

## Résultats du travail mené en 2021 sur l'Observatoire Régional des Ecosystèmes Forestiers face aux changements globaux (OREF)

Résultats du travail mené en 2021 .....	1
1 Rappels sur le dispositif et les partenaires.....	1
1.1 Rappel de l'objectif du réseau d'observation : .....	1
1.2 Rappel sur le réseau d'observation .....	2
1.3 Rappel : les partenaires de l'OREF .....	2
2 Rappel concernant le financement de l'OREF .....	4
3 Précisions méthodologiques et évolution du dispositif .....	4
4 Synthèse des 6 indicateurs régionaux.....	7
4.1 DONNEES METEOROLOGIQUES .....	8
4.1.1 Synthèse annuelle Météo France.....	8
4.1.2 Etude du Microclimat avec l'Université Picardie Jules Verne.....	44
4.2 DONNEES BOTANIKES et FAUNISTIQUES .....	45
4.3 DONNEES PHENOLOGIQUES .....	46
4.3.1 Synthèse annuelle du réseau .....	47
4.4 DONNEES POLLINIQUES.....	54
4.5 DONNEES PHYTOSANITAIRES .....	58
4.5.1 Synthèse des placettes .....	59
4.5.2 Synthèse régionale du DSF Nord Ouest.....	62
8 Synthèse de l'étude INRA sur les liens entre croissance radiale et perte foliaire des hêtres sur le réseau DSF et l'OREF .....	67
9 Conclusion.....	69
10 Perspectives et remerciements.....	69
Annexe : Connaître la ressource forestière, les pistes offertes par la télédétection (Jimmy BONIGEN, CRPF Hauts-de-France) .....	70

### 1 Rappels sur le dispositif et les partenaires

#### 1.1 Rappel de l'objectif du réseau d'observation :

- recueillir des données sur l'évolution de différentes composantes de l'écosystème forestier,
  - o en s'appuyant sur des réseaux existants et en valorisant des données déjà relevées pour d'autres raisons,
  - o en étant cohérent avec les démarches qui existent au niveau national,
  - o en travaillant en partenariat avec les structures compétentes sur le suivi des différents indicateurs définis,
  - o en n'excluant pas d'intégrer ponctuellement des observations relatives aux milieux associés aux forêts (écotones ou milieux ouverts) qui réagissent souvent plus rapidement ;
- les analyser avec un regard spécifique sur le changement globaux ;
- améliorer nos connaissances sur la façon d'adapter la gestion à ces changements pour sensibiliser les propriétaires et gestionnaires forestiers.

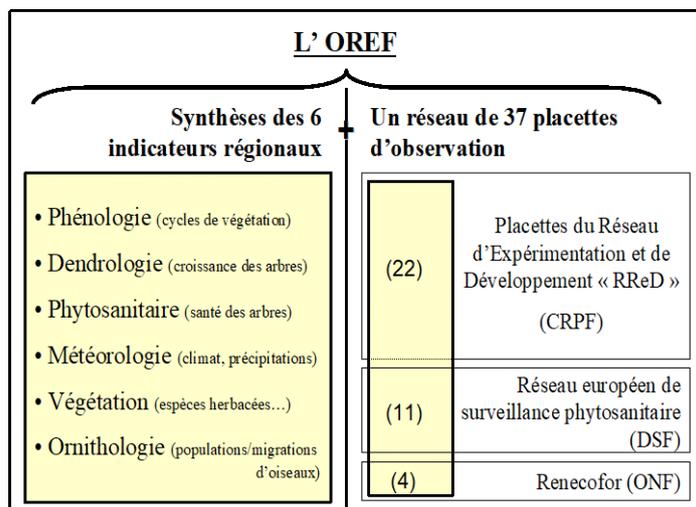
## 1.2 Rappel sur le réseau d'observation

Le réseau d'observation de l'OREF est constitué :

→ de **37 placettes permanentes** :

- 11 placettes appartenant au réseau européen, coordonné par le DSF ;
- 4 placettes du réseau Renecofor, suivies par l'ONF ;
- 22 placettes issues du réseau RRED, mis en place par le CRPF.

→ de **synthèses régionales issues des résultats obtenus par l'intermédiaire d'autres réseaux d'observation (naturalistes, programmes de recherche...).**



Réseau de placettes permanentes de l'OREF

## 1.3 Rappel : les partenaires de l'OREF

Le comité de pilotage est évolutif, certains partenaires étant identifiés au fur et à mesure. Ce partenariat est crucial car il doit permettre d'alimenter les observations qui sont utilisées pour compléter les données relevées sur les placettes permanentes en s'appuyant sur les compétences variées des différentes structures. Il est également important car il permet des échanges sur les protocoles, les indicateurs suivis, les méthodes d'analyse et les résultats.

Voici la liste actualisée des différentes structures participant :

	<b>Structure</b>	<b>Participant</b>
<i>Inventaire et synthèse</i>	<i>CRPF Hauts-de-France</i>	Noémi HAVET, Jimmy BONIGEN Benjamin CANO
	<i>ONF</i>	Stéphane BRAULT, Karine TOFFOLO
<i>Structures nationales</i>	<i>IDF- CNPF</i>	Philippe RIOU NIVERT, Céline PERRIER, Julie PARGADE
	<i>INRA UMR BIOGECO station de recherches forestières de Bordeaux Cestas</i>	Alexis DUCOUSSO
	<i>INRA de Nancy, laboratoire d'écologie et d'écophysiologie f.</i>	Vincent BADEAU
	<i>GIPECOFOR</i>	Jean Luc PEYRON/ Céline PERRIER
	<i>ENGREF</i>	François LEBOURGEOIS
	<i>Météo France</i>	Julien PERFETTINI
	<i>Département Santé des Forêts</i>	Gilbert DOZON
<i>Structures régionales ou départementales</i>	<i>Conservatoire Botanique National de Bailleul</i>	Thierry CORNIER / Remi FRANCOIS
	<i>Conservatoire d'Espaces Naturels des Hauts-de-France</i>	Francis MEUNIER
	<i>Picardie nature</i>	Lucie DUTOUR/ Sébastien MAILLIER
	<i>GON</i>	Rudy PISCHIUTTA
	<i>Office Français de de la biodiversité</i>	Marie GROS
	<i>Université Picardie Jules Vernes</i>	Guillaume DECOCQ/ Jonathan LENOIR
	<i>Espaces Naturels Régionaux</i>	Fabien BRIMONT
	<i>Adree</i>	Jérôme CANIVE
	<i>CERDD (Observatoire Climat des Hauts-de-France)</i>	Pierre BRANCIARD et Anastasia IVANOSKY
	<i>Conseil Régional Hauts-de-France</i>	Laurence MOUTHIEZ
	<i>Association pour la prévention pollution atmosphérique</i>	
	<i>DREAL Hauts-de-France</i>	Coline GRABINSKI
	<i>DRAAF Hauts-de-France</i>	Dominique EVRARD
	<i>DDT de l'Aisne</i>	Vincent DURIEUX
	<i>DDTm du Pas- Calais</i>	Jerôme HOCHART
	<i>DDTM de la Somme</i>	Pascal LAMBERT
	<i>DDT de l'Oise</i>	Béatrice AUGER
	<i>DDTm du Nord</i>	Mathieu FLOUREZ
	<i>Fédération Régionale des Chasseurs des Hauts-de-France</i>	Anthony DANESIN
	<i>Propriétaire forestier</i>	M. De THEZY

Le CRPF fait également partie de l'Observatoire national des saisons piloté par Isabelle CHUINE (CNRS) et du GDR 2968 SIP – GECC.

Le lien avec l'**Observatoire Climat Hauts-de-France**, les **SRCAE** des deux anciennes régions est réalisé et devrait être formalisé à l'avenir pour que chacun puisse bénéficier des avancées de chaque dispositif. Une plus grande interaction entre l'OREF et l'Observatoire régional de la Biodiversité devra également être recherchée.

## 2 Rappel concernant le financement de l'OREF

L'OREF a été mis en place en 2005 par le CRPF dans le cadre du projet franco-anglais Interreg IIIa n°217 « gestion forestière et biodiversité : enjeux écologiques et économiques » cofinancé par le programme France Manche et les Conseils régionaux Nord Pas de Calais et Picardie.

Un autre projet Interreg franco-anglais intitulé Multi-For et réunissant 8 partenaires français et anglais a pris la suite jusque fin 2012. L'appui financier des deux Conseils régionaux de Picardie et du Nord Pas de Calais permet de poursuivre le travail de suivi engagé.

Ce projet a notamment permis :

- de réaliser une campagne d'analyse de **dendrochronologie** en Angleterre et en France avec la Forest Research ;
- d'étendre les suivis **phénologiques** en forêt publique en partenariat avec les Agences de l'Office National des Forêts de Nord Pas de Calais et Picardie ;
- de réaliser une **étude génétique** sur le Hêtre en Picardie en relation avec le laboratoire BIOGECO de l'INRA ;
- de travailler avec l'Université Lille 1 et le CBNBI sur la comparaison de relevés floristiques des placettes permanentes de l'OREF,
- d'établir une **liste d'espèces floristiques ou faunistiques** potentiellement en lien avec le changement climatique dont on pourra suivre l'évolution sur le long terme, ceci grâce à un partenariat avec le Conservatoire des Espaces Naturels de Picardie.

Pour les années 2013, 2014 et 2015, l'OREF a été financé dans le cadre du **projet franco-anglais ADAFOR** ([www.adafor.eu](http://www.adafor.eu)) par le programme européen de coopération transfrontalière INTERREG IV A France (Manche) Angleterre (FEDER) ainsi que par les Conseils Régionaux de Picardie et du Nord-Pas de Calais. Grâce à cela, des collaborations déjà existantes ont pu être réitérées et de nouveaux partenariats ont été créés.

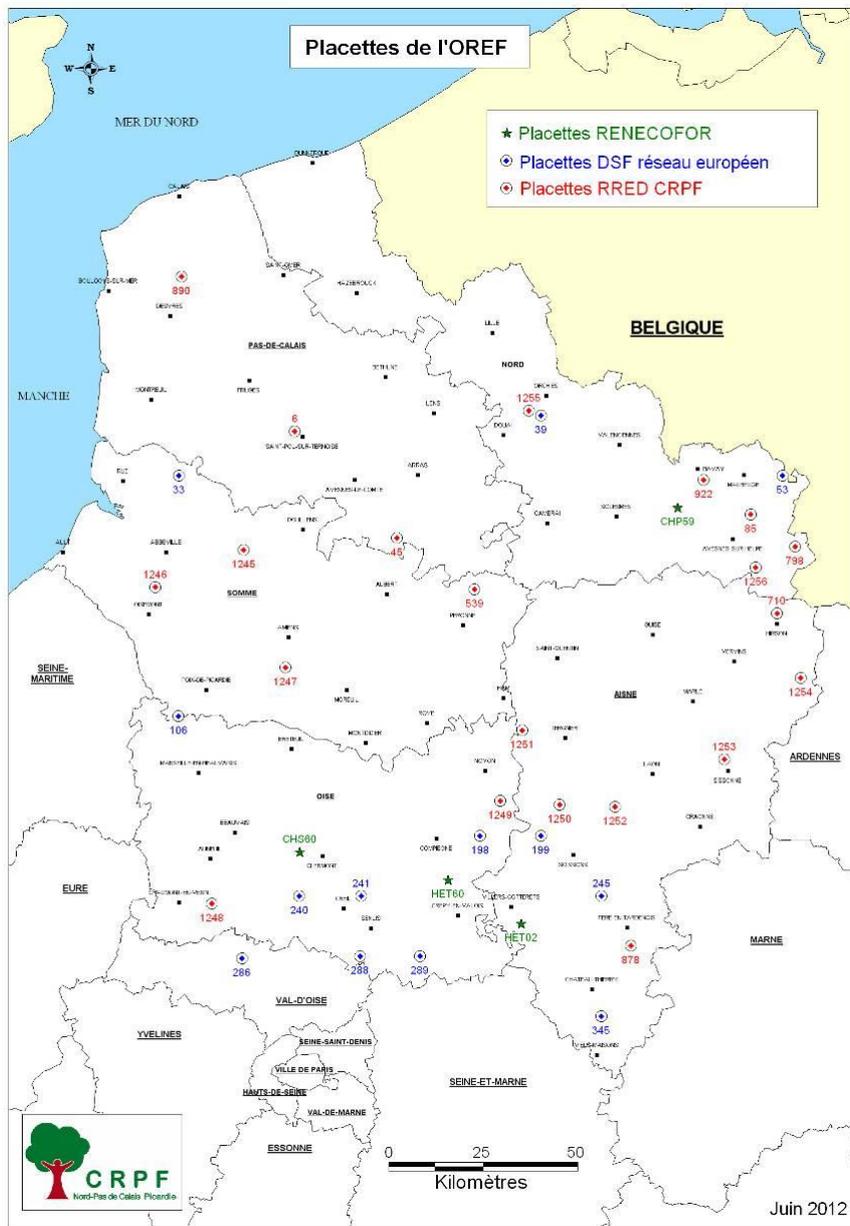
Depuis 2017, l'OREF est financé par le conseil régional des Hauts-de-France.

## 3 Précisions méthodologiques et évolution du dispositif

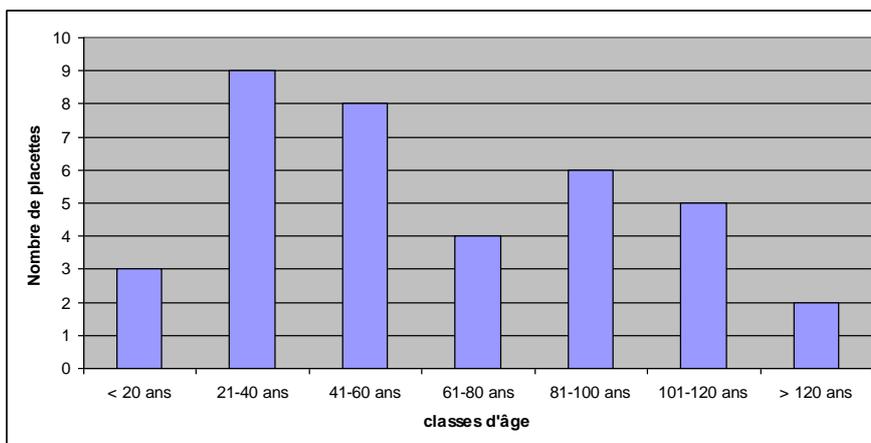
Pour rappel, les protocoles détaillés relatifs au suivi de tous les indicateurs de l'OREF ne sont pas repris dans cette synthèse mais figurent dans un fascicule spécifique disponible sur demande.

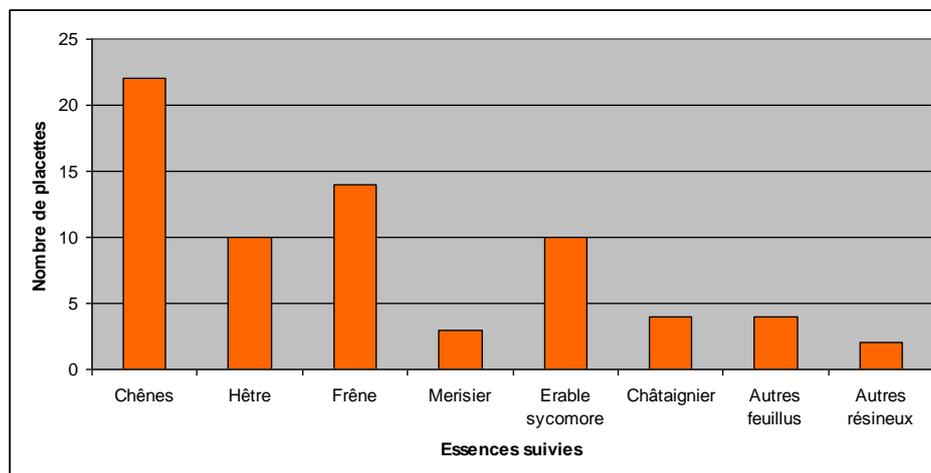
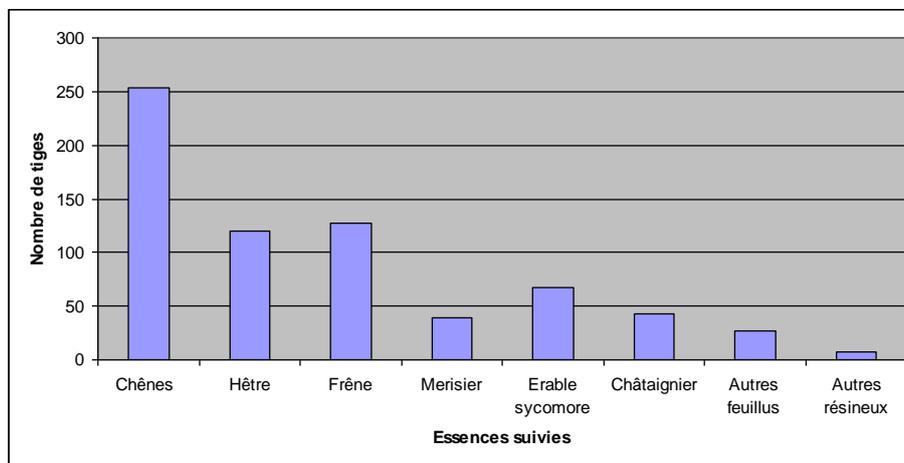
En 2012, le dispositif a connu différentes évolutions pour intégrer les remarques justifiées de nos partenaires. Ainsi, plusieurs placettes ont été remplacées afin :

- de disposer de placettes dans des zones géographiques stratégiques non couvertes (carrefours biogéographiques, zones de déplacement des espèces, champagne crayeuse, languette reliant le plateau picard (tonalité xérique) avec les vallées de la Seine et de la Loire),
- de rééquilibrer les classes d'âge des peuplements suivis,
- d'améliorer la représentativité des essences observées.



*Réseau de placettes intégrées au réseau OREF en 2012*





*Répartition des classes d'âge, des essences et des densités selon le nouveau réseau de placettes OREF en 2012*

Un groupe de travail qui s'est réuni le 3 Juillet 2012 a validé le nouveau plan d'échantillonnage et a également permis de décider de :

- réaliser des suivis botaniques moins fréquents mais avec deux passages annuels pour intégrer les vernaies à nos relevés.
- appliquer le modèle de bilan hydrique journalier BILJOU sur des placettes ciblées pour mieux comprendre l'impact des phénomènes de sécheresse sur les peuplements.
- étendre notre suivi phénologique à certaines placettes permanentes de l'OREF pour croiser les données sur certaines placettes.

**=> En 2021, il n'y a pas eu de changements dans les protocoles ni dans les placettes.**

## 4 Synthèse des 6 indicateurs régionaux

L'année 2021 est la **quatorzième année de suivi complet** et permet donc d'effectuer des comparaisons interannuelles pour certains des indicateurs suivis. Ce bilan est composé de la synthèse des données par indicateurs.

## 4.1 DONNEES METEOROLOGIQUES

### 4.1.1 Synthèse annuelle Météo France

Dans le cadre de l'Observatoire Régional des Écosystèmes Forestiers (OREF), le Centre Régional de la Propriété Forestière (CRPF) des Hauts-de-France a défini des indicateurs régionaux permettant de suivre et expliquer l'évolution des forêts. L'un de ces indicateurs est le facteur climatique qu'il convient de connaître au mieux vis-à-vis des paramètres susceptibles d'affecter le milieu forestier.

La présente étude est réalisée par Météo-France pour le CRPF.

Elle comprend trois parties :

1- Bilan annuel : cartographies annuelles des températures moyennes, précipitations totales, ensoleillement (durée d'insolation), précipitations solides (neige principalement), ETR (Evapotranspiration Réelle) : valeurs de 2021 et écart (ou rapport) à la normale. Les cartes de 2020 et 2019 sont reprises à titre de comparaison.

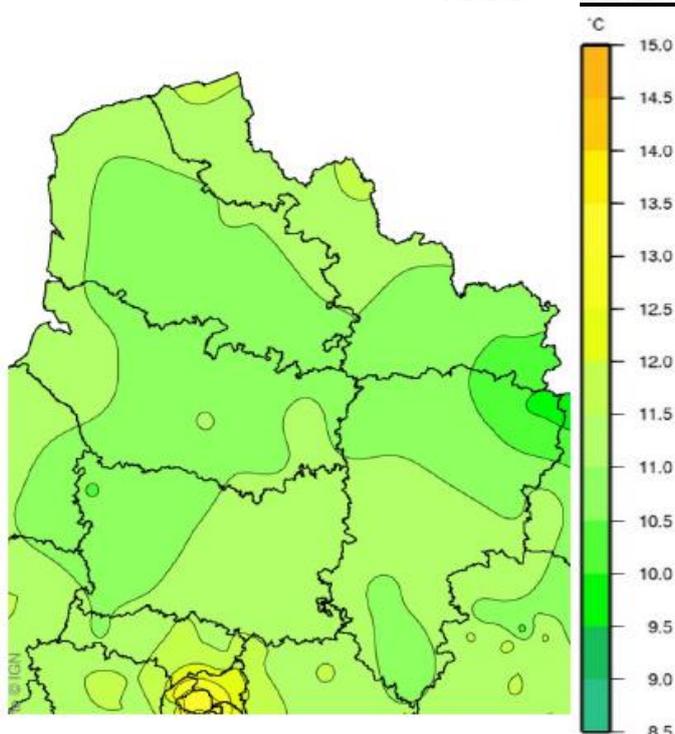
2- Bilan saisonnier : cartographies par paramètre, avec référence aux normales et aux années antérieures. Cette partie décrira également les caractéristiques infra-saisonniers. En effet, les chiffres saisonniers peuvent masquer l'alternance d'épisodes froids ou chauds, secs ou pluvieux par exemple.

3- Retour sur les événements climatiques notables de 2021 : tempêtes, orages remarquables, variations thermiques remarquables, pics et vague de chaleur, saturation et sécheresse significatives des sols superficiels.

Dans la présente étude, seules les cartes de précipitations solides et l'ETR ainsi que les graphes des précipitations totales sont issus de la modélisation Safran-Isba-Modcou (réanalyse climatique sur la période 1958 à nos jours sur une grille régulière de 8 km de résolution). Pour les températures, les précipitations totales, l'ensoleillement, nous avons retenu une spatialisation des données des stations du réseau de Météo-France ainsi qu'une spatialisation par zones agrégées pour les 5 départements et pour la région à la fois pour les températures (1 km), les précipitations (8 km) et pour les tempêtes (2 km).

Comme dans les précédentes études, les normales de référence sont calculées sur la période 1981-2010 sauf en ce qui concerne la durée d'ensoleillement et l'ETR, calculées sur 1991-2010 en raison d'un changement d'appareil de mesure de l'insolation dans les années 80's.

#### 4.1.1.1. Bilan annuel global à l'échelle des deux régions



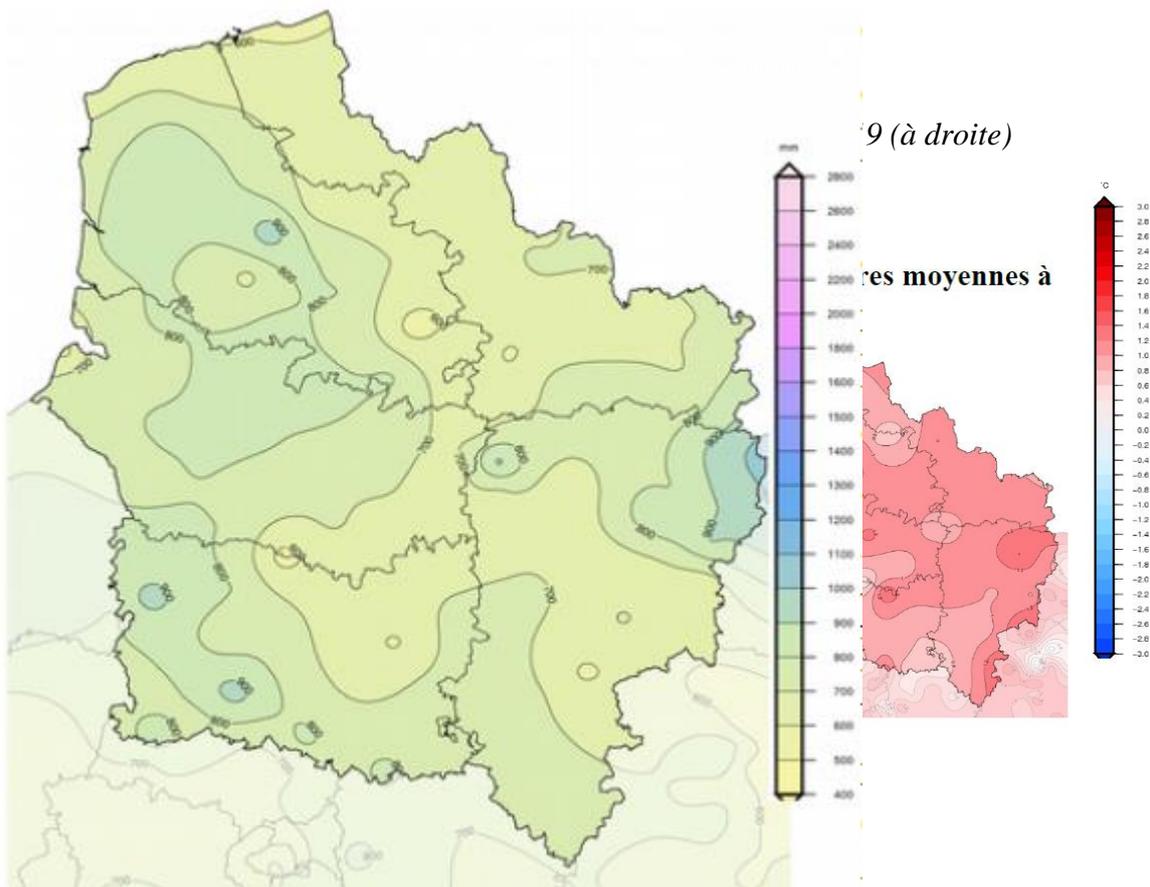
#### → Températures sous abri

La cartographie des écarts de température situe l'excédent moyen annuel régional à seulement 0,39°C avec une température moyenne régionale de 10,92°C.

L'année 2021 est **donc bien moins chaude que l'année dernière**, année record la plus chaude avec une température moyenne régionale de 12,22°C (+1,69°C).

Cette année a connu une période froide et beaucoup moins de records chauds que 2020.

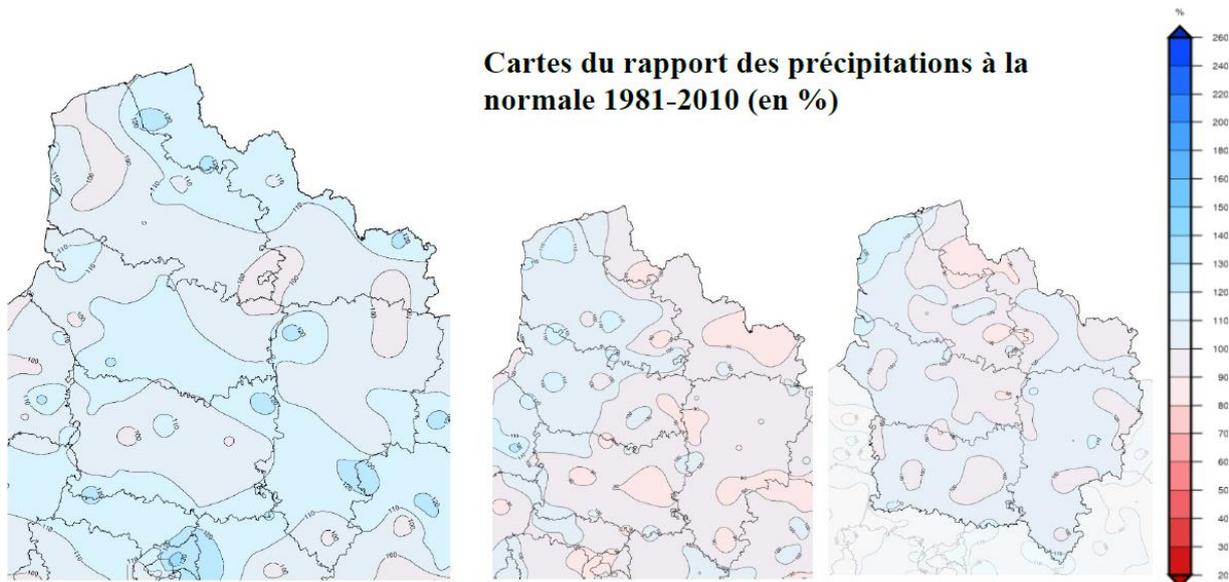
*Températures moyennes sous abri en 2021 (en °C)*



L'année 2021 est plus pluvieuse que la normale (8 % d'excédent) avec en moyenne régionale comme cumul annuel de 861 mm sur les Hauts-de-France. C'est plus que l'année 2020 avec un petit déficit de 3 %. Dans le détail, on va de 7% de déficit à Cambrai-Épinoy (62) avec 660 mm pour cumul annuel de précipitations à 29% d'excédent à Salency (60) dans le Noyonnais avec 939 mm pour cumul annuel. Le plus faible cumul annuel de 631 mm (-6%) revient à Beauvais-Tille (60) tandis que le plus fort de 1156 mm (+13%) se situe à Fiefs (62) dans le Haut-Artois.

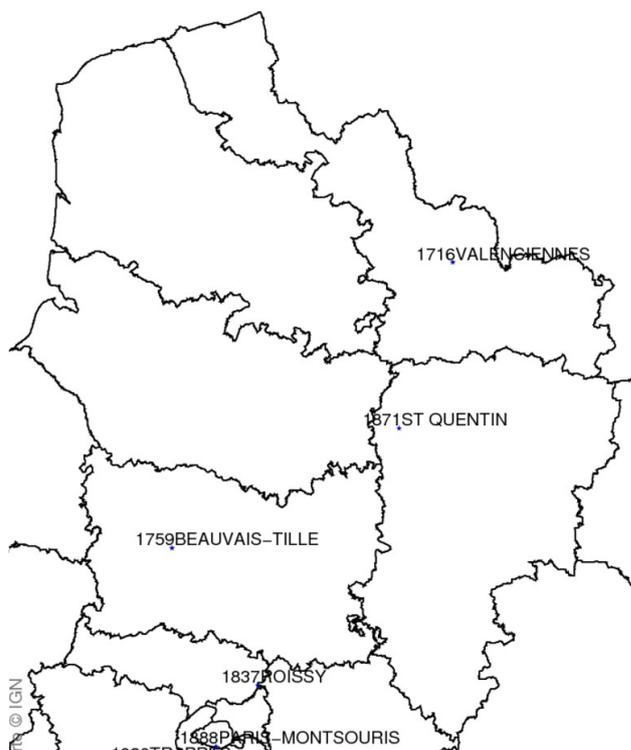
Le nombre de jours de précipitations est compris dans une fourchette allant de 101 jours (soit 16 jours de moins que la normale annuelle) à Beauvais-Tillé (60) à 160 jours (14 jours de plus que la normale) à Fiefs (62).

Il a fait souvent humide tout au long de l'année notamment avec les précipitations hivernales ou automnales de mi-janvier à début février, fin octobre à début novembre puis fin novembre à début décembre et un été particulièrement pluvieux.



*Cartes du rapport des précipitations à la normale 1981-2010 (en %)  
2021 (à gauche), rappel 2020 (au centre), rappel 2019 (à droite)*

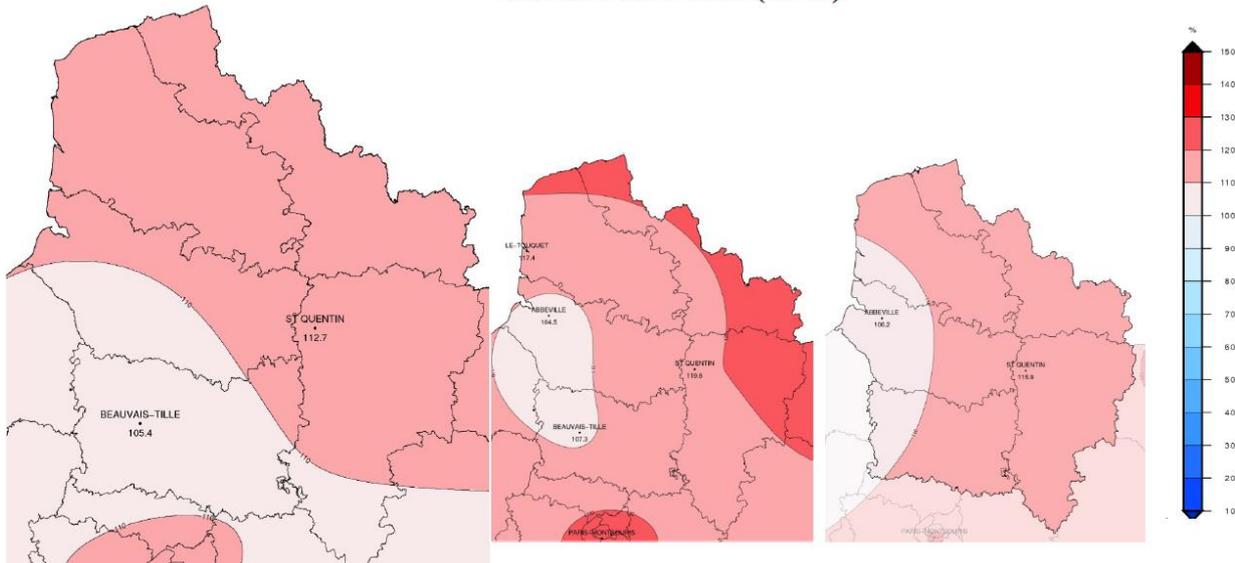
### → Ensoleillement



Les valeurs d'ensoleillement annuel de 2021 sont **au-dessus des normales de 10 %** en moyenne. C'est un peu en dessous de l'année dernière. Cet excédent atteint près de 13 % à la station de St-Quentin (02) avec près de 1871 heures (1870 heures et 59 minutes précisément). C'est donc moins que l'excédent de 20 % de l'année dernière en 2020 avec 1986 heures et 1 minute, que 2019 (1922 heures et 20 minutes soit 16 % d'excédent) ou que 2018 (2013H43mn, +21 %/Norm.) et surtout que 2003 (2057H52mn, +24%/Norm.).

