



GESTION DES MILIEUX NATURELS
AGROPARISTECH NANCY
2022-2023



Parc
naturel
régional
Pyrénées
Ariégeoises

Changement Climatique et Ressource Naturelle :

Etude de vulnérabilité des forêts du PNR des Pyrénées Ariégeoises

Restitution du 16 décembre 2022

Par les étudiants AgroParisTech _ Gestion des Milieux Naturels 2022-2023

AgroParisTech 

université
PARIS-SACLAY

Sommaire

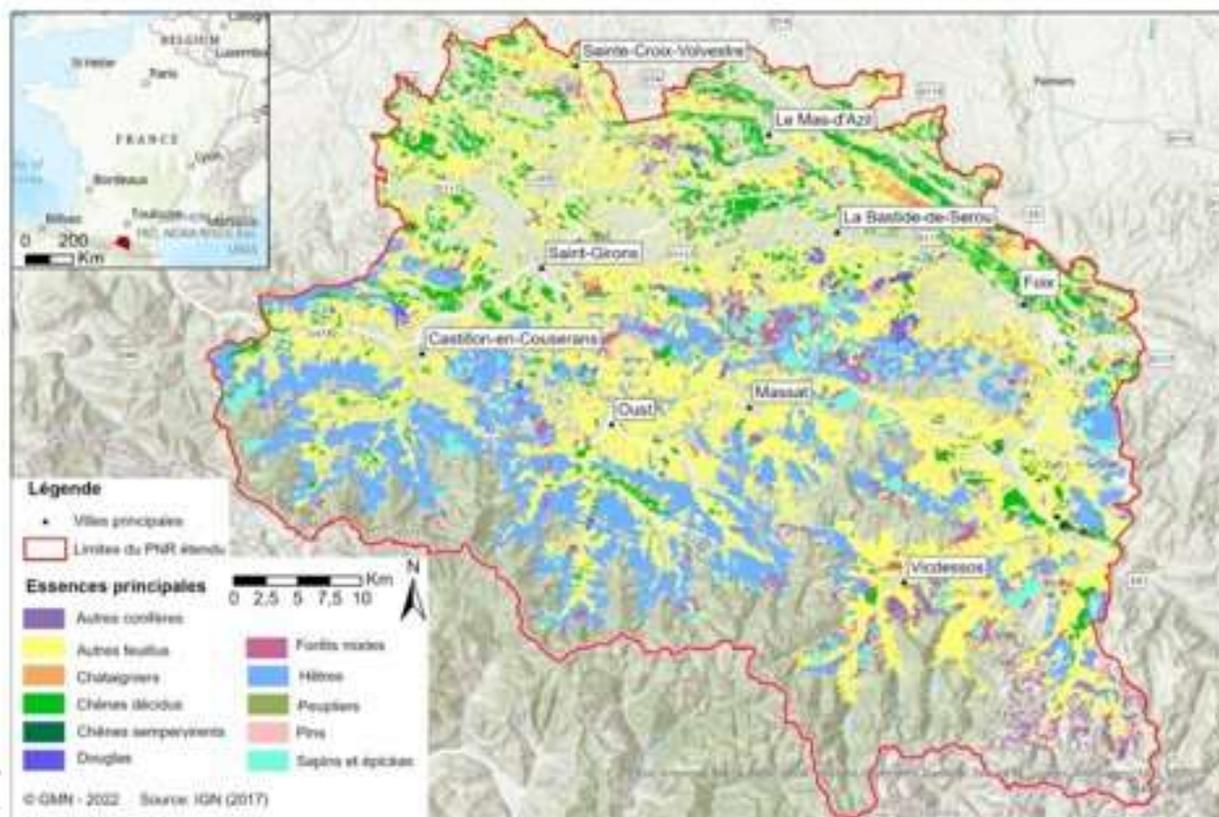
Introduction

- I. Caractérisation et cartographie de l'évolution du stock d'eau du sol disponible pour les plantes en contexte de changement climatique
- II. Evaluation des images satellitaires Sentinel-2 pour suivre l'évolution de la santé des peuplements sur l'emprise du PNR
- III. Détermination des facteurs liés au dépérissement des principales essences de production et réalisation de cartes de vulnérabilité
- IV. Quels outils peut-on mettre en œuvre pour cartographier le risque d'incendie ?
- V. Réflexion sur la mise au point d'une méthode pour l'adaptation des forêts du PNR au changement climatique

Conclusion

Introduction

Carte des forêts du Parc Naturel Régional des Pyrénées ariégeoises



PNR : 138 communes, 2465 km²



Forêt : 55% du territoire

Dominance des feuillus (83%)
chêne et hêtre



Projet Life ARTISAN _ seul site
centré sur la problématique
forestière

Evolution du stock
d'eau



Santé des
peuplements



Facteurs du
déperissement



Risque incendie



Mesures de gestion
adaptées

Caractérisation et cartographie de l'évolution du stock d'eau du sol disponible pour les plantes en contexte de changement climatique



SOMMAIRE

I – Introduction

II - Evolution passée des contraintes climatiques

III – Modélisation et spatialisation de la réserve utile maximale

IV – Evolution temporelle et spatialisation du déficit d'évapotranspiration

V – Evolution future du stock en eau du sol

VI - Conclusion



Introduction

Problématiques

Comment expliquer le faible dépérissement ?

Identification de critères de vulnérabilité future ?

Hypothèses

Absence d'effet fort du changement climatique

Adaptation des essences



Variables et outils

Variables climatiques : précipitations, température, rayonnement solaire

Variable édaphique : réserve utile maximale

Evaluation du stress hydrique : calcul du déficit d'évapotranspiration

Spatialisation et modélisation des différentes variables

Evolution passée et prédictions futures

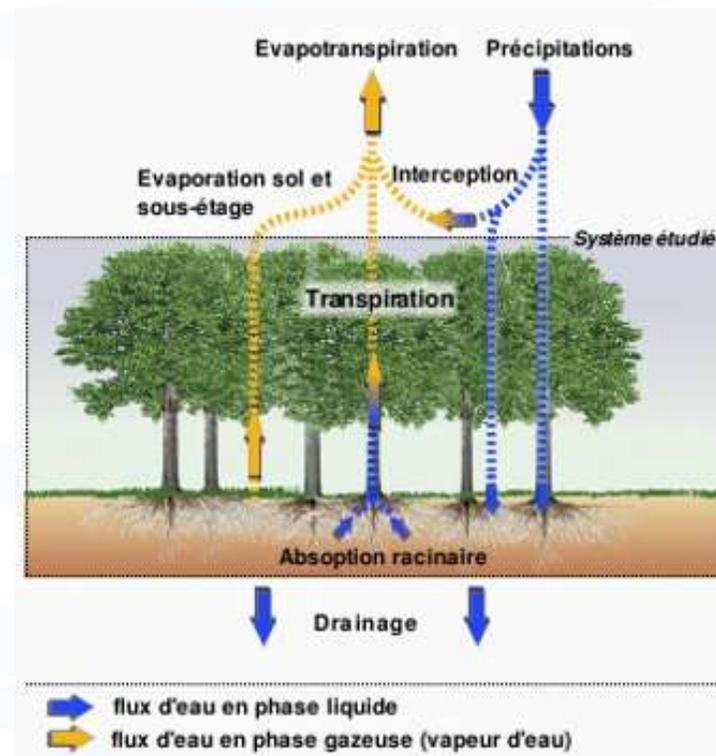
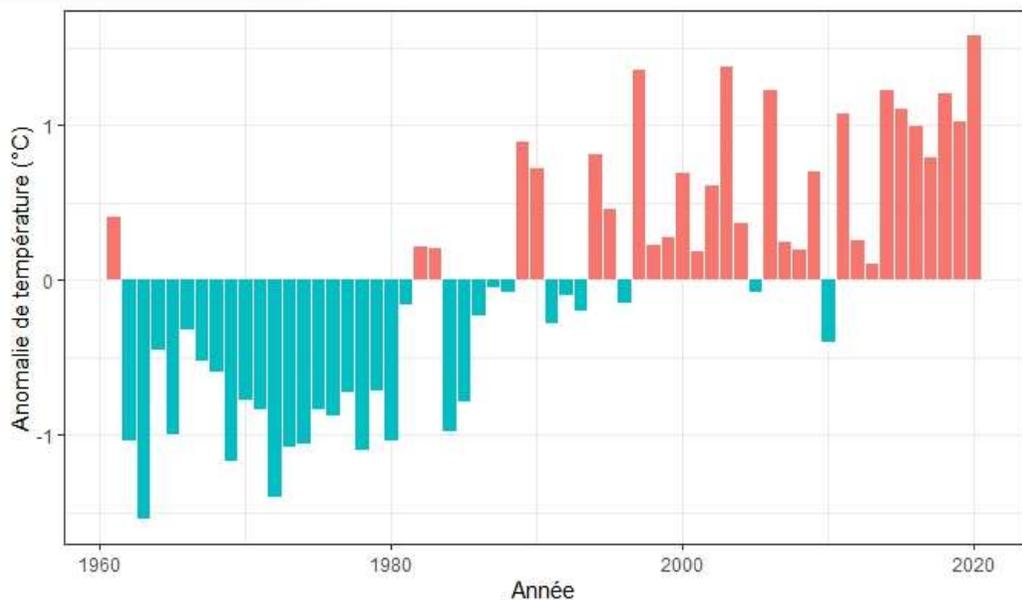


Schéma simplifié des flux d'eau entre les plantes et le milieu (Source : INRAE)

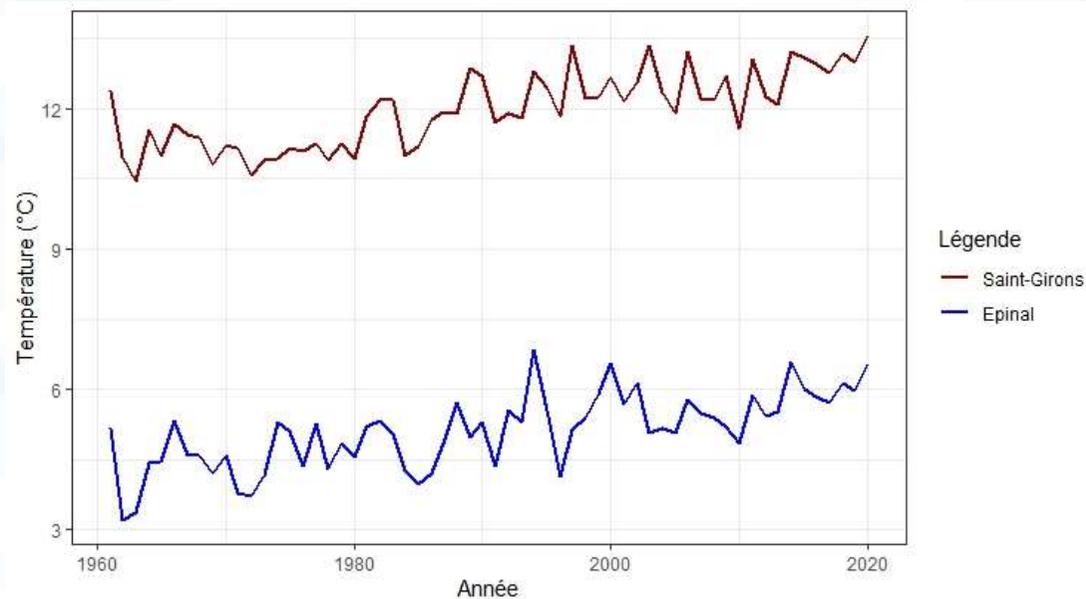


Evolution passée des contraintes climatiques (1961-2020)

Température moyenne



Evolution des anomalies de la température moyenne annuelle à Saint-Girons



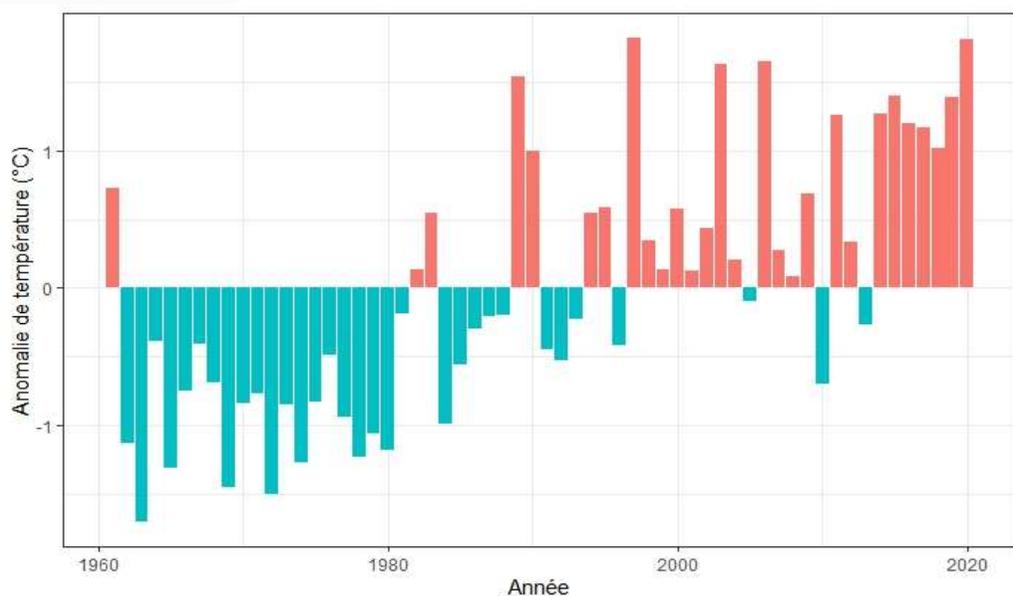
Comparaison de l'évolution de la température moyenne annuelle entre Saint-Girons et Epinal

- Forte augmentation des températures à partir de 1987
- Hausse de la température moyenne entre 1961-1986 et 1987-2020 : + 1,25°C
- Température moyenne plus élevée à Saint-Girons qu'à Epinal : + 6,89°C

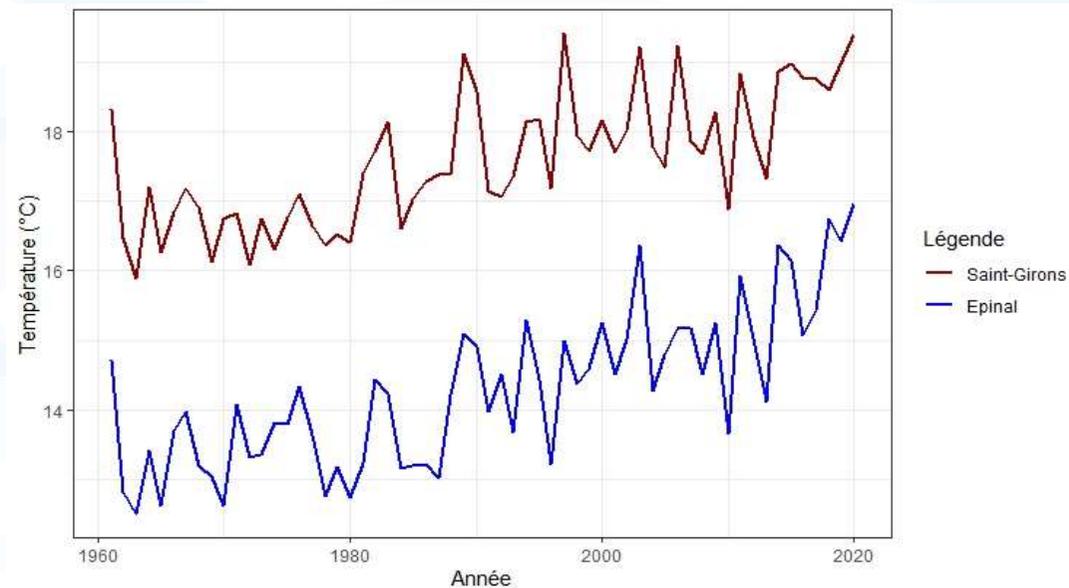


Evolution passée des contraintes climatiques (1961-2020)

Température maximale



Evolution des anomalies de la moyenne des températures maximales annuelles à Saint-Girons



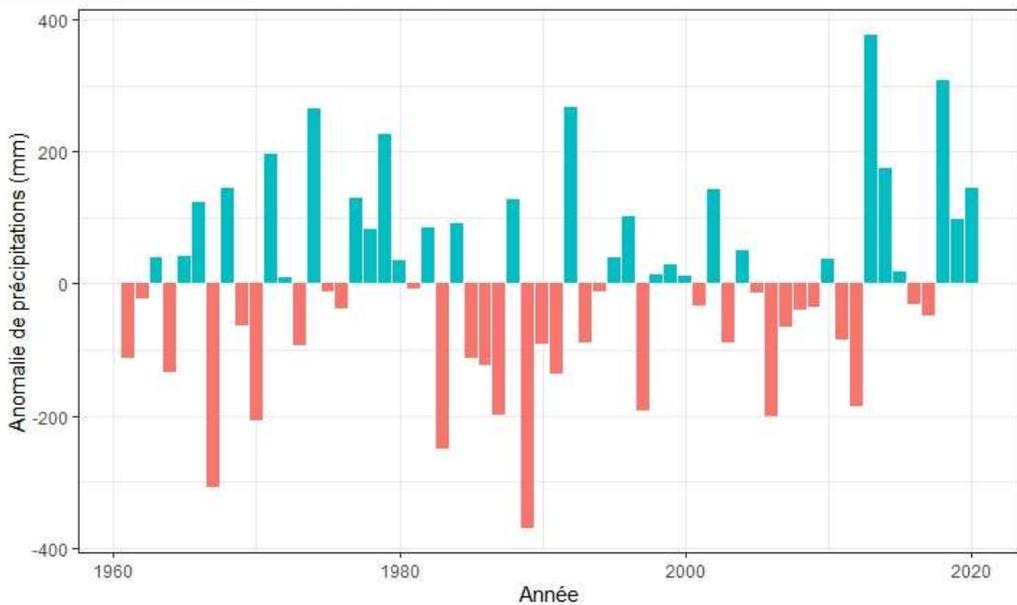
Comparaison de l'évolution de la moyenne des températures maximales annuelles entre Saint-Girons et Epinal

- Hausse de la moyenne des températures maximales entre 1961-1986 et 1987-2020 : + 1,31°C
- Moyenne des températures maximales plus élevée à Saint-Girons qu'à Epinal : + 3,29°C

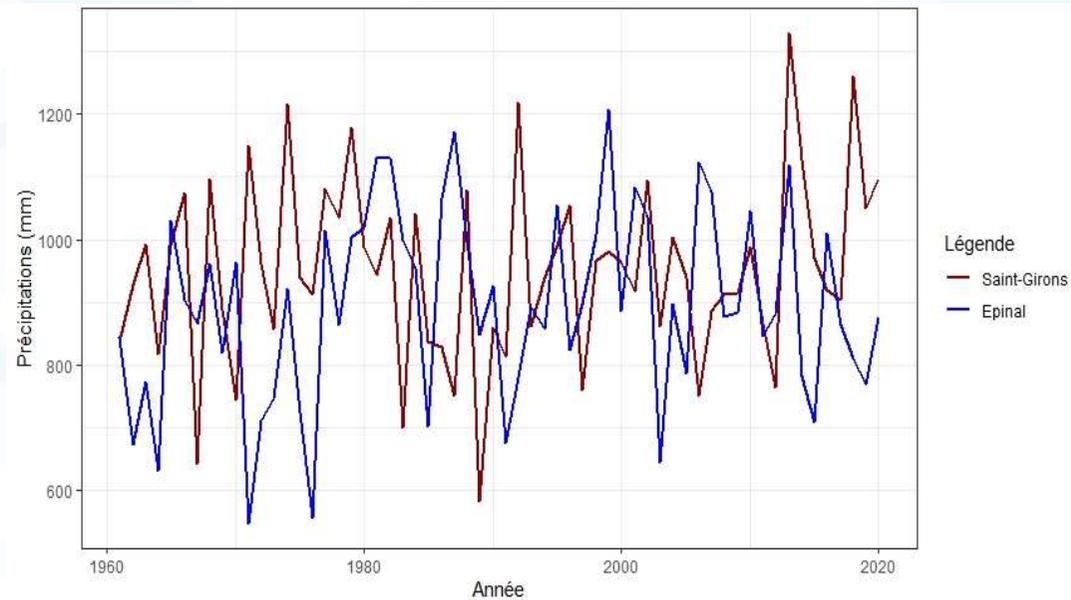


Evolution passée des contraintes climatiques (1961-2020)

Précipitations



Evolution des anomalies des précipitations annuelles à Saint-Girons



Comparaison de l'évolution des précipitations annuelles entre Saint-Girons et Epinal

- Précipitations moyennes régulières sur l'année : 58 mm en juillet (mois le plus sec)
- Pas de baisse des précipitations annuelles entre 1961-1986 et 1987-2020
- Précipitations un peu plus élevées à Saint-Girons qu'à Epinal : + 57 mm



Evolution passée des contraintes climatiques (1961-2020)

Précipitations



- Précipitations importantes toute l'année
- Précipitations stables depuis 1961

Températures



- Températures élevées et en hausse :
 - Tmoy : + 1,25
 - Tmax : + 1,31

Contrainte hydrique encore faible malgré le réchauffement climatique

À moduler avec le bilan hydrique édaphique

Adaptation au stress thermique ?

