage de prendre en compte le relief.

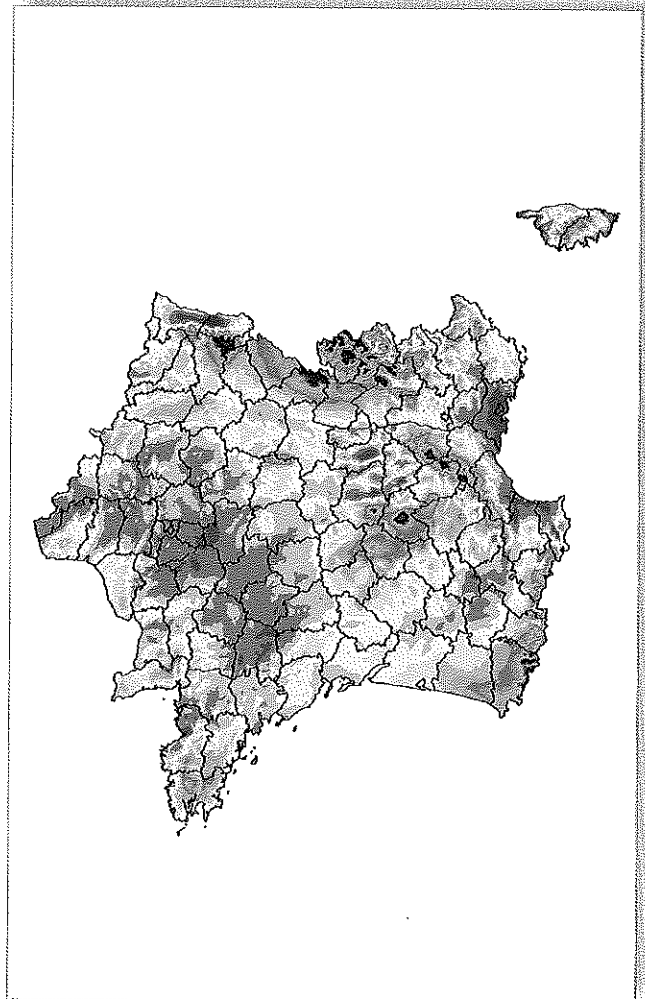
Les données AURELHY (contact : serv-fd@meteo.fr)

À partir de la fin des années 1980, Météo-France a développé un outil de spatialisation des observations pour tout le territoire français. Calibrée initialement sur les champs pluviométriques, la méthode est maintenant appliquée aux températures. Elle est connue sous le nom d'**AURELHY** (Analyse Utilisant le RELief pour l'HYdrométéorologie).

Trois réseaux de mesure sont utilisés (169 stations synoptiques, 1 000 stations automatiques, 3 500 postes climatologiques : voir carte page 87) pour interpoler les champs météorologiques en prenant en compte l'influence du relief (défini par une quinzaine de « vecteurs paysages » calculés sur un domaine de 50 x 50 km centré sur les points d'observations). Des **normales climatiques** (ou moyennes trentenaires) sont calculées à la résolution de 1 km et pour quatre périodes (voir annexe F).

Des **cartes AURELHY** sont disponibles à différentes échelles², mais on peut acquérir aussi les valeurs ponctuelles des stations.

1 Fin 2011, une fiche climatologique était facturée 33,40 € HT.
2 Fin 2011, le prix unitaire d'une carte de France était de 175 € HT (soit un paramètre mensuel pour 551 716 points de grille) ou de 45 € pour une surface inférieure ou égale à 6 000 points de grille (équivalent à un département).



Carte AURELHY de pluviométrie annuelle (pluviosité croissante : du rouge < 600 mm, vers le bleu foncé > 900 mm).

De façon complémentaire, Météo-France propose des **cartes d'évapotranspiration potentielle (ETP Penman-Monteith, voir encadré page 94)**¹. La résolution spatiale de la grille d'ETP est de l'ordre de 10 km. Comme pour les données AURELHY, et aux mêmes tarifs, ces valeurs ETP sont aussi disponibles pour chaque station.

Les données climatiques permettent de caractériser un site. Avec les données pédologiques, elles sont utilisées lors de la stratification d'un échantillonnage, ou pour regrouper des expérimentations lorsque l'on souhaite étudier l'effet de différentes variables climatiques.