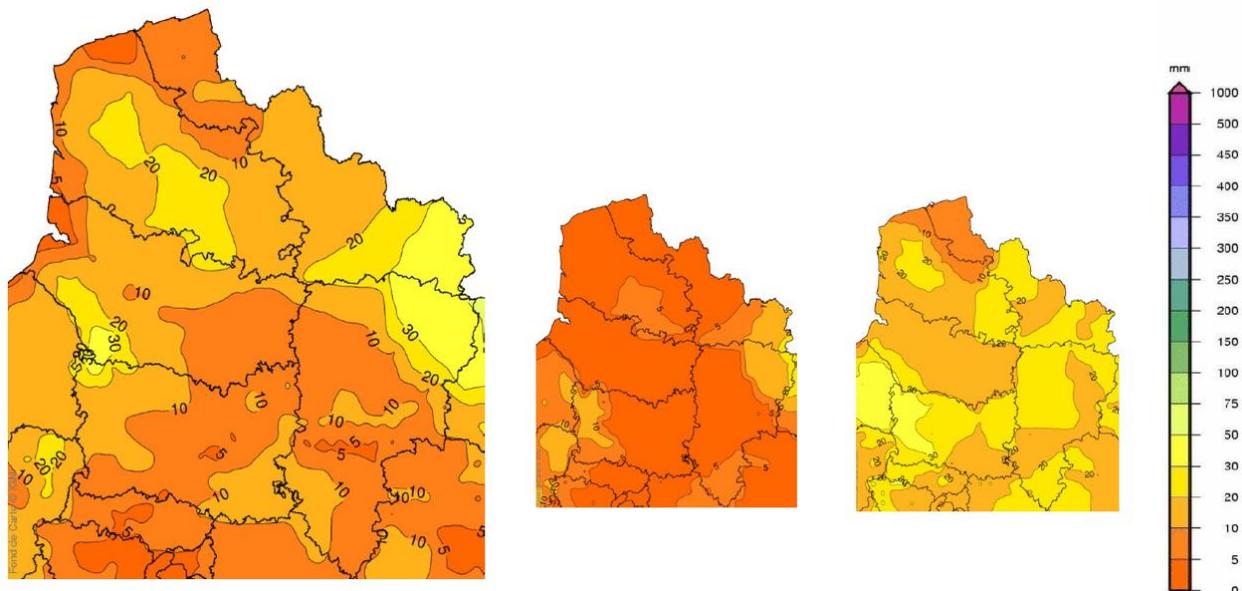
*Durée d'ensoleillement en 2021 (en heures)*

## Cartes du rapport de l'ensoleillement à la normale 1991-2010 (en %)



2021 (à gauche), rappel 2020 (au centre), rappel 2019 (à droite)

## → Précipitations solides



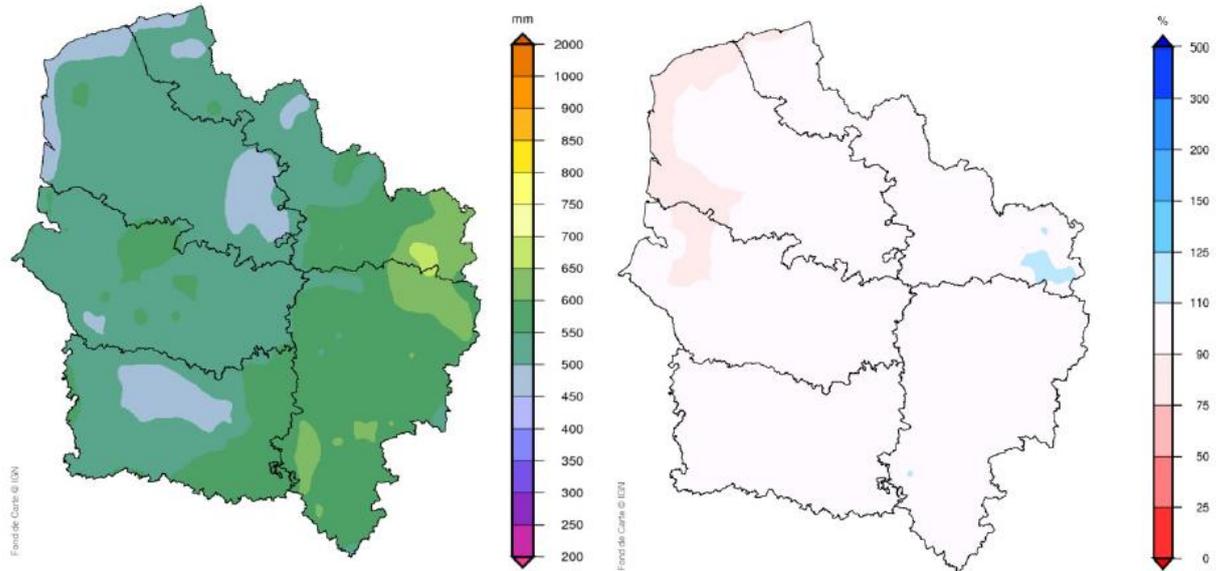
Précipitations solides (équivalent en eau de fusion en mm) en 2021 (à gauche), rappel 2020 (au centre), rappel 2019 (à droite)

**Il s'est produit plus de chutes de neige que l'année dernière.**

Une perturbation neigeuse du 16 janvier provoque 3 à 7 cm de neige tenant au sol jusqu'à 10 cm parfois sur la moitié Est des Hauts-de-France. Les hauteurs de neige relevées dans le détail sont de 1 cm au Touquet (62), 2 cm à Lille-Lesquin (59), 4 cm à Gisy (02), 5 cm à Talmas (80), 7 cm à Godenvillers (60), 8 cm à Troisvilles (59) et près de 10 cm à Bichancourt (02). De nouvelles chutes de neige interviennent dans la nuit du 23 au 24 janvier avec : 4 cm à Talmas (80) et à Poix-de-Picardie (80) et 5 cm de neige lourde à Lierville (60). En cours de nuit du 6 au 7 février, par un retour occlus d'une dépression circulant vers le Nord-Est, un net abaissement des températures (environ 10°C) et même

si la neige a tenu difficilement, en particulier sur les chaussées, il est tombé sur l'herbe localement vers le littoral 2 à 4 cm de neige (autour de Dunkerque) et 2 à 5 cm (autour de Calais) et sur les hauteurs les plus septentrionales du Boulonnais. Après les records de chaleur de fin mars et un premier avril très doux, une semaine plus tard, le froid déboule avec des chutes de neige se produisant du 5 au 7 avril et tenant parfois au sol comme en soirée du 6 sur une partie de la Métropole Lilloise. La neige assez précoce revient fin novembre et début décembre souvent sous forme de pluies et neiges mêlées mais pouvant tenir au sol comme du 26 au 28 novembre avec 1 cm à Talmas (80).

→ **Evapotranspiration potentielle**



*ETP 2021 (à gauche) et écart à la normale (à droite) en mm*

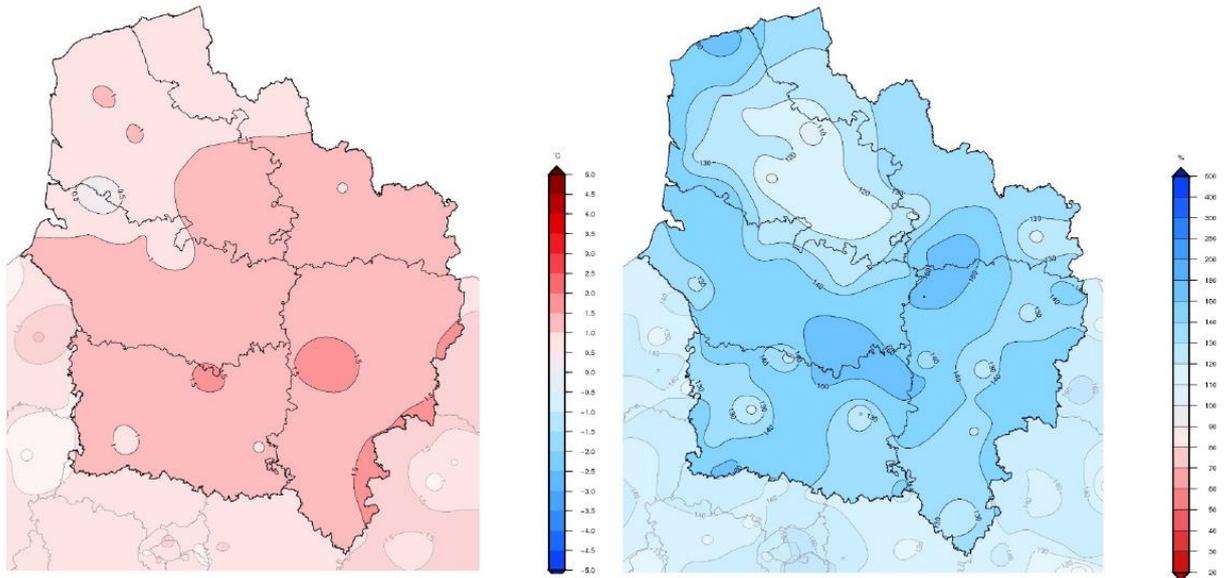


*Ecart à la normale en 2020 (gauche), 2019 (au centre), en 2018 (à droite) en mm*

L'EvapoTranspiration réelle (ETR) annuelle en 2021 est cette fois-ci proche des normales contrairement aux 4 années précédentes toutes déficitaires. Ceci s'explique notamment par des températures proches des normales.

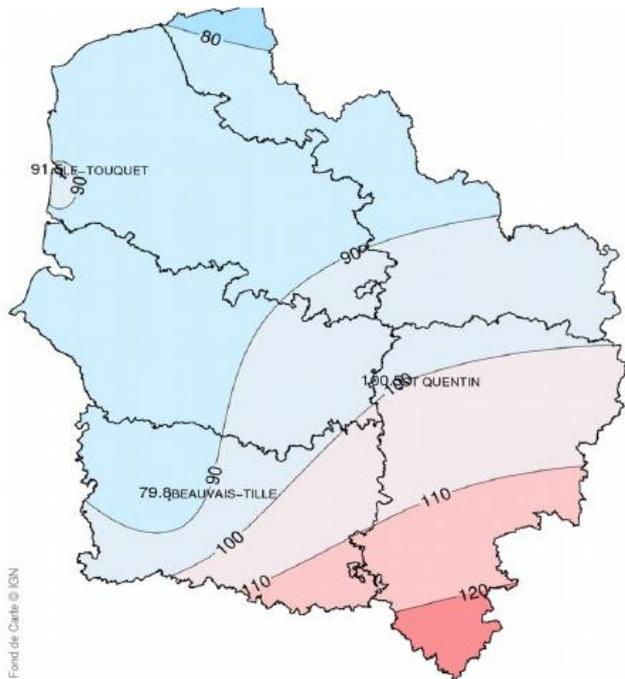
#### 4.1.1.2. Bilan annuel saisonnier à l'échelle des deux régions

→ **Hiver** (Décembre-Février)



Écart à la normale des températures)  
(en °C)

Rapport à la normale des précipitations (en %)



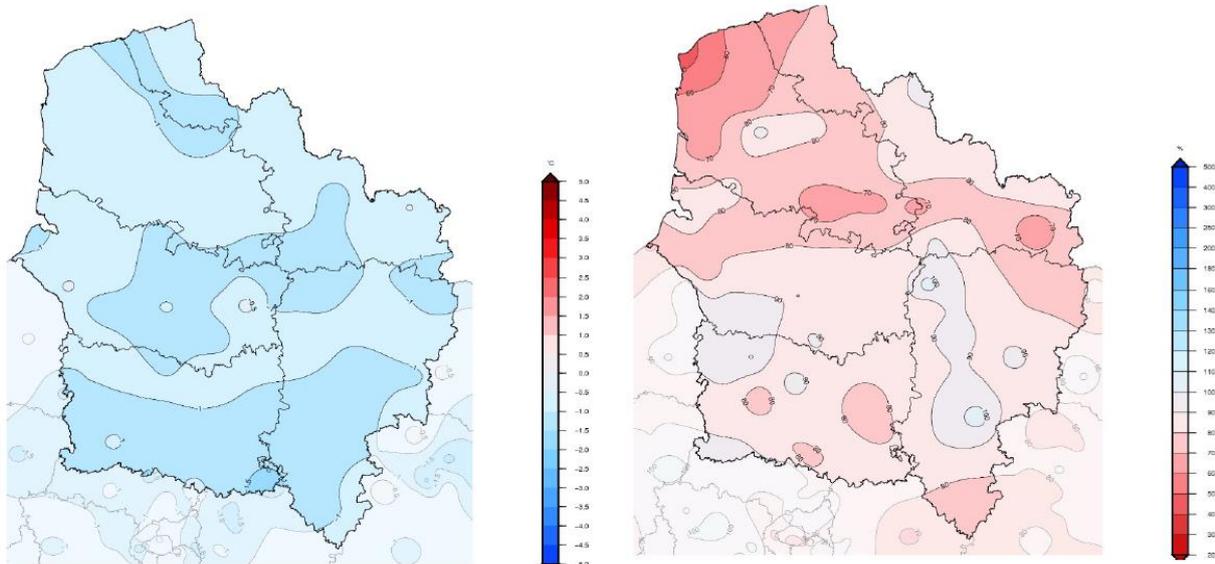
Rapport à la normale de la durée  
d'ensoleillement

L'hiver 2021 a été **très doux** puisqu'avec une température moyenne régionale de 4,9°C, on est à 1,1°C au-dessus des normales.

Les cumuls de précipitations sont sur la région des Hauts-de-France en moyenne bien au-dessus des normales de près de 40 % proches de l'hiver 2020 (+43%) (moins humide néanmoins que l'hiver 1995 avec +77 % et 1994 +60%). L'ensoleillement a été assez proche de la normale de 7 % de déficit au Touquet (62) à 10 % d'excédent à St-Quentin (02).

Comparaison avec l'hiver 2019 / 2020 : l'hiver précédent avait été plus doux, un peu moins ensoleillé et aussi humide.

→ Printemps (Mars-Avril-Mai)

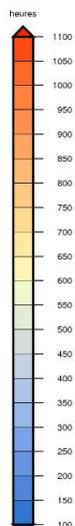
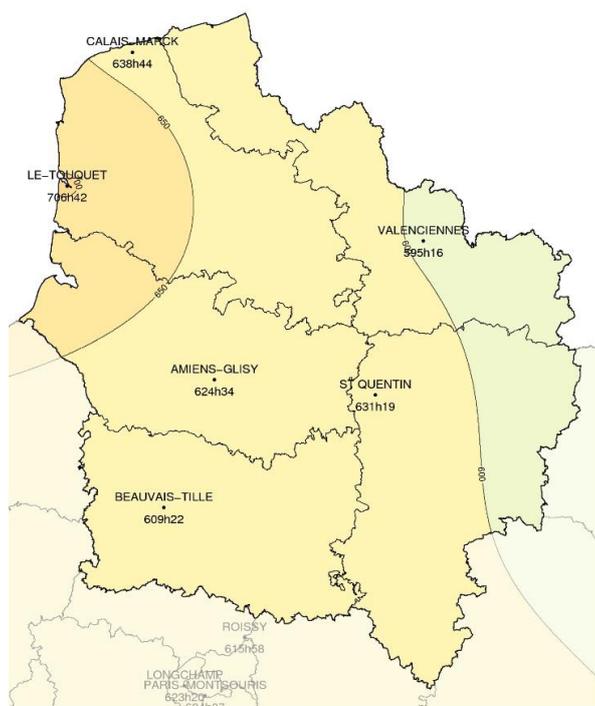


*Écart à la normale des températures (en °C)*      *Rapport à la normale des précipitations (en %)*

Le printemps 2021 a été **plus frais** de près de  $-1,0^{\circ}\text{C}$  en moyenne comme en 2017 avec  $8,8^{\circ}\text{C}$  seulement en température moyenne. Mais, c'est plus que le printemps 2013 ( $7,7^{\circ}\text{C}$ ,  $-2,1^{\circ}\text{C}/\text{Norm.}$ ). Ce printemps a été plus sec de 19 % en moyenne régionale (2020 :  $-33\%$ , 1976 :  $-65\%$  et 2011 :  $-75\%$ ).

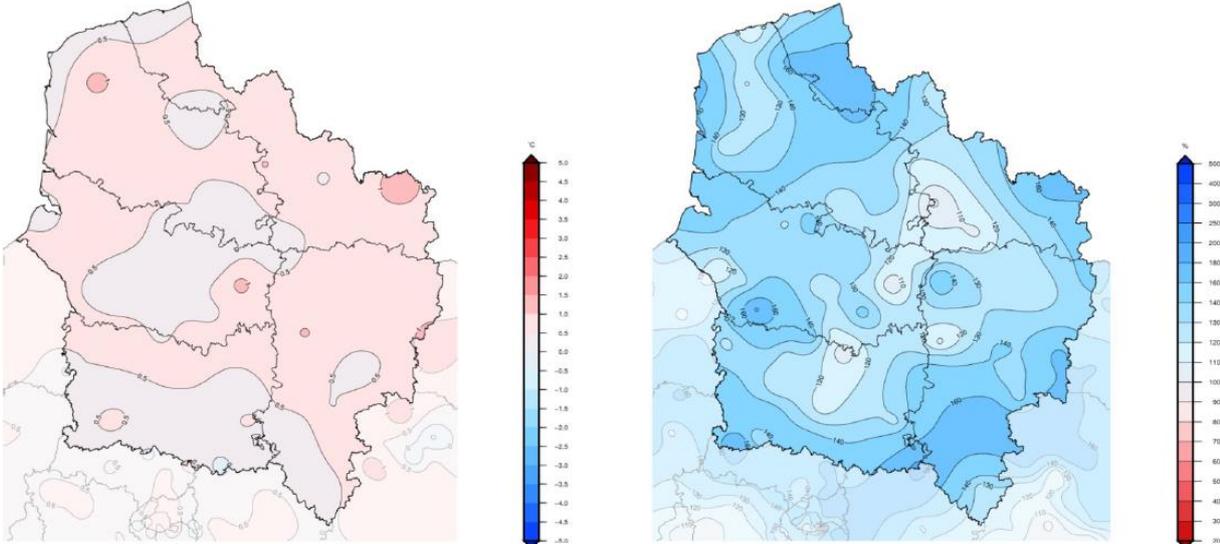
Ce déficit atteint tout de même 62 % au Cap Gris Nez (62) sur la Côte d'Opale avec seulement 55 mm pour cumul saisonnier. Côté ensoleillement, il est bien au-dessus des normales, particulièrement pour la station du Touquet (62). L'ensoleillement du printemps 2021 y est de 706 heures 42 mn (+40 %/Norm.) mais c'est moins que le record de l'année dernière avec le printemps 2020 qui avait atteint jusqu'à 809 heures et 1 minute (+60%/Norm.) pour cette station.

Comparaison avec le printemps 2020 : ce printemps 2021 a été beaucoup plus froid, un peu moins sec et moins ensoleillé également que le printemps précédent.



*Rapport à la normale de la durée d'ensoleillement (en %)*

→ **Été (Juin- Juillet- Août)**



*Écart à la normale des températures (en °C)      Rapport à la normale des précipitations (en %)*

Cet été 2021 n'est pas si frais que ça puisque avec une moyenne régionale à 17,9°C c'est 0,6°C au-dessus de la normale mais ceci intervient après des étés précédents particulièrement chauds et il faut remonter 7 ans en arrière à l'été 2014 pour avoir plus frais avec 17,2°C (-0,1°C/Norm.). Mais si on retient cet été 2021 comme bien maussade, c'est vis-à-vis des maximales qui sont encore plus proches des normales que les températures moyennes avec seulement 22,7°C (soit +0,1°C/Norm.) et même une valeur de 18,4°C (soit -1,3°C /Norm.) au Cap Gris Nez (62). Cet été 2021 est aussi maussade à cause de la fréquence des précipitations avec un excédent moyen de 36% (loin des 52 % d'excédent de l'été 2007) mais avec de nouveaux records locaux :

- à La Selve dans la Champagne Septentrionale (02) avec un cumul mensuel 324 mm (+67 %) contre 286 mm en été 2000,
- à Watten à l'Ouest des Flandres Intérieures (59) avec 311 mm (+68 %) contre 288 mm en été 1980,
- à Maubeuge au Nord de l'Avesnois (59) avec 379 mm (+70 %) contre 362 mm en été 1992,
- à Braine dans le Soissonnais (02) avec 312 mm (+71 %) contre 271 mm en été 1992,
- à Poix-de-Picardie à l'extrême sud-est du Vimeu (80) avec 341 mm (+84%) contre 322 mm en été 1992.



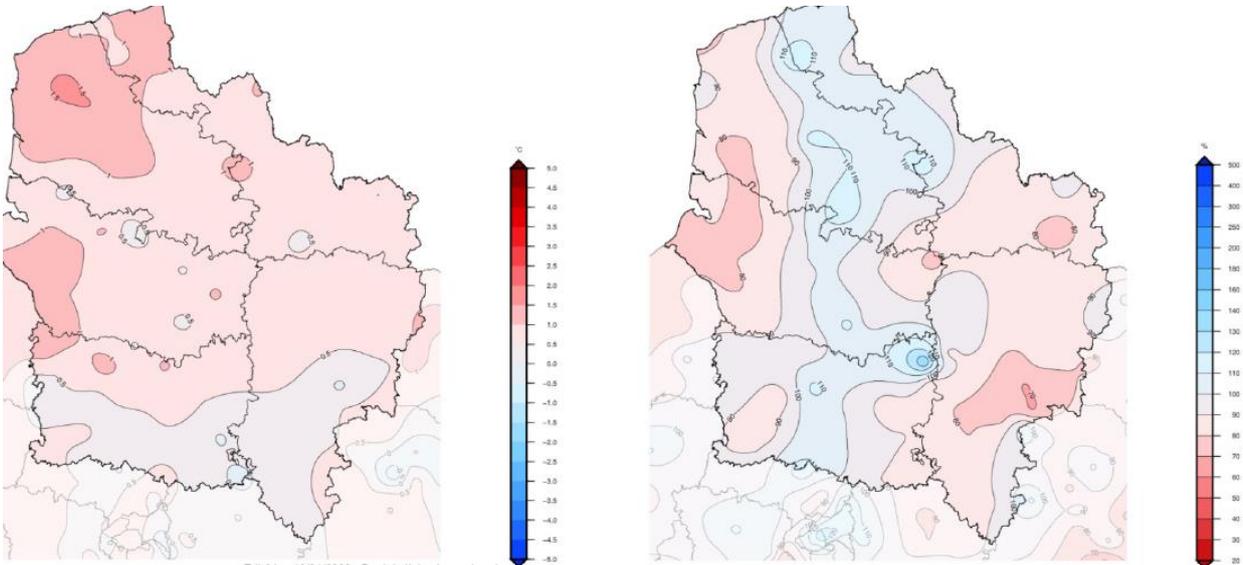
*Rapport à la normale de la durée d'ensoleillement*

L'été 2021 est également maussade évidemment par le manque d'ensoleillement comme à

Beauvais avec 537 heures et 14 minutes de soleil (un peu plus de 100 heures de moins que la normale soit un déficit de 16%). On est tout de même loin pour cette station de l'été 2007 avec seulement 470H56mn (-26 %/Norm.).

Comparaison avec l'été précédent : l'été 2021 a donc été bien plus humide, plus frais et plus gris que l'été 2020.

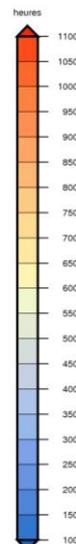
→ **Automne** (Septembre-Octobre-Novembre)



Écart à la normale des températures  
(en °C)

Rapport à la normale des précipitations (en %)

Rapport à la normale de la durée d'ensoleillement (en %)

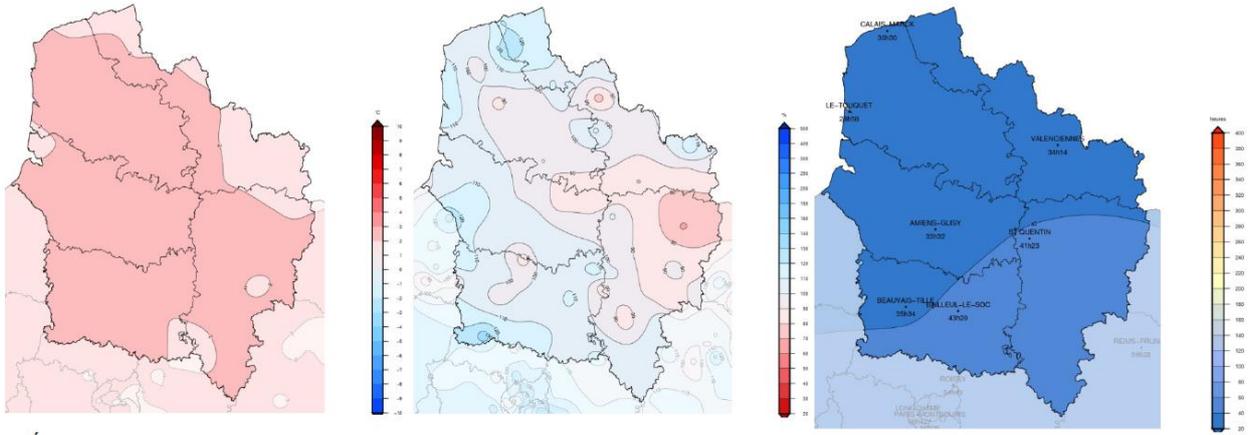


En termes de températures, l'automne 2021 a été plus doux que les normales sur les 3 mois de 0,7°C avec 11,8°C (moins que l'automne 2011 (12,6°C, + 1,5°C) et surtout 2014 (13,1°C, +2,0°C) et 2006 (13,8°C, +2,7°C). Au niveau des précipitations, l'automne 2021 est en petit déficit régional de 8 % allant d'un déficit de 31 % (125 mm) à Beaurieux (02) dans le Tardenois Occidental jusqu'à un excédent de 39 % (255 mm) à Salency (60) dans le Noyonnais. Enfin, le soleil a été très généreux cet automne 2021 notamment à Saint-Quentin (02) avec près de 454 heures (soit +31 %) moins que

l'automne 1997 avec 484 heures (+40%) et 2018 avec 474 heures (+37%) mais en automne 2021, on y comptabilise seulement 25 jours gris contre 26 jours en automne 1997 et 7 jours seulement entièrement gris (8 jours en 2019).

Comparaison avec l'automne précédent : l'automne 2021 a été moins doux, un petit peu plus sec et beaucoup plus ensoleillé que l'automne 2020.

→ **Hiver** (Décembre- janvier)

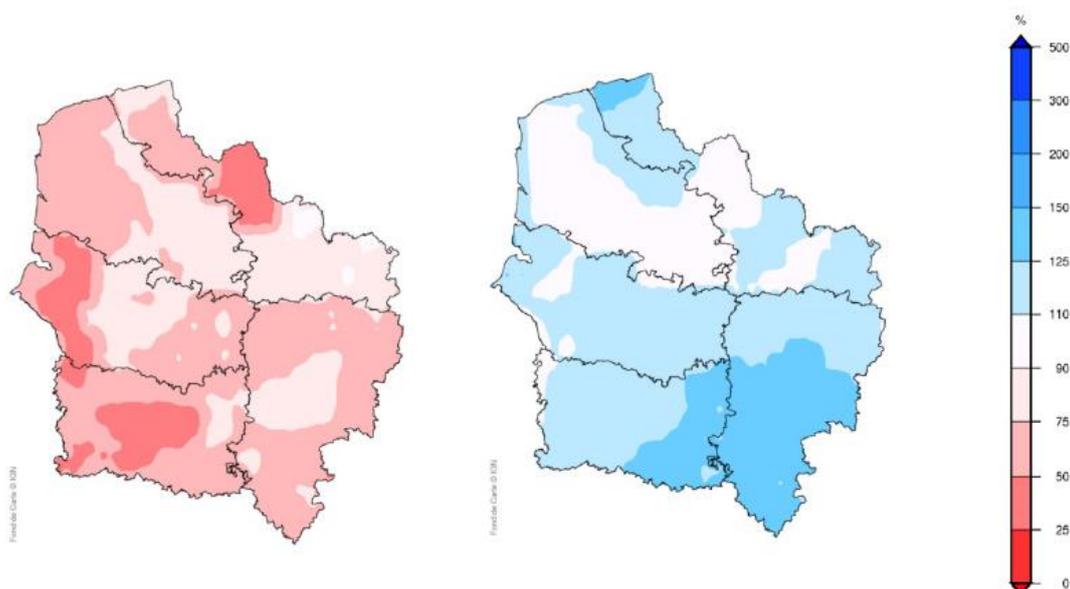


*Écart à la normale des températures (au centre, en °C), rapport à la normale des précipitations (à gauche, en %) et de l'ensoleillement (à droite, en %)*

Décembre 2021 a été plus doux que la normale de 2,2°C en moyenne (contre 1,9°C pour décembre 2020). Le cumul mensuel régional de précipitations est très proche des normales contrairement à décembre 2020 où l'excédent moyen était de 36 %. Par ailleurs, le soleil s'est peu montré et notamment sur la côte comme au Touquet (62) avec seulement 29 heures d'ensoleillement soit 44 % de déficit : c'est un peu mieux tout de même que le mois de décembre le plus gris en 1993 avec 22 heures de soleil.

Comparaison avec décembre 2020 : décembre 2021 a été globalement plus gris, légèrement plus doux et moins pluvieux que celui de 2020.

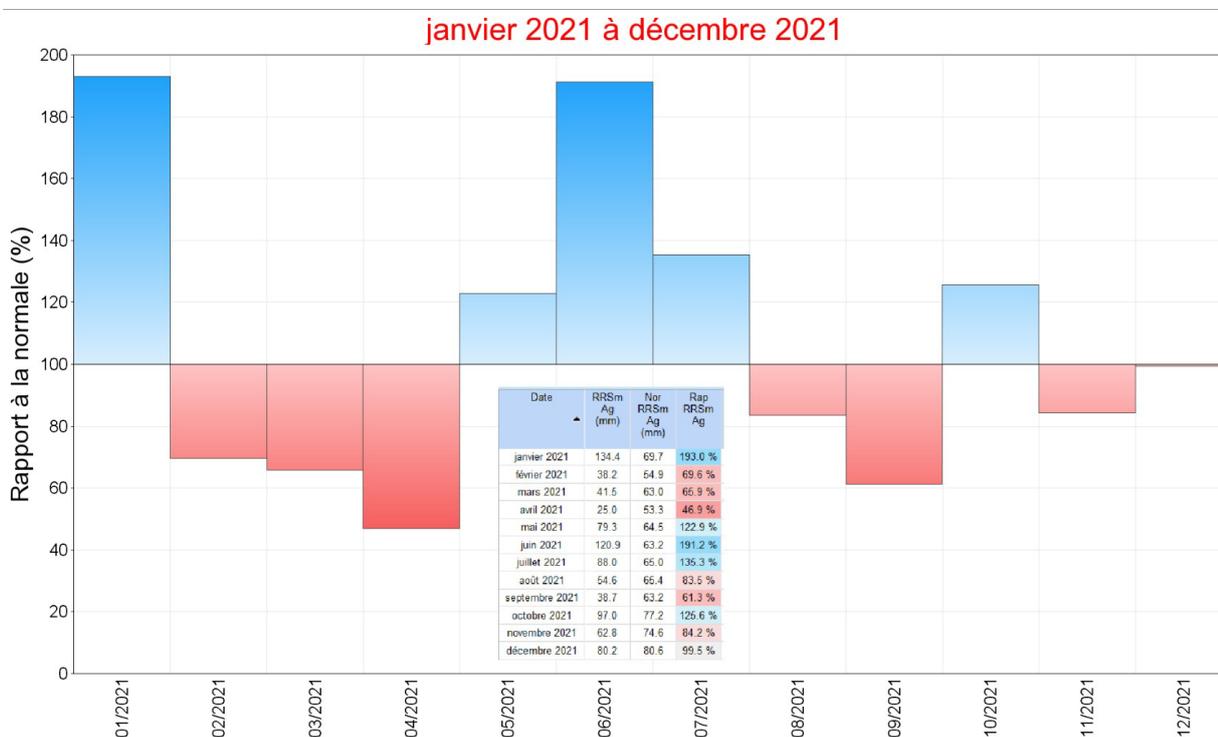
### 4.1.1.3. Autres mois s'écartant fortement des normales



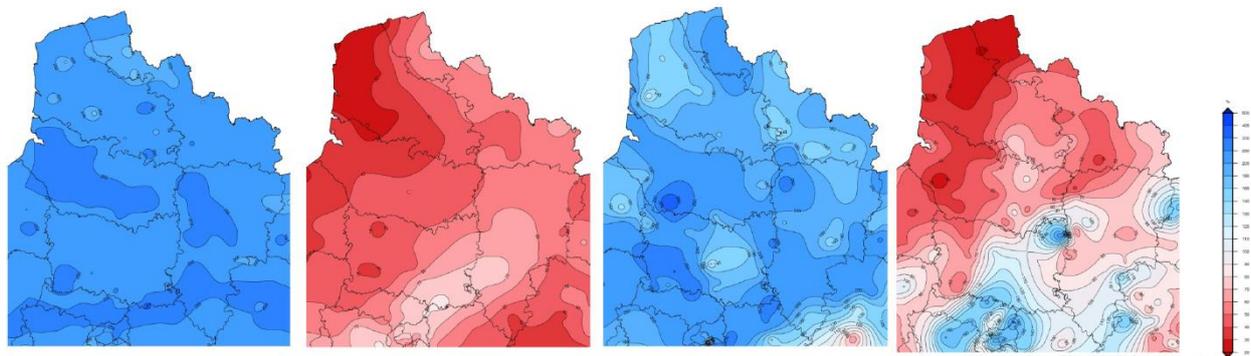
Écart à la normale de l'ETR de gauche à droite : janvier et juillet en %

On voit que l'ETR est faible en janvier à cause d'un manque d'ensoleillement bien qu'il soit très pluvieux. Il est fort en juillet même si l'ensoleillement est proche de la normale et les températures faiblement excédentaires mais les sols sont particulièrement humides.

### Rapport à la normale de référence 1981-2010 des cumuls mensuels de précipitations agrégés Hauts-de-France



Rapport à la normale des cumuls mensuels de précipitations sur les Hauts-de-France de janvier à décembre 2021, en %.



*Rapport à la normale des cumuls de précipitations en janvier, avril, juin et septembre 2021 (en %)*

**Janvier très humide :**

Pour les Hauts-de-France, avec 134 mm de cumul mensuel moyen régional de précipitations, on a un excédent de 93 %, plus que celui de janvier 2018 (+72 %) mais moins que celui de 1988 (+99%) et 1995 +127 %. Néanmoins pour le département du Nord, c'est le deuxième le plus pluvieux avec 134 mm soit plus du double de sa normale (+107 %) mais derrière 1995 (+123%). Les plus forts excédents sont largement plus du double des normales: +170 %, +185% et +191 % qui se situent à Calais-Marck (62) avec 164,9 mm, à Troisvilles (59) avec 186.8 mm et à Abbeville (80) avec 184.2 mm. Pour certaines stations, on bat même des records mensuels de janvier: au Touquet (62) avec 172,1 mm (170,1 mm en janvier 1988), à Douai avec 124,5 mm (114,7 mm en janvier 1995) et donc de janvier 1995 à Calais-Marck (122,1 mm), Troisvilles (160.6 mm) et à Abbeville (144,6 mm).

**Avril très sec :**

Le cumul moyen régional des précipitations est de 25 mm soit 53 % de déficit loin des déficits d'avril 2011 (-68%), avril 2017 (-78%) et surtout avril 2007 (-94%).

**Juin très pluvio-orageux :**

Il est tombé dans ce mois en moyenne régionale 121 mm (+91%), ce qui place juin 2021 en deuxième place des mois de juin les plus arrosés depuis 1959 après les 127 mm (+101%) de juin 1997. C'est également le cas au niveau départemental pour le Nord, l'Oise et la Somme où seul juin 1997 est aussi plus arrosé en moyenne. Plus localement, pour certains postes, plus particulièrement en Picardie, les cumuls mensuels prennent la première place, battant des records. Pour les postes les plus anciens :

de l'Aisne :

- 173,1 mm à Pontru, ancien record depuis 1958 : 149,0 mm en 2012,
- 148,7 mm à Saint-Quentin, ancien record depuis 1945 : 144,2 mm en 2012.

de l'Oise :

- 195,5 mm à Valdampierre, ancien record depuis 1942 : 179,6 mm en 1997,

- 154,4 mm à Lierville, ancien record depuis 1959 : 136,1 mm en 1997.

de la Somme :

- 168,3 mm à Talmas, ancien record depuis 1928 : 155,0 mm en 2007,

- 152,1 mm à Saint-Quentin-en-Tourmont, ancien record depuis 1954 : 138,3 mm en 1971.

du Nord :

- 163,6 mm à Crévecoeur, ancien record depuis 1963 : 139,0 mm en 1969.