Éléments de réponse à la faible mortalité dans le PNR

Adaptation peu probable à la sécheresse

Contrainte thermique forte et en hausse

Éléments pour l'anticipation des évolutions futures



Données issues de seulement deux stations météo, pas forcément représentatives de tout le territoire



Contraintes climatiques

Réserve Utile Maximale

Déficit d'évapotranspiration

Prédictions futures

Modélisation et spatialisation de la réserve utile maximale (RUM)

$$RUM = (1-AFroc) \sum (1-CCi) * (\Theta_{2,0} - \Theta_{4,2}) * Epi$$

RUM = Réserve utile maximale du sol (en mm)

AFroc = Proportion d'affleurement rocheux de surface (de 0 à 1)

CCi = Charge en cailloux de l'horizon i (de 0 à 1)

Θ : Teneur en eau des horizons selon les classes de pédotransfert de Al Majou 2008 (en mm d'eau par cm de sol)

Epi = Epaisseur de l'horizon i (en cm)



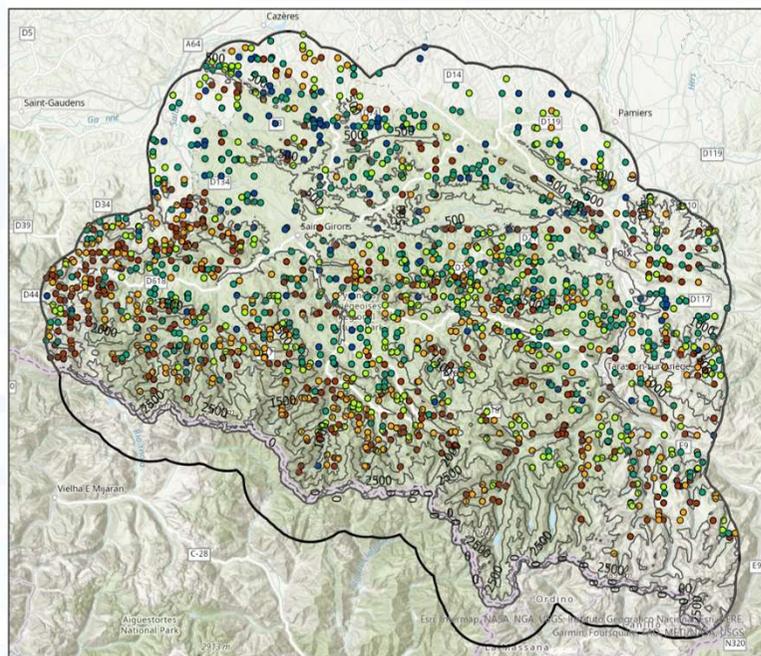
1883 valeurs de RUM obtenues à partir des relevés de l'Inventaire Forestier National (IFN)



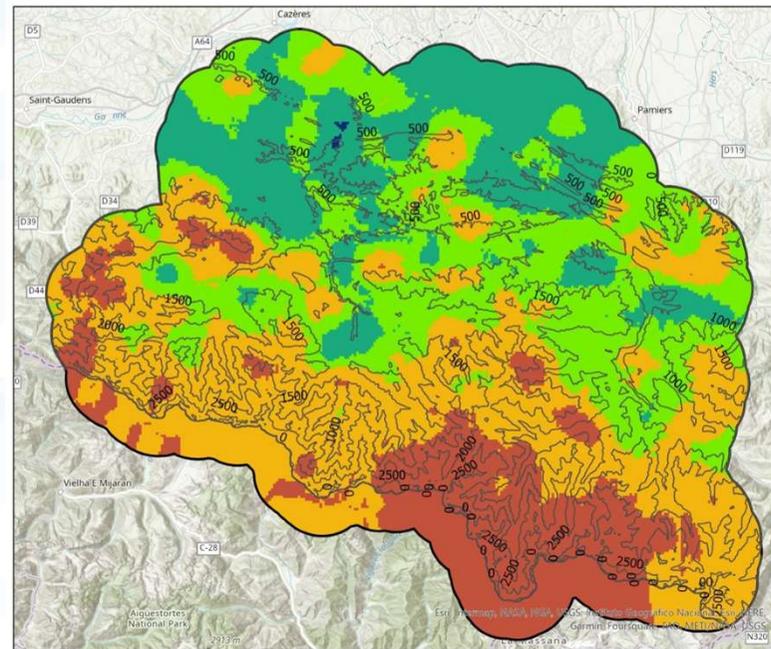
Interpolation spatiale par krigeage sur l'ensemble de la zone d'étude



Modélisation et spatialisation de la réserve utile maximale (RUM)



Légende
RUM (mm)
● [0 - 35]
● [35 - 55]
● [55 - 70]
● [70 - 95]
● [95 - 130]
— Courbe de niveau 500m
□ Périmètre PNRPA tampon
©GMN – 2022
Source : Données IFN



Légende
— Courbe de niveau 500m
□ Périmètre PNRPA tampon
RUM (mm)
■ [18 - 35]
■ [35 - 55]
■ [55 - 70]
■ [70 - 95]
■ [95 - 130]
©GMN – 2022
Source : Données IFN

Cartographie des valeurs de RUM obtenues à partir des relevés IFN

Cartographie des valeurs de RUM, interpolation spatiale par krigeage

- Bonne densité d'échantillonnage : 1597 points utilisés pour le krigeage
- Influence de l'altitude : RUM plus élevée en plaine (sol plus profond)



Interpolation de relevés forestiers à tout le territoire



Contraintes climatiques

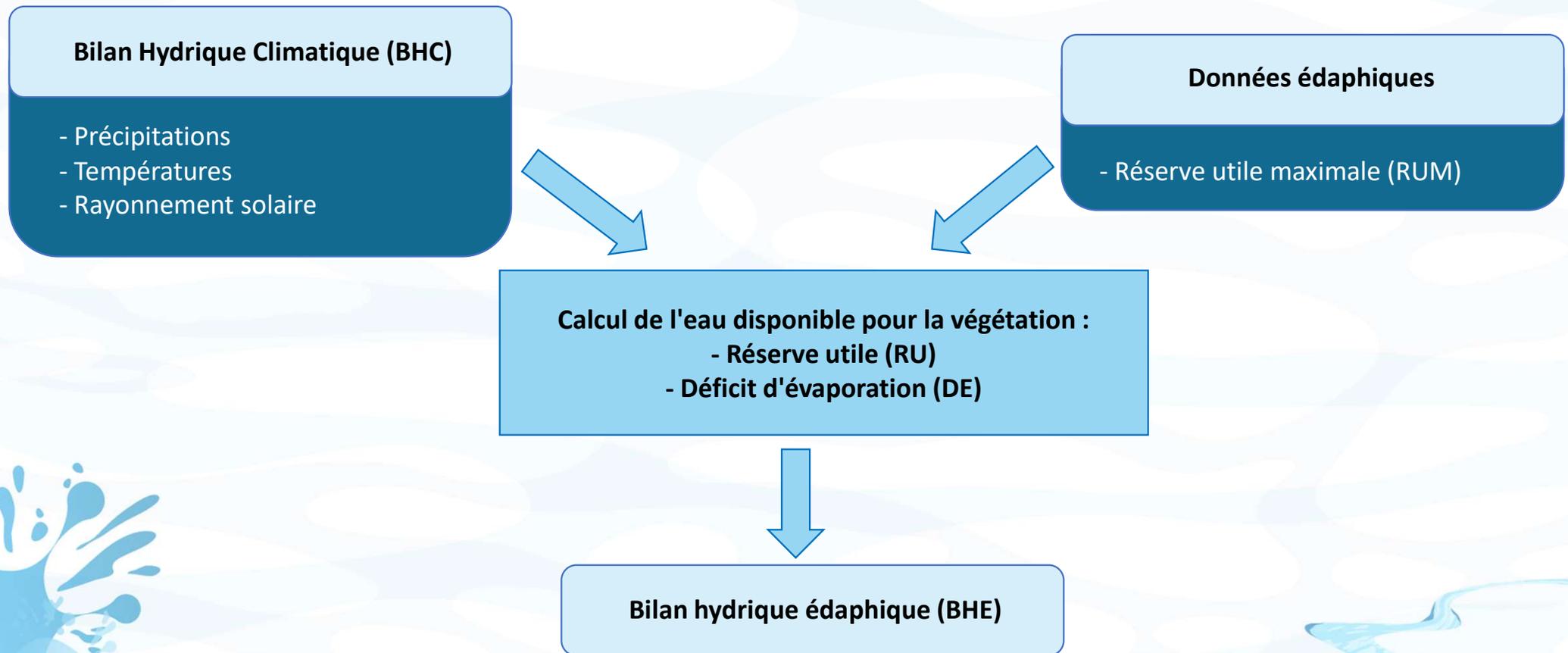
Réserve Utile Maximale

Déficit d'évapotranspiration

Prédictions futures

Evolution passée du stock en eau du sol

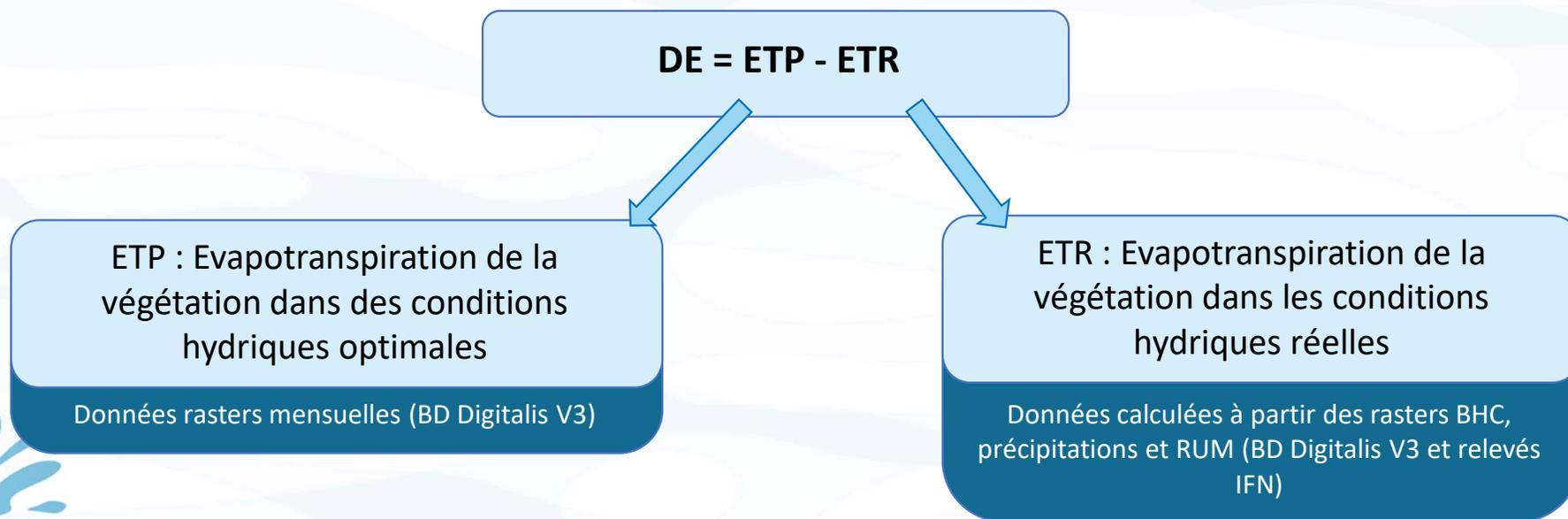
Bilan hydrique édaphique (BHE)





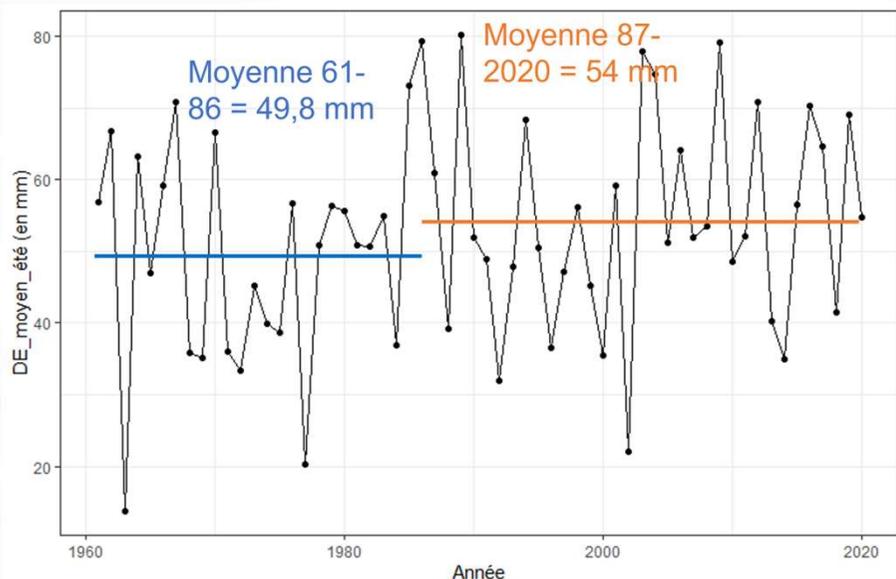
Evolution temporelle du déficit d'évapotranspiration

- Déficit d'évapotranspiration (DE) :
 - Indicateur du bilan hydrique édaphique
 - Corrélié au stress hydrique

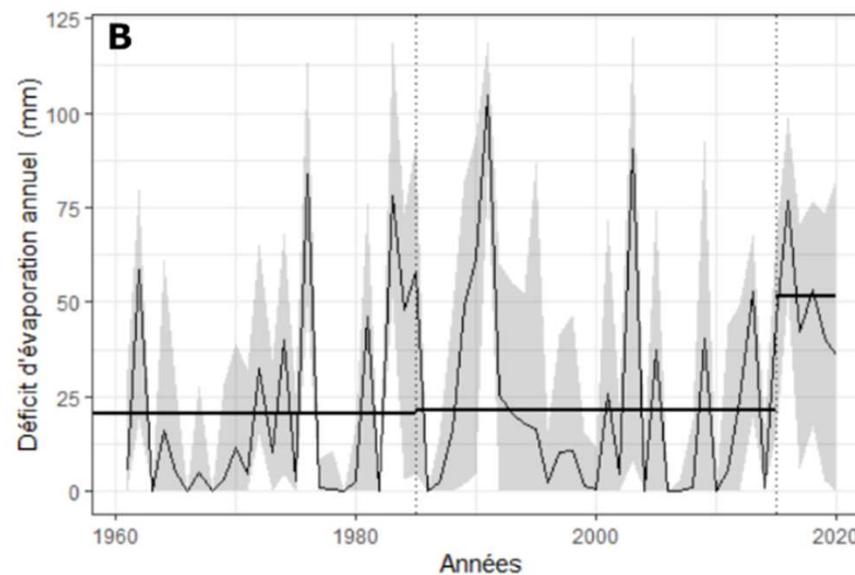




Evolution temporelle du déficit d'évapotranspiration



Evolution du DE entre 1961 et 2020 sur la période estivale.
Source : GMN 2022

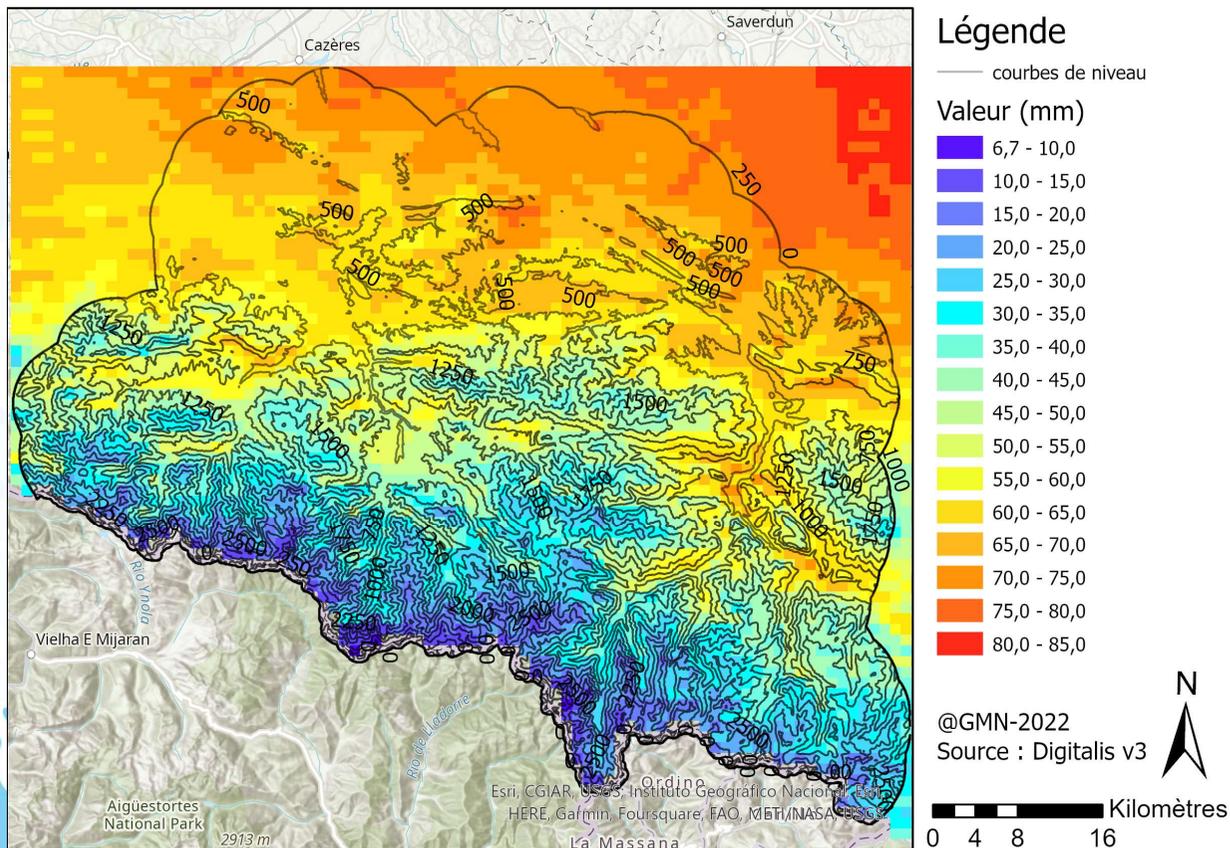


Evolution du DE entre 1961 et 2020 dans la vallée de la Doller (Vosges)
Source : GMN 2021

- Variations inter-annuelles mais pas d'augmentation visible du stress hydrique
- 89 % du déficit d'évaporation annuel a lieu en été (juin-septembre)
- Différence de XXX entre les deux périodes considérés



Variations spatiales du déficit d'évapotranspiration

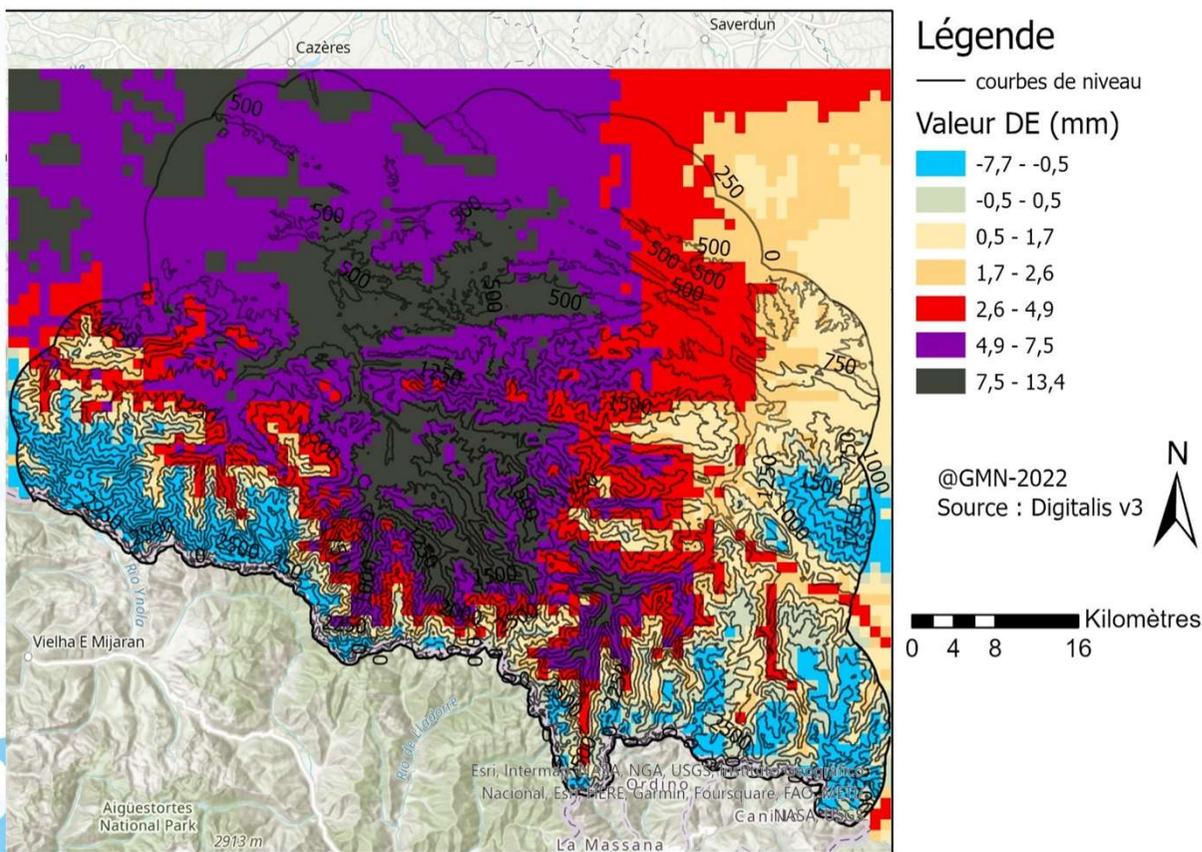


Cartographie du déficit d'évapotranspiration estival entre 1987 et 2020

- Moyenne de DE estival pour 1987-2020 = 56 mm (contre 58 mm à l'échelle nationale)
- Gradient N/S : DE plus fort en plaine
- Gradient E/O ? : effet du bassin méditerranéen ?
- Effets de versants visibles ponctuellement



Variations spatiales du déficit d'évapotranspiration



- Anomalies de DE positives = + 4 mm en moyenne entre 1961-1986 et 1987-2020
- Hausse du DE plus importante :
 - En plaine
 - A l'Ouest
- Augmentation du déficit hydrique relativement faible en comparaison avec la vallée de la Doller

Cartographie du différentiel de déficit d'évapotranspiration estival entre 1961-1986 et 1987-2020



Contraintes climatiques

Réserve Utile Maximale

Déficit d'évapotranspiration

Prédictions futures

Choix des scenario et des modèles du GIEC

Scénarios du GIEC

RCP 4.5 pour le modèle MRI-CGCM3

- + 2 °C horizon 2100
- scénario optimiste
- modèle optimiste sur les précipitations et températures

RCP 8.5 pour le modèle HadGEM2-CC

- + 4 °C horizon 2100
- scénario le plus pessimiste
- modèle pessimiste sur les précipitations et températures

Même méthode que l'évolution
passée du stock en eau

2081 -
2100
Bilan hydrique climatique

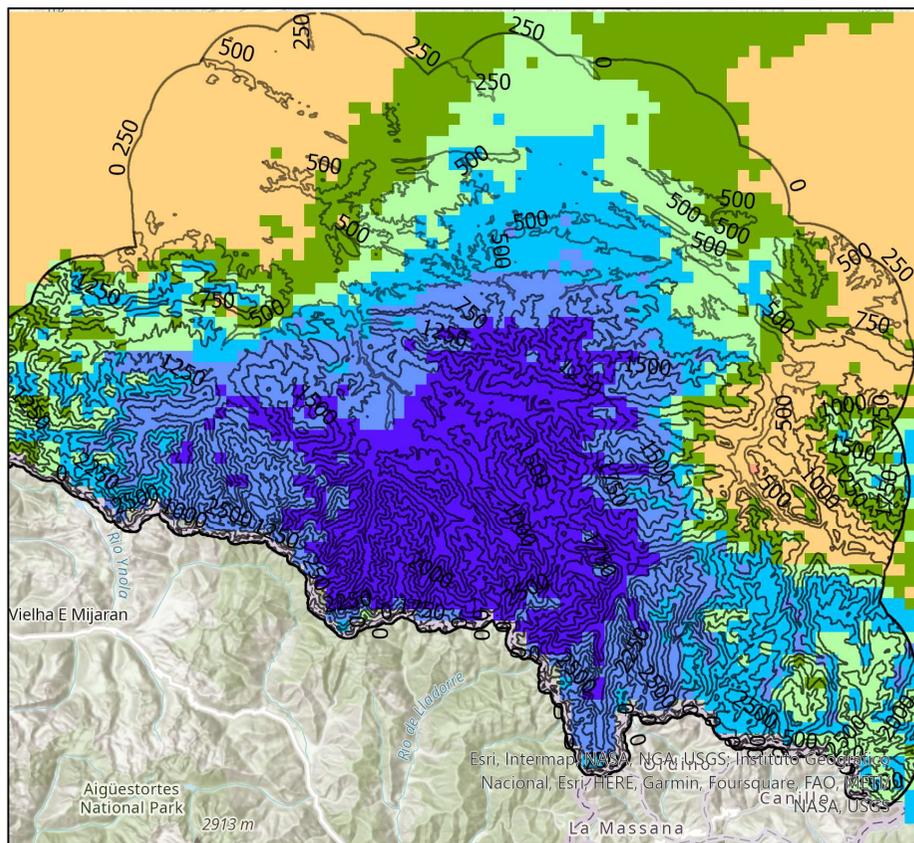
Evapotranspiration

Déficit d'évaporation

Réserve utile



Prédictions d'un scénario optimiste



Légende

— courbeniveau250

Valeur (mm)