Il est souvent inutile d'investir trop de moyens dans l'acquisition de ces données

1 Les cartes sont calculées à partir de la spatialisation de chaque paramètre entrant dans le calcul de l'ETP.

Données météorologiques

Ces données, à caractère parfois très local, nécessitent de déterminer la ou les stations météorologiques de référence les plus proches et les plus représentatives du site expérimental. Il suffit ensuite de commander les données nécessaires, seulement au moment de l'analyse du dispositif. Les pas de temps à choisir sont à adapter aux questions posées, à la périodicité des mesures sur le site et aux interprétations envisagées.

Les sources de données

- Diverses sources de données gratuites

Si l'on souhaite des données de qualité, les possibilités d'obtention de séries météorologiques sont assez limitées, tant en nombre de postes, qu'en pas de temps ou qu'en nombre de paramètres. On peut cependant citer les sources suivantes :

⇒ La *Publithèque* de Météo-France (<https://public.meteofrance.com>) permet d'accéder en partie gratuitement à certaines données :

- données météorologiques de 42 stations en métropole ;

bulletins climatologiques départementaux présentant les données moyennes mensuelles et journalières des précipitations et températures. L'intérêt de ces bulletins est qu'ils font état des phénomènes divers (orages, grêle, neige, tempêtes) même lorsqu'ils n'ont été observés que localement, qu'ils résument les faits marquants du mois en situant le mois par rapport aux moyennes antérieures, et qu'ils comprennent des cartes de précipitations à l'échelle du département ;

liste des postes d'observations (dont les données sont, elles, payantes) permettant de sélectionner librement des postes en fonction d'un grand nombre de critères : région, département, commune, localisation géographique, altitude, paramètre recherché, dates d'observation, etc. Cette liste est disponible sous forme de carte ou de fichier.

⇒ Le site internet *Météociel* (www.meteociel.fr) permet d'obtenir des données mensuelles de températures et de précipitations pour 144 postes météo français (voir onglet Climatologie/Tableaux et graphiques par ville pour accéder à des tableaux de données). Des données horaires et journalières sont également disponibles.

⇒ Le site internet du projet *Évaluation du Climat Européen* (European Climate Assessment and Dataset, <http://eca.knmi.nl>) permet d'obtenir des données journalières pour toute l'Europe (2 311 postes). Pour la France, 63 postes sont disponibles (voir onglet *Daily Data*).

- Stations synoptiques (types 0 et 1)
- Stations automatiques (types 2 et 3)
- Stations manuelles (type 4)



Source : Météo-France, <http://climattheque.meteo.fr>

Carte des stations météorologiques disponibles en 2011.

Définition des types de stations météorologiques

- Les stations synoptiques effectuent des observations humaines du temps (couverture nuageuse, visibilité, vent, température...), données et transmission horaires et quotidiennes.

Type 0 : station professionnelle avec observation par du personnel formé à cet effet.

Type 1 : observation humaine non professionnelle ou réalisée à distance.

- Les stations automatiques effectuent des mesures issues de capteurs et non des observations du temps comme les nuages (données horaires et quotidiennes).

Type 2 : temps réel = transmission quotidienne des données.

Type 3 : temps différé = transmission et exploitation différées.

- Les stations manuelles de type 4 fournissent des mesures issues de relevés manuels (données quotidiennes uniquement). Transmission quotidienne ou différée.

service agroclimatique de l'INRA (AGROCLIM, INRA Avignon), recueille depuis plus de 40 ans des données climatiques sur un réseau de 47 sites dans l'hexagone. Ce réseau de stations météorologiques couvre essentiellement les grands bassins de production agricoles et viticoles. Cette base de données est ouverte aux partenaires extérieurs (demande à adresser à support-climat@avignon.inra.fr).

En tant que point de vue plus forestier, l'Office national des forêts met à disposition les données climatiques enregistrées sur les placettes du réseau RENECOFOR (soit une trentaine de stations). Toute demande doit être adressée au responsable du réseau à Fontainebleau.

Les données Météo-France payantes

Les données climatologiques et météorologiques sont accessibles depuis le portail « Données climatiques », à l'exception des produits ETP (évaпотranspiration potentielle), des DJU (degrés-jours) et des sommes de températures qui restent accessibles via la *Climatèque* (<http://climtheque.meteo.fr>). Mais il est indispensable de prendre contact auprès du service client de Météo-France pour négocier les tarifs, les coûts d'abonnement dépendant de l'utilisation faite des données (recherche, enseignement, utilisation non commerciale, utilisation commerciale, etc.).