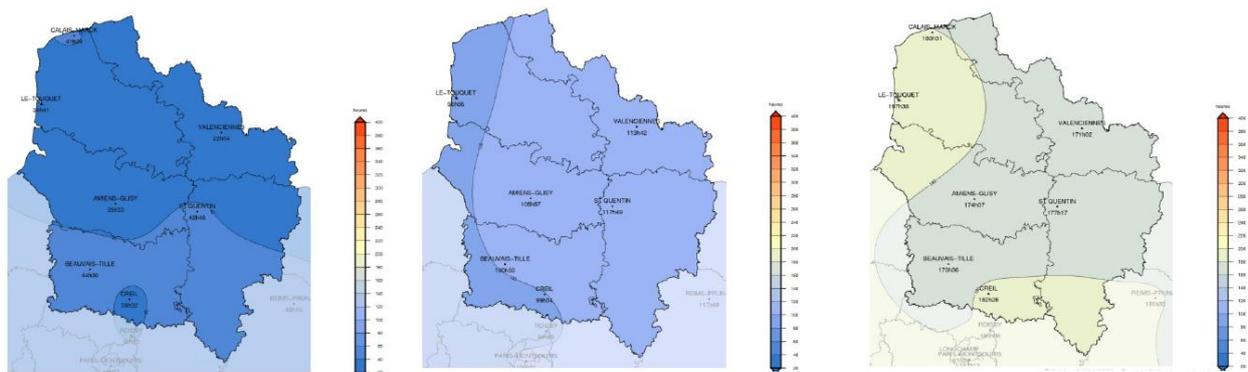
**Juillet** : contrasté mais avec encore de gros cumuls localement Dans le détail, ces cumuls varient avec de forts contrastes liés aux passages perturbés puisqu'ils partent de 37,4 mm à Villers-Carbonnel dans le Santerre (80) soit 37% de déficit à 154,6 mm soit plus du double de la normale (+109%) à Dompierre-sur-Authie au nord du Ponthieu (80). Le plus fort excédent revient à la station de Braine dans le Soissonnais (02) avec +142 % et 151 mm (dont 73,1 mm le 13) pour cumul mensuel battant le record de 141,7 mm de juillet 2012. Ce cumul important est notamment dû au retour d'Est du 13 au 15 par une situation de blocage de la goutte froide centrée à l'Ouest de l'Allemagne et Benelux. On comptabilise 6 jours de cumul quotidien supérieur à 10 mm pour la station du Touquet (62) comme en juillet 1980 et juillet 2007.

### **Septembre : sec**

Le Pas-de-Calais détient le déficit mensuel le plus élevé à 63% (loin de celui de septembre 1959 avec près de -93%). Contrairement aux mois précédents, les cumuls mensuels des précipitations sont en fort déficit en général mais encore contrastés puisqu'ils vont de 11,8 mm (soit un déficit de 83%) à Oisemont (80) dans le Vimeu et de 13,2 mm (soit un déficit de 82%) pour la station de Watten (59) dans les Flandres Intérieures (avec 1 seul jour de pluie, cumul quotidien significatif à partir de 1 mm le 28 septembre avec 10,0 mm, soit près de 10 jours de moins qu'un mois de septembre habituel) à 68,2 mm (soit un excédent de 18%) pour Plessis-Belleville (60) dans le Valois Multien. L'excédent le plus élevé de 22% se retrouve aussi dans l'Oise à Breuil-le-Vert (60), station située un peu plus au nord-ouest avec 60.6 mm pour cumul mensuel.

### **Octobre : humide surtout vers le Douaisis (59)**

Les cumuls mensuels des précipitations sont excédentaires en général et assez contrastés puisqu'ils s'échelonnent sur le bassin de 75,4 mm (soit un excédent de 6%) à Lillers (62) au Pays d'Aire à 152,4 mm (soit un excédent de 61%) à Boulogne-sur-Mer (62). L'excédent le plus élevé se retrouve à la station de Douai (59) avec plus du double de sa normale (135,1 mm soit +108%/Norm. précisément) mais il existe quelques déficits mensuels locaux comme au sud du Haut-Artois à Humières (62) avec -18% et 84,8 mm comme cumul mensuel. On totalise jusqu'à 7 jours de cumul quotidien  $\geq 10$  mm (ancien record à 5 jours d'octobre 2012) à Douai (59) et 8 jours (comme en octobre 2020 mais en dessous des 9 jours d'octobre 2012 et des 10 jours d'octobre 2000) à Boulogne-sur-Mer (62), soit pour ces 2 stations, 5 jours de plus que leur normale d'octobre. Pour certaines stations, **le cumul mensuel de février 2020 bat des records**, notamment à Abbeville (80), les 139,4 mm se plaçant devant l'ancien record de 136,4 mm de février 2002 (record depuis 1922) mais aussi 97,7 mm (91,9 mm en 2002) à Douai (59), 130,2 mm (117 mm en 2007) à Aulnois-sous-Laon (02) soit +157 %/normale, 148,9 mm (137,9 mm en 2002) à St-Arnoult (60) soit +128 %/normale, 161,5 mm (151,1 mm en février 1995) à Dompierre-sur-Authie (80) et 195,7 mm (188,2 mm en 2002) à Fiefs (62) soit +161 %/normale.



### *Report à la normale de la durée d'ensoleillement en en janvier, février et mars 2021 (en heure)*

#### **Janvier** : très gris

Il a fait très gris durant ce mois notamment au Touquet (62) avec seulement 34 heures et 41 minutes (-46%/Norm.) de soleil et 25 jours gris battant les records de janvier 1994 (41H01mn et 23 jours gris) mais le soleil a été encore moins généreux à Valenciennes (22H04mn et 27 jours gris). Il a fait à peine moins gris dans les autres stations avec 44H30mn (-32%/Norm.) à Beauvais (60) et avec 42H48mn (-37%/Norm.) à St-Quentin (02) et 14 jours entièrement gris pour cette dernière station comme pour Amiens-Glisy (80). Aucun jour bien ensoleillé n'a été observé à Valenciennes (59) comme pour Beauvais (60), Creil (60) et Calais-Marck (62). On relève tout de même 2 jours ensoleillés pour le Touquet (62) comme pour Amiens (le 10 où cette partie ouest régionale a été épargnée par le brouillard souvent givrant et persistant puis le 25).

#### **Février**: bien ensoleillé surtout vers l'Est

Ce mois est donc plus ensoleillé que la normale: de 96 heures et 6 minutes (+24 %/Norm.) de soleil au Touquet (62) à 117H49mn (+57%/Norm.) à Saint-Quentin (02). Cette dernière valeur est cependant en dessous des 142H02mn de février 2018 et des 155H32mn de février 2019. Toujours pour la station de Saint-Quentin (02), on recense 6 jours très ensoleillés soit près de 3 jours de plus que la normale (mais on est loin des 12 jours de février 2019) et 11 jours gris soit un peu plus de 5 jours de moins que la normale.

#### **Mars** bien ensoleillé surtout vers l'Ouest :

Ce mois de mars 2021 est bien ensoleillé dans l'ensemble et on observe même un record d'ensoleillement au Touquet (62) avec 197 heures et 28 minutes (+56 %/Norm.) battant mars 2011 avec 186H19mn.

#### **Les autres mois** bien ensoleillés :

Avril a été lumineux dans l'ensemble. L'ensoleillement mensuel part de 227H32mn à Valenciennes (59) à 260H (+45%/Norm.) au Touquet (62) en passant par 242H43mn (+41%) à Beauvais (60) et par 248H32mn (+42%) à Saint-Quentin (02). Pour ces 2 dernières stations, on est loin des records exceptionnels d'avril 2007 respectivement de 310H44mn et 307H07mn et pour le Touquet assez loin de l'an dernier d'avril 2020 avec 296H32mn, où on avait relevé 19 jours de ciel clair ou peu nuageux alors qu'avril 2021 n'en recueille que 10 jours pour cette station mais c'est près de 5 jours de plus que la normale. On relève pour ce même paramètre, 11 jours (+6.4 jours/Norm.) à Beauvais (60) et même 12 jours à Creil. Au Touquet, on n'a relevé que 2 jours gris (-6.9 jours/Norm.): les 3 et 10 avril contre un seul en avril 2020. Septembre a bien été ensoleillé. L'ensoleillement mensuel va de 193 heures et 35 mn (+22%/Norm., loin de l'excédent

de 51 % de septembre 2003 avec 238H59mn de soleil) au Touquet (62) sur la côte à 222H01mn (+37%/Norm., loin de l'excédent 56 % de septembre 1997 avec 252H14mn) à Saint-Quentin (02) bien à l'intérieur des terres. Le mois d'octobre a été bien ensoleillé également dans l'ensemble jusqu'à près de 156 heures soit 35 % d'excédent à Saint-Quentin (02).

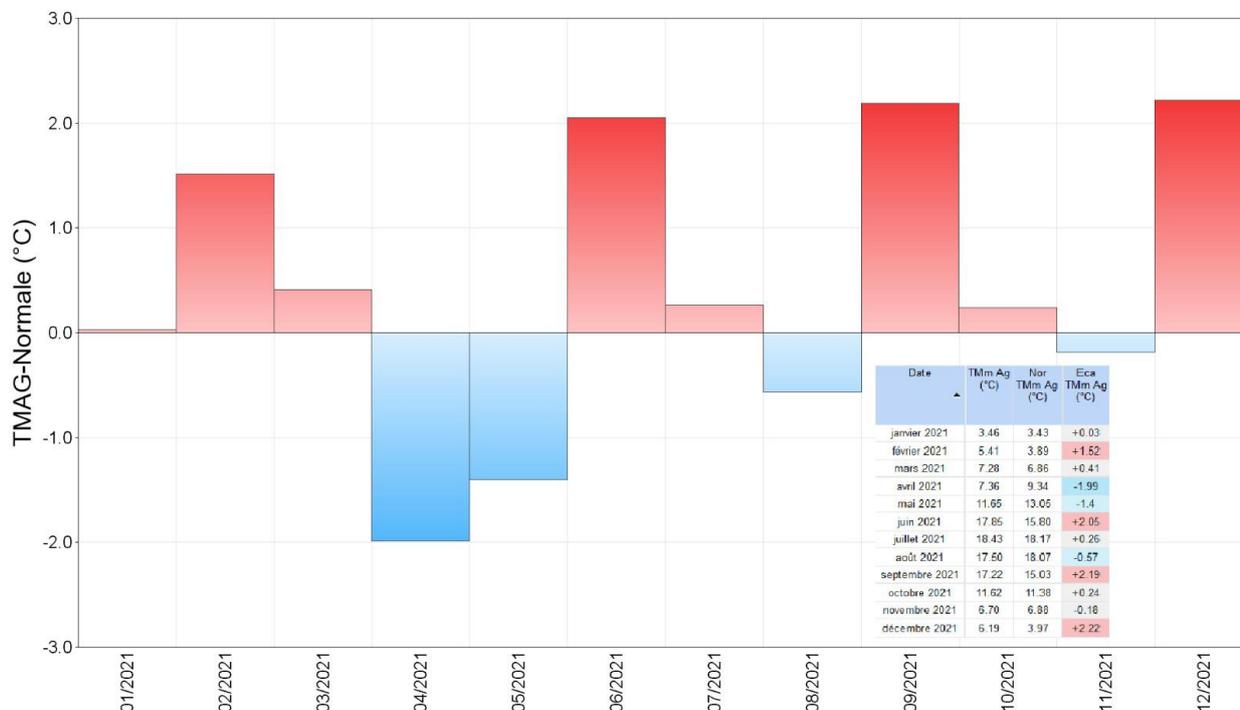
Les autres mois gris :

Août a un déficit mensuel d'ensoleillement proche des 20 %.

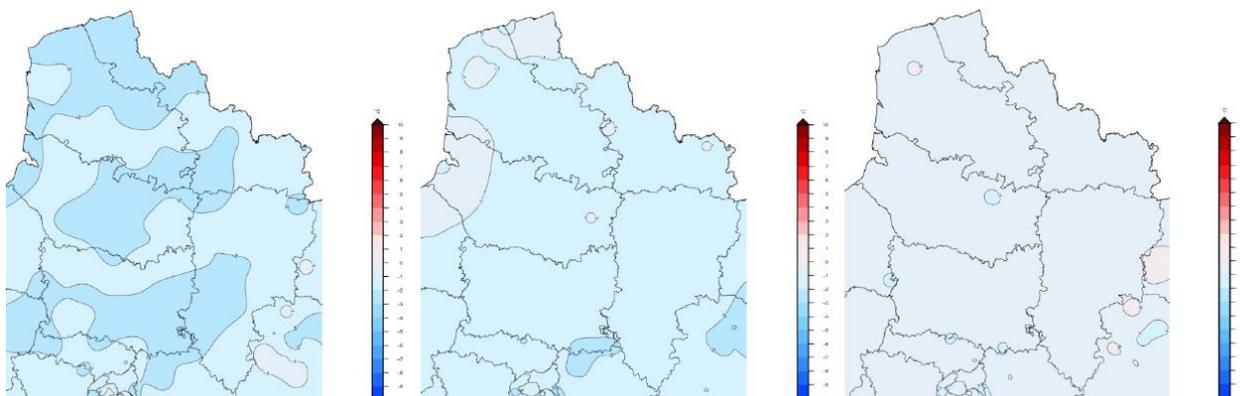
## Ecart à la moyenne mensuelle de référence 1981-2010 de la température moyenne agrégée

### Zone climatique : Hauts-de-France

janvier 2021 à décembre 2021



Ecart à la normale de l'indicateur de température mensuelle sur la région de janvier à décembre en °C



Écart à la normale des températures moyenne d'avril, mai et août 2021 (en °C)

**Avril** froid particulièrement les minimales :

La température moyenne régionale mensuelle est de 7.36°C. Cela faisait longtemps qu'on n'avait pas connu de mois d'avril aussi froid depuis 1989 avec 7,40°C mais avril 2021 est cependant loin d'avril 1986 avec 6,47°C. Par contre, la température minimale moyenne mensuelle établit un nouveau record froid avec 1,84°C (-2,71°C/Norm.) soit plus froid qu'avril 1956 avec 1,96°C (-

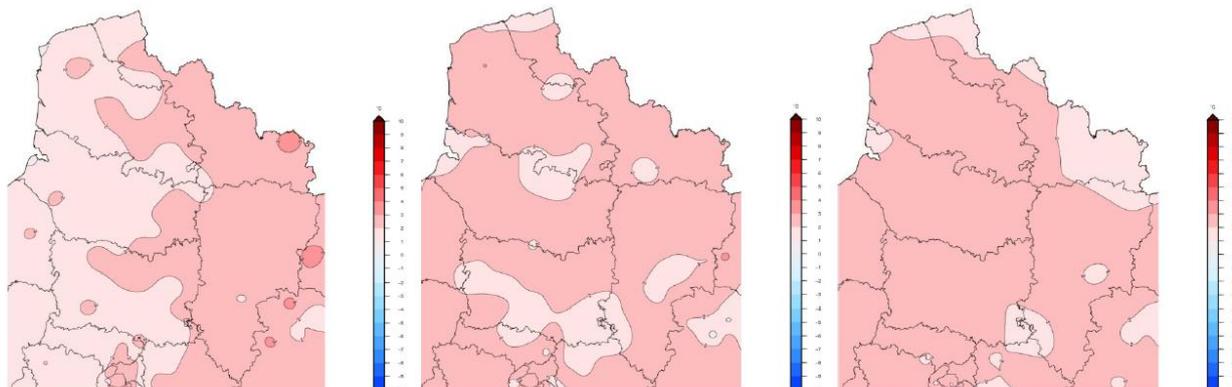
2,59°C/Norm.). Tous les départements sont dans cette situation pour ce paramètre, sauf le Pas-de-Calais où avril 1956 arrive légèrement en tête, et particulièrement le département de l'Oise avec 1,45°C (-3,01°C/Norm.) contre 1,79°C en avril 1956 (-2,67°C/Norm.). Les gelées perdurent de nombreux jours encore tout au long du mois. Les températures moyennes mensuelles sont froides et donc particulièrement les minimale mensuelles sur le sud du bassin avec notamment une moyenne négative à Rouvroy-Les- Merles (60) à -0,1°C contre 0,9°C pour l'ancien record d'avril 1997. Il a gelé en effet plus d'un matin sur 2 au cours du mois sur cette dernière station et le nombre mensuel de jours de gel en effet y atteint 18 jours battant les 16 jours d'avril 1997.

### **Mai froid:**

Le Pas-de-Calais est le département qui reste le plus proche des normales avec un écart moyen aussi bien pour les minimales que pour les maximales de -1,1°C par rapport aux normales. En ce qui concerne les minimales, ce sont l'Oise et l'Aisne qui s'écartent le plus avec un écart moyen de -1,6° tandis que pour les maximales il n'y a que l'Aisne qui se démarque vraiment avec un écart moyen de -1,9°C.

### **Août bien frais :**

Ce mois d'août 2021 est dans l'ensemble plus frais que la normale avec une température moyenne mensuelle régionale de 17,5°C soit un déficit proche de 0.6°C. Il faut remonter à 7 ans en août 2014 pour avoir un mois d'août encore plus frais avec 16.6° C soit 1.5°C en dessous de la normale. Les maximales ont été encore plus fraîches à cause d'un ciel souvent gris comme on l'a déjà remarqué.



*Écart à la normale des températures moyenne de juin, septembre et décembre 2021 (en °C)*

**Février** 2021 a été doux mais bien moins que février 2020.

**Juin, septembre et décembre** ont été chauds ou doux avec des excédents un peu supérieurs à 2°C.

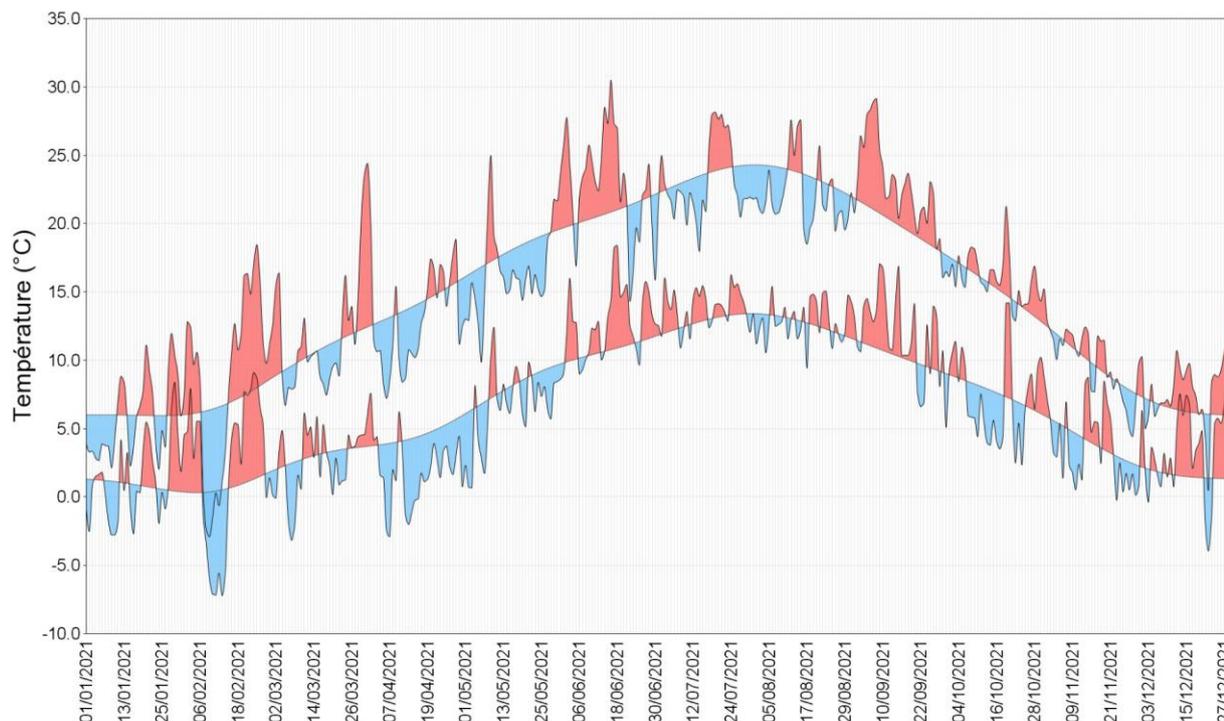
Pour le mois de septembre, les maximales mensuelles sont à près de 3°C d'excédent.

#### 4.1.1.4. Evénements marquants

### Indicateurs quotidiens des températures minimales et maximales

Zone climatique : Hauts-de-France

1er janvier 2021 au 31 décembre 2021



**Janvier** : proche des normales mais avec quelques variations thermiques Côté froid, on atteint localement assez fréquemment le fort gel comme durant 5 jours à Doullens (80) : le 1 (-5,2°C), le 2 et le 8 (-6,0°C), le 10 (-6,4°C) et le 26 (-5,5°C) ainsi que pour d'autres stations : le 2 (-6,3°C à Beauvais (60)), le 9 (-5,4°C à Rouvroy-les-Merles (60)), le 10 (-5,2°C à Songeons (60) et -5,8°C à St-Quentin-en-Tourmont (80)) puis le 16 (-5,6°C à Beauvais). D'ailleurs, ces deux dernières journées ont été localement des journées sans dégel lorsque les brouillards givrants persistent avec des maximales de 0,0°C à Valenciennes (59), -0,1°C à Cambrai-Epinoy (62) et -0,3°C à Aumont (80) le 9 puis de 0,0°C à St-Quentin (02) et -0,7°C à Margny-les-Compiègne (60) le 10. Côté doux, la journée du 28 a par contre été très douce avec 13,0°C en maximale à Meaulte (80) et la matinée suivante du 29 avec une minimale de 9,0°C pour Amiens (80) et au Touquet (62). Mais, c'est Breuil-le-Vert (60) qui détient les maxima pour ces 2 paramètres: 13,8°C et 9,3°C.

**Février** : la période la plus froide de l'année du 7 au 14

Les températures minimales chutent le 10 (-9,7°C à St-Hilaire-sur-Helpe (59) et -9,1°C à Hirson (02)), le 11 (-9,3°C à Doullens (80), -8,6°C à Roubaix (59), -7,0°C au Touquet (62)) ou le 13 (-8,8°C à Amiens (80), -8,5°C à Rouvroy-les-Merles (60), -6,5°C au Cap gris-Nez (62) et Boulogne-sur-Mer (62), -6,4°C à Dunkerque (59)). Le nombre mensuel de fort gel jusqu'à 7 jours à Fiefs (62) est partout au-dessus des normales comme à Lesquin (59) avec 6 jours (+3,8 jours/Normale). C'est encore plus net pour les jours sans dégel jusqu'à 7 jours à Bainghen (62) et avec 6 jours (+4,3 jours/Norm.) à Lesquin (59) et Cambrai- Epinoy (62). Les maximales sont aussi très froides le 8: -4,0°C à Fiefs (62), -3,7°C à Lesquin (59) et Roubaix (59), -2,7°C à St-Quentin (02) et sur la côte : -2,7°C à Boulogne-sur-Mer (62) et -1,8°C à Dunkerque (59) et le 9: -4,4°C à St-Hilaire-sur-Helpe (59) et Saulty (62), -4,2°C à Bernaville (80), -4,0°C à St-Arnoult (60), -3,6°C à Amiens (80) -3,5°C à Fontaine-les-Vervins (02), - 2,6°C à Cayeux-sur-Mer (80), -2,1°C à Boulogne-sur-Mer (62) et -1,8°C au Cap Gris-Nez (62). On égalise le record froid mensuel du

07/02/2012 pour la station de Rouvroy-en-Santerre (80) avec une température maximale de  $-3.3^{\circ}\text{C}$  le 08/02/2021. Puis la douceur s'installe en fin de mois Cette douceur atteint son summum le 23 avec des records en température minimale au sud de l'Aisne à Braine avec  $12.5^{\circ}\text{C}$  ( $12.3^{\circ}\text{C}$  le 19/02/1989) et à Blesmes avec  $11.2^{\circ}\text{C}$  ( $10.2^{\circ}\text{C}$  le 01/02/2020) puis le 24 avec une minimale de  $12.3^{\circ}\text{C}$  ( $11.2^{\circ}\text{C}$  le 04/02/2004) à Boulogne-sur-Mer (62) et surtout plus généralisée pour les maximales. En effet, on égalise le 24 les records du 20/02/1990 de  $17,4^{\circ}\text{C}$  à Saulzy (62), du 26/02/2019 de  $19^{\circ}\text{C}$  à Lille-Lesquin (59) et de  $19,5^{\circ}\text{C}$  à Douai (59), du 27/02/2019 de  $18^{\circ}\text{C}$  à Rouvroy-en-Santerre (80) et on bat même les valeurs des records mensuels du 26/02/2019 ( $18,5^{\circ}\text{C}$ ) au Touquet (62) avec  $19,3^{\circ}\text{C}$ , du 04/02/2004 ( $18.6^{\circ}\text{C}$  et  $19,9^{\circ}\text{C}$ ) à Calais-Marck (62) et à Watten (59) avec respectivement  $19.6^{\circ}\text{C}$  et  $20,0^{\circ}\text{C}$  et même celle très ancienne du 28/02/1959 ( $19.0^{\circ}\text{C}$ ) à Dunkerque (59) avec  $19.1^{\circ}\text{C}$ .

**Mars** : gel fort en début de mois puis douceur exceptionnelle en fin de mois Les gelées sont assez marquées du 6 au 8 mars et notamment le 7 avec du fort gel:  $-5,6^{\circ}\text{C}$  à Watten (59) et  $-5,4^{\circ}\text{C}$  à Doullens (80). Par contre, on bat des records de douceur en fin de mois pour les maximales et particulièrement le dernier jour le 31 (records déjà battus la veille le 30 pour de nombreuses stations). Le seuil de jour de chaleur (température maximale égale à  $25^{\circ}\text{C}$ ) est même dépassé ce qui est inédit pour un mois de mars:  $26,5^{\circ}\text{C}$  à Beaurieux (02),  $25,9^{\circ}\text{C}$  à Watten (59),  $25,8^{\circ}\text{C}$  à Fresnoy-la-Rivière (60),  $25,1^{\circ}\text{C}$  à Fiefs (62)  $25,2^{\circ}\text{C}$  à Abbeville (80). Toutes les stations du bassin ont donc connu ce 31/03/2021 l'après-midi le plus chaud de mars sauf Boulogne-sur-Mer (62) où c'est le 30/03/2017 avec  $22,7^{\circ}\text{C}$  contre  $22,5^{\circ}\text{C}$  le 30/03/2021. Les amplitudes thermiques sont également très fortes. Par exemple à Beauvais-Tillé (60), avec des températures s'échelonnant de  $1,6^{\circ}\text{C}$  à  $23,3^{\circ}\text{C}$  le 30 et de  $2,6^{\circ}\text{C}$  à  $24,8^{\circ}\text{C}$  le 31, les 2 jours se placent en 3ème et 2ème place des amplitudes thermiques les plus élevées pour un mois de mars depuis 1945, avec respectivement  $21,7^{\circ}\text{C}$  et  $22,2^{\circ}\text{C}$ , après les  $22,6^{\circ}\text{C}$  d'amplitude du 25 mars 1953 (température allant de  $-0,6^{\circ}\text{C}$  à  $22,0^{\circ}\text{C}$ ), la normale de l'amplitude en mars étant de  $8,1^{\circ}\text{C}$ . de  $0,2^{\circ}\text{C}$  à Licques (62) et l'après-midi du 13 octobre, on atteint tout au plus  $8,9^{\circ}\text{C}$  à Fontaine-les-Vervins en Thiérache (02).

**Avril** : gelées exceptionnelles en Picardie les 6 et 7 Après cet après-midi record de mars du 31/03/2021 (température maximale moyenne régionale à  $24,4^{\circ}\text{C}$ ), un air froid provoque une semaine plus tard le 6 avril, une température minimale moyenne régionale de  $-2,5^{\circ}\text{C}$  suivie du 7 avec  $-2.9^{\circ}\text{C}$  qui sont cependant moins froides que celles des matins du 08/04/2003 et du 12/04/1986 avec  $-3,9^{\circ}\text{C}$ . On bat par contre un record départemental de froid dans l'Oise avec  $-4,7^{\circ}\text{C}$  le 6, suivi de  $-4,5^{\circ}\text{C}$  le 7 (c'est plus froid que les  $-4,3^{\circ}\text{C}$  du 07/04/1956 ou les  $-3,9^{\circ}\text{C}$  aussi pour ce département du 08/04/2003 et du 12/04/1986). Dans le détail, il fait plus froid qu'avril 2003, le 6 avec  $-4.1^{\circ}\text{C}$  ( $-3.4^{\circ}\text{C}$  le 10/04/2003) à Fontaine-les-Vervins en Thiérache (02) et  $-6.0^{\circ}\text{C}$  ( $-4.3^{\circ}\text{C}$  le 08/04/2003) à Jaméricourt dans le Thelle (60) puis le 7 avec  $-4,7^{\circ}\text{C}$  ( $-3.4^{\circ}\text{C}$  le 11/04/2003) à Méaulte (80),  $-4.8^{\circ}\text{C}$  ( $-4.4^{\circ}\text{C}$  le 08/04/2003) à Margny-les-Compiègne (60) et qu'avril 1990 avec  $-6,6^{\circ}\text{C}$  ( $-5.4^{\circ}\text{C}$  le 10/04/1990) à Rouvroy-les-Merles (60). Le 6, on égalise le record de  $-5.3^{\circ}\text{C}$  du 04/04/1973 à Creil et on atteint même,  $-6.9^{\circ}\text{C}$  à Beauvais surpassant l'ancien record de  $-5.4^{\circ}\text{C}$  du 20/04/2017. Ces fortes gelées provoquent des dégâts sur la végétation déjà très avancée.

**Mai** : encore du gel tardif

Les premiers jours du mois de mai sont encore bien plus froids que la normale avec parfois des gelées records comme le 1 à Calais-Marck (62) avec  $-0,5^{\circ}\text{C}$  ( $-0.4^{\circ}\text{C}$  le 05/05/1996), le 3 à Epehy dans le Santerre (80) avec  $-2,0^{\circ}\text{C}$  ( $-1.4^{\circ}\text{C}$  le 06/05/2019) et surtout à Rouvroy-les-Merles (60) avec  $-3,2^{\circ}\text{C}$  ( $-2.0^{\circ}\text{C}$  le 07/05/1997) sachant que la veille, le 2, ce record avait été déjà battu pour cette station avec  $-2,5^{\circ}\text{C}$ , valeur également atteinte ce même jour par Doullens (80). À Beauvais-Tillé (60), les 3 jours de gel du mois de mai (du 1er au 3) inscrivent 2021 dans le club de tête de 3 jours de gelée en mai avec 1955, 1957, 1960, 1962 et 2016. De plus, on égale le record de température la plus basse de mai depuis 1945 avec  $-2,4^{\circ}\text{C}$  le 3, comme le 6 mai 2016. On y totalise aussi 8h18 de gel, la plus longue durée de gel depuis 1985 détrônant de peu les 8h13 de mai 2016. De petites gelées se produisent encore localement avec jusqu'à 4 jours de gel dans le mois à Doullens (80) et Licques (62). Les après-midis ont été également froides notamment le 6

avec seulement une maximale à 8,0°C à Blesmes (02), 8,2°C à St-Arnoult (60) 8,7°C à Rouvroy-Les-Merles (60) , 8,8°C à St-Quentin (02), 8,9°C à Rouvroy-en-Santerre (80), 9,5°C à Saully (62), 9,6°C à St-Hilaire-sur-Helpe (59). Seules 2 journées sont vraiment plus chaudes que la normale: les 9 et 10 avec une maximale sur la région de 27,6°C le 9 à Godenvillers (60).

**Juin** : le 16 l'après-midi le plus chaud de l'année 2021

Les températures maximales atteignent en effet le 16, 32,4°C à Beaurieux (02) et 32,5°C à Godenvillers (60) puis la matinée du 17, les minimales vont jusqu'à 21,7°C à Maubeuge (59). L'après-midi du 22 est par contre très fraîche avec une température maximale de 12,6°C à Saully (62).

**Juillet** : l'après-midi du 14 bien frais

Les maximales sont très fraîches le 14 avec seulement 15,7°C au meilleur moment de la journée à St-Hilaire-sur-Helpe dans l'Avesnois (59). Elles sont nettement plus chaudes du 18 au 23 jusqu'à 30,7°C à Jaméricourt (60) le 19. Mais, on ne relève qu'un seul jour de chaleur à Dunkerque avec 25,5°C le 21 (aucun jour en juillet 2013).

**Août** : l'après-midi du 17 bien frais

Au pas de temps quotidien, les maximales ont été particulièrement fraîches le 17 avec seulement 16,3°C à Fiefs (62) alors que quelques jours auparavant, elles ont été nettement plus chaudes dans le Sud de l'Aisne et le Sud-Est de l'Oise le 12 avec 31,5°C à Beaurieux (02) et 30,9°C à Fresnoy-la-Rivière (60) puis le 15 avec 31,1°C à Parcy-et-Tigny (02) et 30,5°C à Plessis-Belleville (60).

**Septembre** : Records locaux en température minimale le 9 et le 15

La température moyenne minimale régionale du 9 est de 17,0°C: c'est moins que les 18,4°C du 13/09/2016 et 17,8°C du 03/09/2006. Pour l'Oise, on a une température moyenne minimale départementale le 9 de 17,7°C, quatrième valeur en dessous des 18,0°C du 13/09/2016, 18,6°C du 03/09/2006 et 18,7°C du 14/09/2016. Pour l'Aisne, elle est de 17,5°C également le 9 mais aussi le 15, quatrième valeur également derrière les 17,6°C du 14/09/2016, 17,8°C du 13/09/2016 et 17,9°C du 03/09/2006. Pour ces 2 derniers départements, on atteint localement sur certaines stations de nouveaux records mensuels le 9 avec 19.3°C à Margny-les-Compiègne (60) dans le Noyonnais battant les 19.2°C du 13/09/2016 puis le 15 avec 18.1°C (17.9°C le 03/09/2006) à La Selve (02) en Champagne Septentrionale. Les maximales quotidiennes sont également chaudes (le 6 : 30,1°C à Attin (62), le 8 : 30,0°C à Douai (59), 30,5°C à Saint-Quentin-en-Tourmont (80) et à Arras (62) et 30,7°C à Braine (02)). On décompte 4 jours à Beaurieux (02) où la température maximale quotidienne  $\geq 30^\circ\text{C}$ : le 3 (30.0°C), le 6 (30.3°C) puis le 7 et le 8 avec 30.7°C. Ceci est tout de même bien loin du pic de chaleur de l'année dernière du 14 au 16/09/2020 avec respectivement pour ces 3 jours 34.5°C, 35.9°C et 34.0°C pour cette même station. Par contre, le temps en fin de mois est beaucoup plus automnal avec une atmosphère bien fraîche et des maximales de seulement 14,7°C le 29 puis le 30 pour respectivement Niellesles-Bléquin (62) et Saully (62) et des minimales presque froides le 30 (2,5°C à Doullens (80) et 2.1°C à La Selve (02)).

**Octobre**: très doux en fin de deuxième décennie puis très frais au début de la troisième Les maximales durant la journée du 19 sont d'une grande douceur jusqu'à 23,4°C à St-Quentin-en-Tourmont (80) et 23,6°C à Beaurieux (02) puis les minimales sont très douces le lendemain, le 20 avant la tempête Aurore, comme les 15,5°C au Cap Gris Nez (62) puis celles-ci chutent et provoquent les premières gelées relevées sous abri le 22 avec -0,9°C à Martigny-Courpière (02) et le 24.