- 21,3 - -10,1
- 10,1 - -7,2
- 7,2 - -5,8
- 5,8 - -4,8
- 4,8 - -3,5
- 3,5 - 0
- 0,0 - 0,1

@GMN-2022

Source : Digitalis v3, GIEC



0 4 8 16 Kilomètres

RCP 4.5 pour le modèle MRI-CGCM3

- + 2 °C horizon 2100
- scénario optimiste
- modèle optimiste sur les précipitations et températures



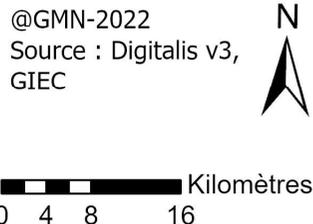
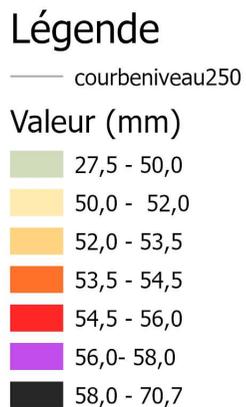
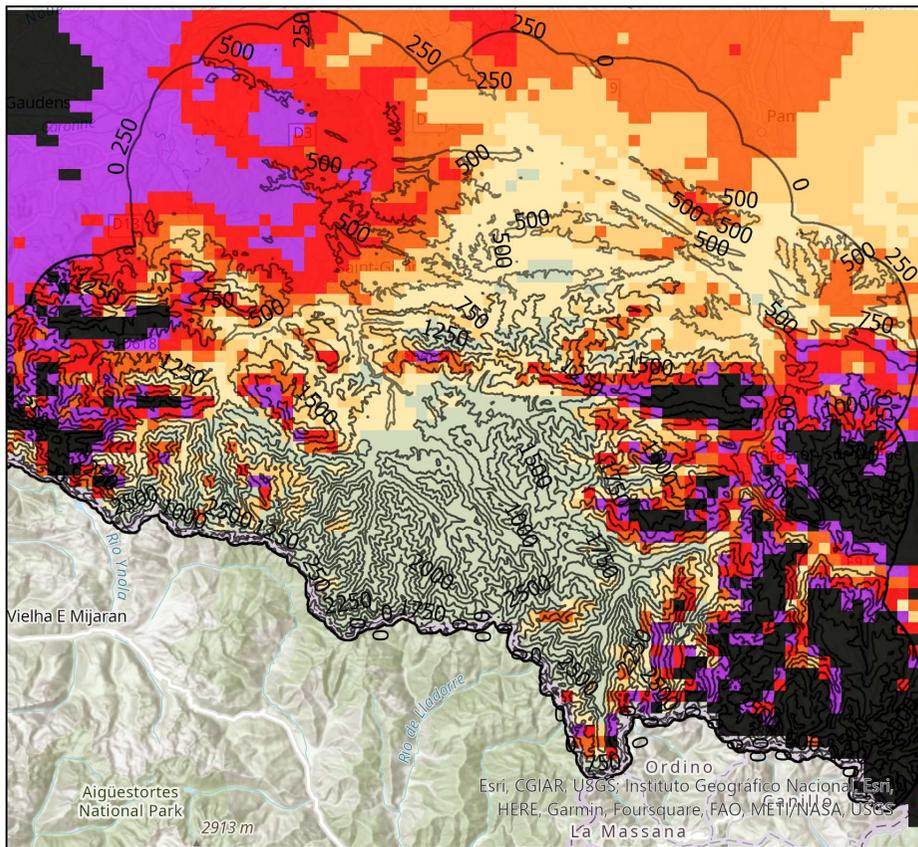
- DE estival moyen = 48 mm
- RU estival moyen = 7,2 mm

- DE estival moyen en France = 58mm
- DE estival moyen du PNR sur 1987-2020 = 56 mm

Cartographie du différentiel de déficit d'évapotranspiration estival entre 2081-2100 et 1987-2020, RCP 4.5 modèle MRI-CGCM3



Prédictions d'un scénario pessimiste



RCP 8.5 pour le modèle HadGEM2-CC

- + 4 °C horizon 2100
- scénario le plus pessimiste
- modèle pessimiste sur les précipitations et températures



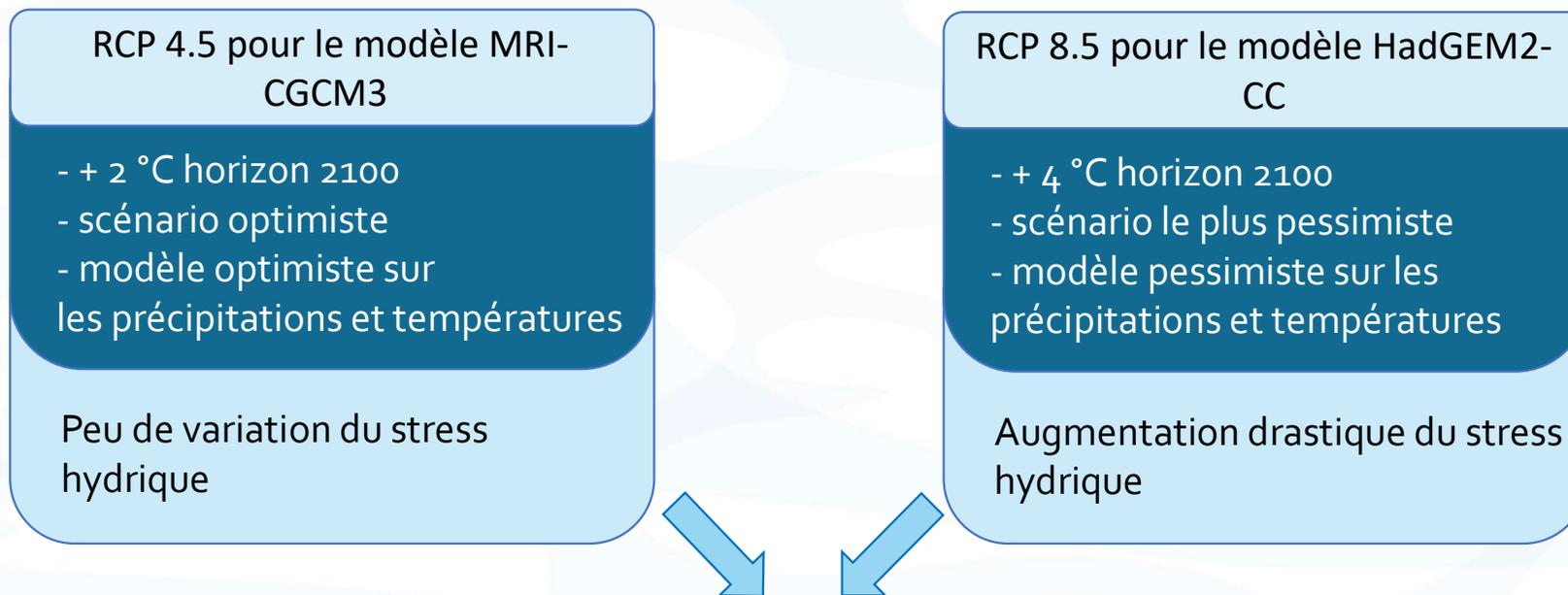
- DE estival moyen = 107 mm
- RU estival moyen = 0,6 mm

- DE estival moyen en France = 58mm
- DE estival moyen du PNR sur 1987-2020 = 56 mm

Cartographie du différentiel de déficit d'évapotranspiration estival entre 2081-2100 et 1987-2020, RCP 8.5 modèle HadGEM2-CC



Evolution future du stock en eau du sol



- Eventail des évolutions possibles très large
- Perspectives : multiplier les prédictions avec différents modèles et scenario
- **Le plus probable : une contrainte hydrique en augmentation en [2081-2100]**



Bilan

Passé et présent

Futur

- Températures élevées et en augmentation
- Précipitations élevées mais stables

➤ Faible augmentation du stress hydrique

➤ Faible dépérissement actuel

➤ Prédiction d'augmentation du stress hydrique

➤ Impact probable sur le dépérissement



Questions



Evaluation des images satellitales Sentinel-2 pour suivre l'évolution de la santé des peuplements sur l'emprise du PNR





Evaluation des images satellitales Sentinel-2 pour suivre l'évolution de la santé des peuplements sur l'emprise du PNR



1 - Etude des dépérissements et stress chez les conifères via l'outil *Fordead*

Fonctionnement de *Fordead*

Présentation des résultats

Validation à l'aide des données terrain

Discussion et pertinence de l'outil *Fordead*

Perspectives

2 - Etude des dépérissements et stress chez les feuillus par analyse d'image satellite

Présentation de l'indice Cgreen

Variations spatio-temporelles de l'indice Cgreen

Discussion



Conclusion





1 - Etude des dépérissements et stress chez les conifères via l'outil *Fordead*





Objectifs

Identifier les zones dépérissantes et étudier leurs évolutions au fil du temps

Identifier les zones de stress sur le PNRPA afin d'anticiper de potentiels dépérissements

Vérifier si l'outil Fordead est pertinent pour le PNR des Pyrénées Ariégeoises

Outils et données

Package Python *Fordead*

Images Satellites Sentinel-2, données BDForêt et Digitalis

Données du jeu de validation du modèle : IFN, DSF, WikiRenat, Images satellites

Méthode

Création de cartes des zones de dépérissement de conifères à partir de l'outil *Fordead* et des Images Sentinel-2 sur la période 2017-2022

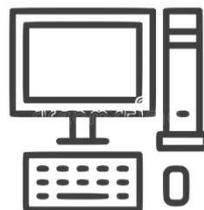
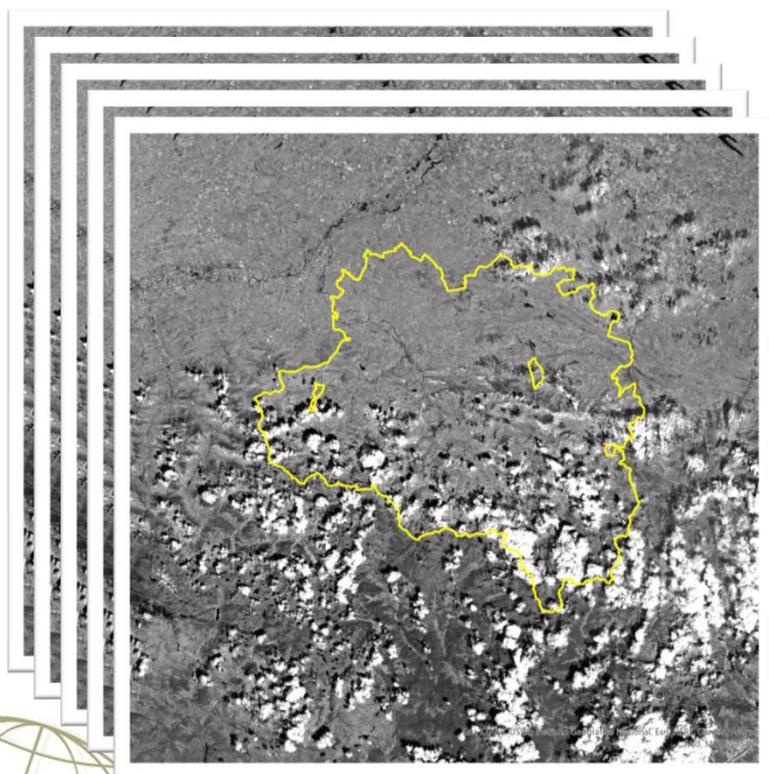
Comparaison des cartes obtenues avec les données du jeu de validation

Interprétation des zones de dépérissement (conditions écologiques, essences, ...)

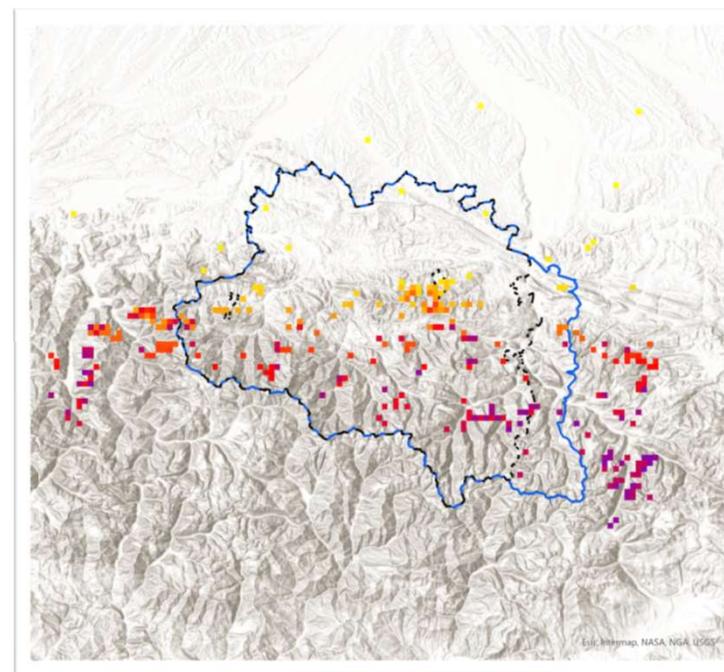


Fonctionnement de Fordead

Images satellitales Sentinel-2



Cartes des zones de stress et de dépérissement





Principe de fonctionnement de Fordead

1 modèle de CR_{SWIR} par pixel

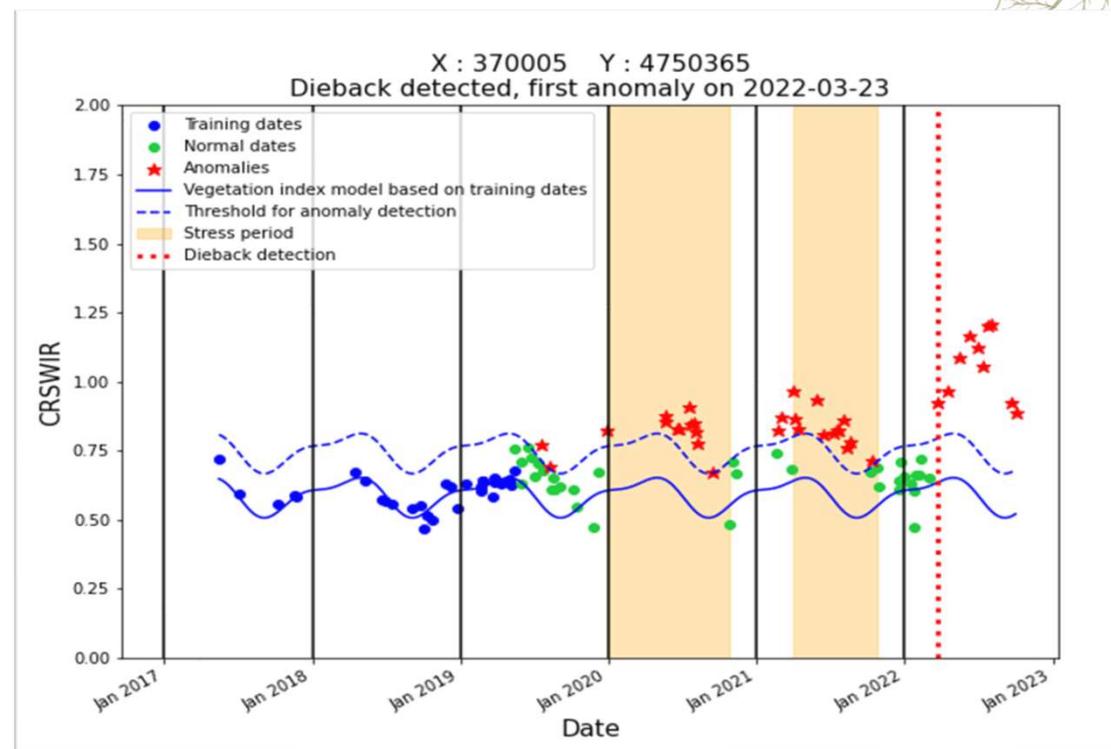
1 anomalie = (prédiction - réalité) > seuil de détection

d'anomalie

3 anomalies successives AVEC retour à la normale = 1 période de stress

3 anomalies successives SANS retour à la normale = 1 dépérissement

- Période d'étude : **2017 –2022**
- Calibration : **2017-2019**
- Echelle : **pixel de 10x10 m**
- Indice de végétation utilisé : CR_{SWIR}



Exemple de l'évolution du CR_{SWIR} pour un pixel situé dans un peuplement de sapins ou épicéas (Bérac (09))



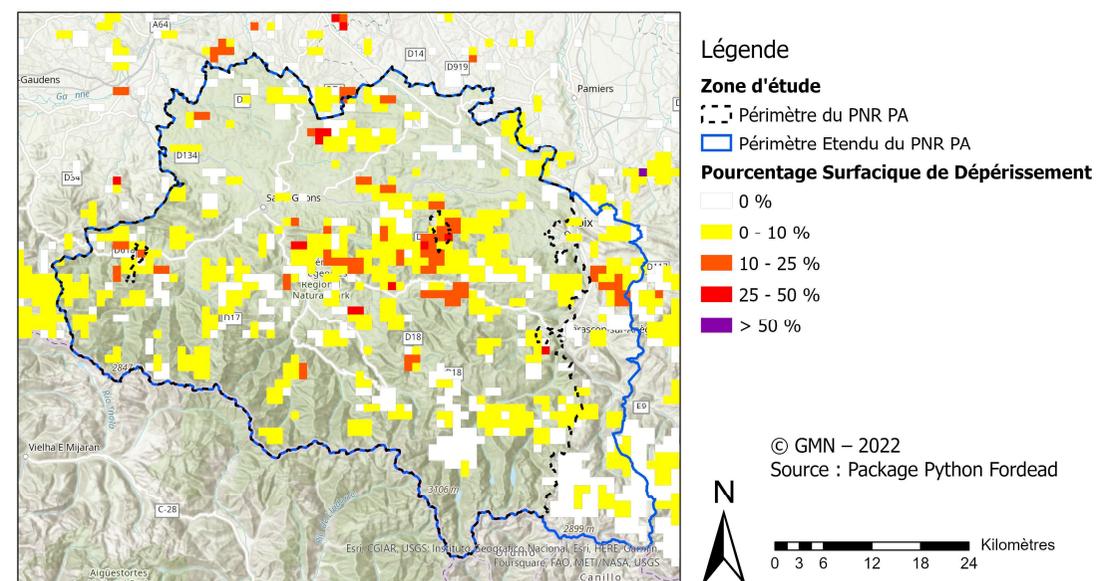
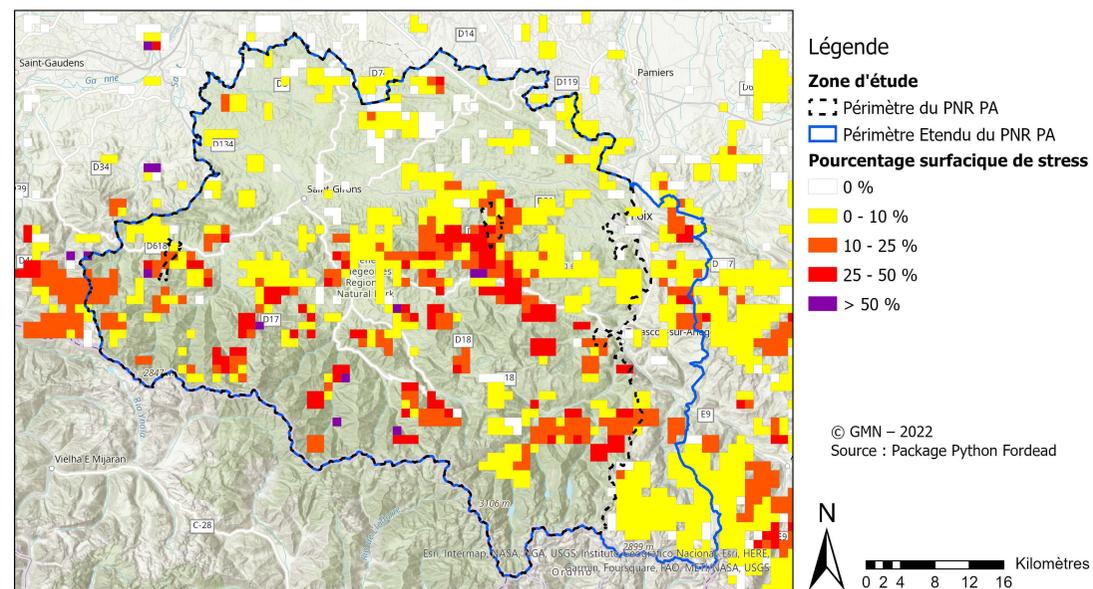
Présentation des résultats

Stress et dépérissement sur le PNRPA



Zones de stress détectées sur les forêts de conifères en 2019-2022 (calculé à partir de l'indice CRSWIR)

Dépérissements détectés sur les forêts de conifères en 2019-2022 (calculé à partir de l'indice CRSWIR)





1

Outil Fordead

Résultats

Facteurs env.