Choix d'une station météorologique pour une commande de données météorologiques payantes

Le réseau de stations météorologiques (synoptiques ou automatiques) de Météo-France compte plus de 1 000 stations en métropole.

Un observateur pourra cependant être frustré de ne pas trouver dans l'environnement immédiat un dispositif LA station qui lui conviendrait, mais c'est un cas classique pour les zones rurales. Nous recommandons donc de choisir les stations météorologiques « au mieux » à dire au plus près, à la même altitude, etc.) tout en sachant que :

- l'homogénéité du réseau (ou la durée d'ensolaillement) varie très peu spatialement et varie peu homogène ;
- la température varie « assez peu » : même s'il existe une différence de quelques dixièmes de degrés entre postes, les variations temporelles restent synchrones ;
- les niveaux de précipitations peuvent par contre varier énormément (la pluie est un phénomène discontinu spatialement, de manière non synchrone).

Le choix des stations est conditionné par l'utilisation que l'on souhaite faire des données climatologiques et par le pas de temps analysé (voir plus loin) :

- on s'intéresse à des gels ou des coups de chaleur, il faut sélectionner soigneusement les stations mesurant la température en fonction de leur altitude ;

Pour une période de 24 heures, le nombre de degrés-jours unifiés (DJU) est égal à la différence entre la température de référence (18 °C) et la température extérieure moyenne de la journée (plus ou moins DJU augmentée, puis il fait froid).

- si l'on s'intéresse à des calculs de bilan hydrique, il faut choisir une station de référence dite « station ETP » (en général il s'agit des stations du réseau synoptique, mais pas uniquement) où tous les paramètres sont disponibles (rayonnement, températures minimale et maximale, humidité relative, vitesse du vent, précipitations) et un lot de plusieurs « stations précipitation », choisies au plus près et autour des sites, qui permettront de faire varier les calculs de bilan hydrique, voire d'établir des gradients de précipitations sur un massif forestier. Le bilan hydrique d'un peuplement est avant tout conditionné par les précipitations ; il est donc nécessaire de les caractériser au mieux, surtout pendant la période estivale, quand les précipitations orageuses, très localisées, peuvent avoir une influence énorme sur le niveau de déficit de l'année.

INSEE	E	T	Alt.	Nom de la station	Lat.
18033001	G	0	161	BOURGES	47.55N
18092001	G	0	175	AVOIR	47.55N
18125004	F	2	179	ORVAL - PEAGE	46.71N
18125001	F	2	139	LERE	47.45N
18135001	C	2	219	MAISONNAIS	46.87N
18066002	C	2	148	CIVRAY	46.98N
18015003	C	2	179	AUBIGNYNERE	47.50N
18172003	C	2	165	ORVAL RAD	46.73N
18175003	C	2	221	OURLOU	46.82N
18176001	C	2	257	PARASSY	47.23N
18087003	C	2	167	DUN-SUR-AURON	46.92N
18187004	C	2	452	PREVERANGES	46.42N
18190002	C	2	128	QUINCY-SA	47.13N
18197004	C	2	177	ST-AMAND-MITRON	46.75N
18223003	C	2	200	ST-MARTIN-DA	47.21N
18047001	C	2	190	CHAPELLE-DANG-SAPC	47.37N
18241002	C	2	240	SANCERRE	47.35N
18251001	C	2	205	SEVRY	47.13N
18262002	C	2	195	THAUVENAY-SA	47.30N
18269003	C	2	226	VALLIYSAULDRE	47.43N
18279005	C	2	155	VERZON	47.27N
18184001	F	4	140	LURY-SUR-ARNON	47.12N
18199001	F	4	171	MARSEILLE-BG	47.06N
18199002	F	4	184	MARSEILLE-LES-A	47.07N
18142001	F	4	195	MEILLANT	46.77N

Copie d'écran de consultation des informations sur les stations météorologiques (<http://climtheque.meteo.fr>).