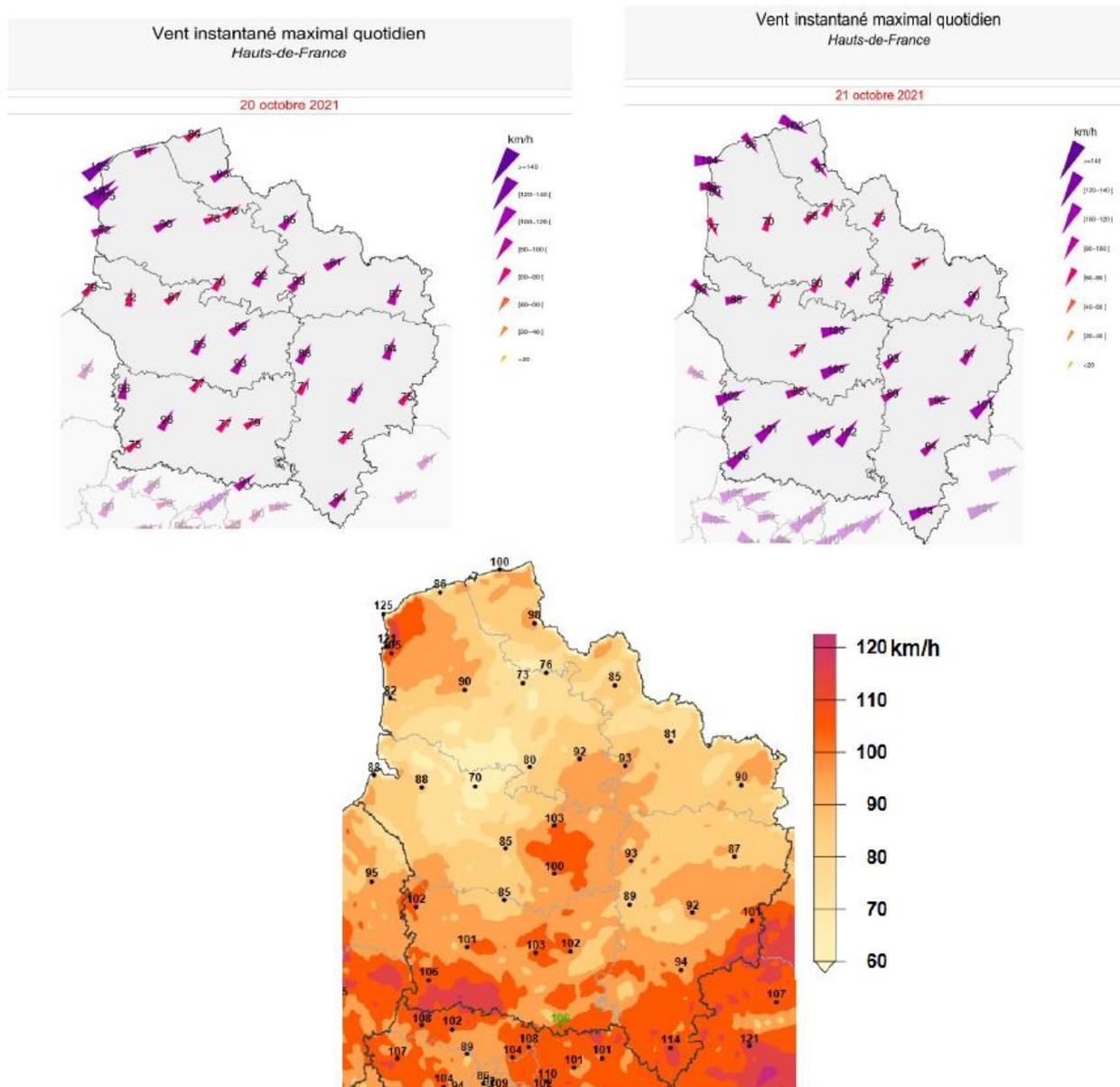
**Novembre** : variations importantes thermiques

Au cours du mois, les températures ont beaucoup fluctué. Par exemple, le 13 les températures minimales affichent en moyenne 7°C de plus que la veille alors que le 15, elles perdent (ainsi que les maximales) en moyenne 4°C par rapport à la veille. Les jours les plus froids du mois sont les 10 et 11 puis toute la période du 23 au 30 avec un minimum enregistré de -3,5°C le 25 à La Selve

(02). Le jour le plus chaud du mois est le plus souvent le 1er mais la température la plus douce du mois est enregistrée le 9 à Saint-Quentin-en-Tourmont (80) :14,8°C.

**Décembre** : premières fortes gelées et journée sans dégel puis douceur exceptionnelle en fin de mois Le 22 est la journée la plus froide du mois avec du fort gel en température minimale : - 5,3°C à Roubaix et Valenciennes (59), -6,0°C à Doullens (80), -6,5°C au petit matin à Fresnoy-la-Rivière (60) et des températures maximales négatives : -0,3°C à Saulty (62), -0,6°C à Amiens-Glisy (80), -0,8°C à Bernaville (80), -1,3°C à Puits-la-Vallée (60). Ensuite, alors qu'on se situe en fin de mois, les températures minimales battent des records de douceur avec 13,0°C à Arras (62) et à Lille-Lesquin (59) contre 12,1°C le 3 décembre 2018, 13,1°C (12,5°C le 22/12/2020) à Godenvillers (60), 13,2°C (13,0°C le 01/12/2001) à Roubaix (59), 13,3°C (12,4°C le 11/12/1994) à Abbeville (80), 13,3°C (12,1°C le 21/12/1989) à Saint-Quentin (02) et même 13,9°C (12,5°C le 22/12/2020) à Amiens-Glisy (80).

### Vents forts



Rafales maximales de la tempête AURORE du 20 au 21/10/2021

Région (HDF) ou département	Nom de tempête	Date	%≥100km/h	%≥120km/h	%≥140km/h	Rafale maximale (terres)	Rafale maximale (côtes)	Rafale maximale (Cap Gris Nez)
Hauts-de-France	Aurore	20211020-21	15,3	0,2		114 (Blesmes)	121 (Boulogne-sur-Mer)	125
Aisne	Aurore	20211020-21	25,1			114 (Blesmes)		
Oise	Aurore	20211020-21	35,5	0,3		106 (Jaméricourt et Plessis-Belleville)		
Somme	Aurore	20211020-21	8,1			103 (Méaulte)		
Pas-de-Calais	Aurore	20211020-21	5,9	0,4			121 (Boulogne-sur-Mer)	125
Nord	Aurore	20211020-21	0,3				100 (Dunkerque)	

La tempête Aurore dans la nuit du 20 au 21/10/2021 provoque des rafales maximales à l'intérieur des terres jusqu'à 103 km/h à Méaulte (80), 106 km/h à Jaméricourt (60) et Plessis-Belleville (60), 114 km/h à Blesmes (02). Les 2 départements les plus au sud ont été les plus impactés et respectivement 35 % et 25 % du territoire de l'Aisne et de l'Oise subissent des rafales supérieures à 100 km/h.

Pour les autres tempêtes ou fortes rafales, voici le tableau récapitulatif suivant:

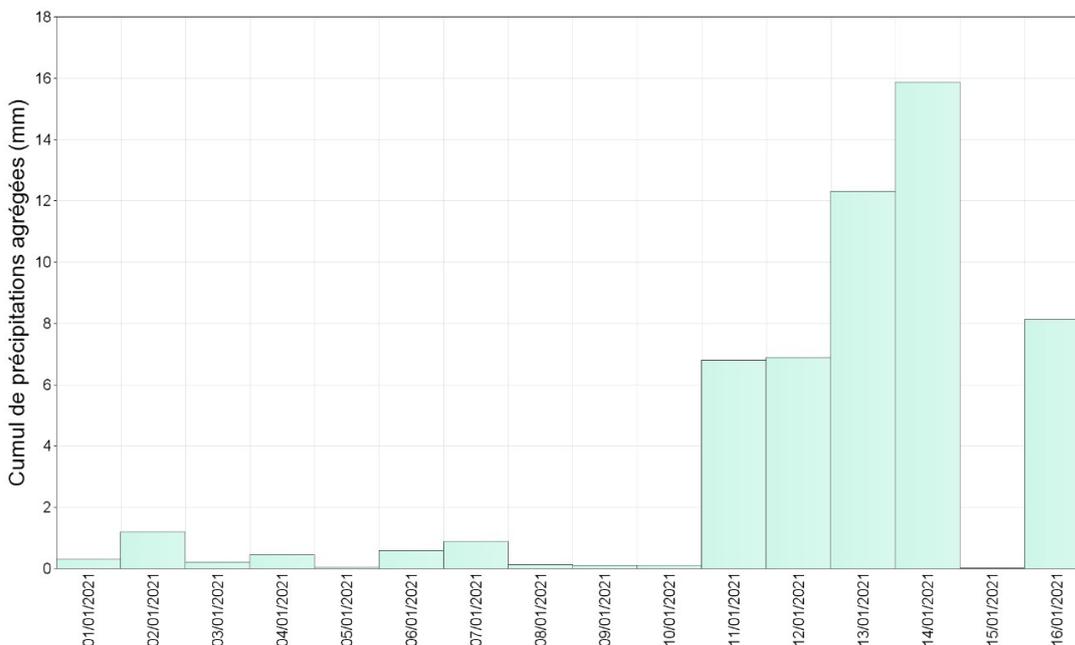
Région (HDF) ou département	Nom de tempête	Date	%≥100km/h	%≥120km/h	%≥140km/h	Rafale maximale (terres)	Rafale maximale (côtes)	Rafale maximale (Cap Gris Nez)
Hauts-de-France	Christoph	20210120-21	NC			148 (Merville)	117 (Dunkerque)	123
Nord	Christoph	20210120-21	NC			148 (Merville)	117 (Dunkerque)	
Pas-de-Calais	Christoph	20210120-21	NC				107 (Boulogne-sur-Mer)	123
Somme	Christoph	20210120-21	NC			103 (Abbeville)		
Hauts-de-France	Instabilités	20210311	NC			112 (Steenvoorde)	125 (Boulogne-sur-Mer)	126
Nord	Instabilités	20210311	NC			112 (Steenvoorde)	108 (Dunkerque)	
Pas-de-Calais	Instabilités	20210311	NC			110 (Lillers)	125 (Boulogne-sur-Mer)	126
Somme	Instabilités	20210311	NC			106 (Abbeville)		
Aisne	Instabilités	20210311	NC			107 (Fontaine-les-Vervins)		
Aisne	Instabilités	20210312	NC			102 (Aulnois-sous-Laon)		
Hauts-de-France	Instabilités	20210313	NC			103 (Arras)	118 (Boulogne-sur-Mer)	140
Nord	Instabilités	20210313	NC			103 (Steenvoorde)		
Pas-de-Calais	Instabilités	20210313	NC			103 (Arras)	118 (Boulogne-sur-Mer)	140
Somme	Instabilités	20210313	NC			102 (Méaulte)	105 (Cayeux-sur-Mer)	
Pas-de-Calais	Instabilités	20210504	NC			104 (Lillers)	133 (Boulogne-sur-Mer)	125
Hauts-de-France	Instabilités	20210521	NC			110 (Radinghem)		
Nord	Instabilités	20210521	NC			107 (Steenvoorde)	102 (Dunkerque)	
Pas-de-Calais	Instabilités	20210521	NC			111 (Radinghem)	104 (Calais-Marck)	115

## Fortes précipitations

Sur les tableaux suivants : RR1J= cumul pluviométrique moyen régional ou départemental (chaîne de modélisation SIM, 8km) du jour (de J à 06TU à J+1 à 06 TU) avec un seuil à 10 mm au moins, en mm RR2J= cumul pluviométrique moyen régional ou départemental (chaîne de modélisation SIM, 8km) sur 2 jours (de J-1 à 06TU à J+1 à 06 TU) avec un seuil à 20 mm au moins, en mm Le maximum d'intensité pluviométrique sur station ou sur commune n'est cité que si c'est au moins une valeur décennale

### Cumul quotidien des précipitations agrégées Hauts-de-France

1er janvier 2021 au 16 janvier 2021



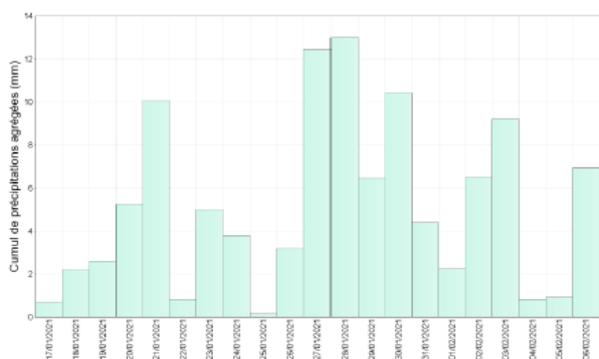
Région (HDF) ou département	Date	RR2J (mm)	RR1J (mm)
Pas-de-Calais	20200127		12,9
Oise	20200131		11,9
Somme	20200131		12,9
HDF	20200201		10,3
Oise	20200201		10,7
Oise	20200131-20200201	22,6	
Aisne	20200201		16,3
Aisne	20200131-20200201	24,6	
Somme	20200131-20200201	21,6	

## Cruces assez importantes de mi-janvier

Les passages perturbés les plus importants de la première quinzaine de janvier sont: -32,3 mm en 24 heures le 2 à Calais-Marck (62) dont 20,4 mm en 6 heures en matinée -dans la nuit du 11 au 12 et le matin du 12, 28,4 mm en 12 heures à Humières (62) -de la soirée du 12 au soir du 14, 56,9 mm en 48 heures dont 47,6 mm en 24 heures du soir du 13 au soir du 14 et surtout 44,2 mm en 12 heures (valeur décennale) dans la nuit du 13 au 14 jusqu'au début d'après-midi du 14 à la station du Touquet (62); on relève également 41 mm en heures comme à Domvast (80). Ces pluies du 13 au 14 provoquent des inondations dans le Montreuillois (62), le Desvrois et aussi la crue de la Liane dans le Boulonnais (62).

### Cruces encore plus importantes et durables de fin janvier à début février:

Cumul quotidien des précipitations agrégées  
Hauts-de-France  
17 janvier 2021 au 6 février 2021



Région (HDF) ou département	Date	RR2J Ag (mm)	RR1J Ag (mm)
HDF	20210121		10
Nord	20210121		10,7
Pas-de-Calais	20210121		11,8
HDF	20210127-28	25,3	
HDF	20210127		12,3
HDF	20210128		12,9
Aisne	20210127-28	26,5	
Aisne	20210127		13,5
Aisne	20210128		13
Somme	20210127-28	24,5	
Somme	20210127		12
Somme	20210128		12,5
Pas-de-Calais	20210127-28	27,9	
Pas-de-Calais	20210127		13,9
Pas-de-Calais	20210128		14
Nord	20210127-28	27,7	
Nord	20210127		13,8
Nord	20210128		13,8
Oise	20210128		11
Oise	20210129-30	21,3	
Oise	20210130		14,1
HDF	20210130		10,4
Aisne	20210130		10,5
Somme	20210130		11,5
Nord	20210203		14,6
Aisne	20210206		10,8

Les grosses perturbations reprennent en fin de mois de janvier à partir de l'Ouest à la fin d'après-midi du 27 pour se prolonger jusqu'au 29 avec un maximum d'intensité dans la nuit du 28 au 29:

-pour l'Aisne: 47,6 mm en 48 heures dont 32,1 mm en 24 heures à Hirson au nord-est de la Thiérache et 9,4mm en 1 heure à Chauny dans le Vermandois

-dans le Nord : 37,4 mm en 48 heures dont 27,6 mm en 24 heures à Maubeuge dans

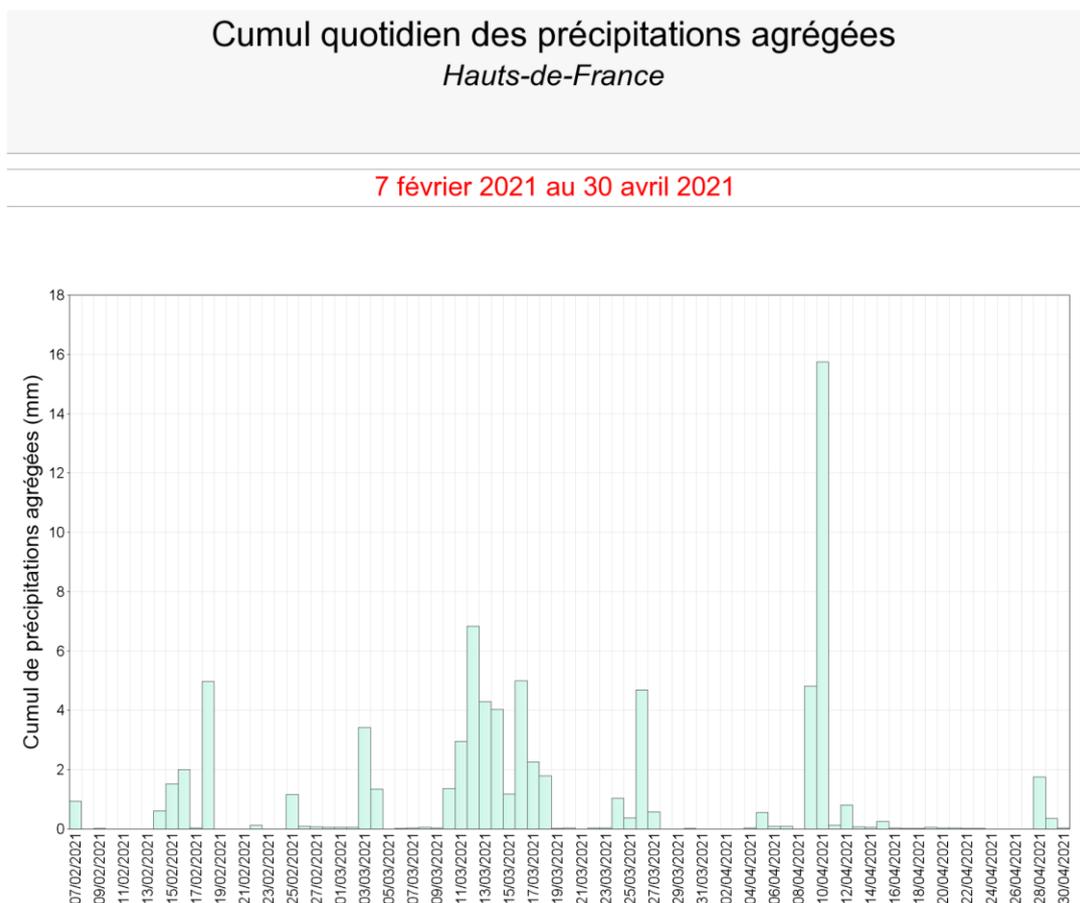
l'Avesnois -le Pas-de-Calais: 42,6 mm en 48 heures dont 32,4 mm en 24 heures et 15,1 mm en 3 heures à Fiefs

-la Somme: 47,2 mm en 48 heures dont 35 mm en 24 heures et 15,3 mm en 3 heures à Dompierre-sur-Authie puis 38,8 mm en 48 heures à Abbeville à partir du début de nuit du 28 jusqu'au 30. Ces cumuls importants du 27 au 30 génèrent de façon encore plus généralisée des inondations et des crues de nombreux cours d'eau comme l'Epte (à l'ouest du 60), la Serre (02) vers la Thiérache et une partie de l'Oise (02/60), l'Helpe Mineure (59) puis la Sambre (1 mort à Berlaimont (59)) dans l'Avesnois, la Laquette (62), la

Clarence (62), la Lawe (62) et donc la Lys (62/59) ainsi que la Course (62) et la Canche (62) plus à l'Ouest du Pas-de-Calais. Ces crues importantes se poursuivent début février avec de nouvelles précipitations même si moins importantes, comme l'Helpe Mineure (59) et la Canche (62) jusqu'au 4 février et l'Oise Moyenne (02/60) jusqu'au 9 février tandis que la Somme (80) entre en crue vigilance orange le 3 qui se poursuit jusqu'au 12 avant de passer en vigilance jaune.

## Avril: pluies du 10

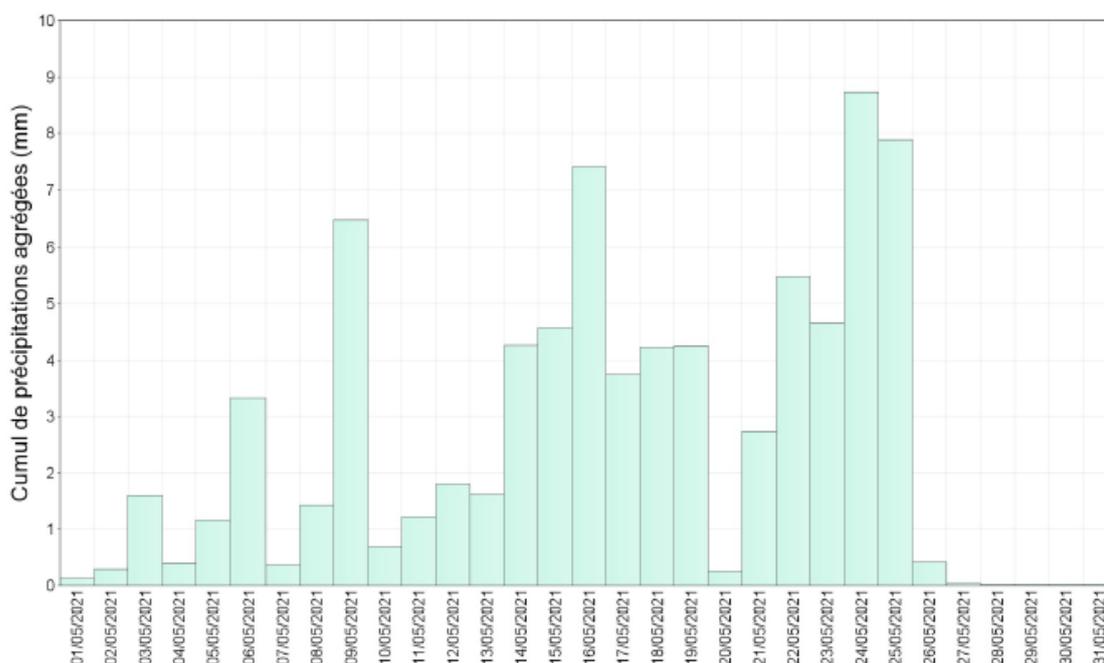
Une période longue et relativement sèche de début février à début avril.



Puis, le 10 de la matinée au début de soirée, le cumul de pluie atteint localement de 20 à 22 mm en 12 heures au sud-ouest de l'Amiénois (80) et du Centre-Cambrasis (59) au sud du Hainaut (59). Plus au sud, les cumuls sur 48 heures sont plus importants les 9 et 10 avec 36.0mm (dont 12.5 mm en 2 heures en fin de soirée du 10) à Parcy-et-Tigny (02) et une pointe à 39 mm au sud-ouest du Soissonnais (02) ainsi que 42.1 mm à Plessis-Belleville au sud du Valois Multien (60) dont 22.1 mm en 6 heures de la fin d'après-midi au début de nuit du 10. On retrouve des cumuls de 20 à 22 mm sur l'est des Flandres Intérieures mais cette fois-ci en seulement 6 heures en fin de nuit du 28 au 29 jusqu'en début de matinée du 29 localement.

## Mai: précipitations instables sous atmosphère froide

1er mai 2021 au 31 mai 2021



Région (HDF) ou département	Date	RR2J Ag (mm)	RR1J Ag (mm)	Max intensité commune (mm/xH)
Aisne	20210511			31,5 mm /2H (Royaucourt-et-Chailvet)
Nord	20210514			64,7 mm / 2H* (Genech)
Pas-de-Calais	20210516		10	
Aisne	20210518			48,1 mm /3H (Autreppes)
Nord	20210518			27,7 mm /1H (Saint-Vaast)
Somme	20210524-25	20,2		
Somme	20210525		10,2	
Aisne	20210524-25	20,4		
Aisne	20210525		11,6	

\*intensité possiblement surestimée par Antilope

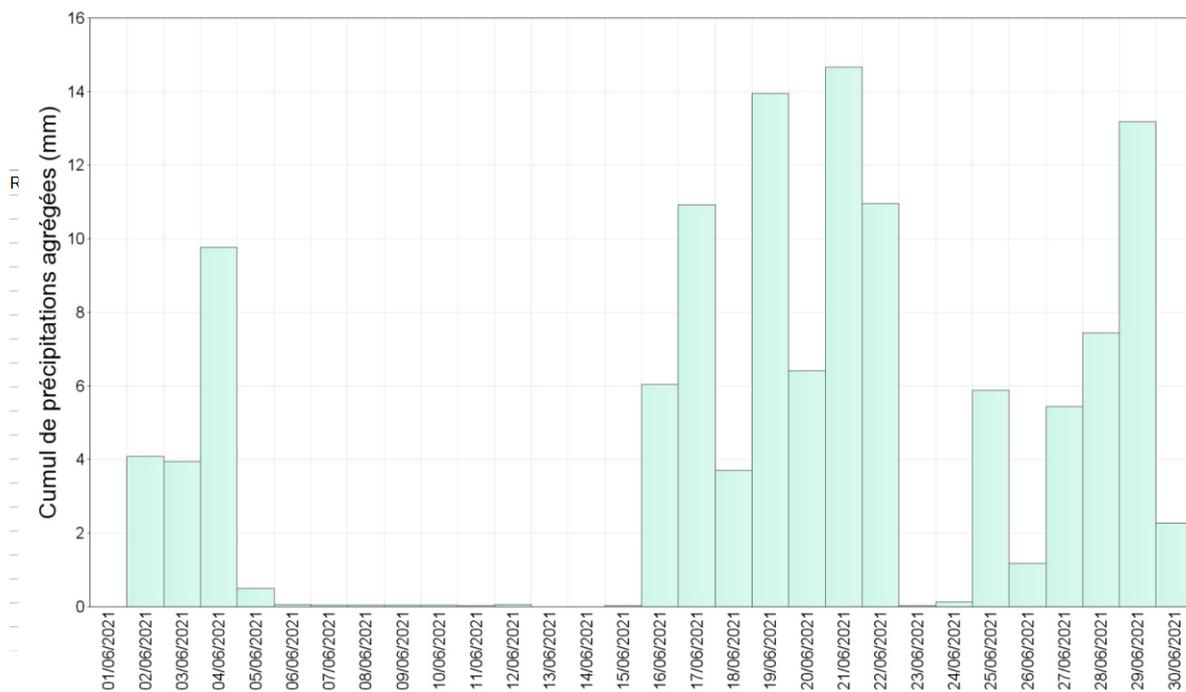
Voici, les  
 averse ou les pluies à noter pour ce mois de mai:  
 -le 11, en 2 heures, près de 22 mm au nord-ouest de la MEL (59), et très localement près de 32 mm dans le Laonnois (02),  
 -le 14 dans l'après-midi, 10,8 mm en 1 heure à Radinghem et 13,4 mm en 2 heures au Touquet (62) puis en fin d'après-midi, plus de 30 mm possibles en 2 heures au sud-est de la MEL,  
 -l'après-midi du 18, un peu plus de 25 mm possibles en 1 heure dans l'Avesnois (59),  
 -le 22, 37,4 mm en 12 heures dont 26,6 mm en 3 heures à Roubaix (59),  
 -le 24 l'après-midi, en 1 heure, 10,4mm a Meaulte (80) et 11,6 mm a Avesnelles dans l'Avesnois.

### Jun : nombreuses perturbations pluvio-orageuses et orages

Le département de l'Aisne a particulièrement été touché par les orages. On atteint une densité moyenne record de 0,61 impact de foudre au km<sup>2</sup> au mois de juin 2021 alors que la moyenne depuis 1997 est de 0,18 impact / km<sup>2</sup> avec au maximum jusqu'alors 0,38 impact / km<sup>2</sup> en juin 2007. Les journées avec le plus d'impacts dans l'Aisne sont les 4, 17 et surtout 19.

## Cumul quotidien des précipitations agrégées *Hauts-de-France*

1er juin 2021 au 30 juin 2021

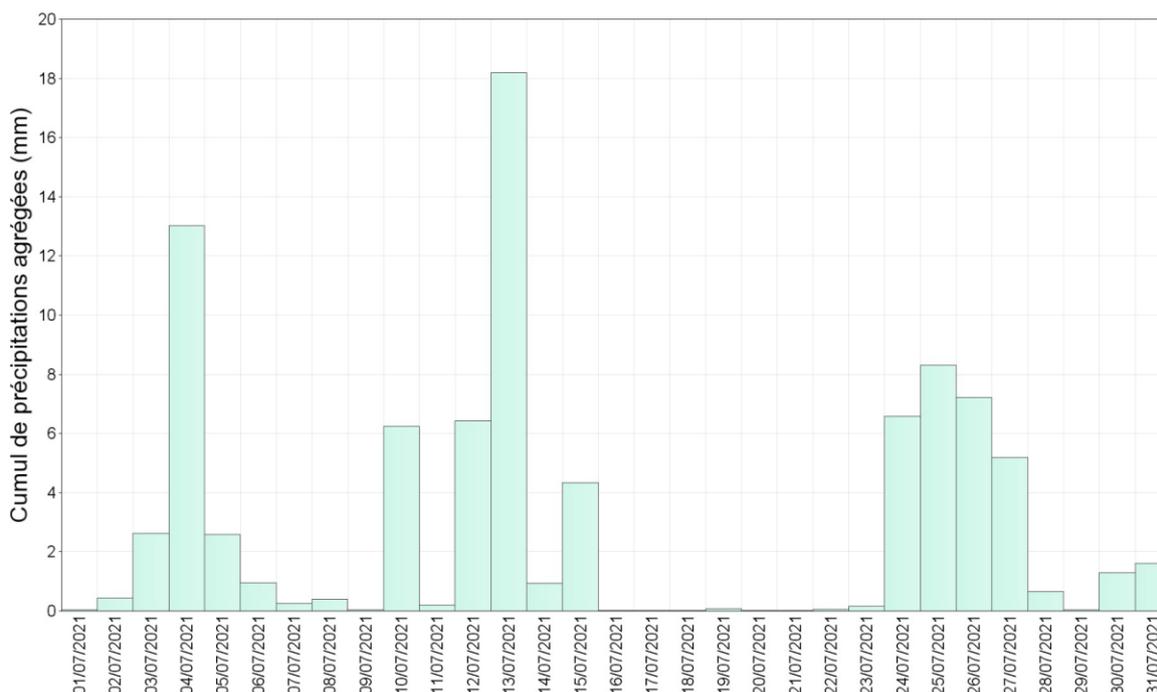


## Juillet: encore beaucoup d'orages et un corps pluvieux exceptionnel le 13 vers le sud-est

### Cumul quotidien des précipitations agrégées

Hauts-de-France

1er juillet 2021 au 31 juillet 2021



Les intensités maximales de précipitations sont observées:

- le 3, en fin d'après-midi, 35 mm sur 1 heure dans l'ouest de l'Avesnois (59),
- le 4, sur 1 heure, en début de matinée, 25 mm sur le Valois (02), en milieu de matinée 29,7 mm sur la station de Douai (59), en fin de matinée 50 mm au nord du Hainaut (59) et 25 mm à l'extrême Est du Vermandois (02), en après-midi 33,1 mm sur la station de Doullens (80) et en début de soirée 30 mm à l'extrême sud de l'Amiénois (80) et en 2 heures, plus de 30 mm à l'extrême Est du plateau Picard (60),
- le 8, 60 mm sur 4 heures l'après-midi à l'extrême nord-ouest de l'Avesnois puis en début de soirée, plus de 30 mm sur 2 heures à l'extrême sud-est de l'Avesnois,
- le 10, juste après la fin de soirée, 30 mm en 1 heure à l'Est du Soissonnais (02),
- le 12, 25 mm sur 1 heure en fin d'après-midi au sud-est du Thelle (60), 35 mm sur 2 heures en début de soirée à l'extrême sud-ouest de l'Amiénois, 35 mm sur 1 heure en Flandre Intérieure (59) et plus de 40 mm sur 2 heures en début de nuit au sud du Montreuillois (62),

La goutte froide du 13 apporte énormément de pluies sur une grande partie de l'Aisne avec sur 24 heures : 86,1 mm à la station de Martigny-Courpierre (02) et même près de 100 mm dans le centre Est de l'Aisne ainsi que 50,5 mm à la station de Fresnoy-la-Rivière (60) et même un peu plus de 75 mm au Valois Multien (60). Le cumul moyen quotidien départemental des précipitations du 13 atteint ainsi 55 mm sur l'Aisne. Du 13 au 15, cette même goutte froide génère sur 48 heures, 61,8 mm à la station de Maubeuge dans le nord de l'Avesnois et près de 90 mm à l'Est de l'Avesnois. Un temps beaucoup plus sec s'installe du 16 au 22 puis la situation instable revient

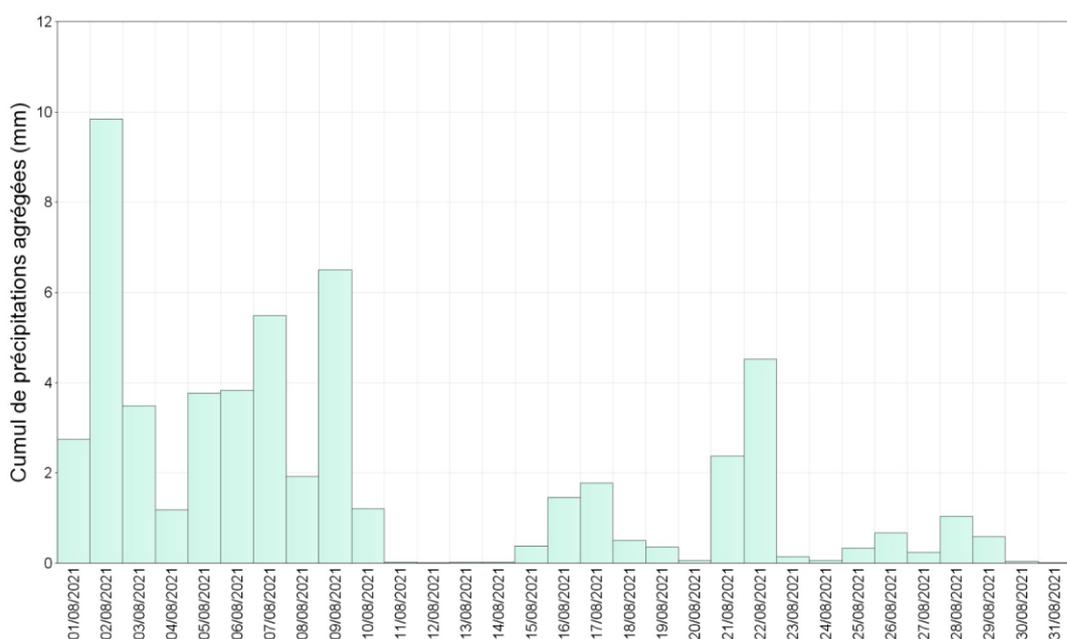
-le 24 : retour des orages particulièrement en zone centrale du Pas-de-Calais avec sur 2 heures, 43,2 mm à la station de Fiefs (62) en soirée et près de 75 mm près de celle-ci,  
 -le 26, en fin de matinée jusqu'à 65 mm sur 2 heures au sud de la Métropole Lilloise (59) puis 80 mm sur 4 heures l'après-midi sur le sud-est des Flandres Intérieures et 60 mm sur 2 heures en fin d'après-midi à l'ouest de Lillers (62), ce qui fait avec les pluies précédentes, sur 24 heures 65 mm au sud de l'Amiénois et sur 48 heures jusqu'à 130 mm au sud-ouest des Flandres Intérieures,  
 -le 27, l'après-midi, plus de 30 mm sur 3 heures au nord-ouest du Ponthieu (80)  
 -le 31, en fin d'après-midi, un peu plus de 25 mm sur une heure à l'est du Cambrésis et un peu plus de 35 mm sur 3 heures au nord du Hainaut.