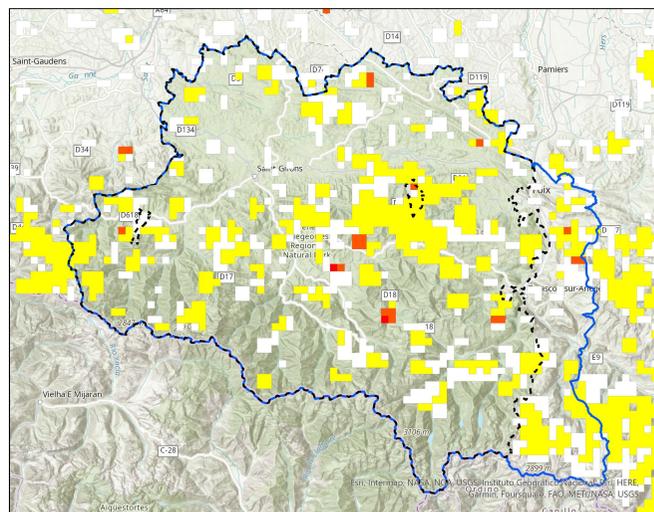
Validation

Discussion

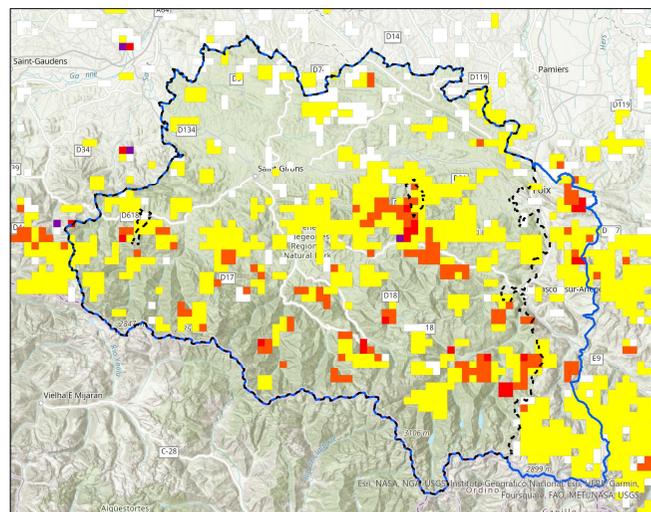
Perspectives

Présentation des résultats

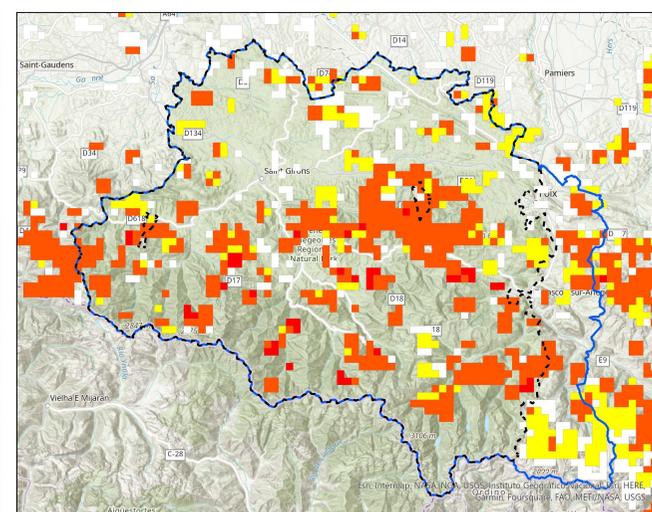
Évolution du stress au cours du temps



2019



2020



2021

Légende

Zone d'étude

--- Périmètre du PNR PA

— Périmètre Étendu du PNR PA

Pourcentage surfacique de stress

0 %

0 - 10 %

10 - 25 %

25 - 50 %

© GMN - 2022

Source : Package Python Fordead



0 2 4 8 12 16 Kilomètres

Zones de stress détectées sur les forêts de conifères entre 2019 et 2021





Outil Fordead

Résultats

Facteurs env.

Validation

Discussion

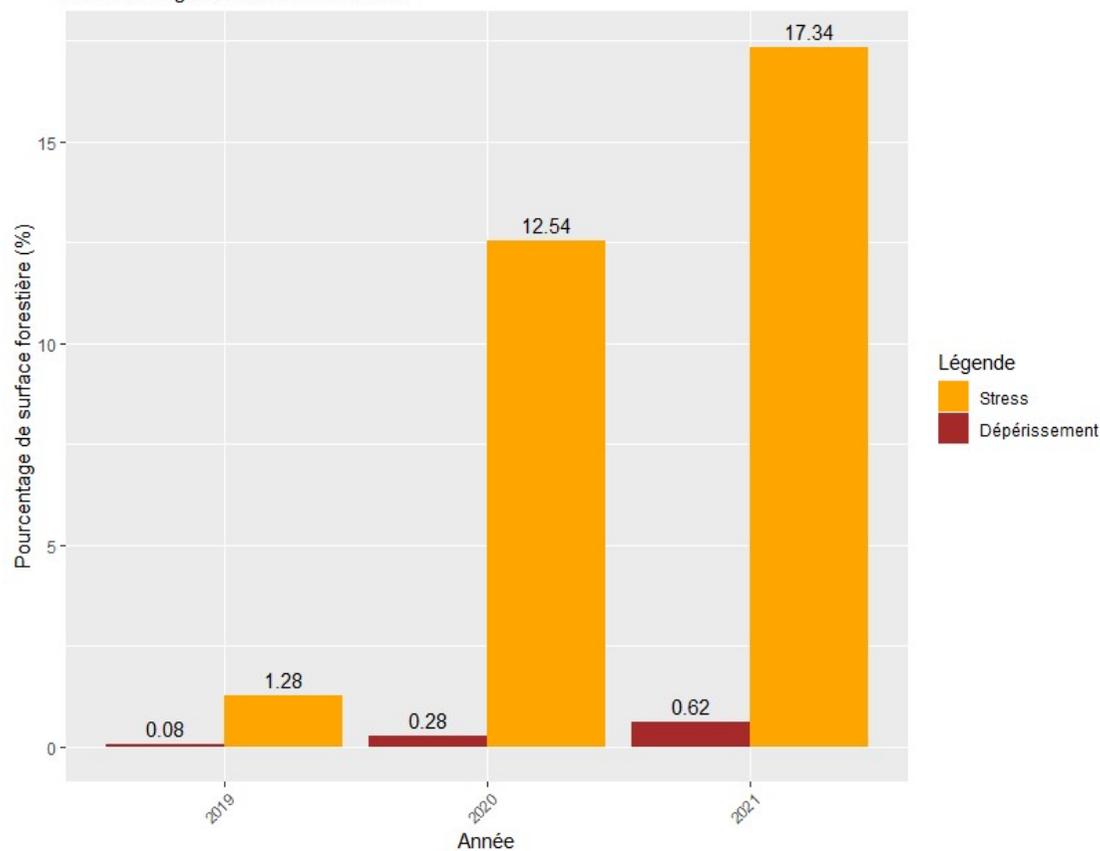
Perspectives

Présentation des résultats

Évolution du Stress et du dépérissement sur le PNRPA

Evolution du stress et des dépérissements sur les peuplements de conifères entre 2019 et 2021

Indice de Végétation utilisé : CRSWIR



* seulement la moitié de l'année 2019 a été modélisée (sous-estimation ?)

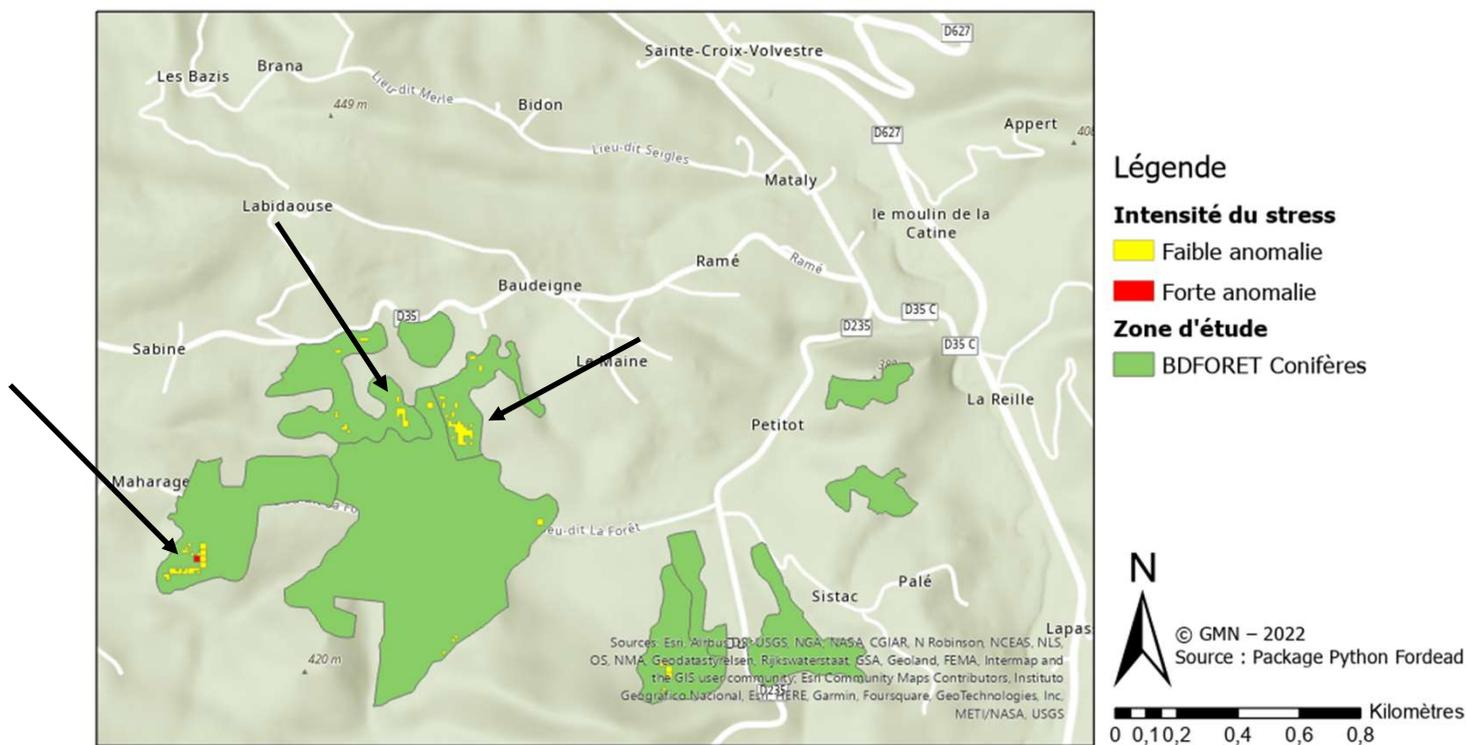




Présentation des résultats

Zoom sur la Sapinière de Sainte-Croix Volvestre

Zones de stress détectées sur la sapinière de Sainte-Croix Volvestre

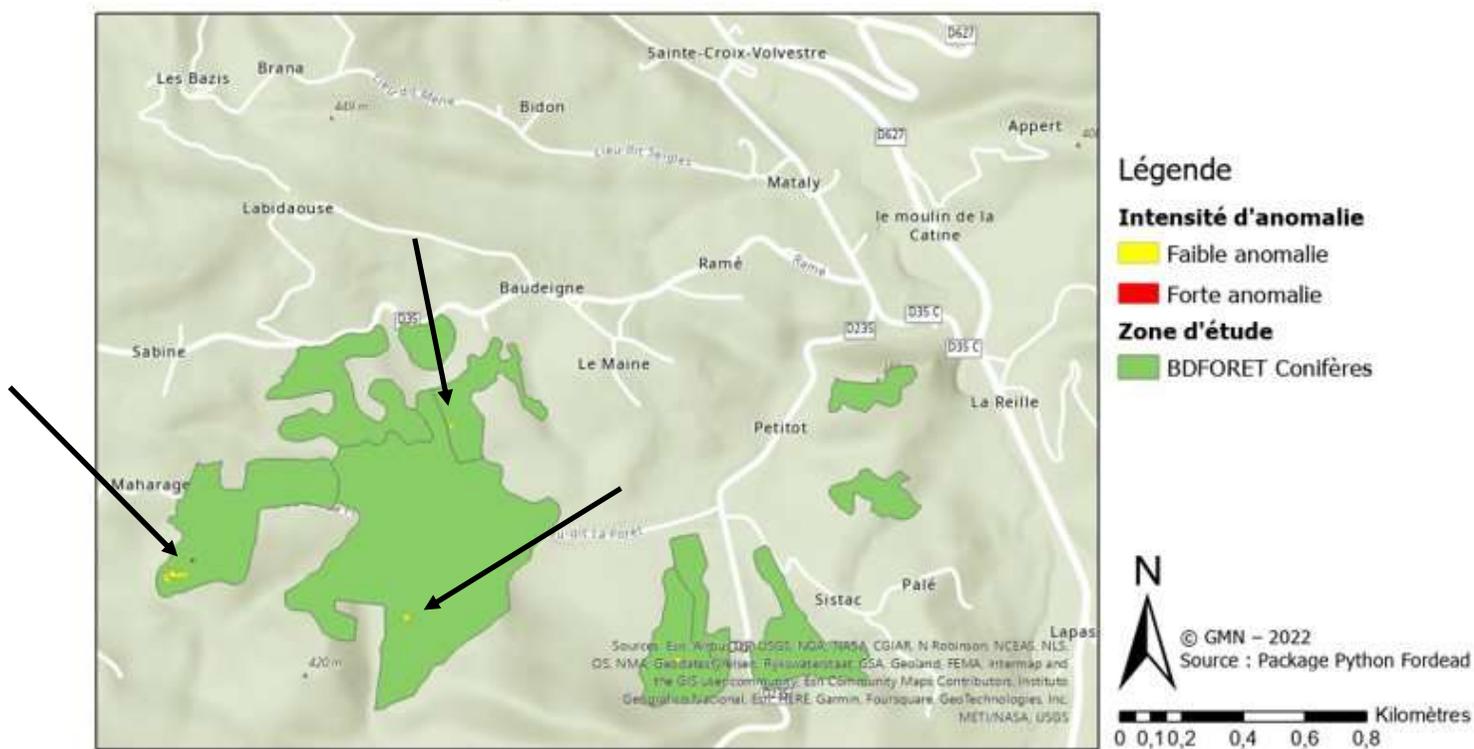




Présentation des résultats

Zoom sur la Sapinière de Sainte-Croix Volvestre

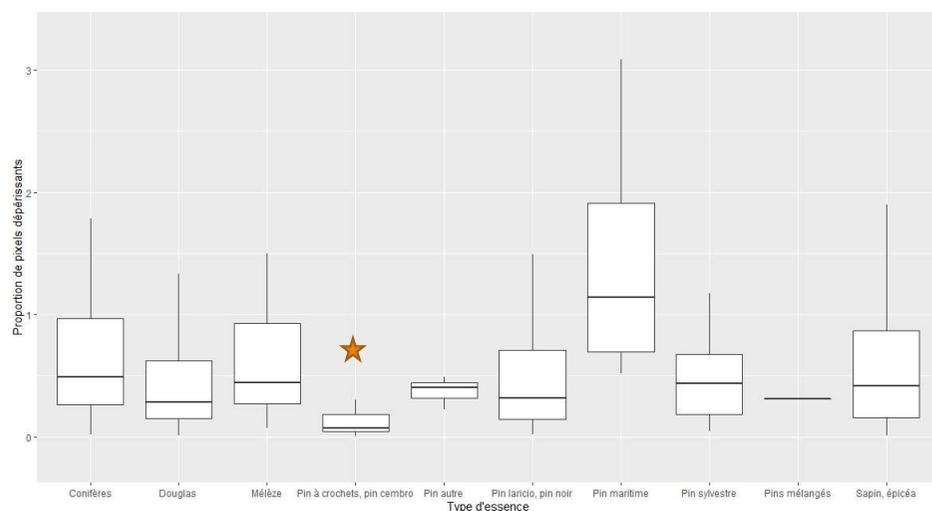
Zones de dépérissement détectées sur la sapinière de Sainte-Croix Volvestre





Analyse du dépérissement par rapport aux variables environnementales (Conifères)

Analyse par rapport à l'**altitude**, le **bilan hydrique climatique**, le **déficit d'évapotranspiration**, la **réserve utile** et le **type d'essence**.



Proportion de pixels dépérissants en fonction du type d'essence

Statistiquement, seuls l'altitude et le type d'essence sont corrélés au dépérissement. ($p\text{-value} < 0.05$)

- **Altitude:** Plus l'altitude est basse, plus il semble y avoir de dépérissement.
- **Essences:** Les pins à crochets et cembro semblent être le moins touchés par le dépérissement. Les variations entre les autres essences ne sont pas significatives.

Interprétation possible : les pins à crochets et cembro sont des essences de haute altitude.

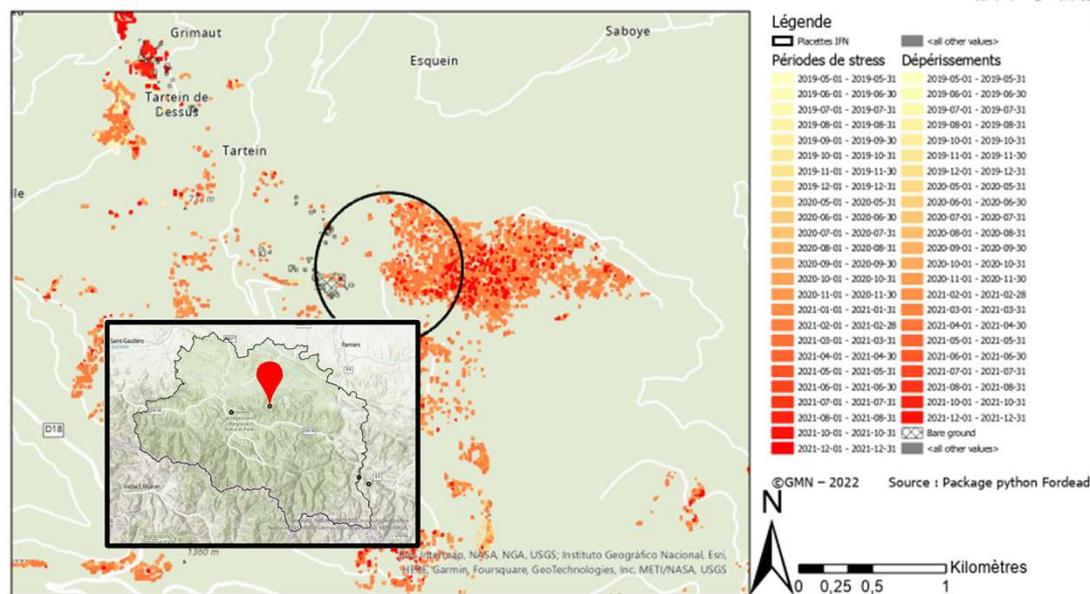




Validation à l'aide de données terrain

Données terrain :

- Wikirenat : 1 observation
 - Département Santé des Forêts : 2 placettes
 - Inventaire Forestier National : 4 placettes
- + Institut National Géographique : orthophotos



Placette IFN où des zones de stress et de dépérissement ont été détectés par Fordead

Matrice de confusion

		Terrain	
		Sain	Dépérisant
Fordead	Sain	NA	3
	Dépérisant	25	4



Outil Fordead

Résultats

Facteurs env.

Validation

Discussion

Perspectives

Critiques et Pertinence de l'utilisation de Fordead

- Manque de données terrain de validation, nécessaires à un calibrage optimal du modèle
- En 2022, impossible de trancher sur périodes de stress ou dépérissements?
 - Année inachevée -> retour à la normale encore possible
 - En 2022 : 324ha maximum dépérissants soit 2.76 %
- Calibrage du modèle inachevé donc possible sous-estimation des résultats

Outil intéressant pour le PNRPA

- pour déterminer rapidement les zones à enjeux
- pour agir en conséquence





Outil Fordead

Résultats

Facteurs env.

Validation

Discussion

Perspectives

Perspectives liées à l'utilisation de Fordead

- Impact du **nombre de périodes de stress** sur le dépérissement ?
- Impact de l'**intensité et de la fréquence du stress** sur le dépérissement ?
- Impact de la **période de l'année où intervient le stress** sur le dépérissement ?
- Impact d'autres gradients sur le dépérissement ?
 - (Nord-Sud, Est-Ouest, station, ...)
- Besoin de collecter plus de données terrain de validation
- À terme, zones à enjeux à privilégier ?





2 - Etude des dépérissements et stress chez les feuillus par analyse d'images satellitales





Cigreen

Variations spatio-temporelles

Discussion

Validation

Facteurs env.

Objectifs

Identifier les zones dépérissantes et étudier leurs évolutions au fil du temps

Identifier les zones de stress sur le PNRPA afin d'anticiper de potentiels dépérissements

Outils et données

Indice Cigreen proposé dans le rapport de l'école d'ingénieur de PURPAN

Images Satellites Sentinel-2, données BDForêt et Digitalis

Données du jeu de validation du modèle : IFN, DSF, WikiRenat

Méthode

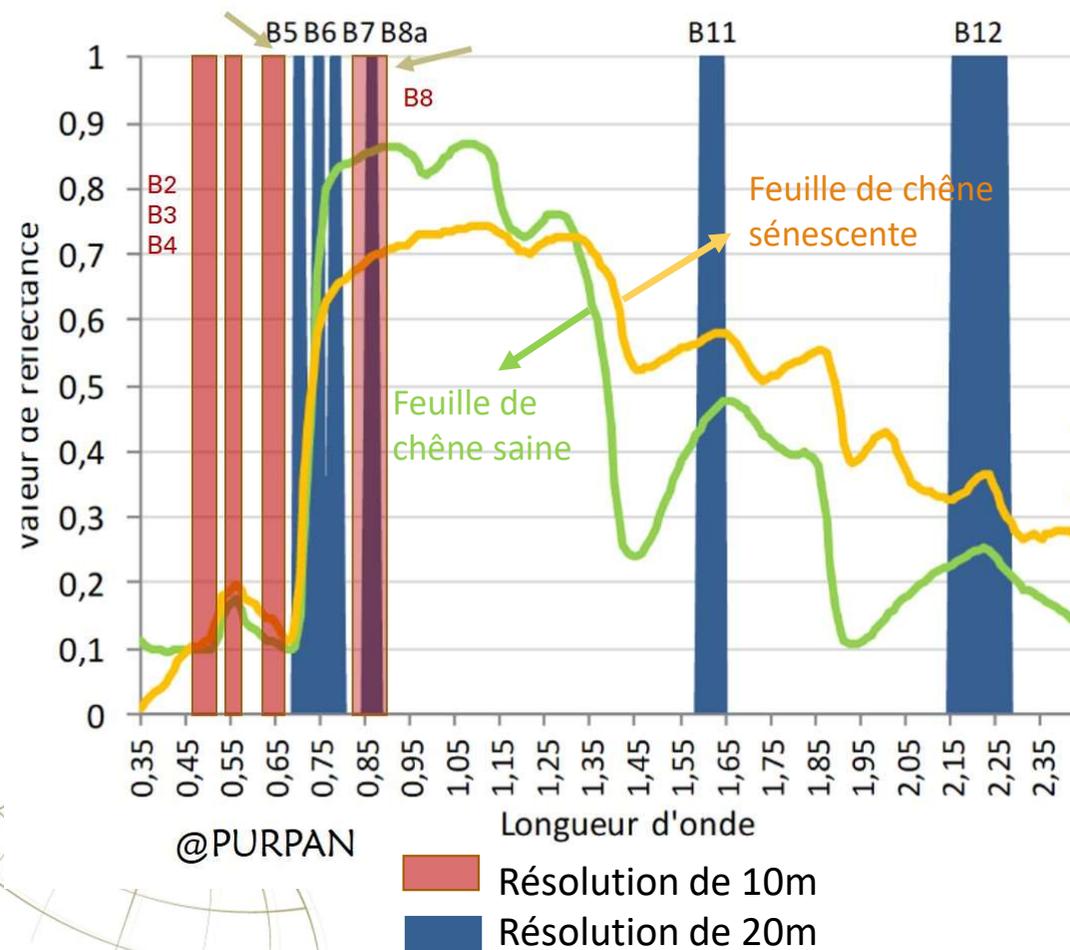
Création de cartes des zones de dépigmentation estivale des feuillus sur la période 2018-2022

Comparaison des cartes obtenues avec les données du jeu de validation

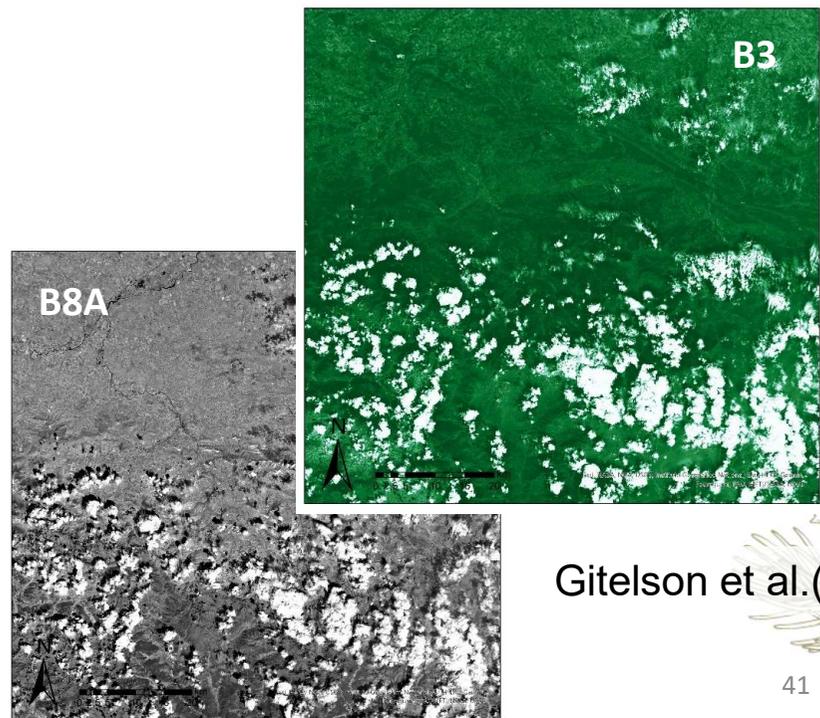
Interprétation des zones de dépérissement (conditions écologiques, essences, ...)