Attention :

- Dans tous les cas, il n'est absolument pas recommandé de mélanger des données provenant de plusieurs stations : les différents champs météorologiques, ainsi que leurs évolutions, sont tous corrélés. En mélangeant les données, on détériore ces corrélations et on peut obtenir des résultats incohérents (notamment pour l'ETP).
- De la même façon, une série météorologique longue ne doit pas être construite en raboutant plusieurs petites séries. De telles données existent à Météo-France, il s'agit des « données homogénéisées » : données mensuelles de pluies (332 postes), de température (91 postes) et d'insolation (18 postes) de 1900 à 2010. Les séries homogénéisées sont des séries constituées à partir des observations de plusieurs postes et qui prennent en compte, par exemple, les problèmes de déplacement des sites de mesures ou les changements de capteurs¹.

L'ouverture d'un compte client peut être mutualisée entre plusieurs partenaires, l'abonnement donnant accès à un volume de données en général très supérieur à ce qui peut être utilisé raisonnablement en une année : une convention sera alors signée entre les utilisateurs et Météo-France ; un référent pourra être désigné¹.

* Pas de temps et données météorologiques principalement utilisées

Selon l'objectif de l'expérimentation, le type de variables mesurées et le type d'analyses effectuées, le pas de temps et les données météorologiques à obtenir sont à adapter :

- pour l'analyse globale d'un essai en continu ou après plusieurs années (survie, mortalité, etc.), des données annuelles peuvent s'avérer suffisantes. Les principales données annuelles à obtenir sont : nombre de jours de gel, gels tardifs, précipitations annuelles, nombre de jours consécutifs avec des températures supérieures à un seuil, température moyenne et précipitations durant la période de végétation ;

- pour analyser des performances de croissance, il est préférable de s'orienter vers des données mensuelles. Les principales données mensuelles à obtenir sont : précipitations, températures minimum, maximum et moyenne, nombre de jours de gel ;



Dégât de gel sur plant de hêtre et rouge physiologique sur douglas : deux accidents à mettre en relation avec des données météorologiques journalières.



© D. Adam (DSF)

- pour des analyses dendroécologiques plus poussées, des études de réponse à un aléa particulier (gel, sécheresse édaphique, coup de chaleur...) ou encore des analyses phénologiques, des données journalières sont utiles, voire indispensables. Les principales données journalières à obtenir sont : précipitations, températures minimales et maximales (qui permettent de calculer une température moyenne de référence Tmoy¹), humidité relative (ou déficit de saturation de l'air), vitesse du vent.

* Les indices climatiques

Si le choix des stations de référence est primordial pour permettre la comparaison des résultats, il en est de même pour les indices climatiques utilisés. Ceux-ci sont des variables synthétiques qui caractérisent le climat local et sont construites à partir des données météorologiques. Ils peuvent alors être corrélés avec les données de croissance ou de survie. En agronomie, une évapotranspiration potentielle de référence (ET_p) a été choisie ; en conséquence tous les acteurs parlent le même langage (de la recherche aux agriculteurs) et les résultats sont comparables d'une étude à l'autre. Un effort identique doit être fait chez les forestiers.

De très nombreux indices climatiques combinant précipitations et températures – le plus connu étant probablement l'indice d'aridité de Martonne : $P/(T_{moy} + 10)$ – ont vu le jour dans la première moitié du XX^e siècle, utilisant les données facilement accessibles à l'époque. Ils permettent de classer les climats à des échelles supranationale et mondiale (classification des climats méditerranéens par Emberger par exemple), mais sont peu utilisés dans le cadre de l'analyse du fonctionnement d'une espèce.

Des variables plus intégratrices doivent être utilisées de préférence et notamment l'évapotranspiration potentielle (ETP).

1 L'unité de facturation est le lot de 10 données (10 températures horaires ; 10 précipitations annuelles ; etc.).



Coups de soleil sur peupliers : ce phénomène est lié à la température maximale estivale et à l'exposition.

© O. Baubet (DSF)

L'ETP, son calcul, son intérêt...

DÉFINITION DE L'ETP

C'est la quantité maximale d'eau (en mm) pouvant être perdue par évapotranspiration (évaporation du sol + transpiration de la végétation) pendant une période de temps donnée, indépendamment de la nature du sol (supposé constamment alimenté en eau) et de la végétation (pourvu qu'elle ait un recouvrement de 100 %), et sous la seule dépendance des facteurs physiques de l'atmosphère.