### Aout: moins de passages pluvio-orageux

**Cumul quotidien des précipitations agrégées**  
*Hauts-de-France*

---

1er août 2021 au 31 août 2021



Les

pluies et orages ont été encore assez fréquents notamment en première décade du mois avec des intensités maximales locales suivantes :

- le 1, de la fin d'après-midi en début de soirée, un peu plus de 50 mm sur 4 heures et près de 90 mm en 48 heures dans l'extrême Nord-Est du Valenciennois (59);
- le 3, averses surtout en début de soirée avec près de 35 mm sur 2 heures sur l'extrême Sud- Ouest du Ternois (62) et un peu plus de 25 mm sur 1 heure au Sud de l'Amiénois (80);
- le 4, forts orages du Sud du Calaisis (62) en fin d'après-midi avec 45 mm sur 2 heures jusqu'aux Flandres Intérieures (59) avec près de 60 mm sur 1 heure dont 37 mm sur 1 heure pour la station de Watten (59) en

début de soirée;

-le 7, en début d'après-midi, un peu plus de 25 mm sur 1 heure à l'extrême Ouest du Ternois(62);

-le 21, un peu plus de 25 mm sur 1 heure au Nord-Ouest de la Métropole Lilloise en début de soirée puis en matinée du 22, 25,7 mm en 2 heures a la station de Boulogne-sur-Mer (62) et autour de 30 mm juste un peu plus à l'Est.

### **Septembre: des orages de plus en plus localisés**

On peut noter notamment les précipitations du 2 au 4 octobre avec les pluies du 2 et 3 puis les orages de la matinée du 4 avec 50,3 mm en 48 heures à Attin (62) et jusqu'à un peu plus de 90 mm en 48 heures sur une partie très locale sur le sud du Boulonnais (62) avant qu'une belle période d'accalmie se produise du 6 au 19. Puis, au passage de la tempête Aurore, les pluies ont été de nouveau marquées et particulièrement à la station Bainghen (62) avec 34.3 mm en 24 heures dont 13,1 mm en 1 heure en début de nuit du 20 au 21 mais sur ce secteur du nord du Haut-Artois (62), on a pu atteindre 21 mm en 1 heure et 25 mm en 2 heures. Une période de nouveau passagèrement perturbée revient en fin de mois du 25 au 31.

### **Fin octobre / début novembre : retour des crues**

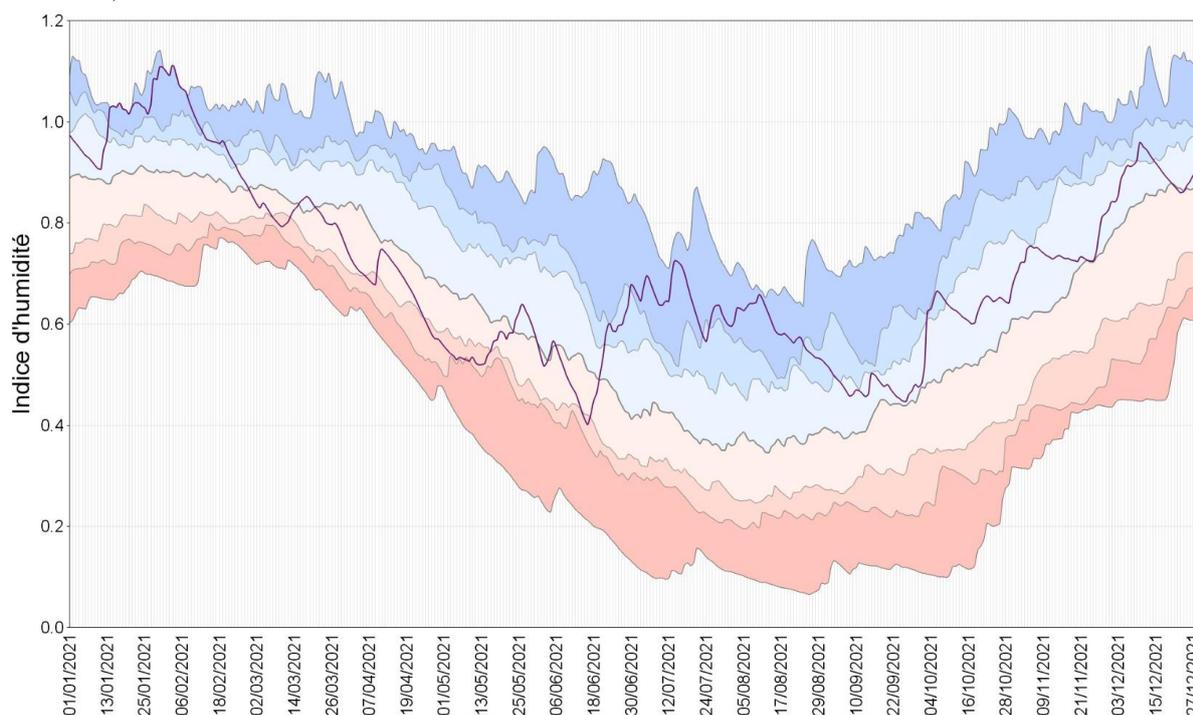
De fortes averses très fréquentes déboulant de la Manche et de la Mer du Nord à partir de la nuit du 3 au 4 apportent les plus forts cumuls de l'ouest des Flandres (64,7 mm en 24 heures à la station de Watten (59)) au nord du Doullennais (80) (un peu plus de 60 mm sur 24 heures localement et un peu plus de 50 mm en 12 heures) en passant par le nord du Ternois (62) (58,5 mm sur 24 heures à la station de Fiefs (62)) et l'ouest du Ternois (62) (70 mm sur 24 heures localement). Ces précipitations persistantes provoquent des inondations vers l'Audomarois (62) et les crues de la Lys Amont et son affluent la Laquette le 4.

## Fin novembre / début décembre : Crues majeures

De fortes averses très fréquentes déboulant une nouvelle fois de la Mer du Nord de la matinée du 27 à la matinée du 28 de l'ouest des Flandres (49,5 mm en 24 heures à la station de Watten (59) mais les 50 mm ont pu être dépassés) au nord du Doullennais (80) (près de 80 mm en 48 heures en incluant les précipitations du 26) en passant par 58,5 mm sur 24 heures à la station de Fiefs (62) et 55 mm sur 12 heures au centre-ouest du Ternois (62). Les inondations et crues ont été extrêmement importantes pour L'Yser (particulièrement dans le secteur Esquelbecq (59)) et la Lys (62/59) et ses affluents la Laquette (62), la Clarence (62), la Lawe (62) et la Bourre (59). Pour la Lys, la crue perdure plusieurs jours particulièrement sur le secteur de Merville (59) jusqu'au 02 décembre. Dans le Nord, 75 personnes sont évacuées dans la journée du 28, notamment à Esquelbecq (59) et Wormhout (59). Les communes d'Eringhem (59), Arneke (59) ou encore Estaires (59) ont été aussi très touchées par les crues l'Yser étant sortie de son lit. Ce petit fleuve de l'Yser a particulièrement débordé dans le village d'Esquelbecq dont 2 000 habitants se sont retrouvés avec plus de vingt centimètres d'eau et parfois certaines maisons jusqu'à 1 mètre d'eau et 20 maisons ont été évacuées et 60 personnes ont dû être déplacés. Une octogénaire a été découverte morte dans sa cave inondée, à Borre (59) et à Vieux-Berquin (59), à sept kilomètres de Borre (59), 10 maisons sont envahies par environ 20 cm d'eau. Des personnes ont été prises également en charge par bateau à Bambecque (59) comme à Steenwerck (59). De nombreuses routes départementales, impraticables, étaient également coupées. La montée remarquable des eaux de la Lys est donc enregistrée à Merville (59), à 2,88m et a dépassé celle de mars 2012 (2,82 mètres) et se rapproche de celle de 1999 (2,94 mètres) et la décrue se fait très lentement compte tenu en plus du faible relief de plaine de la Lys qui ne facilite pas l'évacuation des eaux. Dans le Pas-de-Calais, les pompiers ont réalisé 147 interventions, dont 64 dans la seule ville de Saint-Omer (62). Les inondations sur la voie publique, elles, ont demandé une dizaine d'interventions, dont 5 à Arras (62). Les intempéries ont également entraîné l'interruption du trafic ferroviaire toute la matinée entre Béthune (62) et Saint-Pol-sur-Ternoise (62), en raison d'un passage à niveau inondé, à Labeuvrière (62). Les inondations et crues ont continué en partie en première décennie de décembre au cours de laquelle les précipitations produisent des cumuls quotidiens généralement compris entre 5 et 15 mm et jusqu'à 22,7 mm le 9 à Saint-Quentin-en-Tourmont (80) au nord de la Baie de Somme puis de nouvelles pluies se sont concentrées en fin de mois du 24 au 29.

## Humidité des sols superficiels : sécheresse durable puis saturation en fin d'année

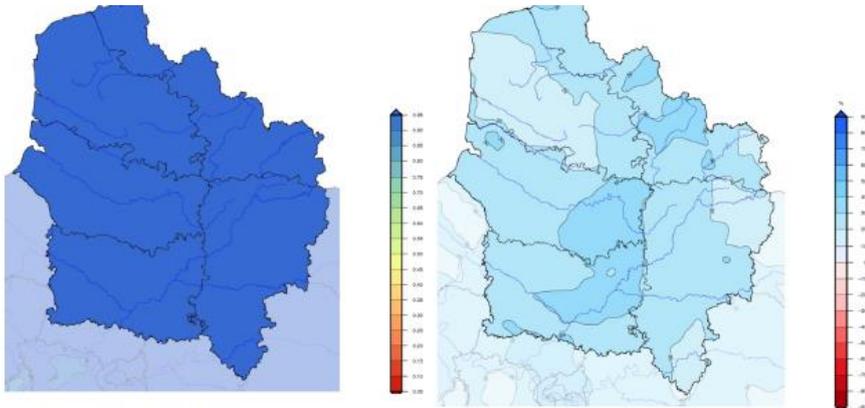
Afin de caractériser l'humidité des sols, nous utilisons, comme dans le précédent rapport, l'indice SWI (Soil Wetness Index) issu de la chaîne de modélisation SIM (Safran-Isba-Modcou).



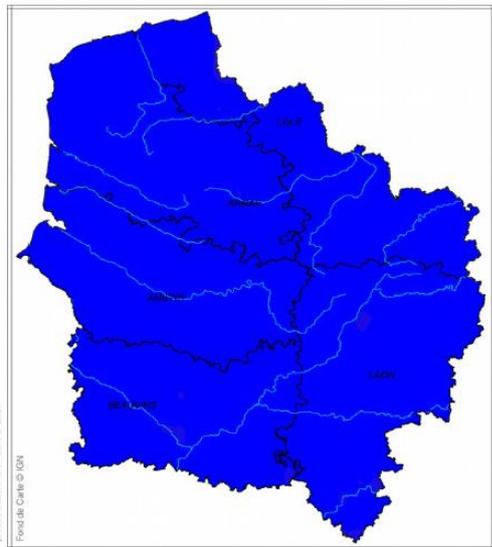
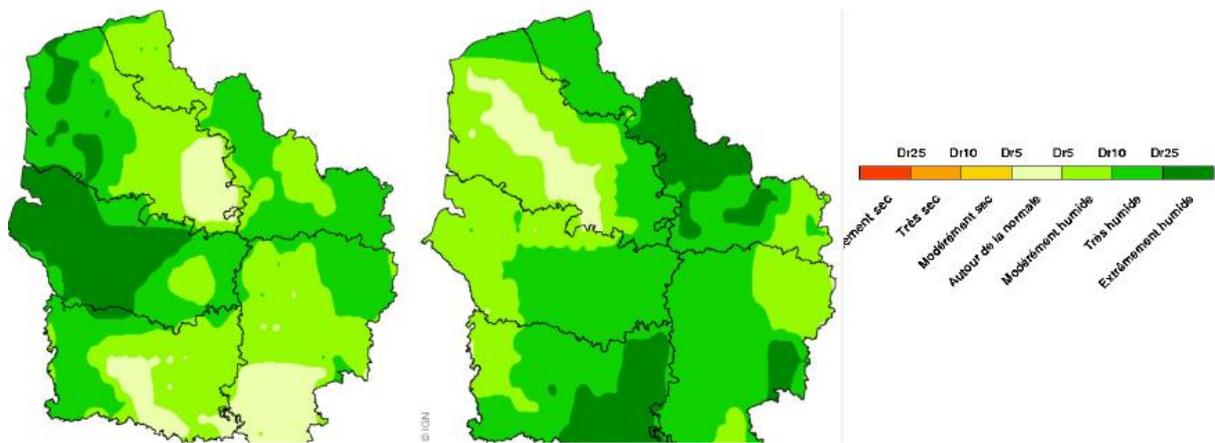
*Indice d'humidité des sols (SWI) intégré sur le département du Nord durant l'année 2021 Normale 1981-2010, records depuis 1959.*

Contrairement à l'année 2020, l'indice régional de l'humidité des sols superficiels a été rarement déficitaire à part durant le printemps avec un déficit maximum proche des 20% début mai puis il a chuté très peu de temps à 0,40 (-23%) le 16 juin, journée la plus chaude de l'année pour rappel. Mais cet indice a été le plus souvent excédentaire notamment de mi-janvier à début février puis cet été, ce qui change considérablement par rapport aux années précédentes.

Mi-janvier à début février : indice souvent en sursaturation L'indice d'humidité des sols superficiels est déjà en sursaturation généralisée à partir du 14 janvier. Cet indice augmente encore fin janvier et la première décade de février et est à son maximum en fin de mois et à



Indice d'humidité des sols et écart à la normale (modélisation SIM) au 03 février 2021

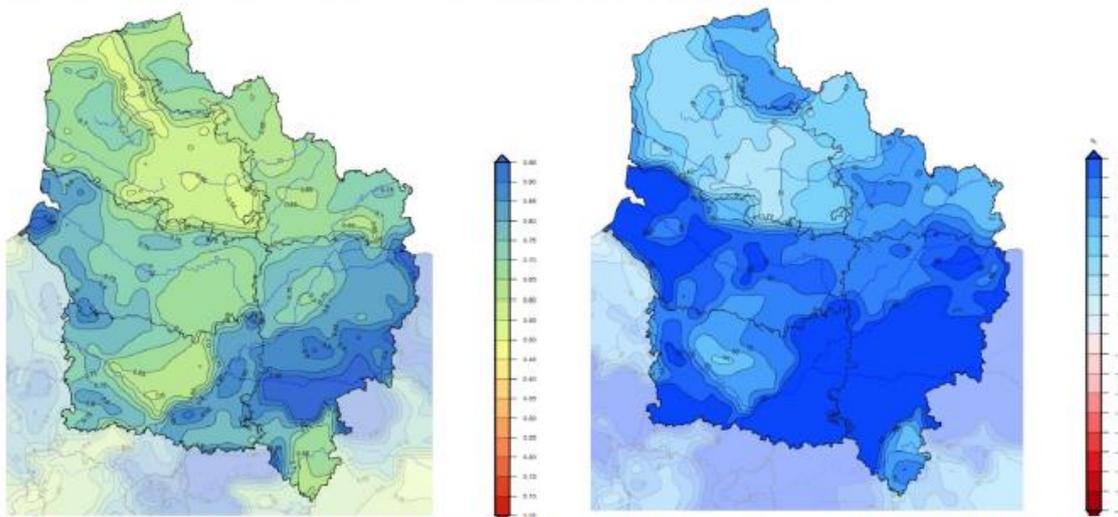


produit élaboré le 07 Janvier 2021  
Fond de Carte © IGN

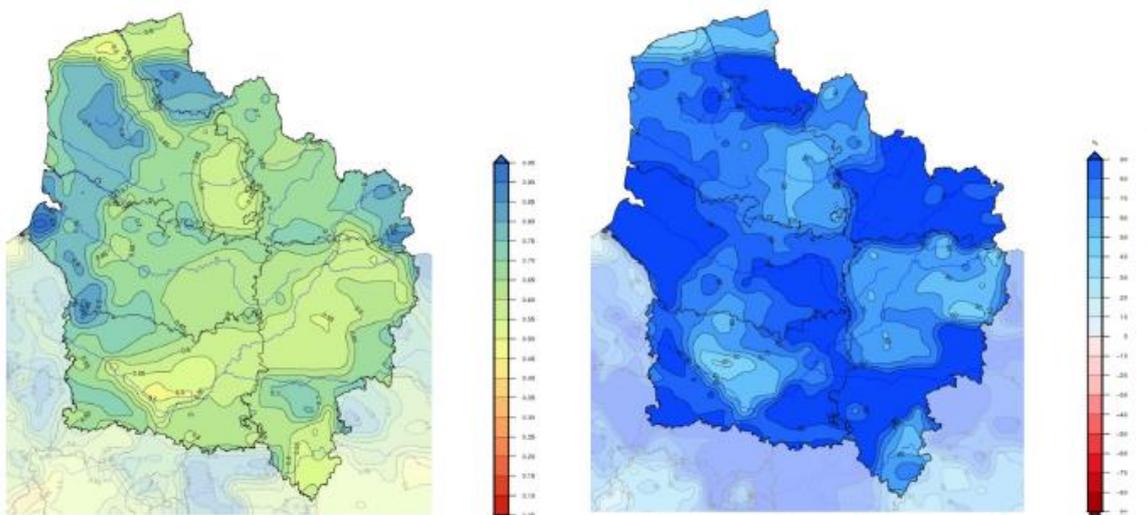


produit élaboré le 07 Janvier 2021  
Fond de Carte © IGN

-Saturation locale exceptionnelle des sols en plein été, en juillet et août

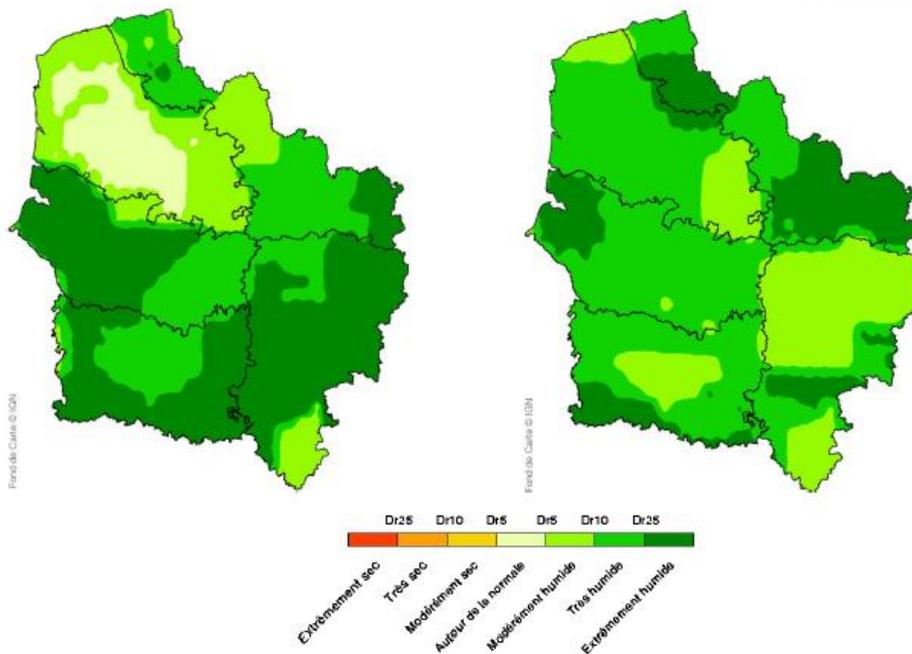


*Indice d'humidité des sols et écart à la normale (modélisation SIM) au 14 juillet 2021*

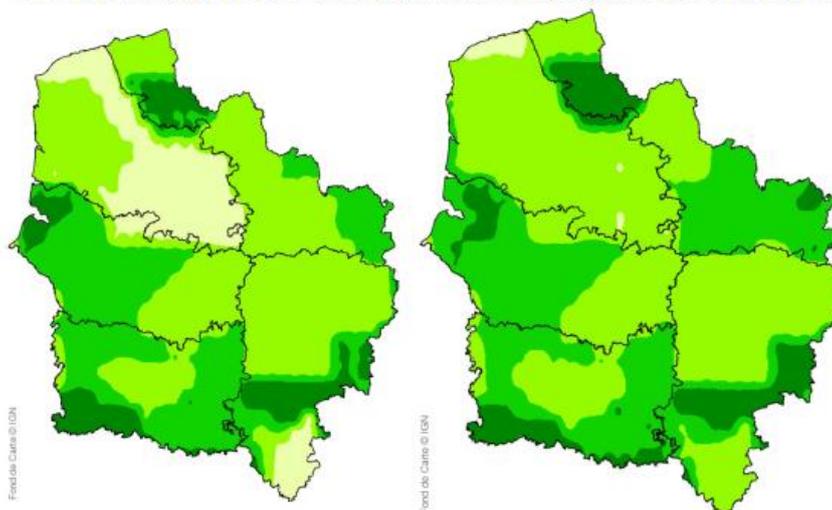


*Indice d'humidité des sols et écart à la normale (modélisation SIM) au 10 août 2021*

L'excédent le plus fort de cet indice régional de 74% et un indice moyen régional à 0,73 se retrouve mi-juillet suite notamment de l'épisode intense de retour d'Est du 13. Cet indice atteint des records dans le département de l'Aisne puisqu'il atteint en moyenne départementale le 16 juillet, 0,89 soit plus du double de la normale (+123 %) avec une saturation des sols du Soissonnais à l'Est de la Thiérache. L'indice d'humidité des sols superficiels est encore une nouvelle fois bien supérieur à la normale principalement par les précipitations de la première décade d'août et par la faiblesse de l'ensoleillement ainsi que la fraîcheur des températures maximales. Il établit même un record humide en moyenne pour la région du 08 au 12 et bien plus longtemps pour le département du Nord du 5 au 24 en battant 1968 et 1987 pour cette même période avec le 10/08/2021, un indice départemental à 0,75 soit juste au-dessus du double de la normale. Cet indice est même proche de la saturation autour du 10, au sud de la Baie de Somme (80) et au sud de l'Avesnois (59) où il est toujours plus du double de la normale fin août ainsi que sur les Flandres Intérieures (59).



*Indicateur d'humidité des sols sur un mois (modélisation SIM) en juillet (à gauche) et août 2021 (à droite) puis sur 3 mois de juin à août et de juillet à septembre ci dessous:*



### Crues de fin novembre et début décembre

L'indice d'humidité des sols superficiels est très élevé sur les secteurs touchés par ces crues. Les sols y sont évidemment en saturation avec un excédent atteignant localement les 40 % sur le Pays d'Aire (62) et l'ouest des Flandres (59) là où les inondations restent le plus longtemps compte tenu en plus du faible relief qui ne facilite pas l'évacuation des eaux.

## CONCLUSION

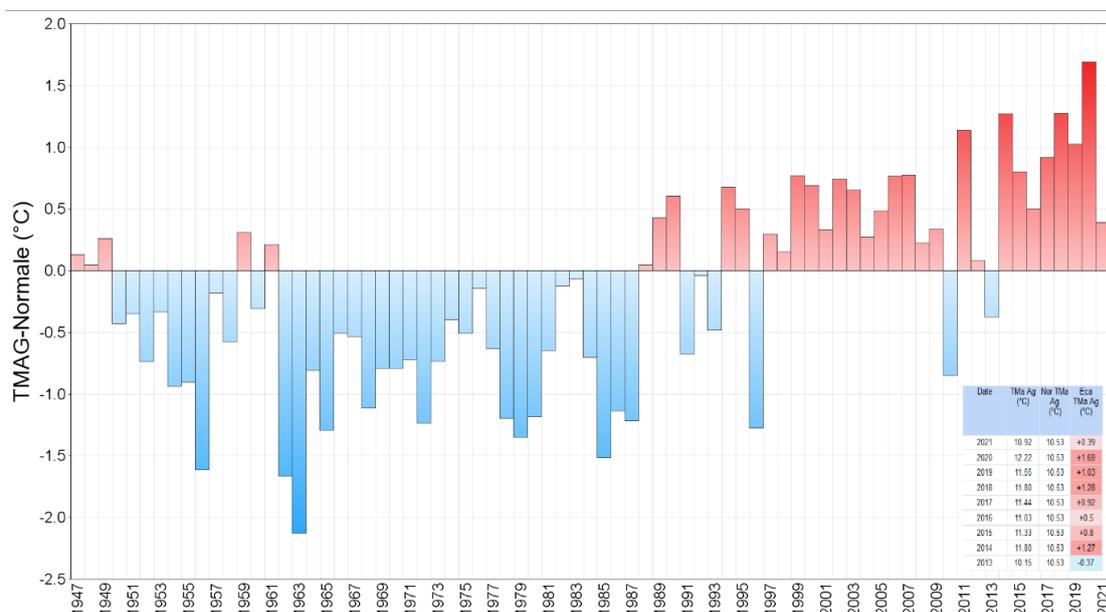
Cette année 2021 est assez **radicalement différente de l'année 2020 et un peu un contre-exemple du climat moyen futur de notre région**. En effet, l'année 2021 est bien moins chaude (10,92°C en température moyenne annuelle régionale soit un petit excédent de 0,39°C) que 2020 (12,22°C, +1,69°C /Norm.). Il faut remonter à 2016 (11,03°C, 0,5°C/Norm.) pour avoir une année assez similaire et l'année 2013 (10,15°C, -0,37°C/Norm.) pour avoir plus frais. Contrairement à l'année dernière dans laquelle aucune vague de froid ni de pic de froid n'ont été observés. L'année 2021 comporte notamment la période la plus froide annuelle du 7 au 14 février et quelques records froids (aucun n'a été observé en 2020) notamment durant le gel de début avril. Contrairement aux années précédentes, aucune vague de chaleur n'a été répertoriée en 2021 et peu de records chauds ont été battus cette année si ce n'est en fin février, en fin mars ou en fin décembre 2021 (en 2020, ce sont surtout de très nombreux records mensuels chauds battus voire annuels particulièrement pour les températures minimales qui ont particulièrement frappé les esprits).

Cet été a été ainsi bien moins chaud que les étés précédents, en étant plus proche de la normale surtout pour les maximales. Ces dernières ne sont pas montées bien hautes au cours de cet été puisque le maximum annuel relevé est de seulement 32,5°C (le seuil de 33°C n'est même pas atteint !) à Godenvillers (60) le 16/06/2021. La température maximale moyenne régionale n'a atteint ce jour-là qu'un modeste 30,5°C. Il faut remonter à 1993 pour avoir pour ce paramètre, une valeur maximale annuelle plus faible le 9 juin 1993 précisément avec 30,1°C seulement (sachant que l'été 1993 (-1,15°C/Norm.) était bien plus frais en moyenne tout de même que l'été 2021 (+0,56°C/Norm.)).

*Écart à la normale de l'indicateur de la température annuelle sur la région depuis 1947, en °C*

### Ecart à la moyenne annuelle de référence 1981-2010 de la température moyenne agrégée Zone climatique : Hauts-de-France

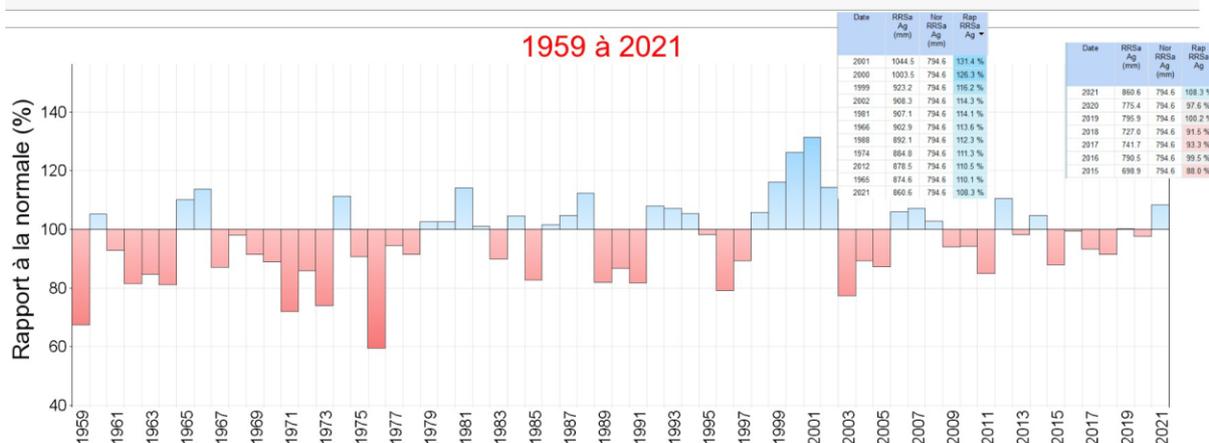
1947 à 2021



Contrairement aux déficits s'accumulant durant les années précédentes, l'année 2021 a connu globalement une pluviométrie annuelle plus importante avec un excédent de 8 % (loin de l'excédent de l'année 2001 avec + 31%). Notons les événements principaux avec les crues du début et de fin d'année et un été très humide qui diffère fortement des 6 été précédents déficitaires en eau et parfois de manière marquée.

*Ecarts à la normale de l'indicateur de la température annuelle sur la région depuis 1947, en °C*

### Rapport à la normale de référence 1981-2010 des cumuls annuels de précipitations agrégées Hauts-de-France



Tous ces aléas climatiques : vague de froid de février, pic de chaleur de fin mars suivi du gel marqué d'avril puis tardif de mai, températures fraîches pour certaines périodes de l'été ainsi que les orages intenses ou les pluies de longue durée de cet été ont apporté dans les 5 départements de la région plusieurs faits de calamités agricoles.

#### 4.1.2 Etude du Microclimat avec l'Université Picardie Jules Verne

Le CRPF et l'EDYSAN collaborent dans le cadre de mise en place de stations météorologiques sur quelques placettes de l'OREF en vue d'étudier le microclimat forestier.

Le matériel choisi, des sondes de température HOBO, et sa mise en place (une au centre de la placette et une hors couvert) est conforme aux attentes des deux structures. Les données enregistrées ont une fréquence journalière. Vingt placettes ont été installées à l'été 2019 et ont fait l'objet de deux relevés en 2020 et un en 2021. Malheureusement à cause des dégradations nous sommes passés de 20 sondes à 19.

En 2021, à la demande de l'université nous avons complété l'étude par la mise en place de sonde dans le sol.



N° placette	Commune	idt_logger	Date DEBUT enregistrement
<u>241 DSF</u>	Verneuil en halatte 60	1_241_DSf	03/07/2019
<u>240 DSF</u>	Foulangues 60	2_240_DSf	03/07/2019
<u>1248</u>	Sénots 60	3_1248	03/07/2019
<u>6</u>	Gauchin Verloingt 62	4_0006	04/07/2019
<u>Milieu ouvert</u>		4b_0006	04/07/2019
<u>85</u>	Bucquoy 62	5_0085	04/07/2019
<u>106 DSF</u>	Hescamps 80	6_106_DSf	05/07/2019
<u>1246</u>	Limeux 80	7_1246	05/07/2019
<u>1245</u>	Ribeaucourt 80	8b_1245	18/07/2019
<u>1247</u>	Dury 80	9_1247	05/07/2019
<u>85</u>	Dimont 59	10_0085	10/07/2019
<u>1256</u>	Féron 59	11_1256	10/07/2019
<u>1254</u>	Aubenton 02	12_1254	11/07/2019
<u>1253</u>	Sissone 02	13_1253	11/07/2019
<u>1252</u>	Pinon 02	14_1252	11/07/2019
<u>345 DSF</u>	Chézy-sur-Marne 02	15_345_DSf	12/07/2019
<u>878</u>	Villers sur Fère 02	16_878	12/07/2019
<u>1250</u>	Pont saint Mard 02	17_1250	12/07/2019
<u>198 DSF</u>	Berneuil sur Aisne 60	18_198-DSf	13/07/2019
<u>1249</u>	Caisnes 60	19_1249	13/07/2019

## 4.2 DONNES BOTANIQUES et FAUNISTIQUES

D  
a  
m  
i  
e  
n  
  
T  
O  
P  
-  
  
C  
E  
N  
  
P  
i  
c



*Ephippiger des vignes*

Suite à l'évolution du protocole en 2012 (avec prise de décisions de faire deux passages dans l'année et d'effectuer un relevé des vernaies), **l'année 2015 a été la première année de campagne terrain suivant le protocole RENECOFOR**.et 2020 en a été la seconde. 2021 n'a pas fait l'objet de relevé botanique.

### 4.3 DONNEES PHENOLOGIQUES



### *4.3.1 Synthèse annuelle du réseau*

#### **Introduction**

Concernant la phénologie, les deux données relevées dans le cadre de l'OREF sont les **dates de feuillaison printanière et de jaunissement automnal des feuilles** dans les peuplements forestiers pour différentes essences présentes sur notre territoire. Ces dates marquent le début et la fin de la saison de végétation. Ces données varient chaque année et sont très sensibles aux variations de température. Elles peuvent donc permettre de mesurer l'influence du climat sur le développement des arbres.

**La mesure de ce facteur nécessite une présence sur place pendant les périodes de bourgeonnement et de jaunissement des feuilles. Ceci est rendu possible par le réseau de volontaires pour l'observation de la phénologie. Ces volontaires sont des propriétaires forestiers, des gardes ou des agents de l'ONF qui nous transfèrent les données que nous compilons et analysons ensuite.**

#### **1) Bilan climatique 2020**

L'année 2021 est différente de 2020 et montre un contre-exemple du climat futur : record de froid en février, pic de chaleur fin mars pour ensuite avoir des gelées début avril sans compter une pluviométrie excédentaire de 8 % sur l'ensemble de la région.

## 2) Résultats des observations :

### 2.1.) Débourrement et jaunissement 2021 :

Peuplements forestiers 2021								
Essence	débourrement printanier				jaunissement automnal			
	Première observation (stade 1)	Date moyenne de début (stade 1)	Date moyenne de fin (stade 2)	Dernière observation (stade 2)	Première observation (stade 1)	Date moyenne de début (stade 1)	Date moyenne de fin (stade 2)	Dernière observation (stade 2)
Aulne glutineux	08-avr	8-avr.	22-avr.	22-avr	15-oct.	15-oct.	5-nov.	5-nov.
Bouleau	27-mars	27-mars	3-avr.	3-avr.	28-août	28-août	26-sept.	26-sept.
Charme	19-mars	30-mars	9-avr.	17-avr.	4-sept.	2-oct.	15-oct.	13-nov.
Châtaignier	18-avr	20-avr.	30-avr.	6-mai	26-sept.	4-oct.	22-oct.	1-nov.
Chêne	01-avr	10-avr.	18-avr.	26-avr.	20-sept.	11-oct.	28-oct.	16-nov.
Erable sycomore	09-avr	12-avr.	23-avr.	14-mai	16-sept.	10-oct.	26-oct.	24-nov.
Hêtre	03-avr	14-avr.	22-avr.	30-avr.	16-sept.	7-oct.	27-oct.	24-nov.
Merisier	27-mars	7-avr.	16-avr.	2-mai	11-sept.	27-sept.	17-oct.	5-nov.
Noisetier	26-mars	29-mars	12-avr.	15-avr.	11-sept.	25-sept.	10-oct.	17-oct.
Peuplier	27-mars	3-avr.	10-avr.	15-avr.	28-août	26-sept.	8-oct.	27-oct.
noyer	22-avr	26-avr.	6-mai	13-mai	25-sept	11-oct.	29-oct.	13-nov.