Etude du stress des feuillus par le calcul de l'indice Cgreen



$Cgreen = \rho_{NIR} / \rho_{Green} - 1$
 $Cgreen \sim \text{taux de chlorophylle}$



Gitelson et al.(2003)



2

Clgreen

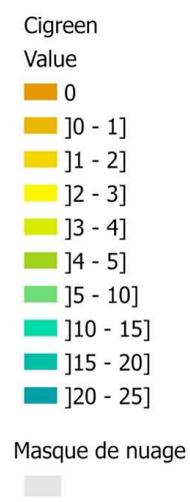
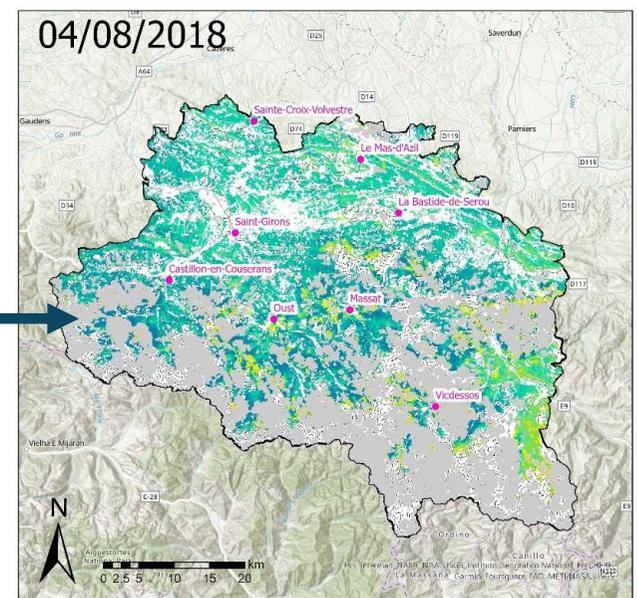
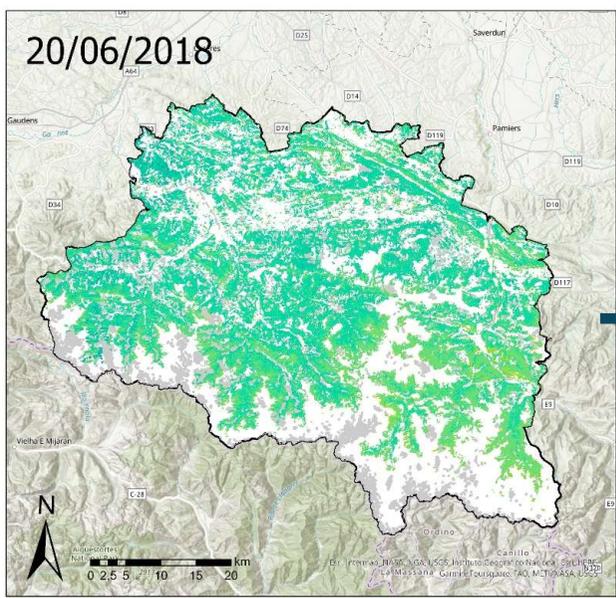
Variations spatio-temporelles

Discussion

Validation

Facteurs env.

$\Delta Clgreen = Clgreen (ao\hat{u}t) - Clgreen (juin)$
 $\Delta Clgreen < 0$: dépigmentation foliaire pendant l'été

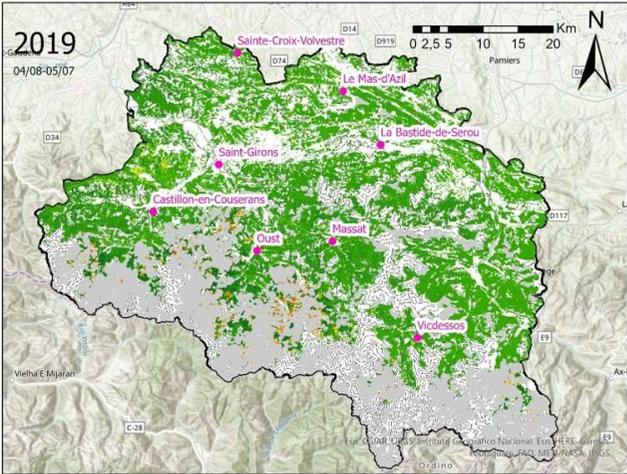
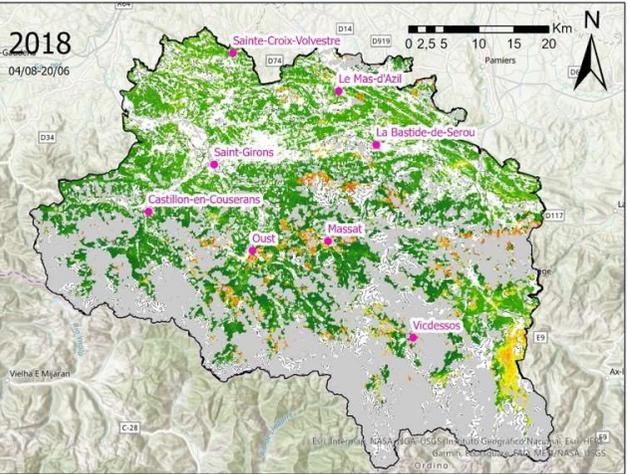


Choix des dalles

Année	Date pour le début d'été	Date pour la fin de l'été
2018	19/06	03/08
2019	05/07	05/08
2020	24/06	08/08
2021	14/06	28/08
2022	19/06	04/08



Variation spatiale de $\Delta Clgreen$



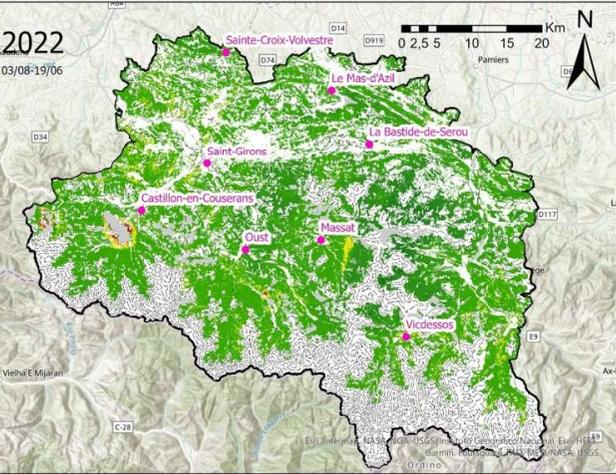
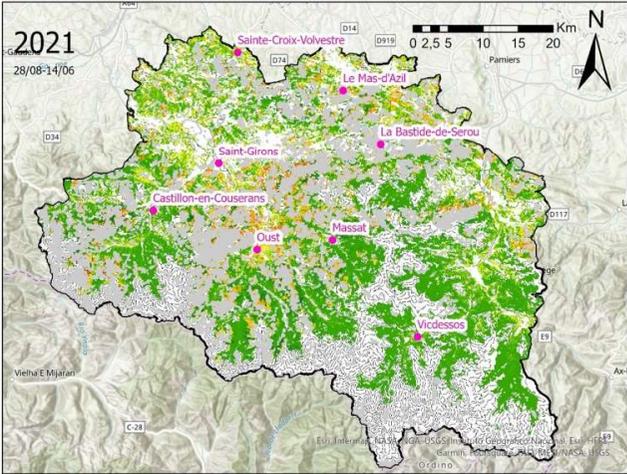
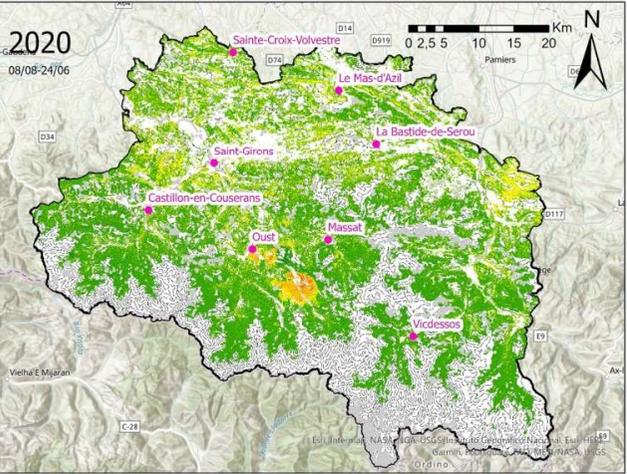
$\Delta Clgreen$ (août-juin)

- -50 - -20
- -20 - -15
- -15 - -10
- -10 - -8
- -8 - -6
- -6 - -4
- -4 - -2
- -2 - 0
- 0 - 5
- 5 - 10
- 10 - 50

Masque de nuage d'août et juin



@GMN - 2022
Sources: Dalles Sentinel-2 disponibles en licence ouverte Etalab par Theia
Les dates des dalles utilisées sont précisées sous les cartes





Cigreen

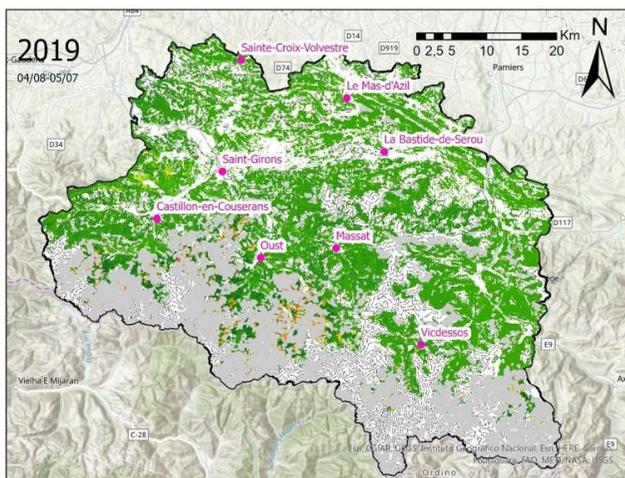
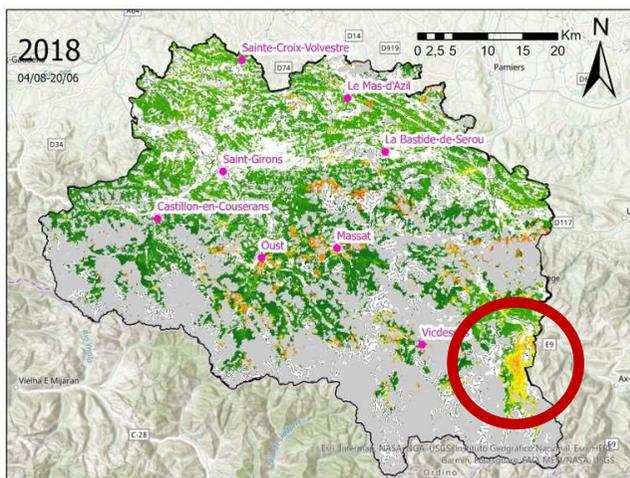
Variations spatio-temporelles

Discussion

Validation

Facteurs env.

Variation spatiale de Δ Cigreen



Δ Cigreen(août-juin)

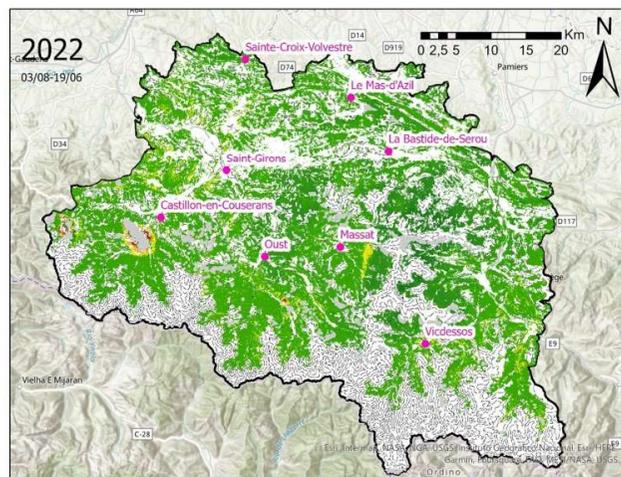
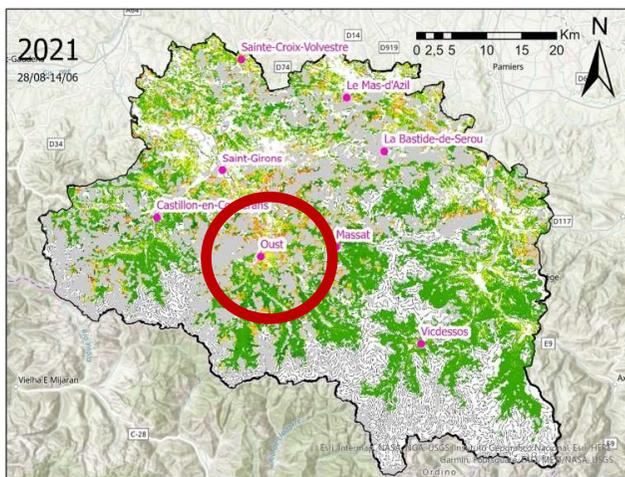
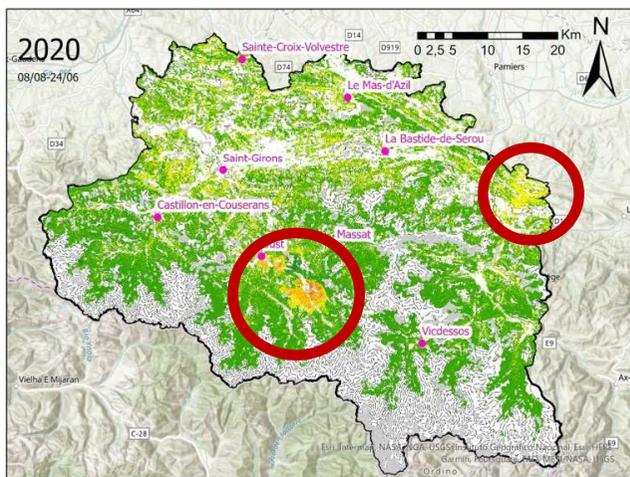


- Stress localisés
- Variabilité interannuelle

Masque de nuage d'août et juin

@GMN - 2022

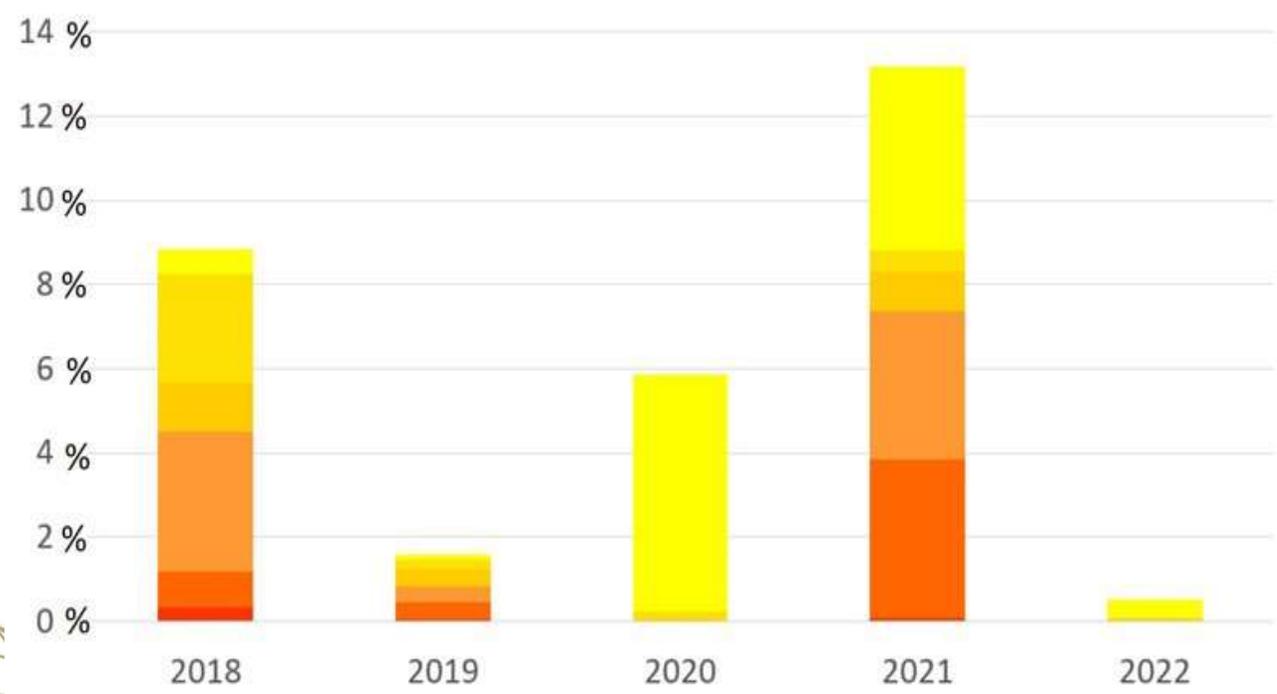
Sources: Dalles Sentinel-2 disponibles en licence ouverte Etalab par Theia
Les dates des dalles utilisées sont précisées sous les cartes





Variation temporelle des surfaces de feuillus dépigmentées

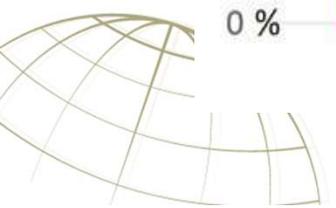
% de la surface concernée sur l'ensemble du PNR



Δ Cigreen(août-juin)
négatives

- [-50;-20]
-]-20;-15]
-]-15;-10]
-]-10;-8]
-]-8;-6]
-]-6;-4]
-]-4;-2]
-]-2;0]

➤ Variabilité interannuelle





Cigreen

Variations spatio-temporelles

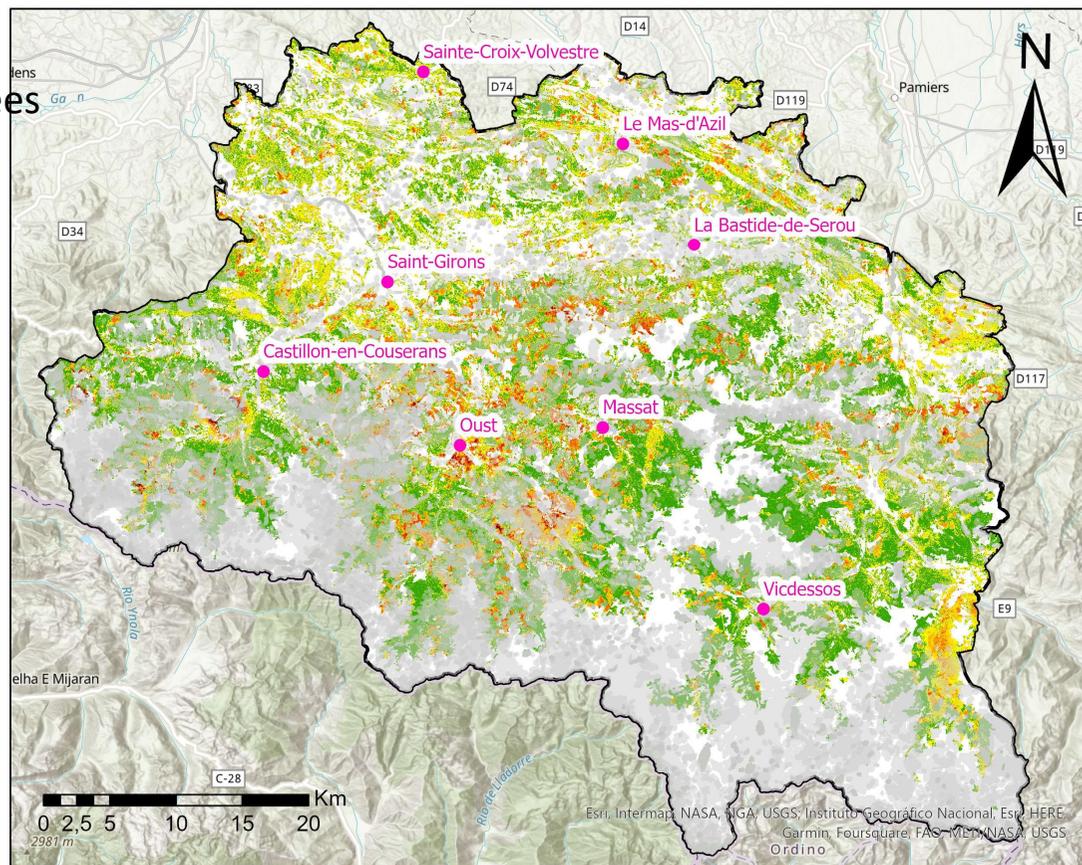
Discussion

Validation

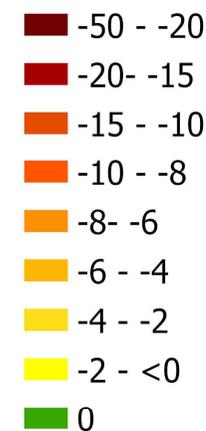
Facteurs env.

Accumulation des stress de 2018 à 2022

- Vallées et plaines plus touchées
- Versants exposés Est?