CALCUL DE L'ETP

Plusieurs formules de calcul ont été proposées :

- les formules les plus simples n'utilisent que la température (ETP Blaney & Criddle par exemple) ;
- à un niveau de complexité supérieur, elles peuvent utiliser soit le rayonnement calculé par une fonction dépendant de la latitude du lieu (ETP Thornthwaite), soit le rayonnement mesuré (ETP Turc).

Ces formules sont des estimations statistiques, c'est-à-dire des relations empiriques entre des quantités d'eau évaporées et des paramètres météorologiques :

- les ETP Penman et Penman-Monteith (variante de Penmann, intégrant la résistance des végétaux au niveau des stomates à l'évaporation de l'eau) que nous préconisons, sont à l'inverse des formules physiques basées sur les échanges d'énergie et de matière. En plus des températures et du rayonnement, ces formules prennent en compte le déficit de saturation de l'air et la vitesse du vent (paramètres essentiels pour quantifier l'évaporation dans tout le domaine méditerranéen par exemple).

Le calcul de ces ETP pouvait paraître inaccessible aux forestiers, mais ce n'est plus le cas aujourd'hui : l'ETP Penman est directement disponible auprès de Météo-France à tous les pas de temps. Des outils, ont été élaborés pour calculer soi-même son ETP Penman, comme le logiciel BILJOU© de l'INRA Nancy (voir annexe F), qui utilise les données fournies par l'utilisateur (fichier de caractéristiques du peuplement et fichier de données météorologiques quotidiennes).

INTÉRÊT DE L'ETP ET DE P-ETP

L'ETP permet de caractériser la « demande » en eau de l'atmosphère. Cette demande peut, ou non, être satisfaite en fonction de l'état du couvert végétal et de la réserve en eau du sol.

Si la demande n'est pas satisfaite, le système est en déficit. On peut alors calculer un « déficit atmosphérique » correspondant à la somme des précipitations moins la somme des ETP, sur une période de temps donnée (semaine, décennie, mois, année, etc.). Dans ce cas, on ne prend en compte ni le couvert végétal, ni la réserve en eau du sol. L'estimation peut être affinée par le calcul de la grandeurs (RU+P-ETP), ce qui permet de « tamponner » les variations de précipitations par la réserve utile en eau du sol.

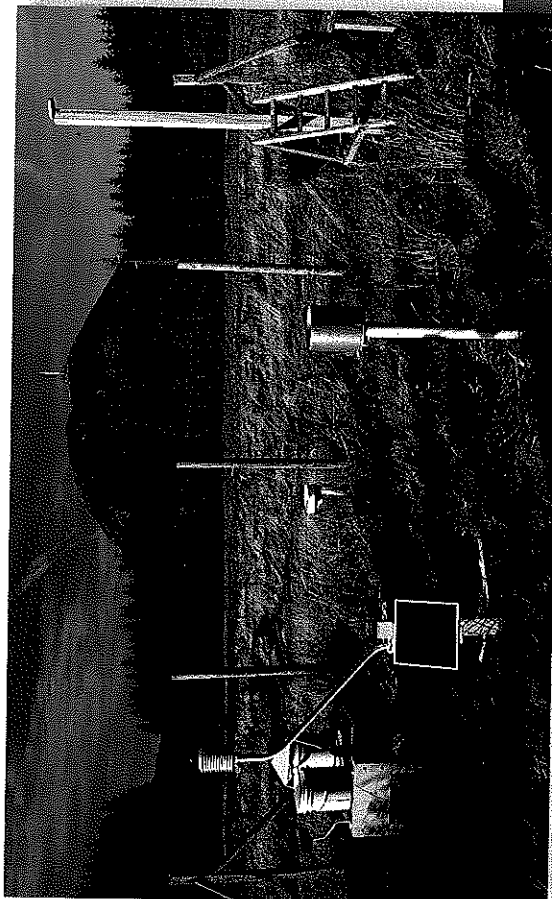
L'étape suivante est le calcul d'un « déficit édaphique » qui prend en compte tous les compartiments (sol, plante, atmosphère). Il faut alors estimer l'évapotranspiration réelle (ETR), à partir de l'évapotranspiration potentielle (ETP). Pour bon nombre de cultures, l'estimation de cette ETR peut se faire au moyen de coefficients culturaux qui intègrent la saison, les stades phénologiques, la couverture du sol, la hauteur de la végétation, son albédo, etc. : $ETR = \text{coefficient} \times ETP$. Malheureusement, si ces coefficients sont bien documentés pour tous les secteurs de l'agriculture, aucun n'est satisfaisant pour les couverts forestiers.