*Synthèse des données phénologiques recueillies par les observateurs volontaires de l'OREF et par l'ONF dans les peuplements forestier des Hauts-De-France.*

Les principales essences observées sont : Chêne (pédonculé et sessile), Hêtre, Erable sycomore, Charme, Bouleau verruqueux, Châtaignier, Merisier, Peuplier (tous les cultivars confondus). Pour rappel, suite au développement de la chalarose sur la région, le Frêne est exclu des observations.

Feuillaison (ou débourrement) : le débourrement a été plus tardif d'une semaine par rapport aux deux dernières années. Par contre la phase de feuillaison reste la même et est en **moyenne est de 9 jours**.

Jaunissement : Par rapport à la phase de débourrement, le jaunissement des feuilles s'étale davantage dans le temps, la durée étant de 18 jours, comme 2019 et 2020.

**La saison de végétation<sup>1</sup> dure en moyenne 169 jours, 1 jour de moins que 2020.**

<sup>1</sup>Période entre le débourrement de l'arbre et le jaunissement foliaire

## 2.2.) Observation des successions d'essences en phénologie

Depuis la création du réseau d'observations, nous avons mentionné les essences qui déboussaient le plus précocement sans trop analyser réellement la succession des essences et voir si celles-ci étaient la même selon les années.

Quel que soit le stade de débournement observé (10% ou 90%), les résultats sont les mêmes. On retrouve les essences pionnières et de sous étage en premier telles le noisetier et le bouleau. Malgré quelques variations entre les années la répartition est la suivante : Bouleau, Noisetier, Charme, Merisier, Chêne, Erable sycomore, Hêtre.

Année	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
Succession des essences de la plus précoce à la plus tardive	1	bouleau						
	2	noisetier						
	3	charme						
	4	merisier	chêne	merisier	merisier	merisier	Merisier	Merisier
	5	chêne	merisier	chêne	érable	érable	Chêne	Chêne
	6	hêtre	hêtre	érable	chêne	chêne	Erable	Erable
	7	érable.	érable	hêtre	hêtre	hêtre	Hêtre	Hêtre
	8							

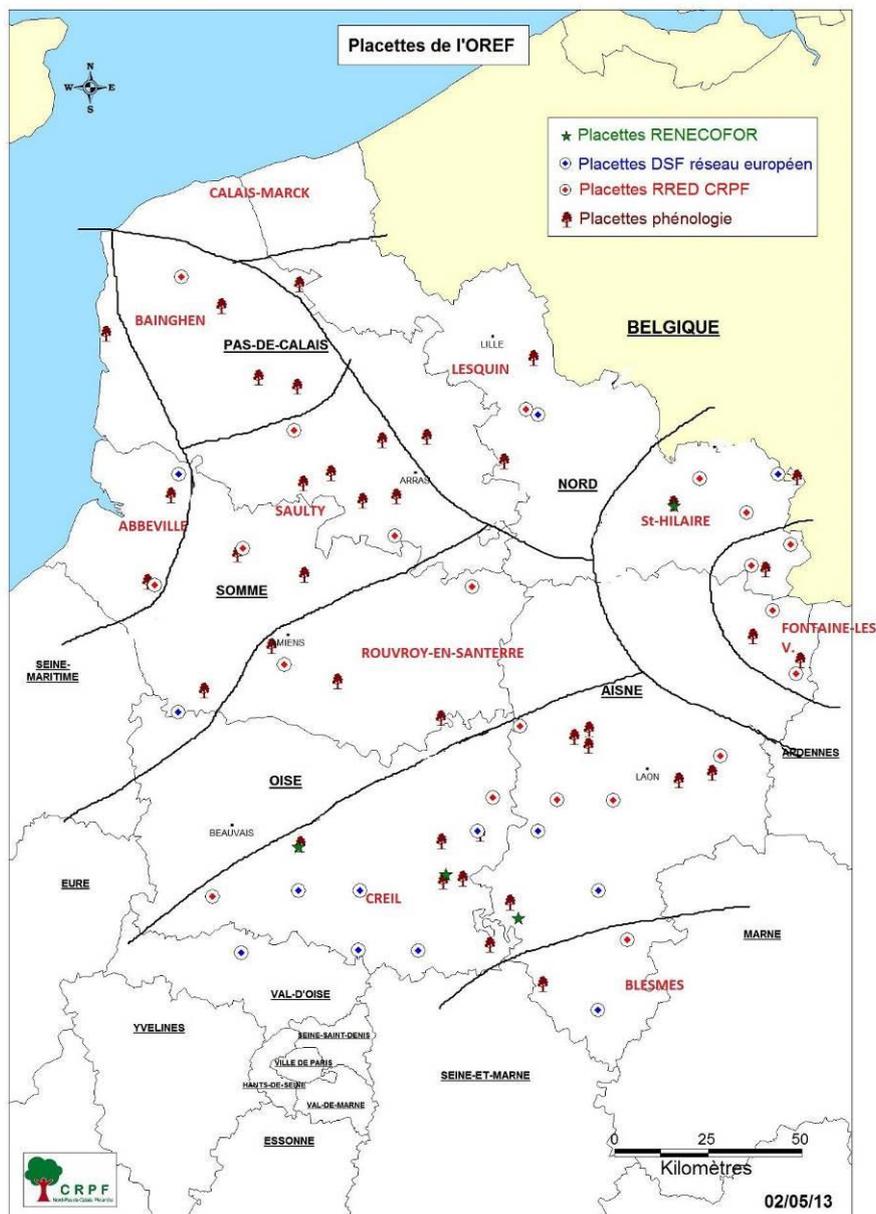
Pour le jaunissement ceci est moins flagrant mais nous avons les deux groupes identiques.

classement général	
1er groupe	merisier
	bouleau
	noisetier
	charme
2e groupe	chêne
	érable
	hêtre

## 3.3.) Localisation des différentes dates de débournement jaunissement pour le chêne et le hêtre

Le chêne et le hêtre sont les deux essences les plus observées dans notre réseau de personnes volontaires.

Les zones climatiques homogènes (cf. carte ci-contre) sur les deux régions, établies par Météo France au nombre de 10, correspondent à des regroupements de points d'observations phénologiques et placettes de l'observatoire où il y a des similitudes climatiques.



Carte des différentes zones climatiques (source: Météo France)

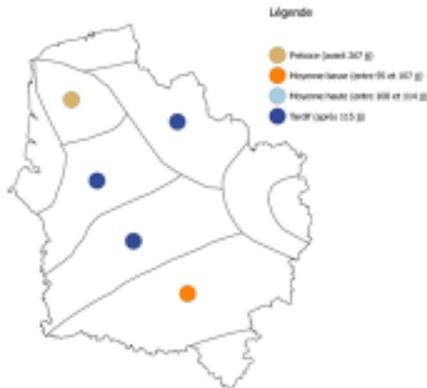
En calculant la moyenne des premiers stades (débourrement et jaunissement) selon les différentes zones "climatiques", on obtient les cartes ci-dessous.

Les classes de précocité et de tardivité ont, quant à elles, été déterminées par la médiane et les quartiles de chaque date de débourrement/jaunissement et par essence.

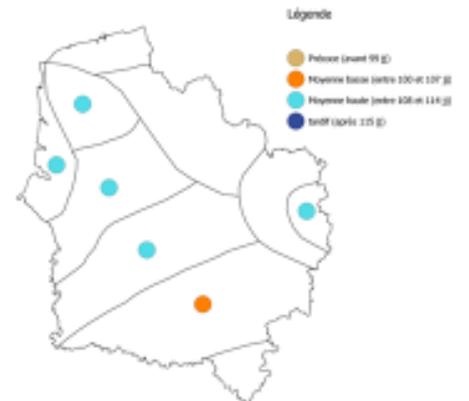
Précoce	Normal	Tardif	Très tardif
25% des observations ont des dates comprises dans cette période	25% des observations comprises dans cette période	25% des observations comprises dans cette période	25% des observations comprises dans cette période

*Cartes des différentes dates de débourrement et de jaunissement suivant les zones climatiques pour le hêtre et le chêne*

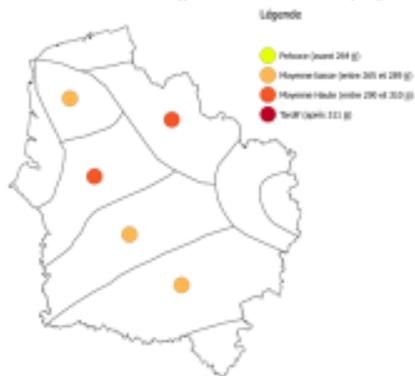
débourrement du chêne (par zone bioclimatique)



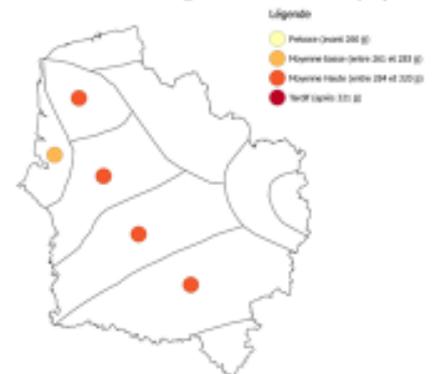
débourrement du hêtre (par zone bioclimatique)



jaunissement du chêne (par zone bioclimatique)



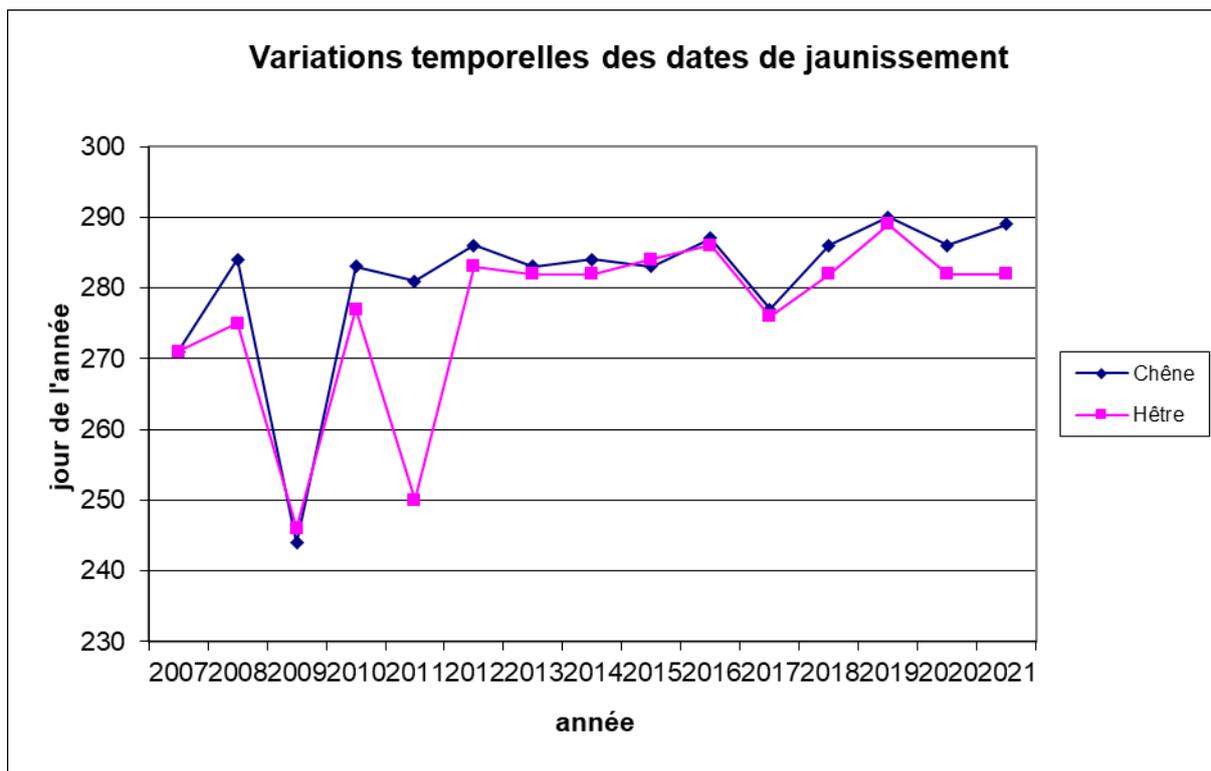
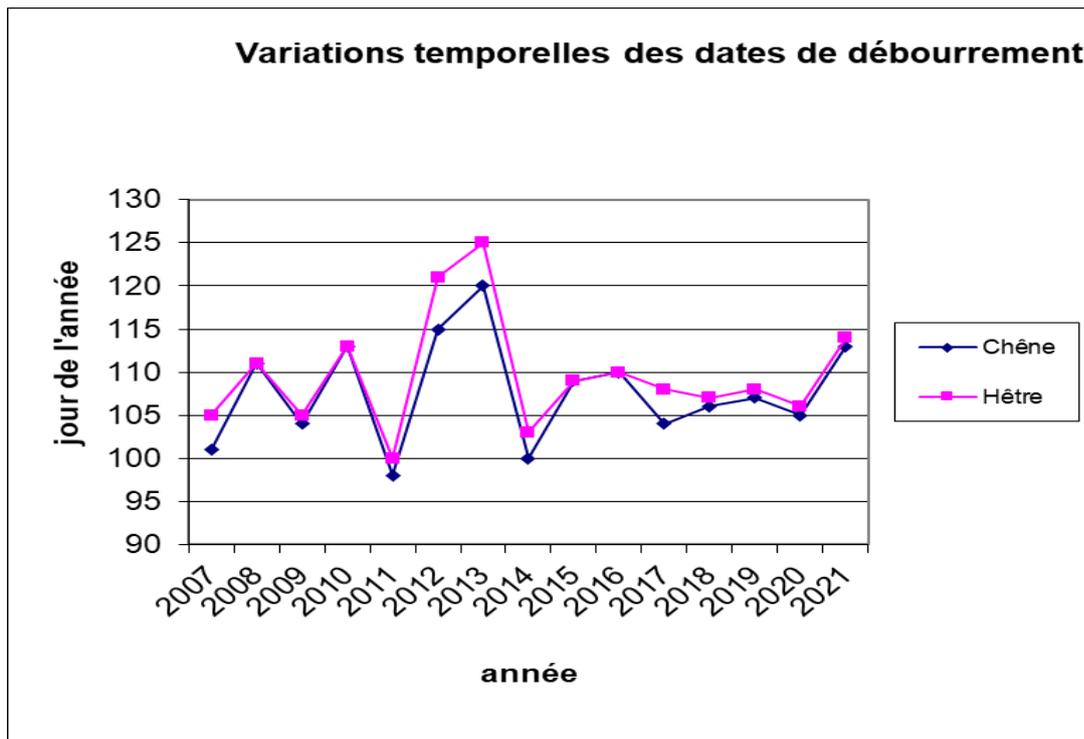
jaunissement du hêtre (par zone bioclimatique)



Généralement le débourrement est plus avancé au sud-est de la région. Pour le jaunissement c'est plus compliqué à trancher. Il y a une homogénéité pour le hêtre cette année et pour le chêne un jaunissement plus précoce aux deux extrémités de la région.

**B) Evolution des données de débourrement et de jaunissement depuis 2007 :**

Nous avons repris ici les données du premier stade de débourrement et de jaunissement depuis la mise en place de cet observatoire en 2007. Seules les essences hêtre, chêne ont été retenues pour un souci d'effectif.



Comme vu en première partie, l'année 2021 montre un débournement plus tardif pour les deux essences relatif au climat compliqué du printemps (chaud, froid, gelées). Le jaunissement diffère pour les deux essences. Pour le hêtre il est plus tardif que 2020, peut-être est-ce dû à une végétation bien arrosée et sans contrainte de stress hydrique et croissance.

**Ces graphiques mettent bien en évidence les variations interannuelles de la phénologie des arbres en relation avec les variations climatiques interannuelles. Pour le moment il**

**n'y a pas de tendance observable sur un débourrement plus précoce tout comme un jaunissement plus tardif.**

### **BILAN 2021**

- **L'année particulière de 2021 et surtout ses gels tardifs ont retardé le débourrement.**
- **Il n'y a pas eu de jaunissement précoce lié au déficit hydrique voir même pour certaines essences des jaunissements plus tardifs.**
- **Poursuite des comparaisons entre les années, bonne corrélation entre les variations climatiques interannuelles et l'évolution de la phénologie des arbres.**
- **Succession temporelle des essences inchangée**
- **Impact du gradient Nord Ouest/Sud Est difficilement observable cette année.**

**Poursuite des observations et extension du réseau pour confirmer les conclusions, étendre si possible sur d'autres essences.**

**Etre une référence au niveau régional pour les observatoires climat et au niveau national pour les organismes de recherche.**

**Notre réseau va rejoindre l'observatoire des saisons sur telabotanica. Pour plus d'info, rendez-vous sur**

**<https://www.obs-saisons.fr/>**

**Merci aux observateurs volontaires pour le temps dédié à la collecte des données !**

#### 4.4 DONNEES POLLINIQUES



Pour compléter les données phénologiques, nous avons recueilli les données polliniques grâce au Réseau National de Surveillance Aérobiologiques. En voici donc les principaux résultats.

Cette année 2021, la saison pollinique a démarré sur les chapeaux de roues avec la **floraison précoce des noisetiers en raison des températures douces** de l'hiver avec une anomalie positive de 1,2°C en France. Les observateurs phénologiques nous ont fait remonter dès fin décembre, le début de la floraison des noisetiers sur plusieurs sites du nord et de l'est du pays. Les aulnes aussi, dans une moindre mesure que les noisetiers, ont commencé dès janvier à libérer leurs pollens allergisants.

**Les précipitations, très abondantes début février, ont apporté un peu de répit aux allergiques.** La fin de l'hiver a été printanière avec des records de douceur fin février (températures plus de 4 °C au-dessus des normales) qui ont favorisé, dans le sud du pays, l'explosion des concentrations des pollens de Cupressacées et de frêne qui ont gêné fortement les allergiques. Le risque d'allergie a été maximal pendant plusieurs semaines de fin janvier à mi-mars autour de la Méditerranée pour les pollens de Cupressacées.

Le mois de mars a été un peu comme celui de février avec très peu de pluie, beaucoup de soleil ! Mais aussi avec une période plutôt fraîche entre le 20 et le 24 qui a permis aux cyprès, peupliers, aulnes et noisetiers de perdre du terrain en terminant leur floraison et en laissant un peu de répit aux allergiques. Mais le répit a été de courte durée, car fin mars ce sont les pollens de platane qui ont pris le relais avec un risque d'allergie faible à localement moyen et des concentrations qui ont été fortes pendant environ deux semaines, d'abord dans le sud du pays puis dans toute la France. Les pollens de Pinacées (pin, sapin, épicéa) ont eux aussi été très abondants dans l'air dès la fin mars formant, lors des épisodes de vent fort, des nuages jaunes qui ont recouvert les voitures, routes, fenêtres, trottoirs, tables et balcons. Mais fort heureusement ces pollens de Pinacées ne sont pas allergisants et n'ont donc pas gêné les allergiques. Un pic de chaleur remarquable du 29 mars au 1er avril a favorisé le début de floraison des bouleaux qui a été vraiment très rapide et leurs pollens très allergisants ont vite gêné les allergiques. Le début du mois d'avril a aussi été très doux dans la continuité de la fin mars et les allergiques aux pollens de bouleau ont dû redoubler de prudence car les concentrations de pollens dans l'air étaient très fortes. Les pollens de pariétaires (Urticacées) sont aussi montés en puissance début avril, surtout dans le sud du pays où ils ont pu gêner les personnes sensibles.

Par la suite, **les coulées d'air arctique se sont succédées en avril et ont entretenu une ambiance très fraîche sur la France avec de fréquentes et sévères gelées.** Les pollens de bouleau ont peu à peu perdu du terrain et ont laissé la place aux pollens de chêne et de graminées qui sont arrivés dès la mi-avril par le sud du pays. Des passages pluvieux et venteux ont défilé tout au long du mois suivant **sur la France, qui n'avait pas connu de mois de mai aussi pluvieux depuis 2013.** Cette pluie a limité la dispersion des pollens dans l'air mais a malheureusement favorisé la croissance des graminées qui ont pu libérer de très grandes quantités de pollens dans l'air fin mai et en juin quand le temps est devenu moins humide. Les risques d'allergie ont été très élevés dans tous les départements pendant plusieurs semaines sur cette période.

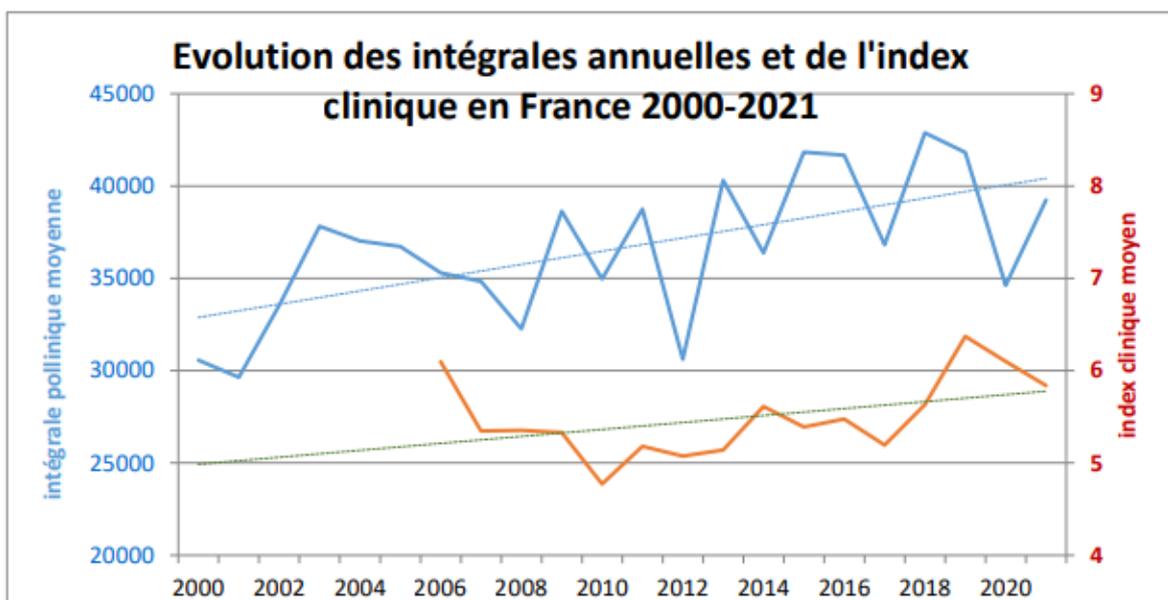
Données pollens : RNSA : [www.pollens.fr](http://www.pollens.fr)

Données Météorologiques : Météo France : [www.meteofrance.fr](http://www.meteofrance.fr)

Rédaction : Samuel MONNIER

Les pollens ont bien été présents en 2021 et les conditions météorologiques contrastées ont favorisé la dispersion des pollens tout au long de l'année. En début d'année, les aulnes et les

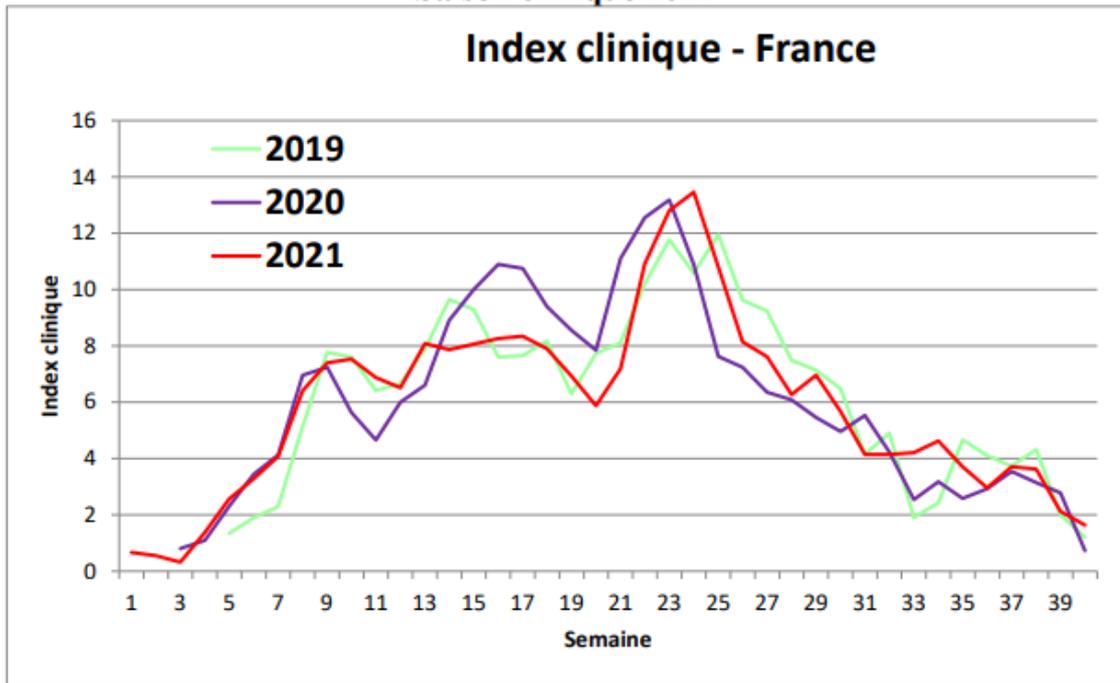
noisetiers ont bien gêné les allergiques avec un démarrage relativement précoce et fort. Par la suite, des quantités importantes de pollens de Cupressacées ont été relevées fin février-début mars autour de la Méditerranée avec des risques d'allergie qui sont restés très élevés pendant plusieurs semaines. Les pollens de bouleau ont aussi gêné fortement les allergiques avec un fort démarrage fin mars-début avril et des valeurs proches de 2019 et 2020. Les pluies du mois de mai ont favorisé la croissance des graminées et dès que le soleil a fait son retour fin mai, les allergiques ont été gênés par les pollens de graminées, et les risques d'allergies sont restés au niveau maximal pendant plusieurs semaines sur toute la France en juin. En août et septembre, les pollens d'ambroisie étaient bien au rendez-vous avec des concentrations qui sont restées élevées encore cette année surtout lors des belles journées ensoleillées. Les quantités de pollens d'ambroisie sont en augmentation en 2021 sur la plupart des sites de mesure. La vigilance des allergiques a été très forte et les informations encore très suivies tout au long de cette année 2021.



L'intégrale pollinique moyenne est en augmentation en 2021 par rapport à 2020 tandis que l'index clinique moyen est lui en légère diminution. Globalement, la tendance reste à la hausse pour ces deux courbes que sont l'intégrale pollinique et l'index clinique.

Les pollens de Cupressacées sur le pourtour méditerranéen, et les pollens d'aulne et de noisetier sur le reste de la France sont responsables d'un premier pic de symptômes apparu fin-février début-mars, très intense dû à une météo ensoleillée et chaude. Le repos de courte durée qui a suivi a vite laissé la place à la deuxième vague de symptômes due aux arbres printaniers, tel que les bouleaux, les frênes, platanes etc. Cette deuxième vague a été plus longue que les années précédentes mais moins intense. Elle a surtout profité des belles conditions printanières de la fin du mois de mars. Les allergiques ont ensuite eu un peu de répit de mi-avril à fin mai. Les symptômes ont ensuite rapidement progressé fin-mai début-juin avec l'arrivée des pollens de graminées jusqu'à un pic qui est le plus important de ces trois dernières années la semaine 24. On observe ensuite une diminution rapide des symptômes sur le mois de juillet avec un temps plus frais et humide qui a limité les symptômes allergiques. Les pollens d'ambroisie sont la cause principale du dernier rebond des symptômes allergiques, moins visible car plus localisé, la gêne a été forte dans les zones d'infestation de la plante de mi-août à fin septembre.

### Saison clinique 2021



## 4.5 DONNES PHYTOSANITAIRES



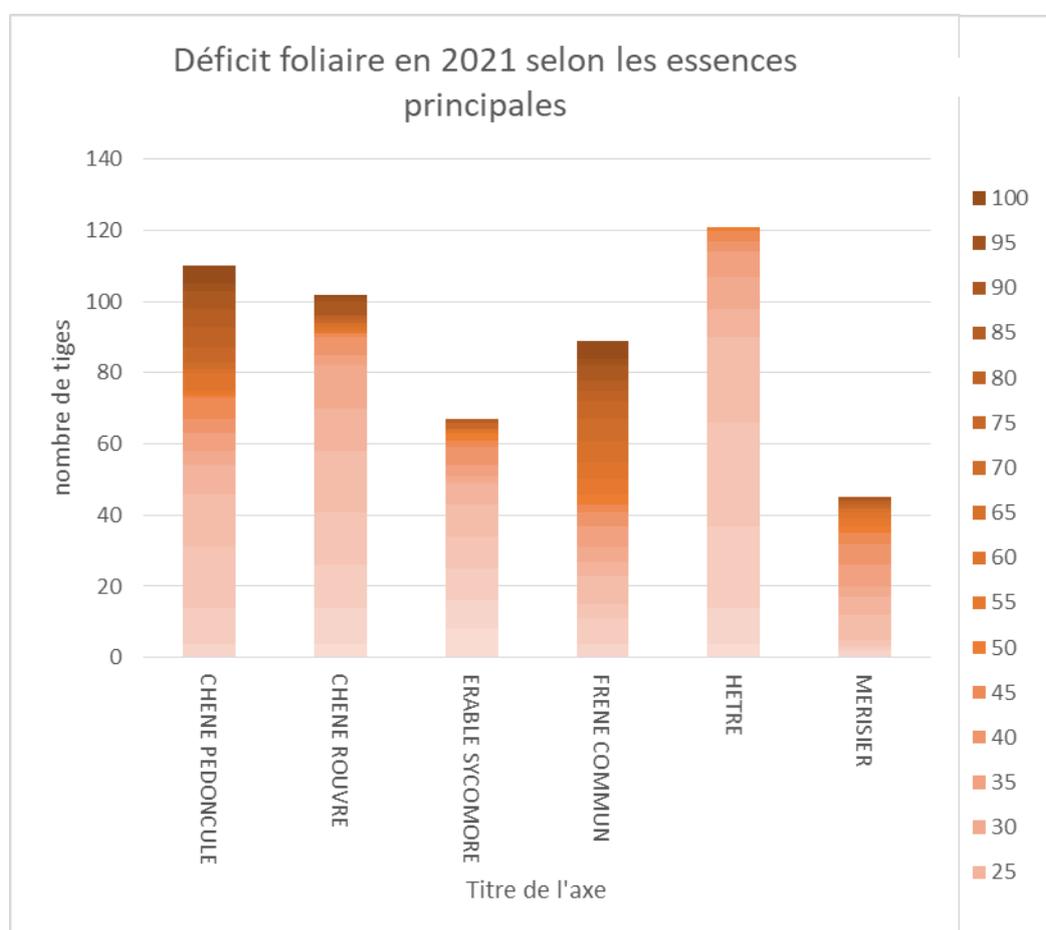
#### 4.5.1 Synthèse des placettes

Cette synthèse a été réalisée à partir d'un document élaboré par le DSF et **du bilan 2021 Hauts-de-France** effectué par les correspondants-observateurs (C.O.) de la grande région.

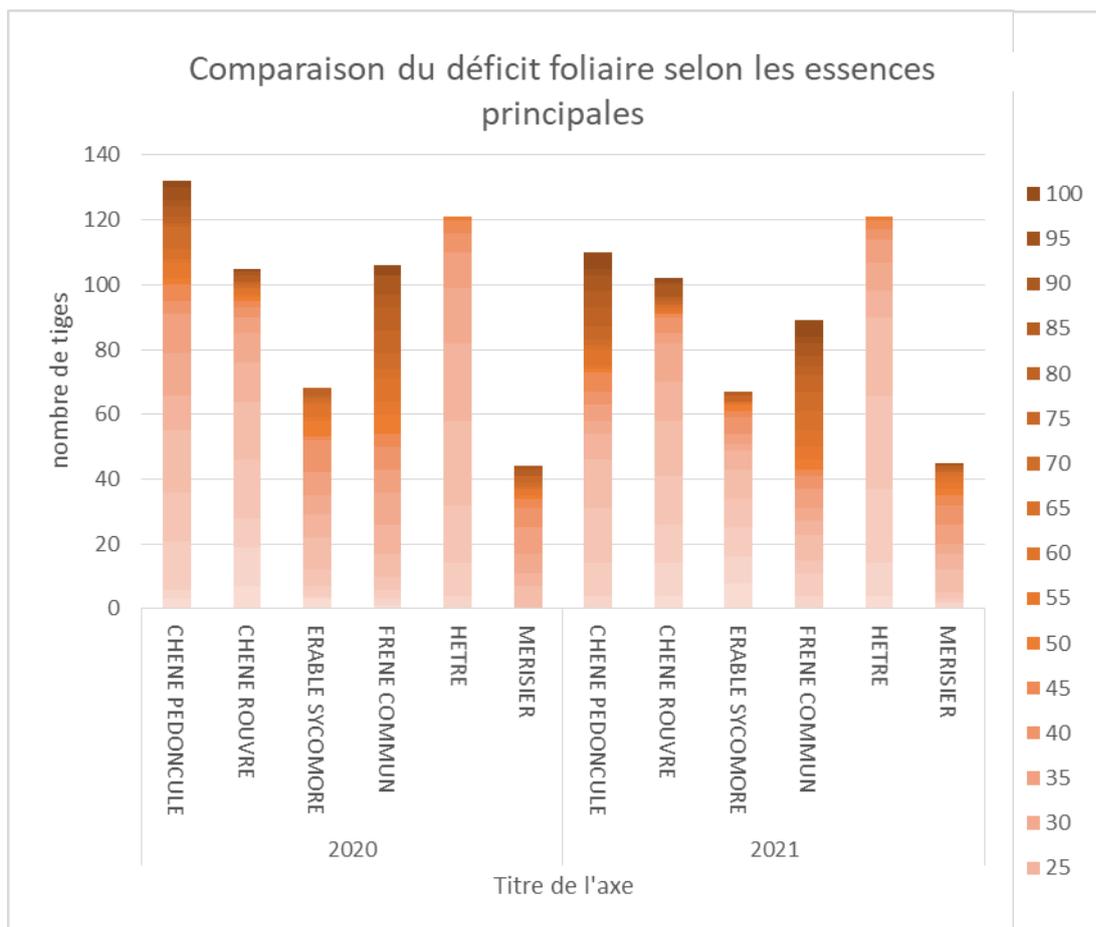
Dans le cadre de la création d'un observatoire régional des écosystèmes forestiers, le CRPF Hauts-de-France a souhaité compléter le réseau systématique de suivi des dommages forestiers (13 placettes pour la région, dont 2 en forêts domaniales) par 22 placettes supplémentaires choisies sur des critères propres, de manière non systématique.

La saisie des notations a été faite sur le serveur internet du département de la santé des forêts (hébergé par l'IFN), selon les mêmes modalités que les saisies relatives au réseau systématique et donnent les résultats suivants.