Somme des Δ Cigreen négatives de 2018 à 2022



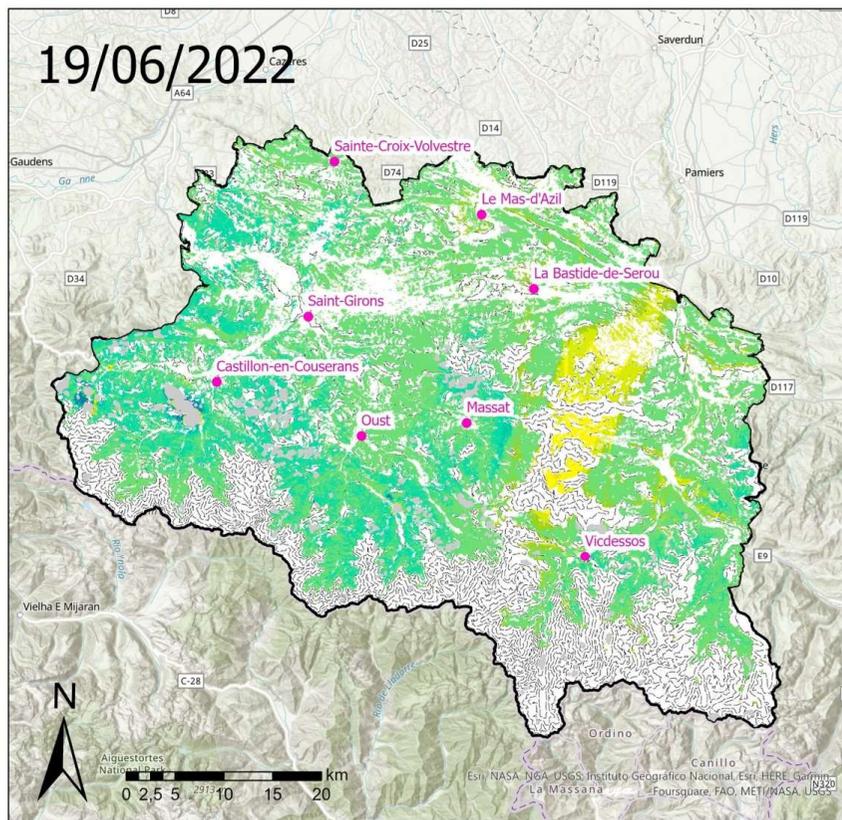
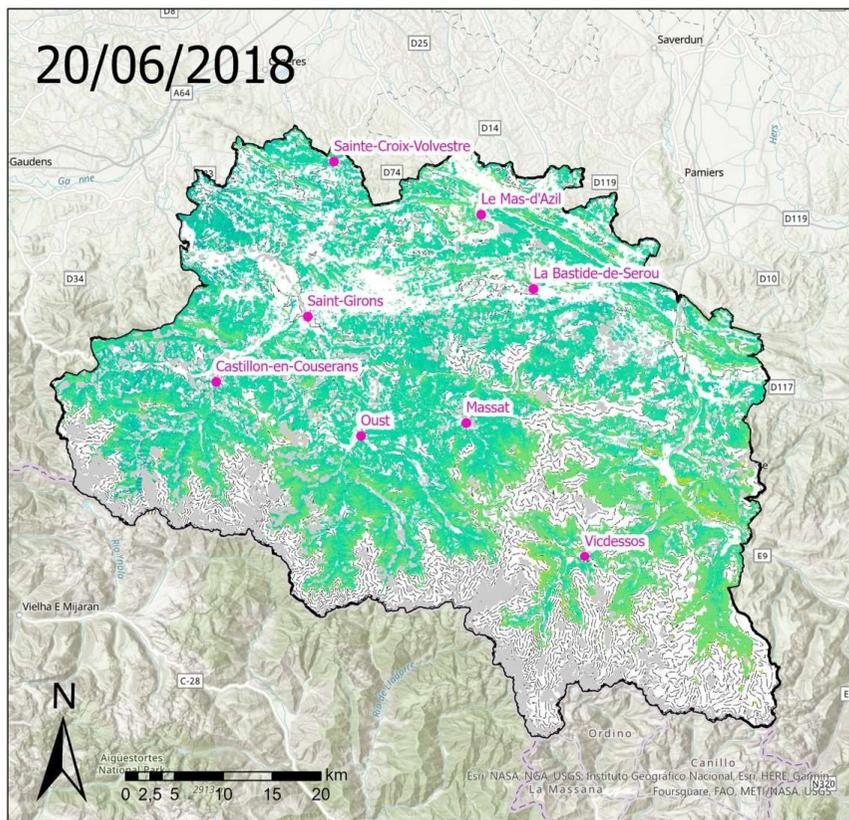
Nombre de masques de nuage superposés



@ GMN - 2022
 Sources: Dalles Sentinel-2 disponibles en licence ouverte Etalab par Theia. Les dates sont les suivantes: 20/06/2018, 04/08/2018, 19/06/2019, 04/08/2019, 24/06/2020, 08/08/2020, 14/06/2021, 28/08/2021, 19/06/2022, 03/08/2022.



Et 2022?



- Cigreen Value
- 0
 -]0 - 1]
 -]1 - 2]
 -]2 - 3]
 -]3 - 4]
 -]4 - 5]
 -]5 - 10]
 -]10 - 15]
 -]15 - 20]
 -]20 - 25]

Masque de nuage

@ GMN - 2022
Sources: Dalles Sentinel-2 disponibles en licence ouverte Etalab par Theia. Les dates sont les suivantes: 20/06/2018, 19/06/2022



Limites, perspectives et amélioration

- Indice $\Delta\text{Clgreen}$ pertinent?
- Difficulté à s'affranchir de la contrainte nuage
 - Multiplication des années?
- Association de la dépigmentation à un signal d'alarme de dépérissement
 - Méthode de validation
- Mise en lien avec les variables environnementales



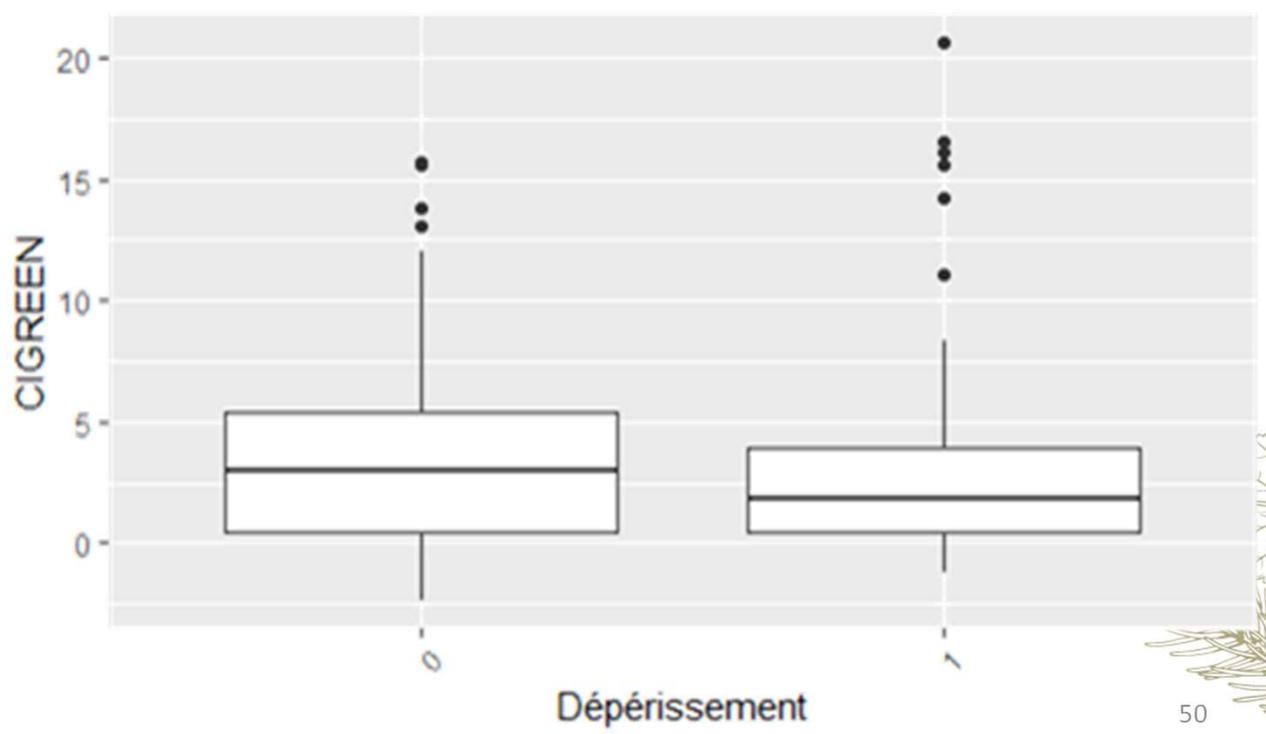


Validation à l'aide de données terrain

$\Delta Cigreen$ moyen pour les données terrain ne présentant pas de dépérissement (0) et présentant un dépérissement (1)

Données terrain :

- Wikirenat : 20 observations
- Inventaire Forestier National : 110 placettes





Cigreen

Variations spatio-temporelles

Discussion

Validation

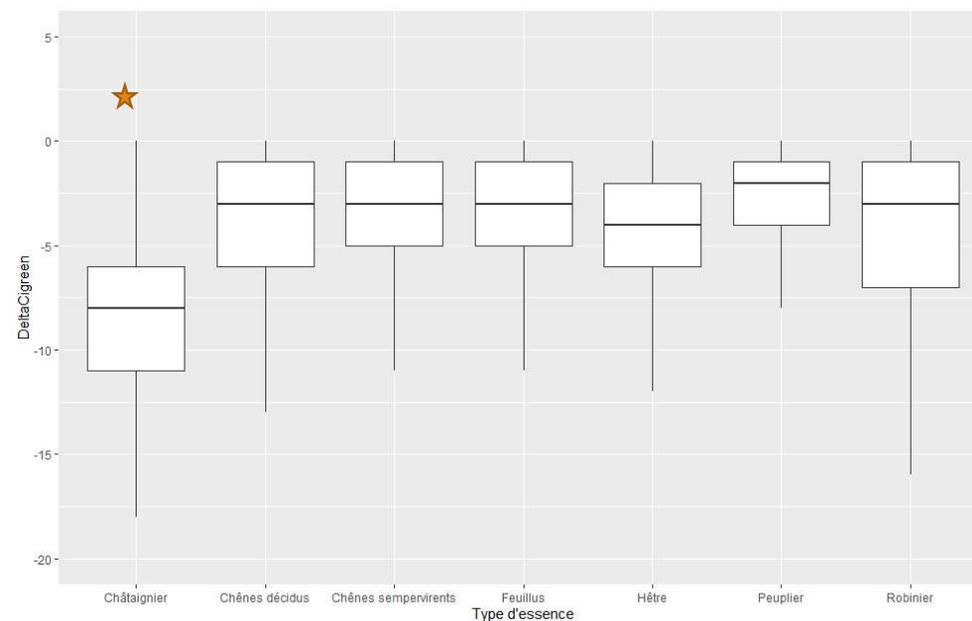
Facteurs env.

Analyse du dépérissement par rapport aux variables environnementales (Feuillus)

Analyse par rapport au **type d'essence**.

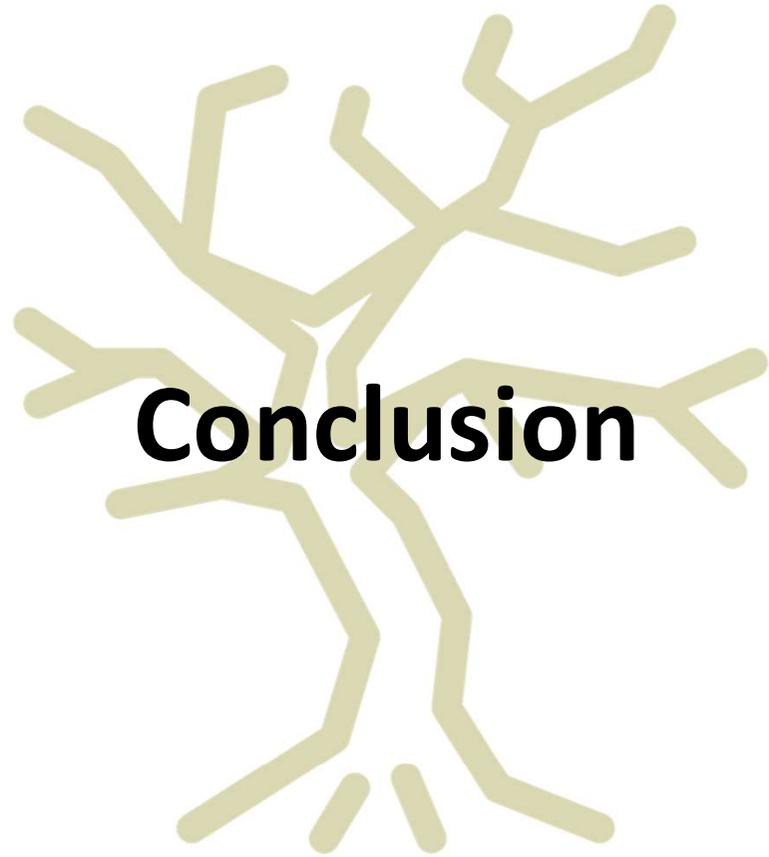
Statistiquement, toutes les variations entre les essences sont **significatives**, bien que légères. ($p\text{-value} < 0.05$)

Le châtaignier semble néanmoins plus impacté par le dépérissement, ce qui peut-être aussi lié aux problèmes sanitaires (cynips, encre, chancre).



DeltaCigreen en fonction du type d'essence







Questions





Détermination des facteurs liés au dépérissement des principales essences de production et réalisation de cartes de vulnérabilité



SOMMAIRE

- I. Choix méthodologiques**
- II. Evolution et état actuel**
- III. Modélisation**
- IV. Cartographie de la vulnérabilité**
- V. Conclusion**





Choix
méthodologiques

Evolution et état
actuel

Modélisation

Cartographie de la
vulnérabilité

Conclusion

Choix méthodologiques



Essences : Hêtre - Sapin - Châtaignier - Chênes sessile, pubescent, pédonculé



Zone d'étude : 5 départements (09, 11, 31, 65, 66)



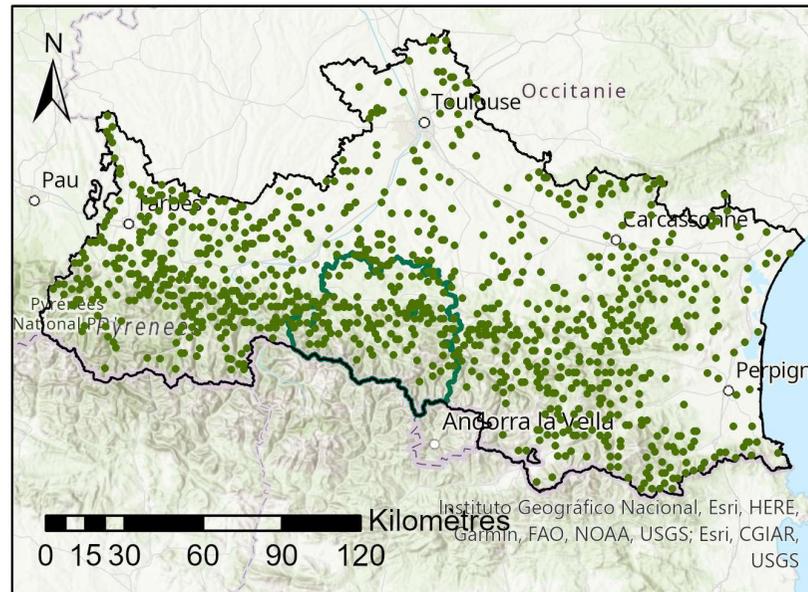
Données : placettes IGN-IFN



Période d'étude : 2017-2021



Modèles : GLM (Generalized linear model), RF (Random Forest), BRT (Boosted Regression Tree)



Légende

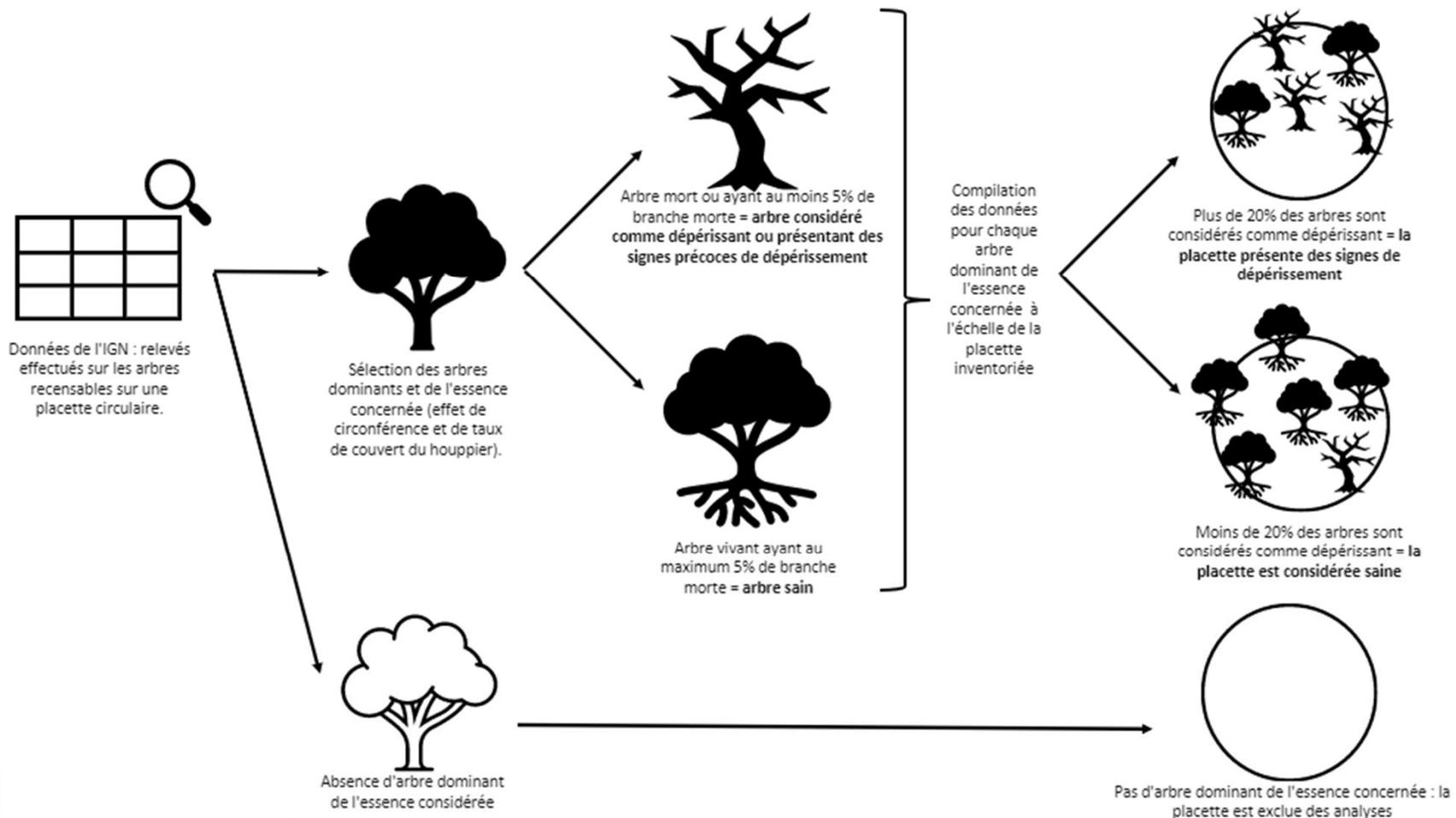
- zone d'étude
- Perimetre_PNR_PA
- BD_placettes 2017_2021

Auteur : GMN 2022
Source : IGN 2017-2021

Localisation des placettes utilisées pour la calibration des modèles
(Inventaire forestier de l'IGN période 2017-2021, 975 placettes)

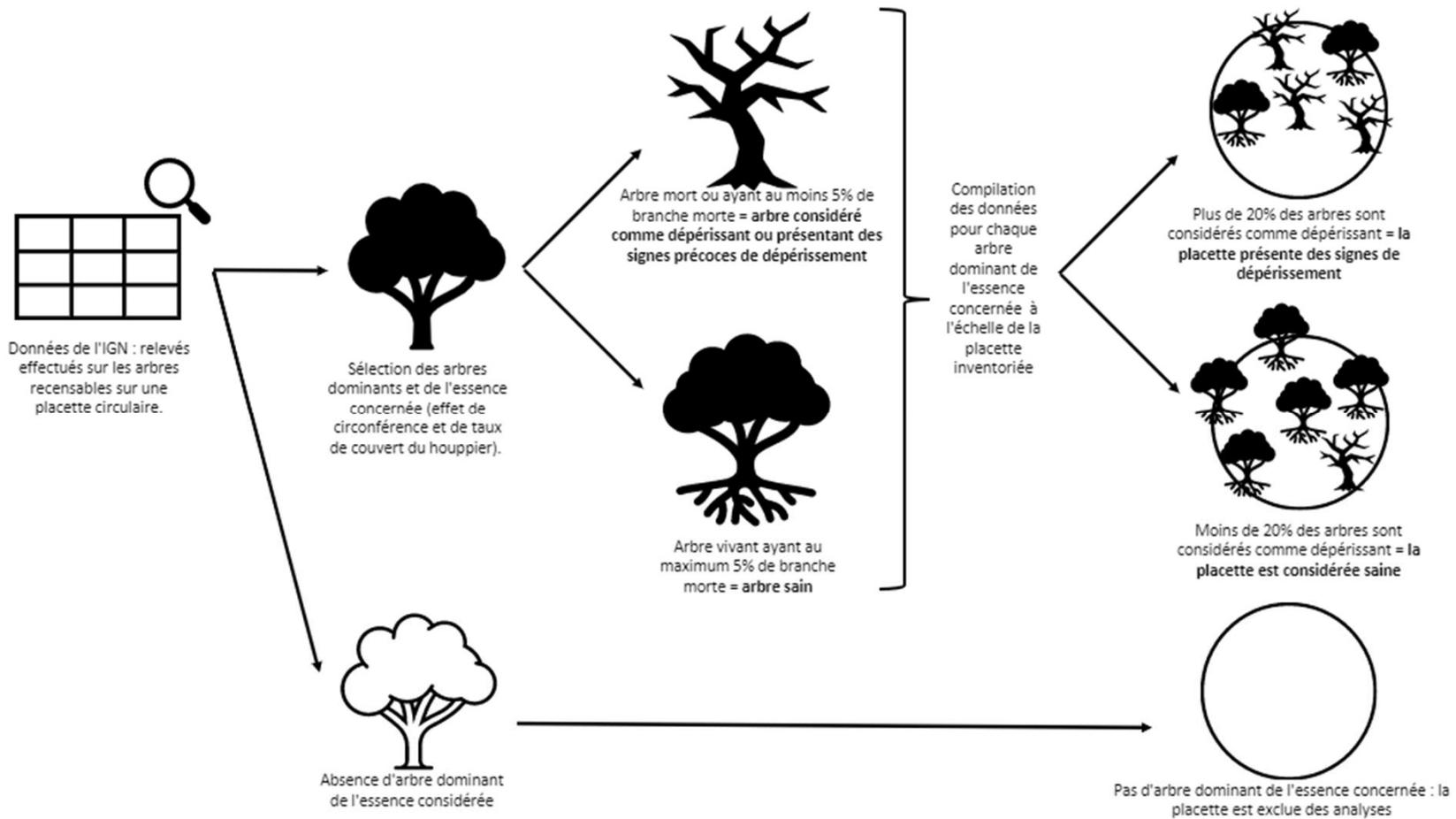


Définition de la variable à expliquer : DEP_ESSENCE





Définition de la variable à expliquer : DEP_ESSENCE



- Travail à l'échelle de la placette
- Seuil précoce
→ Signes de stress
- Adapté aux faibles taux de mortalité observés sur le PNR PE