• Instrumentation sur site

Si la prise en compte d'un effet topographique s'avère indispensable dans l'analyse d'un dispositif (gradient d'altitude, adret/ubac), l'instrumentation sur site peut être nécessaire. De très nombreuses possibilités sont offertes, depuis une instrumentation lourde (type stations PULSONIC du réseau RENECOFOR) jusqu'à l'utilisation de capteurs autonomes, permettant la récolte d'une année de données (type HOBO datalogger).

Le coût de ces stations est fonction des données relevées, de la fréquence des relevés, de leur capacité de stockage, du mode de transmission des données et de l'autonomie énergétique des appareils.

Certaines stations de petite taille et peu coûteuses (quelques dizaines d'euros) permettent l'enregistrement de la température et de l'humidité ambiante. Mais la pluviométrie ou la vitesse et la direction du vent, plus sensibles aux variations locales, restent les variables les plus intéressantes à mesurer.



© L. Croisé (ONF)

Stations météorologiques du réseau RENECOFOR.



© L. Croisé (ONF)

La périodicité des mesures à faire sur les essais indiquée au chapitre 1 reste valable en « régime de croisière », mais doit être adaptée en cas d'événements climatiques exceptionnels (gel, canicule, sécheresse...).

Une visite du site doit être alors effectuée après l'évènement et, si nécessaire, une ou plusieurs mesures ou observations supplémentaires peuvent être faites (notamment mortalité, notations sanitaires). En effet, l'objectif n'est alors plus de suivre une dynamique de croissance potentielle (comme par exemple une réaction à une éclaircie), mais de déceler une conséquence possible (bénéfique ou néfaste) sur les arbres.



Égâts de grêle suivis d'une attaque de sphaeropsis des pins sur un essai de pin laricio : des mesures exceptionnelles doivent être effectuées !

L'utilisation de données météorologiques peut permettre d'étudier l'effet de l'évolution du climat sur la croissance ou la survie des arbres.

Leur choix et leur acquisition restent délicats et leur utilisation est encore complexe pour refléter au mieux les situations locales (notamment pour la pluviométrie).

L'indice climatique ETP Penman et les précipitations sont, sans doute, les données météorologiques que le forestier devra évaluer pour appréhender la problématique du changement climatique dans ses expérimentations

VARIABLES SPÉCIFIQUES LIÉES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

La mise en place de dispositifs, en lien avec le changement climatique peut induire le suivi plus précis de données qui étaient notées seulement en « observations » pour les dispositifs classiques, comme l'état sanitaire. Il peut être aussi nécessaire de suivre des variables supplémentaires permettant d'initier des études de phénologie ou de dendrochronologie.

Un complément sur la notation de ces variables spécifiques figure en annexe F.

Notation de problèmes phytosanitaires

Contribution de François-Xavier Saintonge (DSF)

Objectifs visés

L'installation et le suivi de dispositifs expérimentaux en vue de mettre en évidence d'éventuels impacts des changements climatiques ne peut se dispenser d'observations phytosanitaires, au moins basiques.

En effet, certaines situations vont générer des échecs, et il convient d'en connaître aussi précisément que possible les causes : **il ne faudrait pas attribuer systématiquement aux changements climatiques tous les maux des peuplements suivis**. Inversement, l'apparition ou le développement de certains problèmes phytosanitaires peuvent être influencés par le changement climatique. Leur prise en compte est donc indispensable, au même titre qu'une description fine de la station.

Mais à la différence du sol qui varie peu durant le suivi, les problèmes phytosanitaires peuvent, comme les événements climatiques extrêmes, intervenir à tout moment. Ils sont potentiellement très divers, parfois discrets, malgré des conséquences importantes et dans certains cas visibles pendant un laps de temps court. Leur évaluation par des non-spécialistes, qui ne peuvent y consacrer qu'un temps restreint, a donc des limites.

Le protocole suivant, spécifiquement conçu pour les expérimentations, propose une notation à l'échelle de l'arbre, **d'une gamme réduite d'observations de symptômes**, parmi les plus courants, destinée à décrire la cinétique d'événements échecs. Le diagnostic précis des causes et de leur succession dans un processus de mortalité est souvent une question complexe, et il conviendra alors de faire appel à des spécialistes.