##### 4.5.1.1 Déficit foliaire

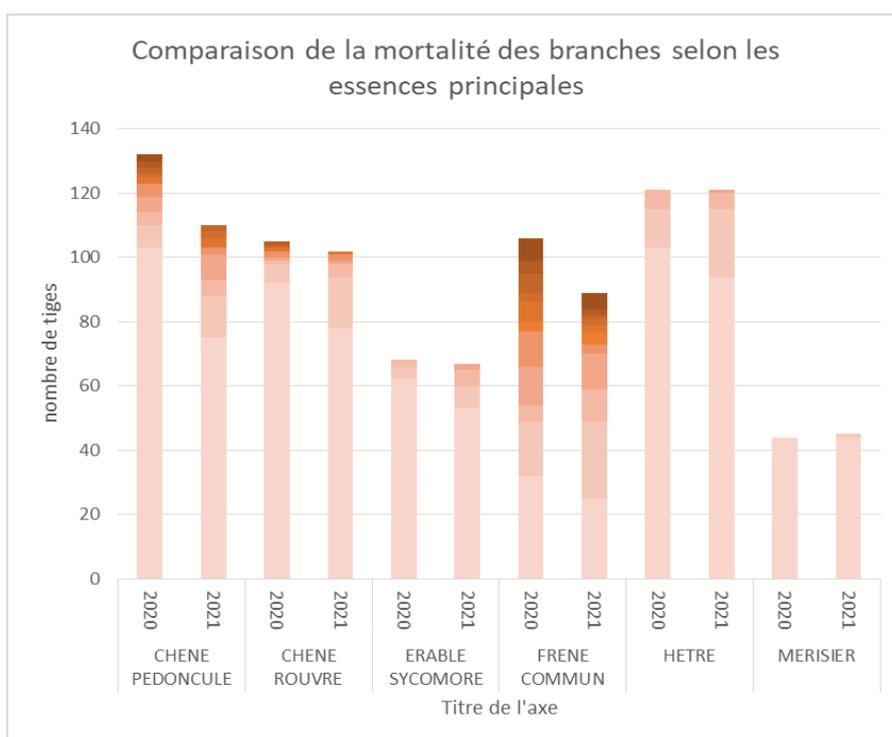
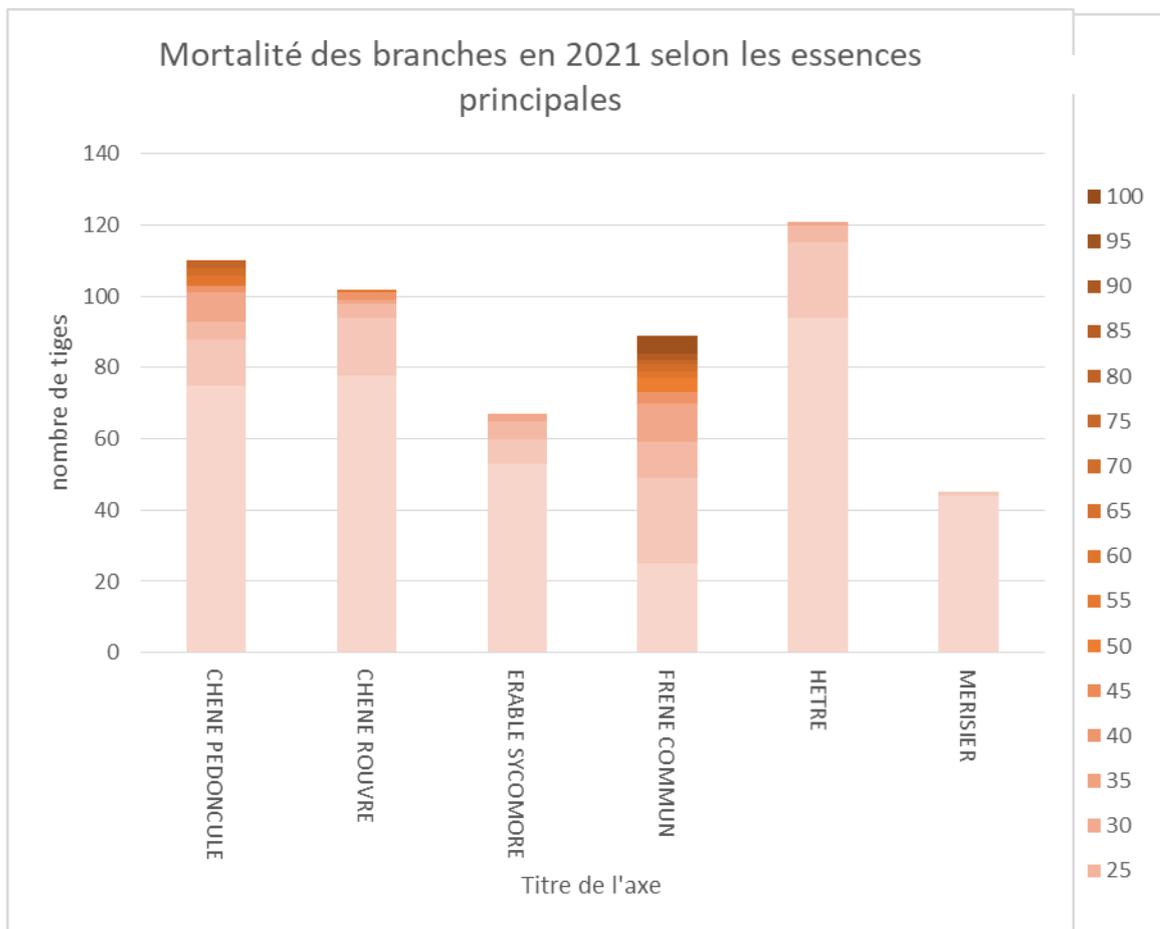


En 2021 les essences les plus touchées au niveau du déficit foliaire sont le frêne avec la chalarose mais également les chênes avec les défoliations dues aux processionnaires.



Si l'on compare les déficits foliaires de 2021 à ceux de 2020 il y a une légère dégradation pour les essences chênes et frêne. On note une amélioration pour l'érable sycomore et pas de changement pour le hêtre et merisier.

#### 4.5.1.2 Mortalité des branches



Concernant maintenant le taux de mortalité des branches, la plupart des tiges observées n'ont pas ce type de dommage (classe 0). Si l'on s'intéresse maintenant à la répartition des essences touchées, le **frêne est l'essence qui a le plus gros pourcentage de sujets atteints car il possède des tiges en classe 3+**

**et 4 et ce de manière récurrente à travers les années.** Tout comme avec le déficit foliaire, le chêne pédonculé arrive en deuxième position. Si l'on compare entre les deux dernières années hormis pour le merisier les essences ont un nombre de tiges plus élevé en 2021 avec une mortalité de branches et pour certaines d'entre elles des classes élevées plus marquées.

#### 4.5.2 Synthèse régionale du DSF Nord Ouest

Cette synthèse est réalisée à partir des observations effectuées par les correspondants observateurs en 2021.

##### Faits marquants 2021

Au gré des observations réalisées par les correspondants-observateurs, certains faits ont particulièrement marqué la saison de végétation 2021 :

- les pullulations d'ampleur inédite de processionnaire du chêne ;
- les dégâts provoqués par l'attaque 2020 de puceron lanigère des peupliers ;
- un été humide favorable aux pathogènes foliaires.

##### Indicateurs de la santé des principales essences

Santé des essences		Principaux problèmes et niveau d'impact	
	<b>Feuillus</b>		Hanneton (sur sols sableux)
	<b>Chênes rouvre et pédonculé</b>		Dépérissements (localement) Processionnaire du chêne
	<b>Hêtre</b>		Sécheresse, chaleur
	<b>Frêne</b>		Chalarose Sécheresse
	<b>Peupliers</b>		Rouille à <i>Melampsora</i> Puceron lanigère
	<b>Châtaignier</b>		Chancre Encre (localement)
	<b>Erables</b>		Maladie de la suie
	<b>Résineux</b>		Hylobe Scolytes (épicéas)
	<b>Douglas</b>		Cécidomyie du douglas
	<b>Pins</b>		Processionnaire des pins Sécheresse, chaleur (pin sylvestre)
Etat de santé :  = bon ;  = moyen ;  = médiocre			
Niveau d'impact des problèmes :  = faible ;  = moyen ;  = fort			

		2016	2017	2018	2019	2020	2021
<b>Toutes essences</b>	Sécheresse						
	Dégâts de gel						
<b>Feuillus</b>	Défoliateurs						
	Oïdium du chêne						
	Chalarose du frêne						
	Processionnaire du chêne					Localisé	
	Dépérissements de chênes		Localisé				
<b>Peupliers</b>	Rouilles du peuplier						
	Puceron lanigère						
<b>Résineux</b>	Scolytes					Epicéa	Epicéa
	Processionnaire du pin						
	Pathogènes foliaires						

	5	Problème absent ou à un niveau faible
	6	Problème nettement présent, impact modéré
	7	Problème très présent, impact fort

## Evénements climatiques de 2021

	Hiver 2020-2021	Printemps 2021	Eté 2021	Automne 2021
<b>Températures</b>	<b>Conformes aux normales</b> sauf février contrasté (+1°C au-dessus de la moyenne et vague de froid de 7 jours)	<b>En dessous des normales</b> Avril en dessous des moyennes + épisodes de gel sévères et prolongés (extrêmes = -7°C durant 2 jours à Beauvais)	<b>Proches des normales</b> Légèrement déficitaires en début de saison Plus chaudes en septembre (+2°C)	<b>Légèrement au-dessus des normales</b> , surtout sur la façade maritime (jusqu'à +2°C) Gelées plus fréquentes début décembre
<b>Pluviométrie</b>	<b>Contrastée</b> Excédentaire en janvier (+92% par rapport aux normales) Février-mars plus secs	<b>Excédentaire</b> Mai : + 23% Juin de +58% pour le Pas-de-Calais à +103% pour la Somme Déficitaire en Avril (8,3 mm au Cap Gris Nez)	<b>Contrastée avec épisodes de cumuls importants</b> Déficitaire en Picardie Normale en Nord-Pas-de-Calais Juillet plutôt excédentaire	<b>Contrastée</b> Légèrement déficitaire en moyenne sur la saison surtout sur façade maritime (60% des normales) Cumuls importants mais localisés début décembre
<b>Vent</b>	<b>Rare</b> Coups de vent le 20 janvier	<b>Peu soutenu</b> sauf quelques épisodes orageux ponctuels (19 juin : tornade secteur Château-Thierry)	Globalement <b>peu marquant</b>	Tempête Aurore 20 -21/10 Rafales > 100km/h Jusqu'à 125 km/h sur la côte
<b>Ensoleillement</b>	<b>Généreux</b> Février-mars excédentaires	<b>Conforme aux normales</b> Sauf avril excédentaire (+40%)	<b>Déficitaire</b>	<b>Excédentaire</b> De 20 à 30%
<b>Impact forestier</b>	Bon rechargement des réserves hydriques des sols	Favorable à la végétation (bonnes reprises des plantations) sauf gels impactants sur les fructifications	Conditions favorables à la végétation mais aussi aux pathogènes foliaires Températures fraîches impactant les insectes	Engorgements des sols/inondations (localisés) Températures plus douces = allongement de la saison de végétation

### Le puceron lanigère du peuplier sous surveillance

Suite aux attaques survenues l'an passé, principalement dans les peupleraies de l'Aisne, le DSF a mis en place à l'automne 2020 un suivi régional des peupleraies colonisées par le puceron lanigère pour en caractériser les éventuels dommages.

Cinq cultivars représentatifs du territoire ont fait l'objet de ce suivi : I214, Triplo, Albelo, Blanc du Poitou et Polargo.

Les premiers résultats montrent des mortalités pouvant atteindre 10% à 100% des tiges sur les cultivars I214, triplo, déjà connus pour leur sensibilité au puceron, et de manière plus inédite, sur le Blanc du Poitou.

Pour les autres cultivars, les dégâts étaient négligeables. Notons qu'une part significative des arbres colonisés a montré une sensibilité accrue au vent (volis). Les conclusions de l'étude en cours apporteront des données supplémentaires sur les croissances et les déformations.

A partir d'un seuil de 20% de mortalité l'été suivant l'attaque, il est conseillé de récolter la parcelle pour minimiser les pertes économiques. À l'inverse, il est inutile d'anticiper une récolte suite à l'observation seule de

feutrage ou fumagine en automne/hiver.



Dispositif de suivi montrant les fumagines de l'attaque 2020 (V. Durieux © DDT02)

### De la processionnaire du chêne à en donner des boutons

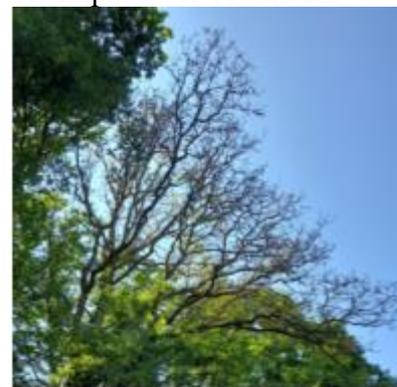


Chenilles processionnaires du chêne en quête de nourriture  
© B. Cano CRPF HdF

La processionnaire du chêne fait particulièrement parler d'elle depuis 2 ans en Hauts-de-France. Mais 2021 est le niveau le plus élevé de ces 20 dernières années.

Rappelons que ce papillon non-exotique s'établit sur les branches et troncs des chênes pour assurer son développement larvaire. Les chenilles consomment alors de grandes quantités de feuillages à partir de leur éclosion début mai et jusqu'à leur métamorphose en papillons à la mi-juillet. Au comportement grégaire, elles confectionnent des nids dans lesquels des colonies, de quelques dizaines à plusieurs milliers d'individus, trouvent refuge. Les papillons volent à partir de la mi-juillet à fin août pour se reproduire et pondre sur les rameaux de chêne, les œufs de la génération qui verra le jour au printemps suivant.

Au-delà des défoliations qu'elles provoquent, qui n'engendrent qu'un impact très relatif sur les arbres (sauf en conditions stressantes : stations limites, âge avancé, sylviculture déficiente, sécheresses, récurrence des attaques...), c'est surtout leur caractère urticant qui engendre le plus de préjudice. Les poils que les chenilles diffusent dans l'atmosphère sont en effet particulièrement abondants dans les forêts infestées, ce qui a été fréquent cette année dans bon nombre de massifs. Démangeaisons, urticaires, réactions allergiques, voire même hospitalisations ont été rapportés par les usagers des forêts. Le DSF reste attentif à mettre à profit son expertise pour accompagner les propriétaires et gestionnaires forestiers, ainsi que les stratégies de l'Etat pour faire face à ce phénomène. Attention toutefois aux communications hasardeuses et confuses à la



Défoliation totale sur un chêne adulte fortement colonisé  
© B. Cano CRPF HdF

recherche de sensationnalisme, qui circulent abondamment à la faveur de cette conjoncture favorable...

### Un été idéal pour les pathogènes foliaires

Compte tenu de l'humidité estivale, beaucoup de pathogènes foliaires se sont significativement exprimés cette année. Parmi les plus connus, on citera l'oïdium du chêne, la rouille des peupliers, la maladie des bandes rouges des pins ou encore la cylindrosporiose du merisier. Ils ont montré une précocité d'attaque et une agressivité marquantes. Les attaques les plus critiques ont entraîné des défoliations parfois importantes. Moins connue, la maladie des taches blanches de l'érable s'est également manifestée.



Attaque de la maladie des taches blanches de l'érable  
© B. Cano CRPFHdF

Des rougissements et chutes d'aiguilles de mélèze signalés à partir du début de l'été ont mis en évidence un pathogène jusqu'à présent non-observé en Hauts-de-France. Il s'agit du champignon *Mycosphaerella laricina*. L'aspect rouge-brun des parties inférieures du houppier est un signe typique de cette maladie qui ne présente qu'un impact modéré (dépérissement de certaines branches).

Enfin, rappelons que la chalarose du frêne est également un champignon foliaire, dont le développement est favorisé par ces mêmes conditions d'humidité. Alors que les étés 2018 à 2020 lui ont été plutôt défavorables, les infections de 2021 pourraient probablement aboutir à des dommages à nouveau plus manifestes en 2022...

### La cécidomyie des feuilles du douglas

La cécidomyie des aiguilles du douglas est un insecte originaire d'Amérique du Nord. Signalée depuis quelques années, les observations sont en augmentation. Un suivi spécifique



sur cette problématique est en cours dans le but d'évaluer l'impact de l'insecte sur la croissance et la vitalité des douglas. Si les premiers éléments tendent à montrer un effet limité sur la vitalité des arbres, l'étude devrait apporter des précisions de l'impact sur la productivité de l'essence.

Dans la région, l'incidence est actuellement faible mais nécessite une surveillance. Des symptômes tels que la présence de galles, la décoloration, la chute d'aiguilles doivent être signalés au correspondant-observateur local.

Nécroses brunes-violetées des aiguilles de l'année renfermant les larves mineuses de cécidomyie  
(© V. Durieux DDT 02)



Chenille de bombyx disparate  
(© M. Goudet DSF)

### Le bombyx disparate, des signalements en progression

L'appétit vorace des chenilles de ce papillon peut engendrer des défoliations importantes sur feuillus et résineux. Surtout friande de chêne, ses similitudes avec la processionnaire (apparence, présence sur les chênes, période de consommation du feuillage semblable de mai à mi-juillet...) tendent souvent à confondre les deux espèces. Pourtant, cette chenille n'est pas grégaire et surtout n'est pas urticante ce qui n'engage pas les mêmes mesures en terme d'enjeu de santé publique. Contrairement à la processionnaire du chêne, on n'observe pas ces dernières années chez le bombyx disparate des pullulations

qui se répètent chaque année. Au bout de 2 à 3 ans, la gradation de la population s'écroule naturellement.

En fin d'été 2021, quelques cas circonscrits, où les pontes de bombyx ont été particulièrement abondantes, ont été signalés dans le Noyonnais. Bien que les événements de l'hiver à venir seront déterminants dans la survie des œufs (parasitisme, prédation), de tels niveaux de pontes tendent à rendre plus probables des pullulations ponctuelles en 2022.



*Ponte de bombyx disparate (@ B. Cano CRPF HdF)*

## Les interlocuteurs 2022

02		<b>DURIEUX Vincent</b> vincent.durieux@alsne.gouv.fr	03.23.27.66.48
02		<b>MONFROY Stéphane</b> stephane.monfroy@onf.fr	03.23.97.61.16 06.46.43.11.57
02 Sud		<b>BESNARD Clémence</b> clemence.besnard@cnpf.fr	03.23.93.15.26 06.77.52.52.58
60 - 80		<b>BRAULT Stéphane</b> stephane.brault@onf.fr	03.44.86.52.97 06.20.01.17.06
60		<b>PILLON Marie</b> mp.syndicat@wanadoo.fr	03.44.36.00.22 06.76.57.10.64
60 - 76 Bray		<b>LAGER Julien</b> julien.lager@cnpf.fr	03.22.33.52.13 06.74.23.41.81
80		<b>CANO Benjamin</b> benjamin.cano@cnpf.fr	03.22.33.52.13 06.75.96.42.67
59		<b>LARIVIERE Marie-Hélène</b> marie-h.lariviere@nord.gouv.fr	03.28.03.83.97
59-62		<b>RENOUF Laurent</b> laurent.renouf@onf.fr	03.20.74.66.28 06.73.98.11.87
62		<b>HOCHART Jérôme</b> jerome.hochart@pas-de-calais.gouv.fr	03.21.50.30.12

## 8 Synthèse de l'étude INRA sur les liens entre croissance radiale et perte foliaire des hêtres sur le réseau DSF et l'OREF

L'Observatoire Régional des Ecosystèmes Forestiers (OREF) a été mis en place et est piloté par le CRPF Haut-de-France depuis 2007. Il est composé actuellement de 38 placettes et a pour vocation de suivre l'évolution des écosystèmes forestiers de la région Hauts-de-France et d'étudier la relation avec les changements climatiques. Plusieurs types de données y sont relevés annuellement, et donnent lieu notamment à la rédaction d'une synthèse annuelle. Dans le cadre de l'OREF, le CRPF s'associe à d'autres organismes scientifiques afin de compléter ses connaissances sur l'évolution des forêts face au changement climatique. C'est pourquoi le CRPF a décidé d'intégrer un projet d'analyse des données dendrochronologiques mené par l'INRA qui effectuera des échantillonnages sur 8 placettes de l'observatoire.

De son côté, l'INRA a lancé une **analyse rétrospective des cernes pour 9 essences de la forêt française, sur plus de 300 placettes réparties** dans tout le territoire (réseau 16 x 16 du Département Santé des Forêts). Les **8 placettes de l'OREF** viennent compléter l'échantillon initial dans des régions assez peu couvertes par les forêts, et donc statistiquement mal décrites par l'échantillonnage systématique du DSF de 16 x 16 km. Par ailleurs l'INRA **couple son analyse avec les données de déficit foliaires** disponibles sur l'ensemble du DSF et de l'OREF. Ces observations sont réalisées annuellement sur l'ensemble du réseau par les correspondants observateurs du DSF dont font partis certains techniciens du CRPF. Le réseau français du DSF fait partie du réseau transnational ICP Forests, initialement mis en place pour étudier l'impact de la pollution de l'air sur les forêts.

L'étude menée par l'INRA de Nancy qui intègre donc les données de l'OREF a conduit à la publication d'un article scientifique (Tallieu et al., 2020) que l'on pourrait traduire ainsi : « L'évolution de l'état de la couronne des arbres une année sur l'autre contribue peu à expliquer les variations de largeur de cernes des hêtres du réseaux français ICP niveau 1 (DSF). »

Cette étude a pu établir de façon robuste le **lien entre les observations de perte foliaire annuelles sur l'ensemble du réseau de placette et la croissance radiale annuelle issues de la dendrochronologie**. Les observations couplées de croissance radiale et perte foliaire ont été mené sur un total de 715 hêtres commun (*Fagus sylvatica*) réparties sur l'ensemble du réseau.

Les chercheurs ont identifié les indicateurs climatiques susceptibles d'expliquer les variations observées de nos 2 variables d'intérêt. Le model Biljou s'est avéré fort utile car il peut décrire de façon journalière les flux hydriques entre l'atmosphère, la canopée et le sol. Par ailleurs les variables climatiques journalières ont été extraites pour chaque parcelle à partir des données climatiques SAFRAN qui couvrent l'ensemble de la France avec un maillage de 8 km X 8 km et avec une précision journalière.

Par ailleurs les chercheurs ont utilisé les variations interannuelles de perte foliaire ainsi que l'indice de largeur de cerne annuelle comme variable de réponse dans l'algorithme de machine-learning (méthode informatique d'apprentissage automatique) Random Forest afin d'étudier si ces 2 variables présentent une réponse commune aux dangers abiotiques et biotiques. De façon générale, l'outil statistique Random Forest s'avère très efficace pour identifier des relations complexes et non-linéaires entre variables et donc d'en déduire quelles variables explicatives sont les plus pertinentes à retenir. Les 2 variables ont montré une corrélation semblable au déficit hydrique du sol. Ces résultats corroborent d'autres études sur

le sujet : **Le déficit hydrique altère la croissance des rameaux et réduit le nombre et la taille des feuilles.** (Zahner, 1968).

L'étude montre que la **croissance radiale est particulièrement affectée par le déficit hydrique du sol de l'année en cours.** Elle décroît particulièrement avec l'augmentation du déficit hydrique durant la période estivale de l'année en cours (juin et juillet). Ainsi il faut retenir de cette étude que la variation interannuelle de la croissance radiale dépend principalement de la **durée et de l'intensité du déficit hydrique sur la période de végétation en cours mais aussi de la longueur de cette saison de végétation, autrement dit la période d'absorption du carbone** par le peuplement via le mécanisme de la photosynthèse. D'ailleurs les études sur la phénologie du hêtre montrent une augmentation de cette période végétative, ce qui se traduit d'une part par une plus forte absorption de carbone (meilleur rendement) mais aussi une augmentation du risque de stress hydrique (période de transpiration des arbres plus longue etc ...). **Face au stress hydrique les hêtres alloueraient donc d'avantage de carbone au stockage au détriment de la croissance.**

**En revanche les pertes foliaires semblent d'avantage dépendre des conditions climatiques de l'année précédente.** Le déficit hydrique de l'année précédente augmente ainsi la perte foliaire de l'année. Cela pourrait s'expliquer par une corrélation entre la croissance primaire et secondaire liée à la circulation de la sève dans les vaisseaux de xylème. Les pousses se développant l'année n sont déjà présentes dans le bourgeon qui se forme l'année précédente sous forme d'ébauches foliaires. Le nombre d'ébauches foliaires qui vont apparaître va dépendre du flux de sève durant la période végétative de l'année n-1 lui-même dépendant du stress hydrique durant cette même période. Précisons que ce constat n'est pas nouveau car il a été fait de nombreuses fois à travers différentes recherches en Europe. (Breda and Badeau, 2008; Power, 1994; Seidling, 2007; Seidling et al., 2012; Wilson et al., 2008; Zierl, 2004).

A titre d'exemple, en zone de montagne, les gels tardifs ont significativement impactés l'état de la couronne des arbres mais aucun impact notable.

Sur cette étude du hêtre, les dommages biotiques n'ont pas montré beaucoup d'impact que ce soit sur l'état de la couronne des arbres ou sur leur croissance radiale. Il est à noter par ailleurs que les arbres issus d'une même parcelle montrent une réponse relativement homogène aux variations des facteurs explicatifs comme le stress hydrique. Cependant, ce n'est pas le cas des pertes foliaires, plus hétérogènes entre individus d'une même placette, ce qui montre que les réponses à des phénomènes relativement homogènes sur une même placette sont différentes entre les arbres sur ce critère.

Concernant la corrélation entre les 2 variables mesurées, on pouvait portant légitimement s'attendre à un impact plus significatif de la perte foliaire sur la croissance radiale car cette diminution de la surface foliaire devrait altérer les flux de carbone et d'eau dont dépend précisément la croissance radiale de l'arbre (Breda, 2008). **Cependant la croissance radiale des arbres ne semble significativement pas être impactée par la perte foliaire qu'à partir d'un seuil de perte foliaire supérieur à 20%.** De plus, au-delà de ce seuil la corrélation n'induit pas nécessairement une causalité directe. En effet, cette corrélation se produit systématiquement lors d'événements climatiques extrêmes à même d'induire en même temps une petite croissance radiale et une perte foliaire importante. **Ainsi, l'analyse conjointe de la perte foliaire et de la croissance radiale ne montre aucune relation entre ces 2 variables dans le cas de défoliations légères ou modérées.**

**Selon cette étude, l'état du houppier s'avère être un moins bon descripteur de la vitalité des arbres que la croissance radiale.**

Concernant la vitalité des hêtres sur l'ensemble du DSF, l'étude montre un niveau de perte foliaire légèrement plus élevée que ce qui est observé en moyenne à l'échelle européenne, soit un niveau de défoliation moyen de 26.5% en France contre 20.39% pour la moyenne européenne. En France,

sur la période 2001 à 2014, 35% des hêtres présentent une défoliation modérée mais seulement 2% présentent une défoliation sévère. Selon les critères européens, les hêtraies françaises sont encore considérées comme en bon état sanitaire.

*Jimmy Bonigen, CRPF HDF*

**Sources :** Clara Tallieu, Vincent Badeau, Denis Allard, Louis-Michel Nageleisen, Nathalie Bréda, *Year-to-year crown condition poorly contributes to ring width variations of beech trees in French ICP level I network, Forest Ecology and Management, Volume 465, 2020, 118071, ISSN 0378-1127, <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118071>.*

## 9 Conclusion

Après les premières années de mise en place et quelques réajustements de protocoles, l'OREF est dans une phase de routine annuelle.

Il apporte néanmoins déjà un certain nombre d'éléments :

- il confirme que les **indicateurs qui réagissent rapidement** et montrent une bonne **corrélation avec les variations climatiques interannuelles** sont la **phénologie et l'évolution des aspects phytosanitaires forestiers**, même s'il est encore trop tôt pour observer des tendances d'évolutions de ces différents paramètres.
- l'évolution de la végétation observée est pour l'instant essentiellement attribuable à l'évolution du couvert forestier au sein des peuplements (fermeture ou ouverture lors d'une éclaircie), à l'eutrophisation des milieux ou à un effet opérateur ou protocole. Les échanges avec les chercheurs, la consultation de bibliographie nous permettent néanmoins de progresser sur **l'identification des espèces « sensibles »** qu'il est particulièrement intéressant de regarder au sein de nos relevés.

L'OREF est un support de communication pour illustrer les effets du changement climatique sur les forêts pour différents types de public : propriétaires, universitaires, acteurs du territoire etc.

## 10 Perspectives et remerciements

Toujours dans l'optique d'une **amélioration continue**, l'OREF doit renforcer le partenariat avec les structures, en créer d'autres, affiner ses protocoles, poursuivre les analyses et les superposer avec les données climatiques. D'autres sujets peuvent être développés comme l'étude du microclimat, l'évolution des données polliniques.

Tout cela n'est réalisable qu'avec l'aide et l'appui des personnes et structures qui portent cet observatoire. Le CRPF remercie chacun de ses partenaires sur sa contribution précieuse.

## Annexe : Connaître la ressource forestière, les pistes offertes par la télédétection (Jimmy BONIGEN, CRPF Hauts-de-France)

### Importance du suivi de l'évolution des forêts

Principalement en raison du changement climatique, la forêt est rentrée dans une aire de grande incertitude. Aujourd'hui plus que jamais, il devient primordial de connaître la ressource forestière et son évolution au court du temps. Cette connaissance est un préalable à l'établissement d'une stratégie forestière à la hauteur des enjeux. Historiquement, la connaissance de notre patrimoine forestier est passée et passe encore aujourd'hui par la mise en place d'inventaires forestiers à grande échelle réalisés par échantillonnages. A ce titre la France présente de nombreux réseaux de placettes permanentes publics comme privés. Les placettes de l'IFN (inventaire forestier national) constituent par exemple un échantillonnage systématique de grande envergure des forêts françaises. Ils s'intéressent à de nombreux critères dendrométriques, pédologiques et écologiques.

En forêt publique les placettes Renecofor permettent un suivi précis de l'évolution des peuplements et de nombreuses expérimentations scientifiques y sont menées. Des protocoles standardisés et un suivi sur le long terme permettent aux scientifiques de produire des connaissances robustes à partir de ces données. Le réseau de placettes permanentes du PSDRF installé à l'initiative des Parcs Naturels Régionaux offre également une certaine visibilité aux écologues sur le degré de naturalité des forêts et sur l'évolution des écosystèmes forestiers. Enfin on pourrait citer des dispositifs très instrumentés comme les tours à flux du réseau d'expérimentation ICOS Europe qui permettent d'avoir une connaissance très précise localement des interactions entre l'atmosphère, le climat et les mécanismes physiologiques des arbres.

### L'apport de la télédétection

Tous ces dispositifs expérimentaux sont donc importants et complémentaires entre eux. Néanmoins ils présentent certaines limites. Premièrement le plan d'échantillonnage empêche bien souvent de fournir des résultats pertinents pour des zones de faible surface. Les méthodes de spatialisation (interpolation) à partir des données récoltées ponctuellement ne sont pas exempts d'erreurs et d'approximations statistiques. De plus le suivi de la dynamique forestière est limité par la durée parfois longue du cycle des inventaires régionaux et nationaux pouvant dépasser les 10 ans.

**La télédétection constitue une source alternative d'information** pour la description des ressources forestières capable de dépasser ces limites. Durant les dernières décennies, plusieurs générations de satellites équipés de capteurs très perfectionnés nous renvoient des images de plus en plus précises de la surface de la terre. Ces images satellitaires peuvent être exploitées dans le cadre de la recherche forestière grâce aux méthodes de télédétection. Ces méthodes ont notamment permis à l'IGN de produire ses couches cartographiques *Forêt V1* et *forêt V2* qui identifient toutes les structures forestières sur le territoire et les caractérisent par essence. De même, le projet interreg Forêt Pro Bos auquel le CRPF HDF a participé a identifié l'essence dominante dans toutes les structures arborées du nord de la France et de Belgique.

### Le suivi de la phénologie en forêt

Carl von Linné, naturaliste Suédois du XVIIIème siècle nous définit la phénologie comme étant « l'art d'observer l'apparition des activités ou événements cycliques chez les plantes [...] tout au long de l'année ».

L'étude de la phénologie des arbres au court du temps peut nous renseigner sur l'influence du climat et du changement climatique sur les arbres. De nombreuses études montrent le

déterminisme climatique sur les dates d'apparitions des évènements phénologiques tel que les dates de débourrement des feuilles et de jaunissement foliaires. Les températures à certaines périodes clefs de l'année jouent en effet un rôle central dans ce déterminisme phénologique. Ainsi l'évolution de la phénologie est un témoin mesurable de l'effet du réchauffement climatique sur les arbres. Elle présente également des répercussions directes sur la résistance et résilience des arbres au changement climatique ainsi que sur la productivité des forêts. L'augmentation des températures entraîne une plus forte précocité des dates de débourrement et une tardivité des dates de sénescence foliaires. Cette augmentation de la saison de végétation peut expliquer en partie l'augmentation constatée de la productivité des forêts françaises (l'augmentation de la concentration en CO<sub>2</sub> atmosphérique est un autre facteur important). Cependant, cela entraîne parallèlement une augmentation de l'évapotranspiration et des besoins en eau des arbres. Si on combine cela avec une augmentation notable des températures et avec une diminution des précipitations pendant la période végétative, cela conduit irrévocablement à une accentuation des stress hydriques, et in-fine à des baisses de rendement. Ce constat est déjà bien visible en région méditerranéenne et de plus en plus notable dans le reste de la France.

Traditionnellement la phénologie est étudiée sur la base d'observations directes sur le terrain. Les séries temporelles longues d'observations phénologiques sont particulièrement précieuses et peuvent être mis en regard des variables climatiques sur les mêmes périodes. C'est dans ce contexte que se sont développés des programmes de science participative encourageant tout un chacun à relever l'apparition des phénomènes phénologiques. L'observatoire des saisons mis en place par Tela Botanica s'inscrit pleinement dans cette démarche. Le CRPF Hauts-de-France a mis en place son propre réseau de science participative constitué de propriétaires forestiers, en se reposant sur le protocole développé pour le réseau Renecofor. Complémentairement à ces observations directes, les techniques de télédétection sont en plein développement et apportent déjà des résultats intéressants sur des problématiques en lien avec la phénologie. Ainsi un certain nombre de projets de recherche s'appuyant sur la télédétection pour analyser la phénologie forestière ou plus largement les peuplements ont été développés. Regardons en quelques-uns de plus près.

## Illustration de l'utilité de la télédétection par quelques études scientifiques

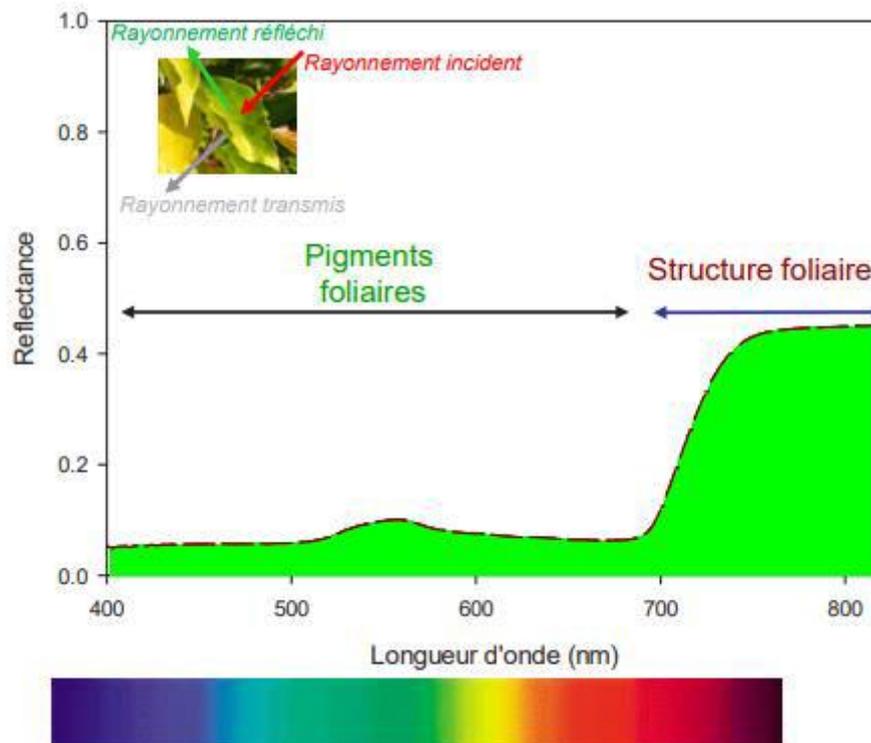
### Explications préalables

Les outils de télédétection utilisés pour les forêts sont généralement des **capteurs capables de mesurer la réflectance de la lumière dans différentes longueurs d'onde**. La réflectance est la proportion de lumière qui est réfléchi par la surface d'un matériau ou en l'occurrence d'un végétal. Ce qui intéresse les chercheurs, c'est l'interaction entre le matériel végétal et le rayonnement lumineux.