Choix
méthodologiques

Evolution et état
actuel

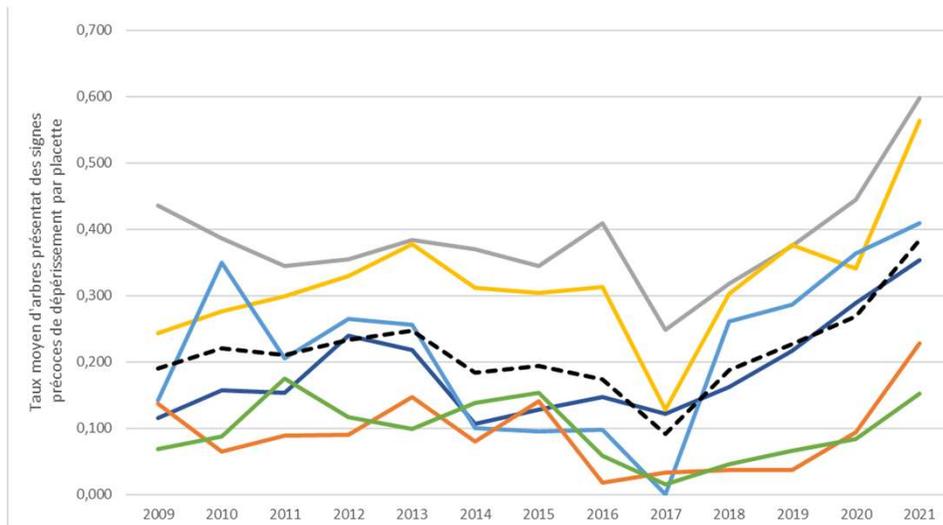
Modélisation

Cartographie de la
vulnérabilité

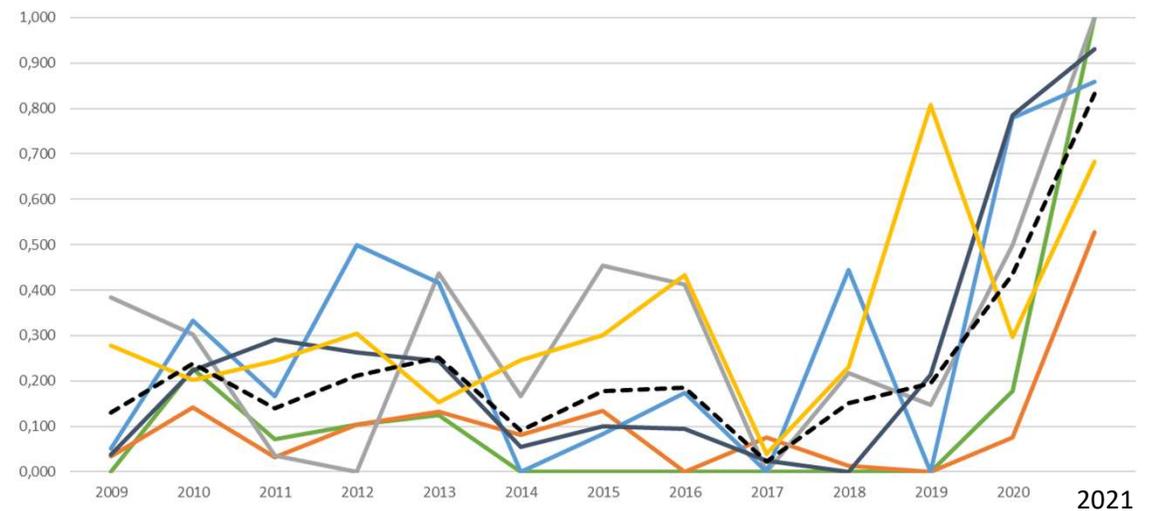
Conclusion

Evolution de l'état de santé : 2009-2021

Zone d'étude étendue



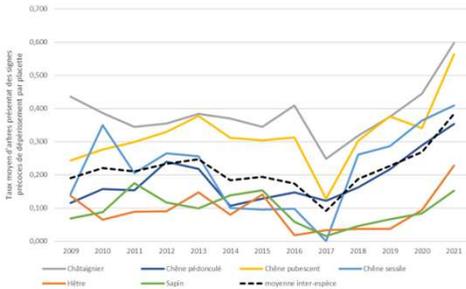
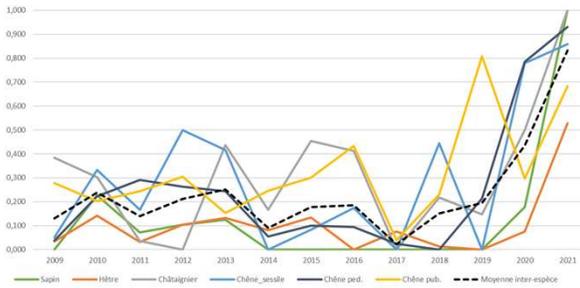
PNR PA



Evolution du taux moyen d'arbres présentant des signes de stress par placette

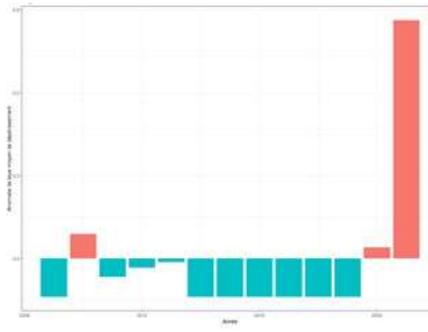


Evolution de l'état de santé : 2009-2021

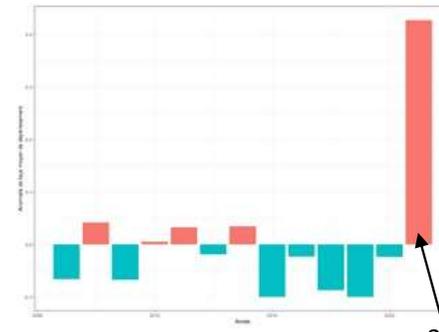


Anomalie de taux moyen de signe de stress

Sapin

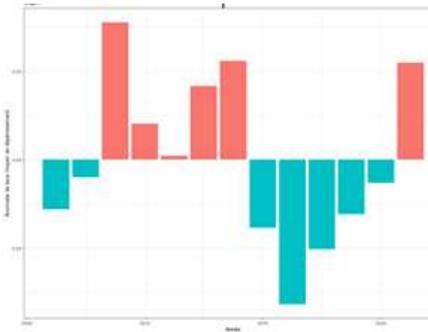


Hêtre



2021

PNR PA



Zone d'étude étendue

Anomalies du taux moyen d'arbres présentant des signes de stress, période 2009-2021



Choix
méthodologiques

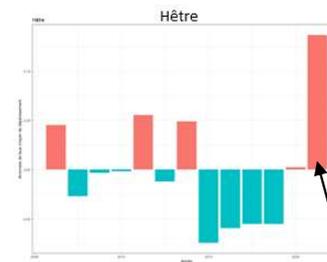
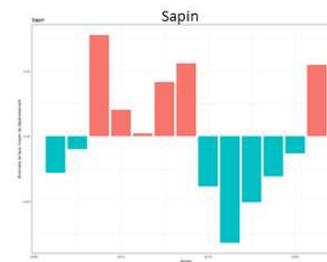
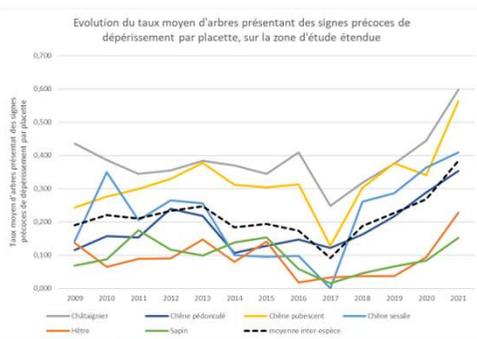
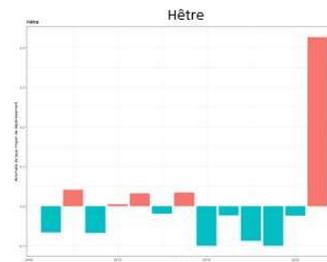
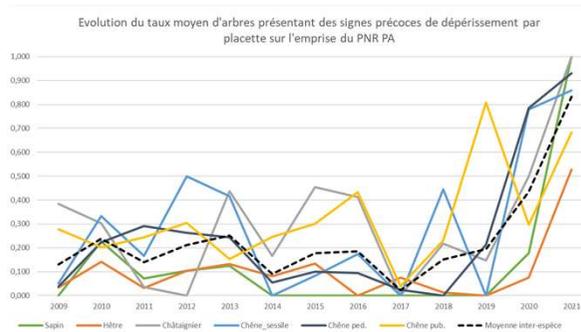
Evolution et état
actuel

Modélisation

Cartographie de la
vulnérabilité

Conclusion

Evolution de l'état de santé : 2009-2021



Peu de signes de stress sur
le PNR PA entre 2009-2019



- Caractère "anormal" des
années 2020-21, pour
toutes les essences



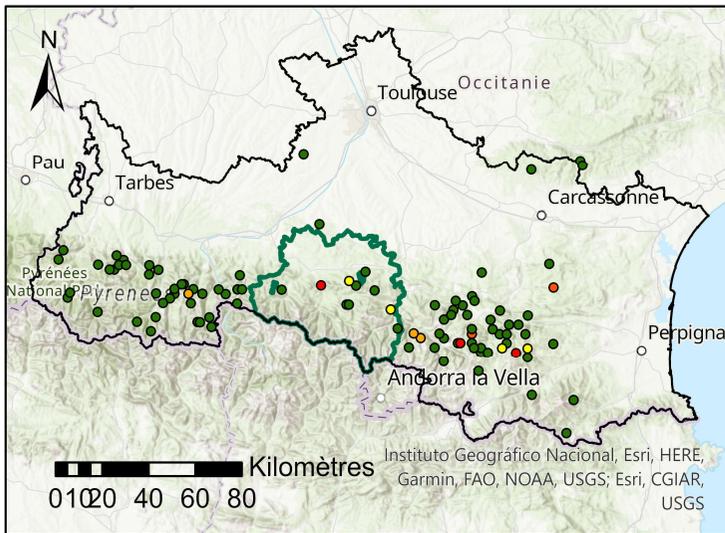
Effectifs de placettes
faibles pour certaines
essences sur le PNR

2021

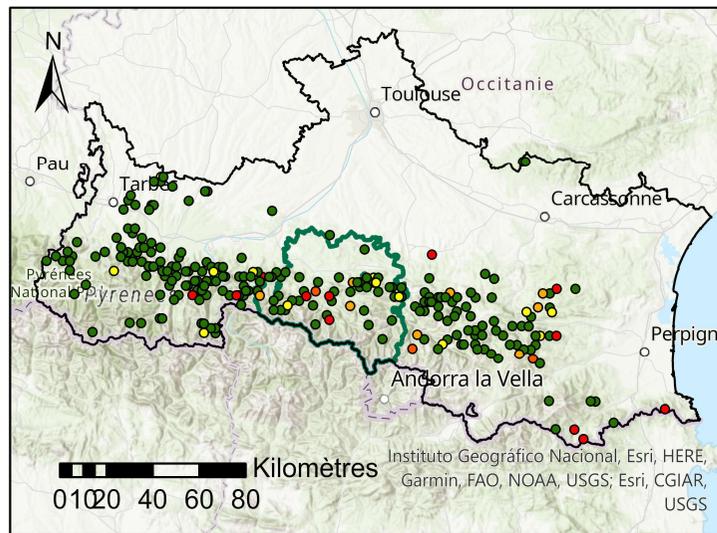


Etat actuel de l'état de santé : 2017-2021

Sapin



Hêtre



Légende

- zone d'étude
- Périmetre_PNR_PA
- Taux d'arbres présentant des signes de stress
- [0,0.19]
- (0.19,0.39]
- (0.39,0.59]
- (0.59,0.79]
- (0.79,1]
- <all other values>

2017-2021	Zone d'étude étendue		PNR PA	
	Nombre de placettes	Nombre de placettes présentant des signes de stress	Nombre de placettes	Nombre de placettes présentant des signes de stress
Hêtre	256	36 (14,0%)	48	11 (22,9%)
Sapin	103	12 (11,7%)	9	2 (22,2%)

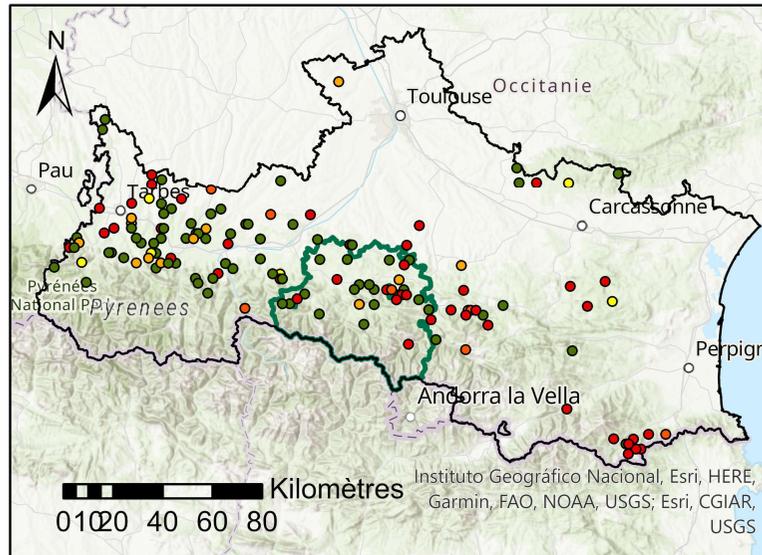
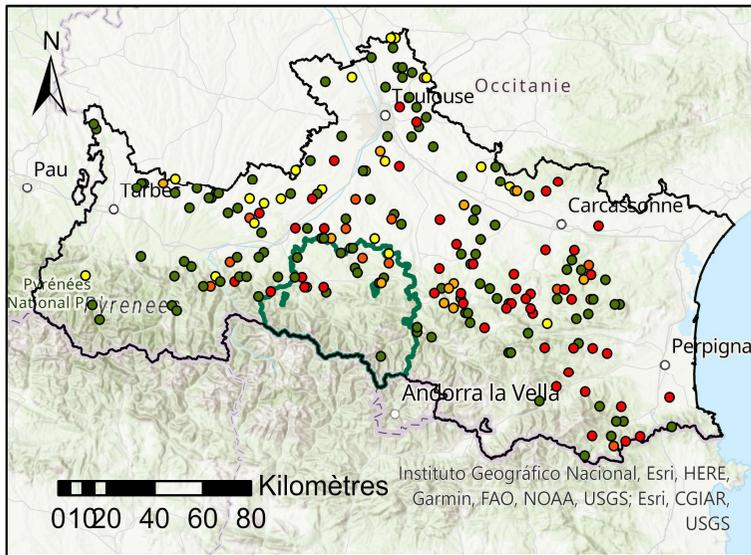
➔ Répartition selon un gradient Est-Ouest



Etat actuel de l'état de santé : 2017-2021

Chêne pubescent

Châtaignier



Légende

- zone d'étude
- Périmètre_PNR_PA

Taux d'arbres présentant des signes de stress

- [0,0,19]
- (0,19,0,39]
- (0,39,0,59]
- (0,59,0,79]
- (0,79,1]
- <all other values>

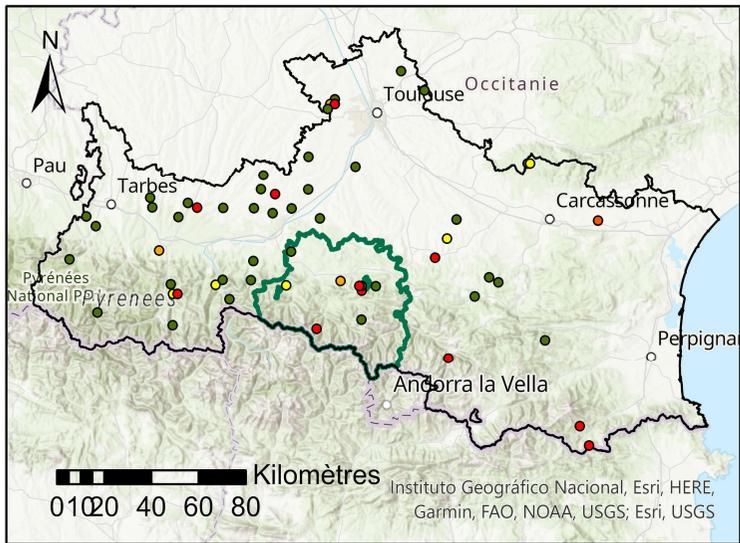
	Zone d'étude étendue		PNR PA	
	Nombre de placettes	Nombre de placettes présentant des signes de stress	Nombre de placettes	Nombre de placettes présentant des signes de stress
2017-2021				
Chêne pub.	211	97 (46,0%)	19	9 (47,4%)
Châtaignier	143	69 (48,3%)	27	9 (33,3%)

- ➔ Pas de schéma de répartition spatiale clair
- ➔ Fort taux de placettes présentant des signes de stress
- ➔ Influence probables de ravageurs (chancre, Bupreste du chêne)

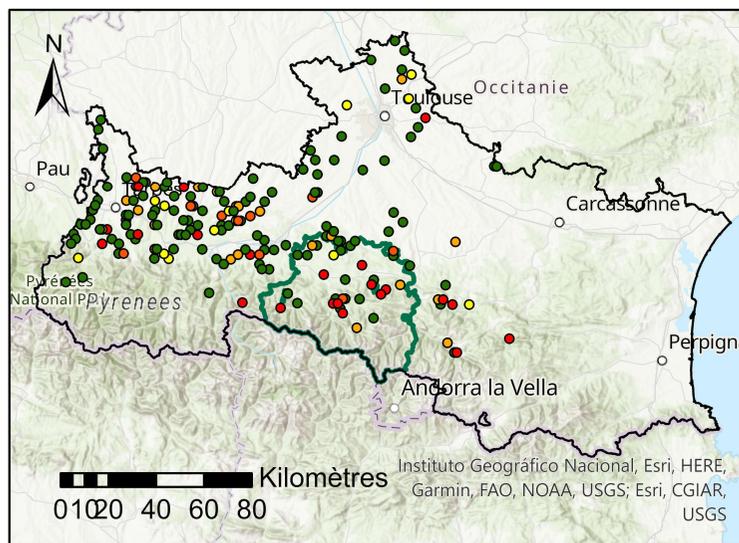


Etat actuel de l'état de santé : 2017-2021

Chêne sessile



Chêne pédonculé



Légende

- zone d'étude
- ▭ Périmetre_PNR_PA

Taux d'arbres présentant des signes de stress

- [0,0.19]
- (0.19,0.39]
- (0.39,0.59]
- (0.59,0.79]
- (0.79,1]
- <all other values>

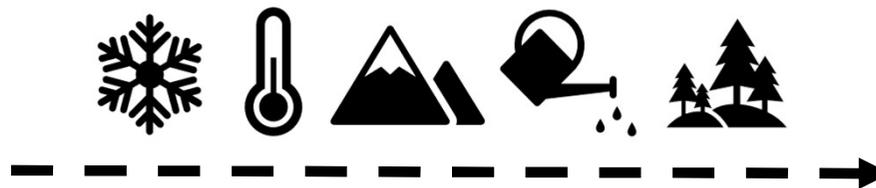
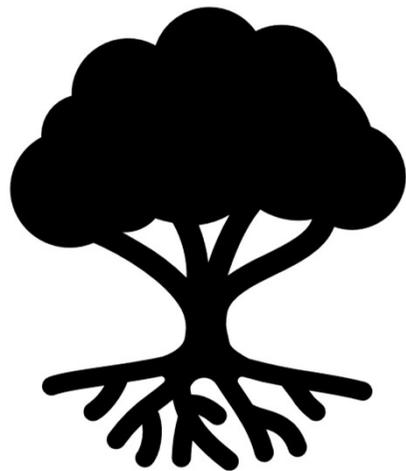
2017-2021	Zone d'étude étendue		PNR PA	
	Nombre de placettes	Nombre de placettes présentant des signes de stress	Nombre de placettes	Nombre de placettes présentant des signes de stress
Chêne ses.	58	20 (34,5%)	9	5 (55,6%)
Chêne ped.	194	66 (34,0%)	28	14 (50,0%)

➔ Pas de schéma de répartition spatiale clair
 ➔ Fort taux de placettes présentant des signes de stress





Modélisation logistique des signes précoces de dépérissement :

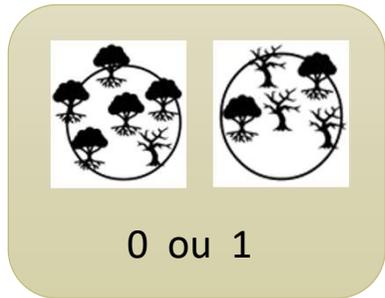


Nombre de placettes	Total	Signes de stress
Sapin	103	11
Hêtre	256	36
Châtaignier	143	69
Chêne pubescent	211	94
Chêne pédonculé	194	65
Chêne sessile	58	20





Variable expliquée = f (41 variables explicatives)



Issues de la BD de l'IGN

Issues de la BD Digitalis

- **Facteurs peuplement**



Traces de gestion, plantation, surface terrière, richesse spécifique...

- **Facteurs pédologiques et topographiques**



Type, texture et profondeur du sol, type d'humus, position topographique, éléments grossiers, traces d'hydromorphie, position topographique.....

- **Facteurs climatiques**



Températures, précipitations, bilan hydrique climatique, réserve utile...

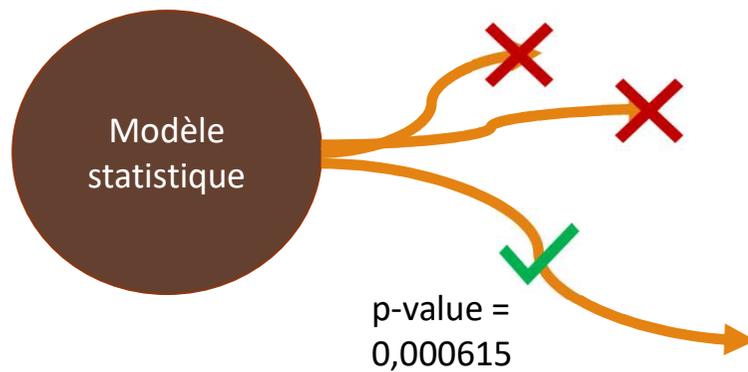
- **Facteurs d'évolution climatique**



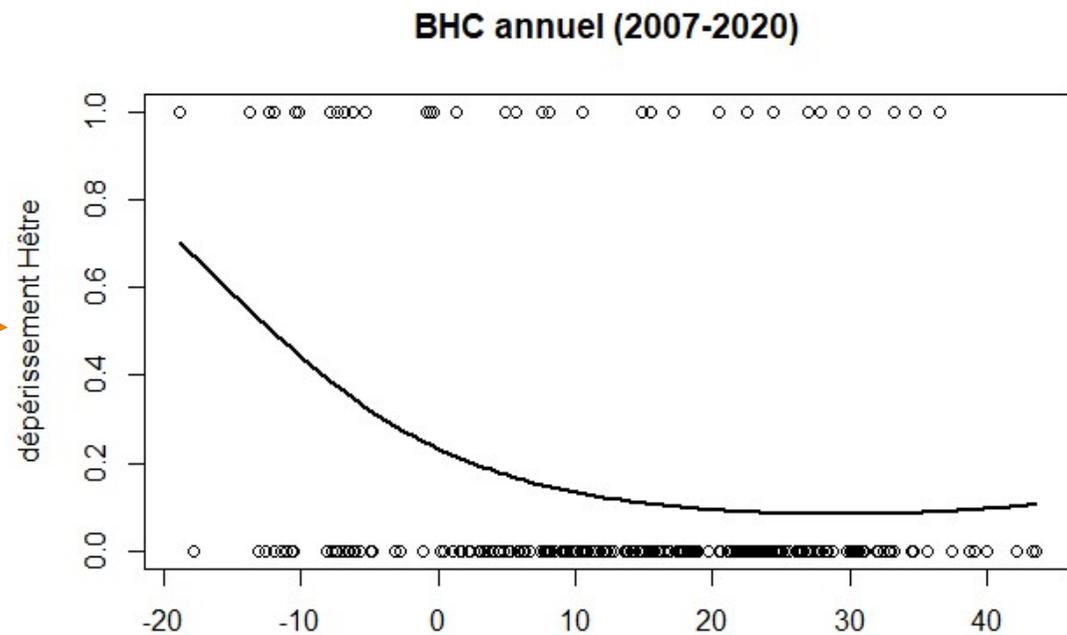
Anomalies de température moyenne annuelle, de précipitation, de déficit hydrique...