Que ce soit à l'échelle de la feuille ou de l'écosystème, le rayonnement incident qui arrive sur la végétation est en parti réfléchi (c'est ce qui est mesuré par les capteurs), en partie transmis et en partie absorbé (par la feuille ou la canopée). Le rayonnement absorbé à 3 devenir possibles : une partie fournit l'énergie nécessaire à la photosynthèse, et le reste est réémis sous forme de rayonnement (fluorescence et rayonnement thermique).

On peut mesurer la réflectance à différentes distances, avec des capteurs rapprochés, au niveau des feuilles ou au-dessus d'un couvert végétal ou encore avec des capteurs très éloignés dans des satellites. Cette réflectance est sensible à la longueur d'onde exprimée en nanomètres. Dans la gamme visible, jusqu'à 700 nanomètres, elle dépend essentiellement des pigments foliaires et dans la gamme proche infra-rouge, au-delà de 700 nanomètres, elle va plutôt dépendre de la structure foliaire ou de la structure du couvert selon l'échelle à laquelle on se place. On peut noter que l'absorption dans le spectre du visible se fait principalement dans les longueurs d'ondes proche du

rouge et du bleu et la réflexion plutôt dans les verts, c'est d'ailleurs pour cette raison que les tissus végétaux chlorophylliens nous apparaissent verts, c'est la longueur d'onde que les pigments chlorophylliens n'absorbent pas.

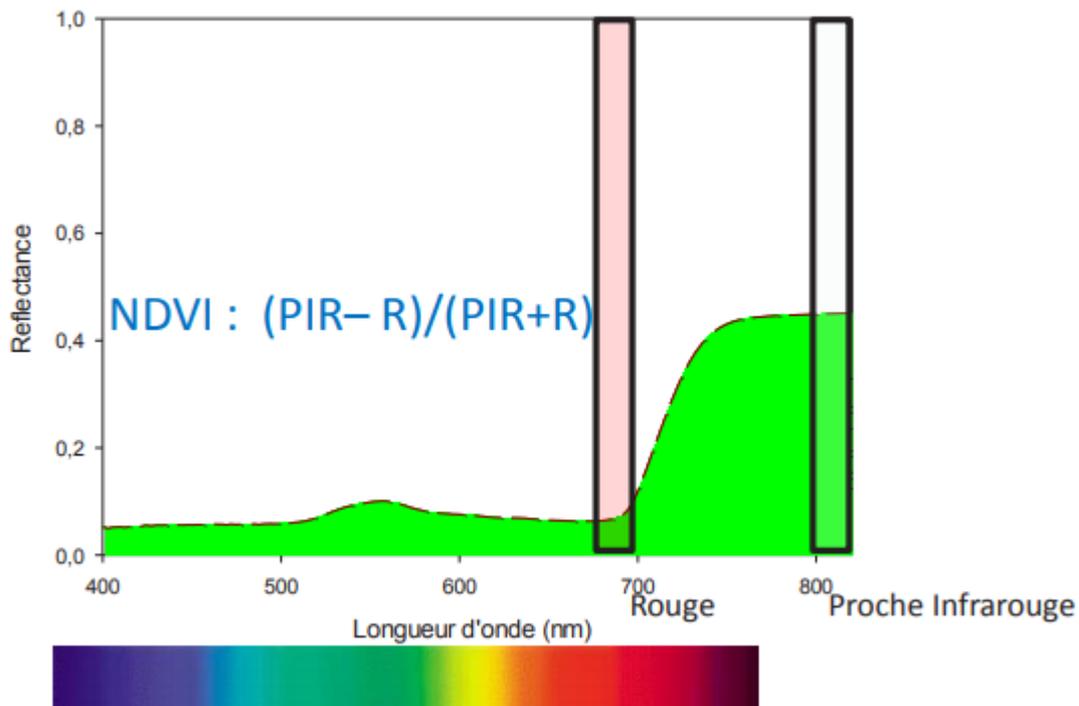


Afin de caractériser l'activité de la végétation, on utilise classiquement des indices qui combinent les valeurs de réflectance particulièrement informatives.

**Le NDVI** : l'indice de végétation normalisé (NDVI) considère deux bandes spectrales (plages de longueurs d'onde) : une dans le proche infra-rouge (PIR), l'autre dans le rouge (R) autour de 680 nanomètres, dans la bande d'absorption de la chlorophylle A. Le NDVI est un indice normalisé : on calcule la différence entre les valeurs de réflectance dans les deux longueurs d'onde et on normalise par la somme des deux. L'indice varie donc entre -1 et 1, ou si on préfère, entre -100% et 100%

$$\text{NDVI} = \frac{\text{PIR} - \text{R}}{\text{PIR} + \text{R}}$$

PIR : proche infra-rouge, R = rouge



**Les limites de l'indice** : le NDVI est particulièrement sensible aux effets atmosphériques et à la nébulosité (couverture nuageuse) produisant des interférences. Son utilisation rapprochée s'affranchit de ces problèmes contrairement à l'utilisation satellitaire. Il est également sensible aux variations angulaires de la visée selon la position vis-à-vis du soleil.

Il existe un certain nombre d'indices très proches du principe du NDVI mais qui tentent de s'affranchir de certaines de ces limites. La plupart de ces indices s'appuient sur les mêmes bandes spectrales (PIR, R) et certains intègrent également une longueur d'onde correspondant au bleu ...

**L'indice de végétation perpendiculaire PVI** :  $PVI = a1(PIR) - a2(R) + \text{constante}$

Cet indice également utilisé par une des études présentées ici permettrait de diminuer la contribution spectrale des sols source d'artefacts dans les mesures (en effet seul la végétation nous intéresse).

## Réponse de la phénologie des espèces forestières au changement climatique, suivi par télédétection de forêts feuillues pyrénéennes

**Auteurs** : Marie Guillot, Dominique Guyon, Yann Vitasse, Olivier Hagolle, Hervé Cardot, Jean-Pierre Wigneron, Sylvain Delzon

**Organisme** : INRA EPHYSE – centre Bordeaux-Aquitaine

**Lien** : <https://hal.inrae.fr/hal-02751637/document>

**Objectif** : suivre la dynamique altitudinale de la phénologie

**Méthode** : Mesure de la variation décadaire de l'indice de végétation PVI - provenant d'1 série de données journalière de réflectance acquise de 2002 à 2006.

**Dispositif** : données issues des capteurs SPOT et VEGETATION embarqués satellites SPOT 4 et SPOT 5, des satellites de télédétection français développés par le CNES. La résolution des images est d'1 km. La couche de couverture du sol CORINE LAND COVER 2000 a été utilisée pour cibler spécifiquement les zones forestières pour l'analyse des données. Le jeu de donnée s'étale sur 5 ans mais a ensuite été agrégé en 1 année moyenne afin d'atténuer l'effet de la nébulosité.

**Résultats** : Le signal analysé correspond à la fluctuation du PVI au cours du temps. Une diminution du PVI correspond à une diminution de la réflectance, autrement dit une absorption de la lumière par la

photosynthèse et signale donc la présence d'organes chlorophylliens. A l'inverse une hausse du PVI correspond à une disparition de l'activité photosynthétique.

La réduction de la saison de végétation avec l'altitude est observée via la croissance du PVI au printemps, qui est plus précoce en plaine, et sa décroissance à l'automne, qui est la plus précoce à haute altitude. La date de débourrement de forêts feuillues a été modélisée puis cartographiée.

En conclusion l'étude a pu bien montrer l'effet de l'altitude sur la phénologie des arbres. On observe en moyenne un décalage du débourrement de 34 jours pour 1000 m d'altitude.

**Apport des données de terrain :** Des observations phénologiques de terrain, réalisées sur chêne entre 0 et 1600 m d'altitude, ont servi à calibrer statistiquement la datation de la date de débourrement. L'erreur moyenne attendue entre la date de feuillaison observée sur le terrain et celle issue de la télédétection est de 4 jours environ ce qui reste satisfaisant.

## Analyse de la variabilité bioclimatique des forêts du Vercors (Préalpes françaises du Nord) à partir des données NDVI de SPOT-VGT (1998-2009)

**Auteurs :** Sandrina Rome, Sylvain Bigot, Séverine Louis

**Organisme :** Laboratoire d'étude des Transferts en Hydrologie et Environnement (UJF-Grenoble 1)

**Lien :** <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01095409/document>

**Objectif :** étudier l'activité photosynthétique des espaces forestiers de moyenne montagne du Vercors sur la période d'avril à octobre 1998-2009.

**Méthode :** valorisation des données décennales du **NDVI** issues des capteurs SPOT-VGT équipés sur les mêmes satellites SPOT. Ces capteurs fournissent des images quotidiennes à l'échelle quasi planétaire dans quatre bandes spectrales (2 dans le visible et 2 dans l'infrarouge), avec une résolution spatiale de 1 km. Une fois encore l'occupation des sols est fourni par la donnée CORINE Land Cover permettant de concentrer l'étude sur les seules surfaces forestières.

**Résultats :** L'étude du NDVI moyen permet d'établir la production primaire des peuplements et donc de comparer la variabilité de l'activité photosynthétique entre peuplements forestiers mais également d'une année sur l'autre. Le NDVI moyen de forêts feuillues est généralement supérieur à celui des forêts mixtes, à l'exception de l'année 2003. Cela s'expliquerait par le fait que la productivité foliaire des forêts de feuillus a été davantage touchée par la période caniculaire observée dès juin 2003 dans les forêts feuillues que les forêts mixtes. Par ailleurs, cette même année, le NDVI de tous les peuplements étudiés a fortement baissé comparativement à la moyenne 1998-2009 dans le PNR du Vercors.

Les variations du NDVI mensuel permettent de déduire les dates de débourrement et de sénescence foliaire. (cf chapitre *Explications préalables*). Dans cette étude, les variations du NDVI mensuel moyen indiquent que la saison de végétation des forêts du Vercors dure environ 6 mois. Cependant les écarts interannuels sont importants, et sont déterminés par les variations thermiques printanières (cf partie : *le suivi de la phénologie en forêt*). En effet l'alternance thermique entre les températures froides hivernales et clémentes printanières, plus ou moins rapide et décalée dans le temps d'une année à l'autre jouent un rôle majeur sur les levées de dormances et donc sur le débourrement. (Lebourgeois et Godfroy, 2006).

Par exemple l'analyse de l'activité photosynthétique de l'année 2007 montre un débourrement précoce dès la fin mars (signalé par une forte augmentation du NDVI), corrélé à des températures anormalement douces sur la période octobre 2006-avril 2007 (4 à 5 °C au-dessus de la normale dans les Préalpes !).

L'impact du gradient altitudinal sur la phénologie a également été démontré. Il est d'ailleurs le premier facteur de variation du NDVI en avril, en début de saison de végétation, mais il est moins déterminant en été.

Sur la période d'étude, l'analyse révèle aussi une tendance générale à la hausse du NDVI saisonnier d'année en année pouvant indiquer une augmentation de la productivité foliaire des espèces arborées, en lien avec une augmentation concomitante des températures. Mais plusieurs épisodes

atypiques (par exemple 2004 et 2007) compliquent cependant singulièrement cette conclusion générale.

**Apport des données de terrain :** Les données d'observations du réseau RENECOFOR ont permis de confirmer les résultats obtenus par l'étude. Les périodicités moyennes retranscrites grâce aux données NDVI coïncident avec les observations in situ de RENECOFOR. Par ailleurs l'amélioration du model devrait passer par une phase de calibration à partir de données récoltées sur le terrain (mesures de la teneur en eau du sol, installation de radiomètres de terrain mesurant le NDVI de parcelles tests, suivi thermographique de domaine de prairie et de forêt ...)

## Utiliser les données d'observation in-situ pour tester les outils de télédétection

**Auteurs :** Présentation d'Eric Dufrêne et de Soudani Kamel à l'occasion des 25 ans du réseau Renecofor

**Références bibliographiques :** *La présentation s'appuie sur différentes études*

Hmimina, G., Dufrêne, E., Pontailier, J. Y., Delpierre, N., Aubinet, M., Caquet, B., de Grandcourt, A., Burban, B., Flechard, C., Granier, A., Gross, P., Heinesch, B., Longdoz, B., Moureaux, C., Ourcival, J. M., Rambal, S., André, L. S. & Soudani, K. (2013)-Evaluation of the potential of MODIS satellite data to predict vegetation phenology in different biomes: an investigation using ground-based NDVI measurements. *Remote Sensing of Environment*,132:145-158

Soudani K., le Maire G., Dufrêne E., François C., Delpierre N., Ulrich E. & Cecchin S. (2008)-Evaluation of the onset of green-up in temperate deciduous broadleaf forests derived from Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) data. *Remote Sensing of Environment*,112(5):2643-2655

Testa S., Soudani K., Boschetti L., Mondino E.B. (2017)-MODIS-derived EVI, NDVI and WDRVI time series to estimate phenological metrics in French deciduous forests. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*,64, 2018:132-144

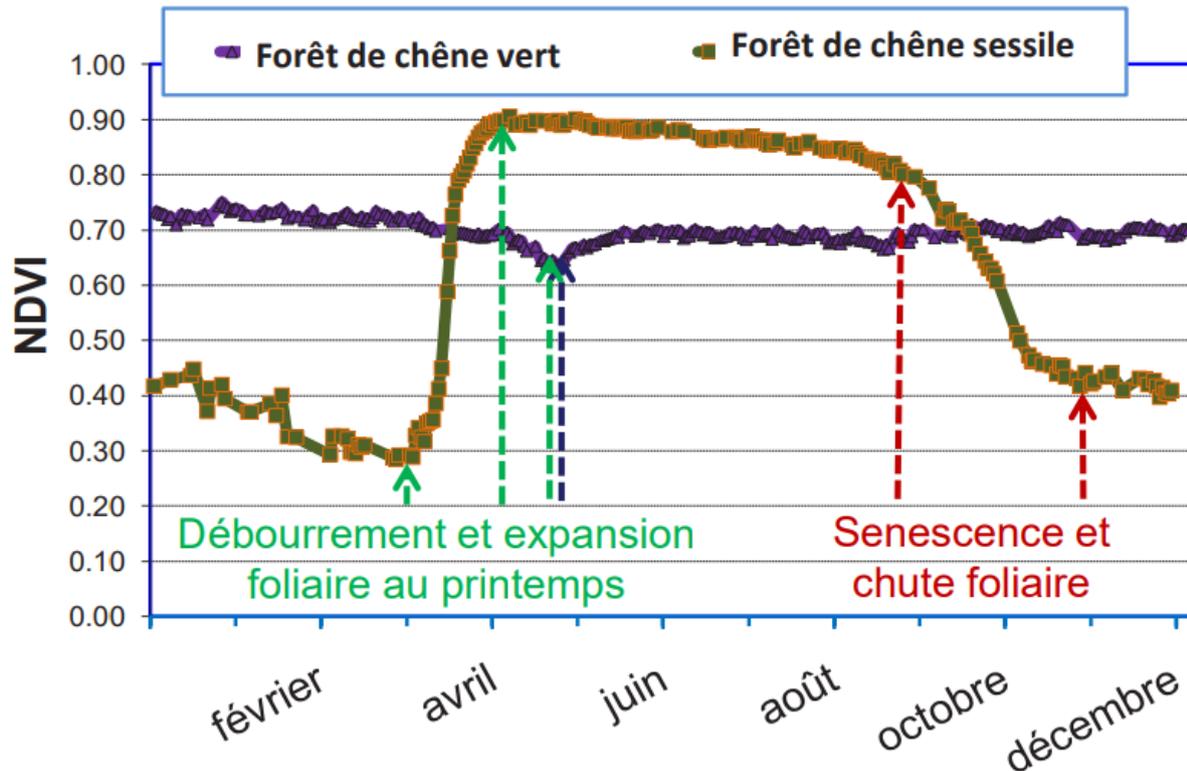
**Organismes :** ESE (Ecologie systématique Evolution)- Université Paris-Sud, CNRS, APT (Agroparistech)

**Objectif :** détecter les évènements phénologiques via des méthodes de télédétection et comparer les résultats aux observations de terrain sur le réseau RENECOFOR.

**Première approche :** mesure du NDVI à partir de capteurs équipés sur les tours à flux des sites expérimentaux ICOS et SOERE F-ORE-T. Il s'agit de dispositifs européens dédiés principalement à la mesure des flux de gaz à effet de serre (CO<sub>2</sub>, méthane, oxydes nitreux ...). Ces sites permettent non seulement de tester mais également d'établir des modèles mécanistiques des interactions entre les plantes et l'atmosphère. L'avantage de ce dispositif est d'avoir un capteur proche du sol, ce qui permet d'éviter les interférences atmosphériques rencontrées lors des mesures avec des capteurs installés sur des satellites.

**Résultats :** suivi de l'évolution du NDVI au cours de l'année. Les points verts correspondent à la forêt de chêne sessile du site de Bardeau près de Fontainebleau. Le bleu correspond à une forêt de chêne

vert, la forêt de Puéchabon dans l'Hérault.



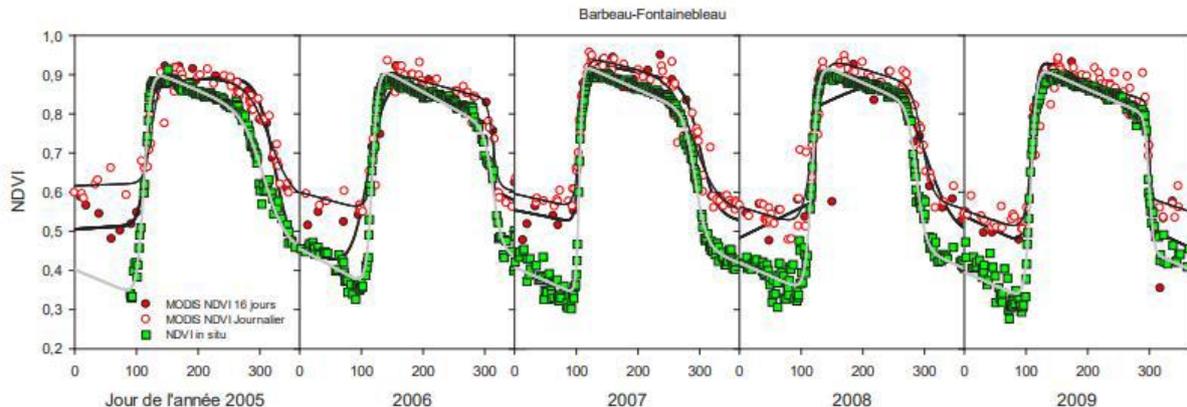
Le chêne sessile est une espèce caduque qui perd ces feuilles à l'automne. Cela explique la différence très marquée du NDVI entre la période végétative et la période hors-feuille hivernale. A l'inverse le chêne vert est sempervirent. Ces feuilles se maintiennent ainsi que l'activité photosynthétique, tout au long de l'année. C'est ce qui explique l'allure très différente de la courbe d'évolution du NDVI au cours de l'année. Chez le chêne sessile, il est donc facile d'établir les périodes de débourrement et senescence comme indiqué sur le schéma. Cependant, il est également possible d'interpréter le léger décrochage du NDVI observé fin avril chez le chêne vert : il s'agirait de la période correspondant à la chute des feuilles et à leur repousse quasi simultanément.

**Apport des données de terrain :** Pour valider leur pertinence, les courbes ont été comparées aux données d'observation du réseau RENECOFOR. Une première étape a consisté à extraire des données dynamiques saisonnières l'information souhaitée à savoir des dates qui correspondraient au débourrement ou encore à la senescence afin de les comparer aux données d'observation phénologiques ponctuelles. Pour le chêne il y a une bonne relation entre les dates de débournements observés et déduites de l'analyse du NDVI. On peut noter qu'il n'est pas possible de déterminer de façon fiable les dates de débourrement des espèces du sous-étage avec la méthode d'analyse du NDVI puisque seul la canopée est analysée. Concernant le jaunissement foliaire, en suivant la même démarche il n'a pas été possible d'établir une relation entre le signal de télédétection qu'on arrive à extraire et les dates d'observations sur le site de Barbeau. Cette méthode de télédétection ne semble donc pas fonctionnelle actuellement pour détecter la date de jaunissement des feuilles.

**Seconde approche :** mesure du NDVI à partir de capteurs satellitaires MODIS installés sur le satellite Terra envoyé dans l'espace par la NASA en 1999. MODIS enregistre des données sur 36 bandes spectrales, avec une résolution de 250 m à 1 km, et fournit une image complète de la terre tous les 1 à 2 jours.

**Objectif secondaire :** Le passage à une donnée satellitaire présente l'intérêt de disposer d'informations sur le NDVI sur une étendue beaucoup plus large que précédemment. En contrepartie le signal capté est fortement bruité en raison des interférences atmosphériques notamment provoqué par la couverture nuageuse. L'objectif est de comparer le signal capté par le satellite à celui,

à priori plus fiable, capté sur les tours à flux (dispositif précédent). L'expérience a été répétée sur plusieurs dispositifs, en forêt méditerranéenne sur chêne vert, en Guyane sur une forêt tropicale et sur le dispositif précédent de chêne sessile à Bardeau près de Fontainebleau.



**Résultats :** Les résultats ne sont pas satisfaisants dans le cas de la forêt tropicale et du chêne vert pour diverses raisons notamment la forte nébulosité en Guyane. En revanche les résultats sont satisfaisants pour le cas de des chênes sessiles :

Comme le montre le graphique, il est possible de reconstituer un signal comparable avec les données satellites (MODIS NDVI) qu'avec les données mesurés depuis les tours à flux (NDVI in situ). La méthode satellitaire serait donc plutôt satisfaisante pour l'analyse phénologique des chênaies caducifoliées, du moins dans le contexte de l'étude.

**Intérêt des données de terrain :** Les données satellitaires ont également été comparées aux observations phénologiques du réseau Renecofor, sur les chênes et le hêtre. Sur la période de 2000-2004 la comparaison des dates de débourrement conduit à une incertitude de l'ordre de **8 jours** avec les images MODIS journalières. Bien que la correspondance ne soit pas encore parfaite, ces résultats sont encourageants quant à la fiabilité des données satellitaires pour la détermination des débourrements. Il faut aussi noté que les données in-situ relevés sur les placettes RENECOFOR peuvent également présenter une certaine marge d'erreur notamment imputable à l'effet observateur (notation estimative à dire d'expert d'après l'observation des houppiers). Enfin la même démarche a été entreprise en utilisant 2 indices de végétation : le NDVI et l'EVI (Enhanced Vegetation Index) qui prend en compte la lumière bleue pour tenter de corriger les effets de l'atmosphère qui parasitent les données. Cependant les résultats obtenus ne sont pas plus précis en termes d'incertitude. Il n'y a donc pas eu de plus-value à intégrer l'EVI dans l'analyse.

La même démarche a été entreprise pour le jaunissement mais le résultat est encore moins bon que lorsqu'il avait été entrepris avec les données du NDVI issues des capteurs installés sur les tours à flux. Ce n'est pas étonnant puisque les données sont d'avantage biaisées par les interférences atmosphériques.

## Estimation et suivi de la ressource en bois en France par valorisation de séries temporelles optique et radar

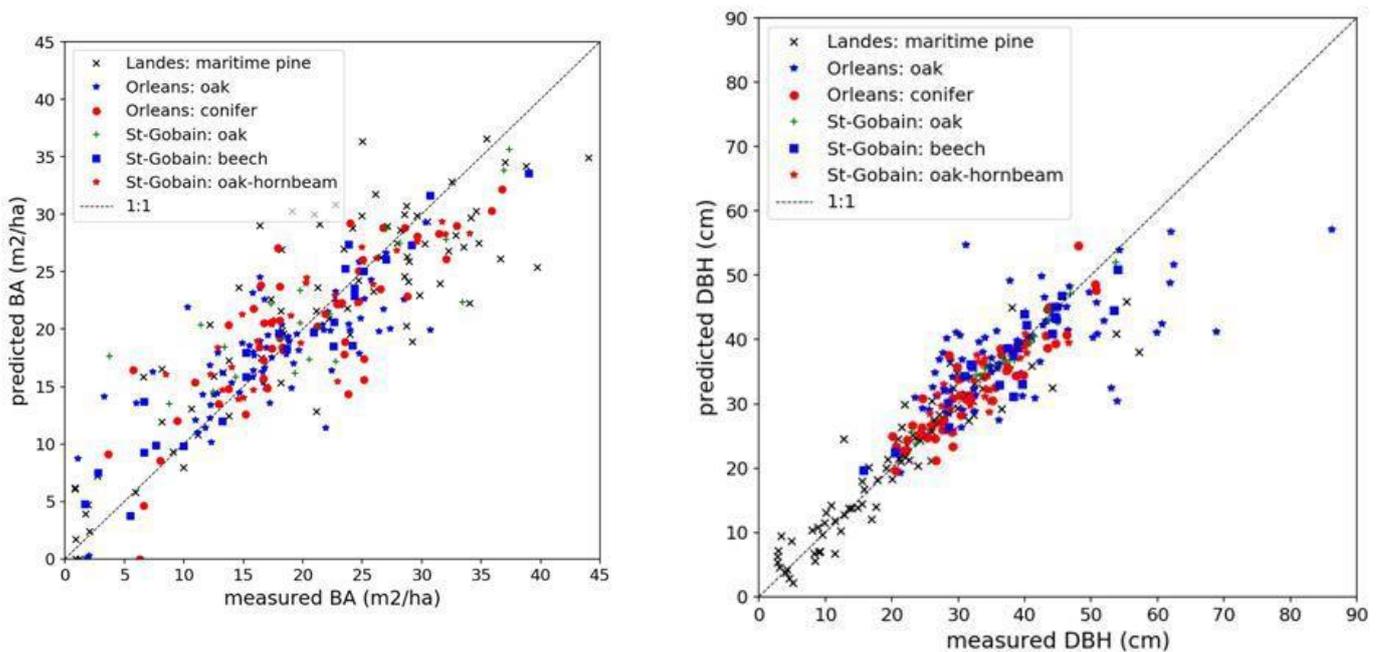
**Auteurs :** David Morin, Gérard Dedieu, Milena Planells

**Organisme :** CESbio – centre d'étude spatial de la biosphère

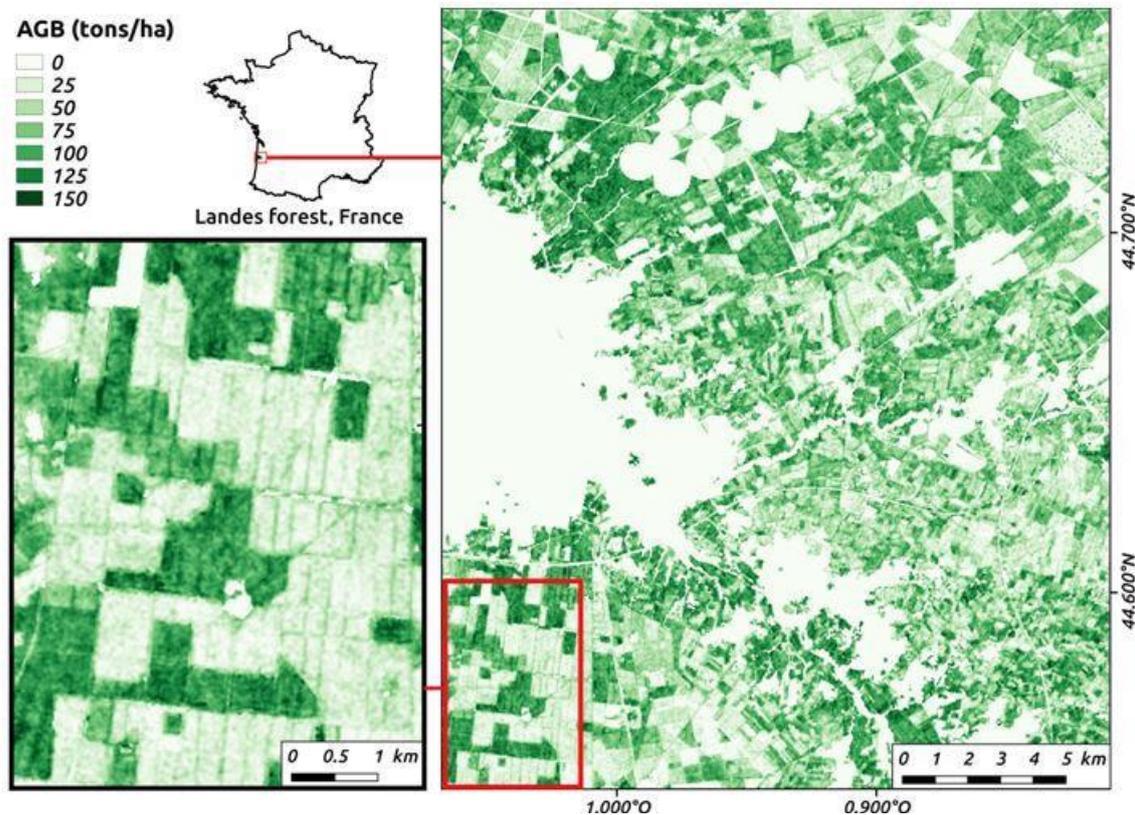
**Objectif** : mettre en place et évaluer une méthode pour l'estimation de variables de structure des forêts (biomasse, G, Dm, H, densité) avec des images satellites

**Méthode** : L'estimation des variables de structure forestière (biomasse, surface terrière, diamètre moyen, hauteur, densité d'arbres, etc.) est basée sur des algorithmes d'apprentissage automatique utilisant des données satellitaires. La calibration de ces algorithmes passe par l'utilisation de données de référence mesurées sur le terrain. Les données satellitaires utilisées sont toutes en libre accès. Elles ont une couverture nationale (satellites Spot6/7) ou globale (satellites Alos, Sentinel1, Sentinel2). Les données utilisées sont des données optiques allant du visible au moyen infra-rouge (Sentinel 1 et 2, Spot 6/7). Ces données permettent de calculer indices de végétations comme le NDVI (concept déjà largement abordé dans cet article). Des données d'une autre nature sont également utilisées : les coefficients de rétrodiffusion radar en bande C (Sentinel 1) et en bande L (ALOS). Le coefficient de rétrodiffusion exprime la capacité d'une unité de surface à réfléchir l'énergie incidente en direction de l'antenne. Plus précisément, les données radars fournies par le satellite ALOS proviennent d'ondes capables de traverser la canopée, fournissant au passage des informations sur la structure des troncs et des grosses branches. Elles permettent donc d'apporter une caractérisation dendrométrique du peuplement. Les ondes en bande C fournies par Sentinel 1 pénètrent moins dans la canopée mais fournissent des informations précieuses sur la structure du houppier.

**Résultats** : La validation des résultats passe par une comparaison entre les résultats dendrométriques prédits par le modèle et les mesures réalisées sur le terrain :



La figure ci-dessus montre la validation de ces estimations pour la surface terrière (BA basal area, Fig.1a) et le diamètre moyen à 1m30 (DBH, Fig.1b) pour différentes essences dominantes dans des forêts des Landes, d'Orléans et de Saint-Gobain (près de Compiègne). La Figure ci-dessous montre un exemple de carte de la biomasse sur le site d'étude des Landes. Le modèle est appliqué sur les données satellitaires avec un masque « conifères » à partir de la carte Occupation du sol THEIA 'OSO' 2016.



En conclusion les chercheurs ont montré la capacité de leur approche à produire de bonnes estimations même sur des forêts plus complexes que les peuplements de pins maritimes initialement testées. Les résultats de validation montrent des erreurs relatives allant de 5 % à 30 % selon les différentes essences pour les paramètres surface terrière, diamètre moyen à 1 m 30, densité et hauteur dominante. De plus les résultats sont meilleurs lorsque les essences sont différenciées les unes des autres pour la construction des modèles.

**Intérêt des données de terrain :** Grace aux équipes de l'ISPA-INRA et de l'ONF, les chercheurs ont pu travailler sur des jeux de données de très bonne qualité bien adaptés à une analyse par télédétection. L'utilisation d'image satellites et de modèles statistiques nécessite des données géolocalisées, au sein de petites zones relativement homogènes (0.5 à 1 ha), et couvrant un ensemble de valeurs des paramètres forestiers suffisamment large pour extraire des relations statistiques avec les images satellites.

Cependant des informations sur le type de gestion, le sous-bois ou les conditions environnementales devraient être nécessaires afin de discriminer encore plus efficacement des grands ensembles de forêts en entrée des modèles. De plus les données accessibles de l'inventaire forestier national ne sont pas précisément localisées pour des raisons de confidentialité, et les données des acteurs locaux sont souvent sur peu de forêts. De plus ils sont hétérogènes dans la méthode de relevé et souvent non numérisées. L'échange entre ces acteurs, de domaines différents et pas forcément proches du monde de la télédétection, devient vite complexe et difficile. Il n'est donc pas simple de rassembler ces jeux de données qui permettent l'entraînement et la validation des modèles issus de la télédétection pour la production de cartes de paramètres forestiers.

## Quelles pistes pour l'avenir ?

Toutes ces études témoignent des possibilités grandissantes qu'offrent les méthodes de télédétection dans l'étude de la forêt. Les technologies de capteurs et de satellites se succèdent et se complètent, ouvrant toujours plus de voies de recherches. Les études aboutissent déjà à des résultats très probants dans l'identification de la ressource forestière et de la phénologie des peuplements forestiers. Cependant il reste encore beaucoup de travail à accomplir pour dépasser les limites actuelles. La précision des modèles doit encore s'affiner, par exemple dans la prédiction des dates de sénescence foliaire qui correspondent encore mal aux observations réalisées sur le terrain. La qualité des données de terrain joue justement un rôle crucial dans la validation des modèles ou leur paramétrage. Le réseau RENECOFOR est à cet égard un atout précieux pour les chercheurs car il met à leur disposition une grande quantité de données de suivis standardisées sur une longue période temporelle et recouvrant une large gamme de peuplements forestiers. Plus largement, tous les réseaux de placettes présentés en introduction apportent leur pierre à l'édifice.

Le CRPF HDF pourrait également avoir un rôle à jouer dans le cadre d'hypothétiques études semblables à celles que nous avons présenté. Il dispose notamment d'un dispositif de placettes permanentes au sein de l'OREF (observatoire régionale des écosystèmes forestiers). De plus, le CRPF suit un grand nombre de dispositifs expérimentaux en forêt et caractérise dans ce cadre les peuplements et leurs évolutions. Dans l'objectif de valoriser au mieux les informations recueillis, le CRPF doit poursuivre son travail pour produire des données standardisées, harmonisées et spatialisées.

Par ailleurs il anime un réseau d'observateurs de la phénologie afin de collecter des données d'observations phénologiques qui respectent le protocole Renecofor. Des pistes de développement du réseau de science participative sont engagées par le CRPF, notamment dans le cadre d'un partenariat avec l'Observatoire des saisons.