Modèle linéaire généralisé pour le hêtre :



- Performance du modèle
- Identification des variables explicatives importantes
- Etude des courbes de réponse des variables importantes en fonction du dépérissement



G_HET=0.59 ; TCAT10=9.28 ; GEST=0

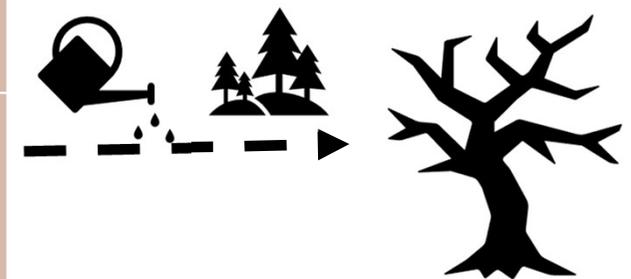




Hêtre

Performance du modèle	AUC	Sensibilité
GLM	83%	86%
RF	65%	0
BRT	95%	86%

	Tendance de la variable	Importance de la prédiction
Facteurs peuplement	Taux de couvert forestier faible Surface terrière relative du hêtre	++ +
Facteurs pédologiques et topographiques		
Facteurs climatiques	Précipitations estivales faibles Précipitations annuelles faibles Déficit d'évapotranspiration élevé	+ + +
Facteurs d'évolution climatique	Anomalie de déficit hydrique élevée Anomalies de précipitations faible	+ +

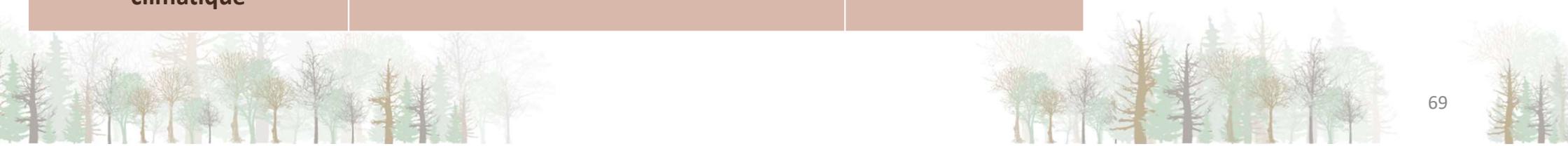
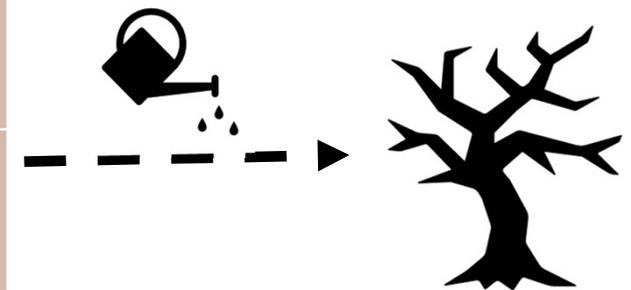




Sapin

Performance du modèle	AUC	Sensibilité
GLM	84%	91%
RF	53%	0
BRT	-	

	Tendance de la variable	Importance de la prédiction
Facteurs peuplement	Surface terrière relative du hêtre Texture sableuse	+ +
Facteurs pédologiques et topographiques		
Facteurs climatiques		
Facteurs d'évolution climatique	Anomalie de précipitations annuelles faible	+

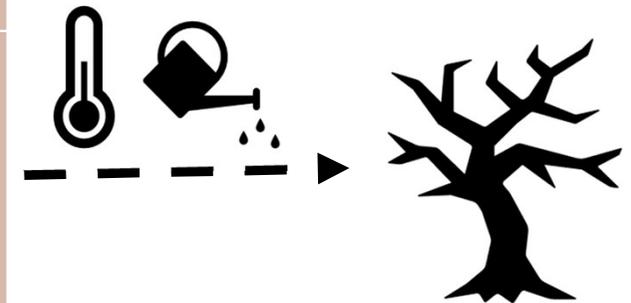




Châtaignier

Performance du modèle	AUC	Sensibilité
GLM	74%	64%
RF	53%	54%
BRT	93%	94%

	Tendance de la variable	Importance de la prédiction
Facteurs peuplement		
Facteurs pédologiques et topographiques	Régions méditerranéennes	++
Facteurs climatiques	Précipitations estivales faibles Précipitations annuelles faibles Déficit d'évapotranspiration élevé Bilan hydrique annuel faible Température moyenne annuelle élevée Température maximale annuelle élevée	+ + + ++ + +
Facteurs d'évolution climatique	Anomalie de température moyenne annuelle élevée	++

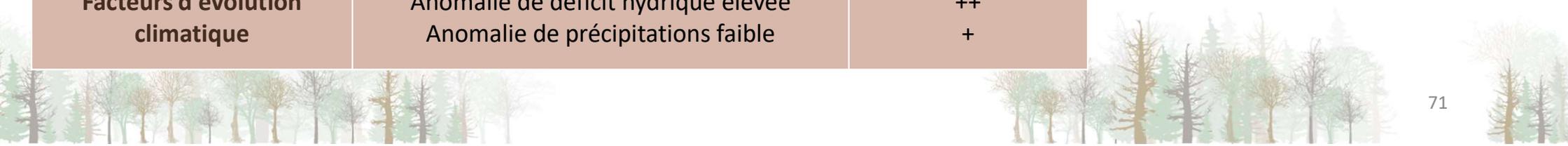
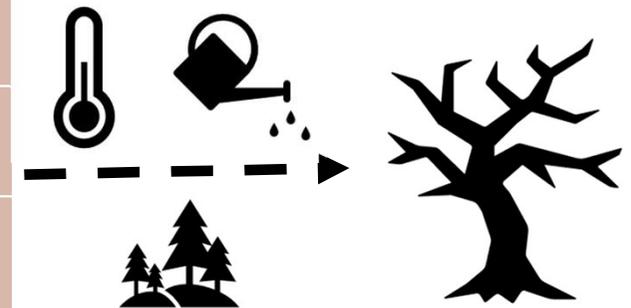




Chêne pubescent

Performance du modèle	AUC	Sensibilité
GLM	-	-
RF	63%	72%
BRT	97%	89%

	Tendance de la variable	Importance de la prédiction
Facteurs peuplement	Surface terrière élevée	++
	Surface terrière relative du chêne pubescent	++
	Espèce principale = chêne pubescent	++
Facteurs pédologiques et topographiques		
Facteurs climatiques	Température maximale estivale élevée	+
	Température maximale annuelle élevée	++
Facteurs d'évolution climatique	Anomalie de déficit hydrique élevée	++
	Anomalie de précipitations faible	+

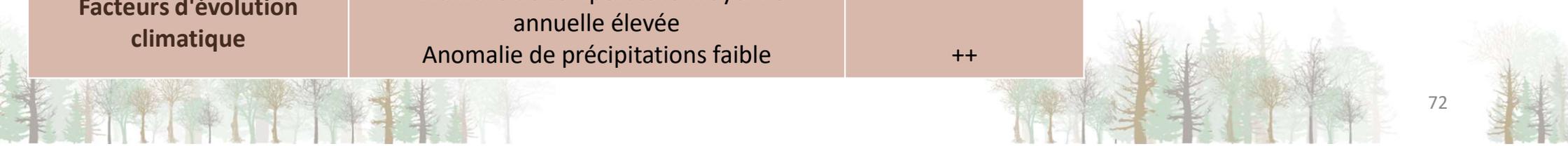
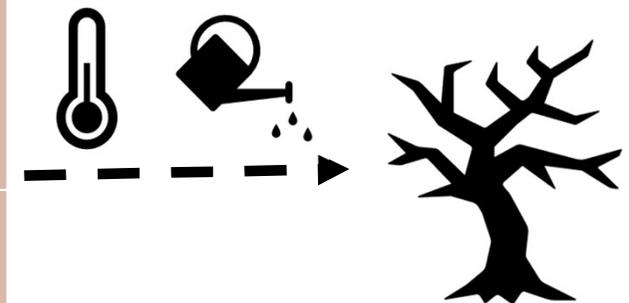




Chêne pédonculé

Performance du modèle	AUC	Sensibilité
GLM	-	-
RF	57%	15%
BRT	91%	86%

	Tendance de la variable	Importance de la prédiction
Facteurs peuplement		
Facteurs pédologiques et topographiques	Augmentation de la vulnérabilité en vallée large, en sommet et milieu de versant Sol profond	++
		++
Facteurs climatiques	Température minimale hivernale et printanière élevée Déficit d'évapotranspiration faible	+
		+
Facteurs d'évolution climatique	Anomalie de température moyenne annuelle élevée Anomalie de précipitations faible	++
		++

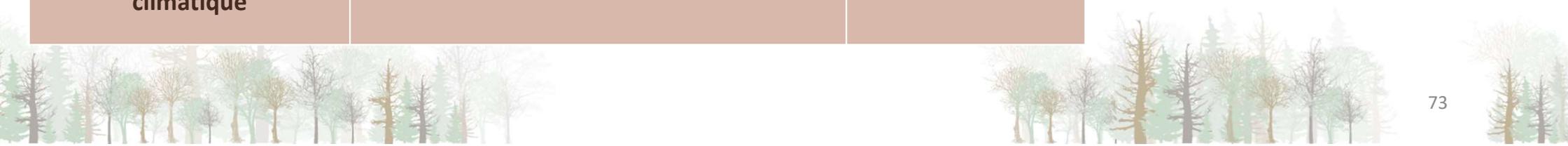
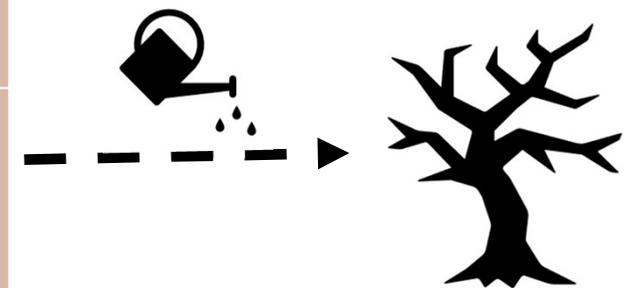




Chêne sessile

Performance du modèle	AUC	Sensibilité
GLM	-	-
RF	51%	16%
BRT	94%	100%

	Tendance de la variable	Importance de la prédiction
Facteurs peuplement		
Facteurs pédologiques et topographiques	Augmentation de la vulnérabilité en fond de vallon	+
Facteurs climatiques	Déficit d'évapotranspiration faible Température maximale faible Température minimale hivernale faible	++ +
Facteurs d'évolution climatique	Anomalie de précipitations faible	+





Choix
méthodologiques

Evolution et état
actuel

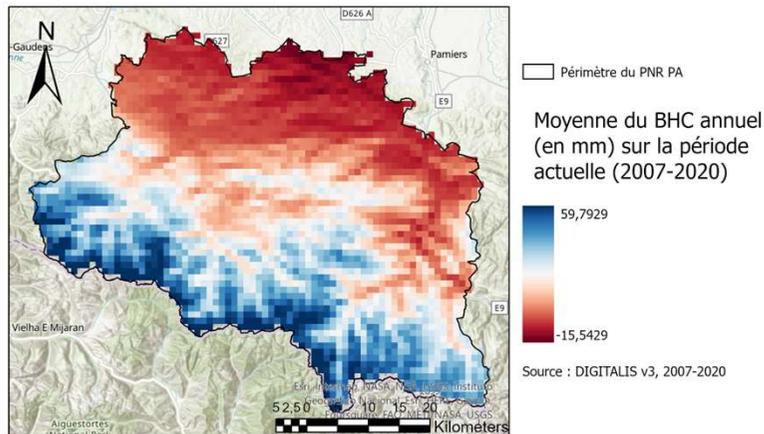
Modélisation

Cartographie de la
vulnérabilité

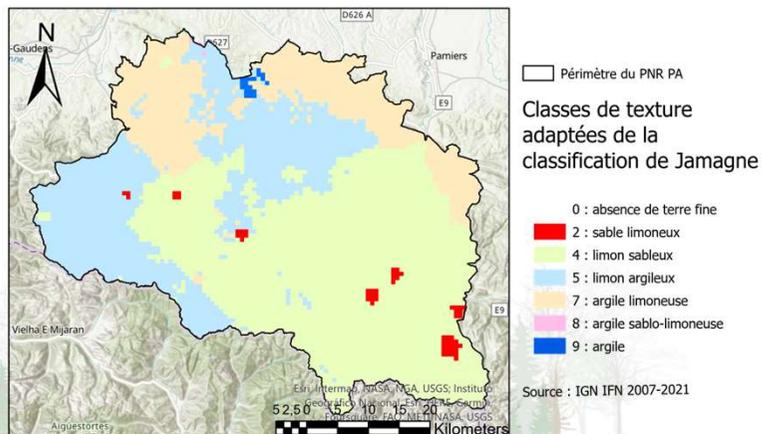
Conclusion

Cartographie prédictive de probabilité de présence de dépérissement

Carte du bilan hydrique moyen annuel (2007-2020)



Carte de la texture du sol dans le PNR PA

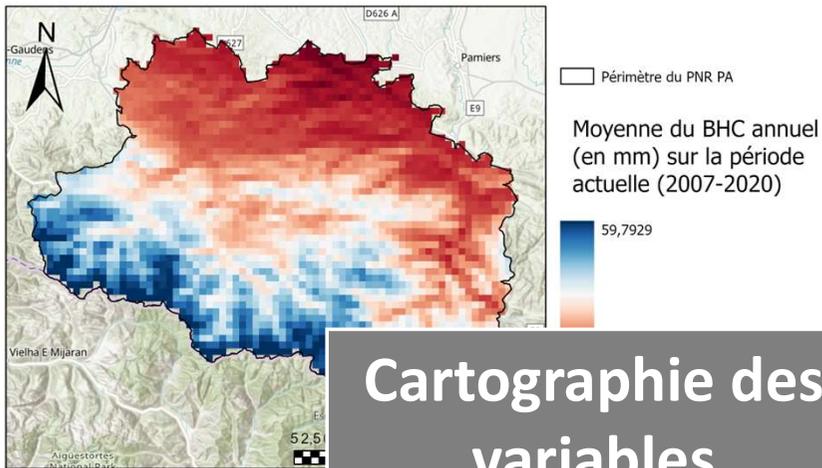


Cartographie des variables explicatives

- **Facteurs climatiques** : cartographies déjà disponibles (DIGITALIS v3) -> calcul d'images sur SIG
- **Variables "roche mère" et "topographie"** -> cartographie disponible (BRGM, BD ALTI 50m) mais besoin de redéfinition des classes pour l'adapter à nos données de relevé IFN
- **Autres variables écologiques** ("texture", "profondeur", "hydromorphie") -> interpolation des relevés de l'IGN IFN
- **Données de placette** ("taux de couvert végétal", "mode de gestion", "surface terrière") -> utilisation d'une valeur moyenne



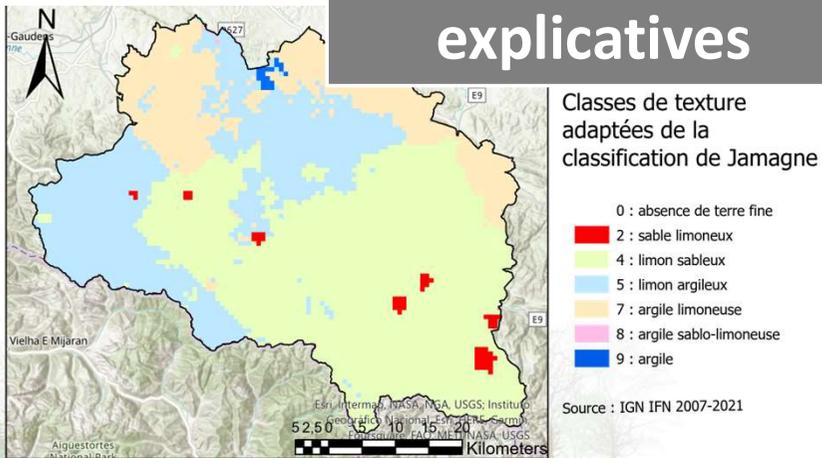
Carte du bilan hydrique moyen annuel (2007-2020)



Cartographie des variables explicatives



Ecriture des modèles et sélection des variables significatives sur DEP_Essence



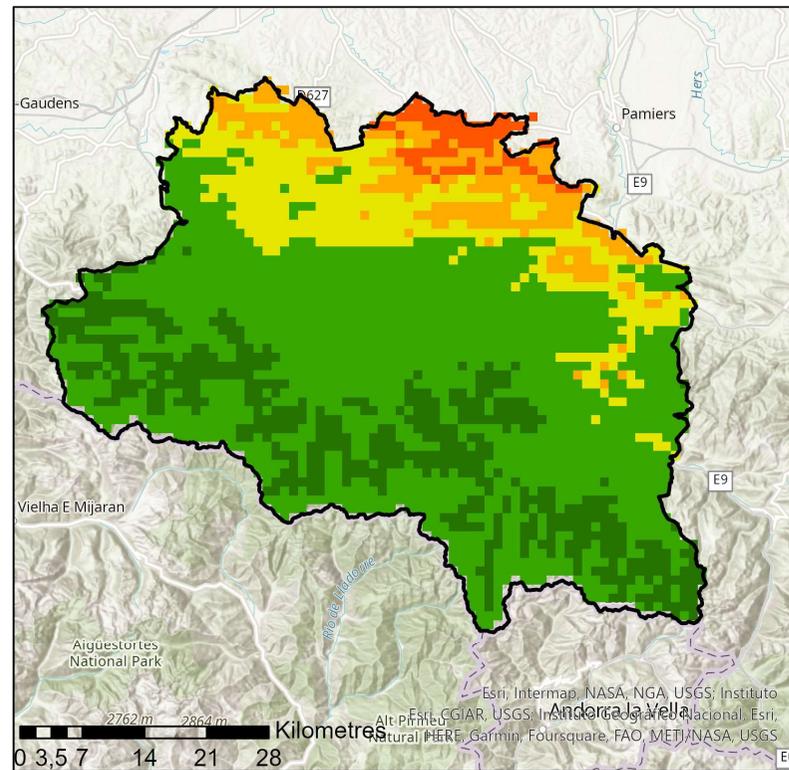


Modèle GLM pour le hêtre

Variables explicatives :

- Bilan Hydrique Climatique annuel (moyenne sur la période 2007-2020)
- Taux de couvert végétal
- Mode de gestion
- Surface terrière relative du hêtre

Carte de probabilité d'apparition de signe précoce de dépérissement pour le Hêtre



Légende

Probabilité d'apparition de signe précoce de dépérissement du hêtre

- [0 - 0,1]
-]0,1 - 0,3]
-]0,3 - 0,4]
-]0,4 - 0,5]
-]0,5 - 0,7]

▭ Périimètre du PNR PA

Auteur : GMN2022
sources :
BD DIGITALIS v3,
IFN-IGN 2017-2021



Choix
méthodologiques

Evolution et état
actuel

Modélisation

Cartographie de la
vulnérabilité

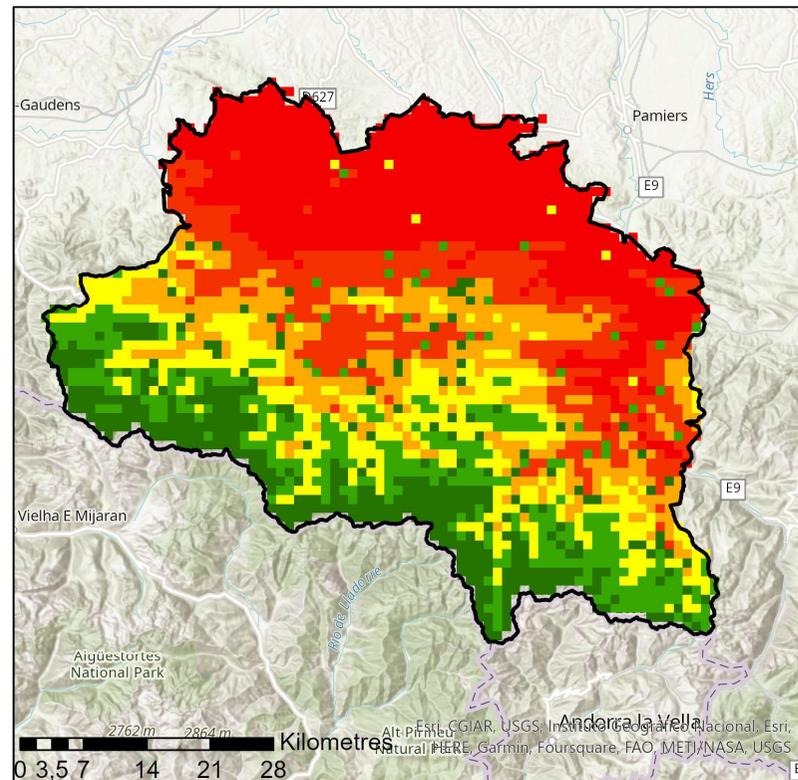
Conclusion

Modèle GLM pour le châtaignier

Variables explicatives :

- Bilan Hydrique Climatique annuel (moyenne sur la période 2007-2020)
- Topographie [modalité bas de versant]

Carte de probabilité d'apparition de signe précoce de dépérissement pour le Châtaignier



Légende

Probabilité d'apparition de signe précoce de dépérissement du châtaignier

- [0 - 0,3]
-]0,3 - 0,4]
-]0,4 - 0,5]
-]0,5 - 0,6]
-]0,6 - 0,7]
-]0,7 - 0,81]

▭ Périmètre du PNR PA

Auteur : GMN2022
sources :
BD DIGITALIS v3,
IFN-IGN 2017-2021



Choix
méthodologiques

Evolution et état
actuel

Modélisation

Cartographie de la
vulnérabilité

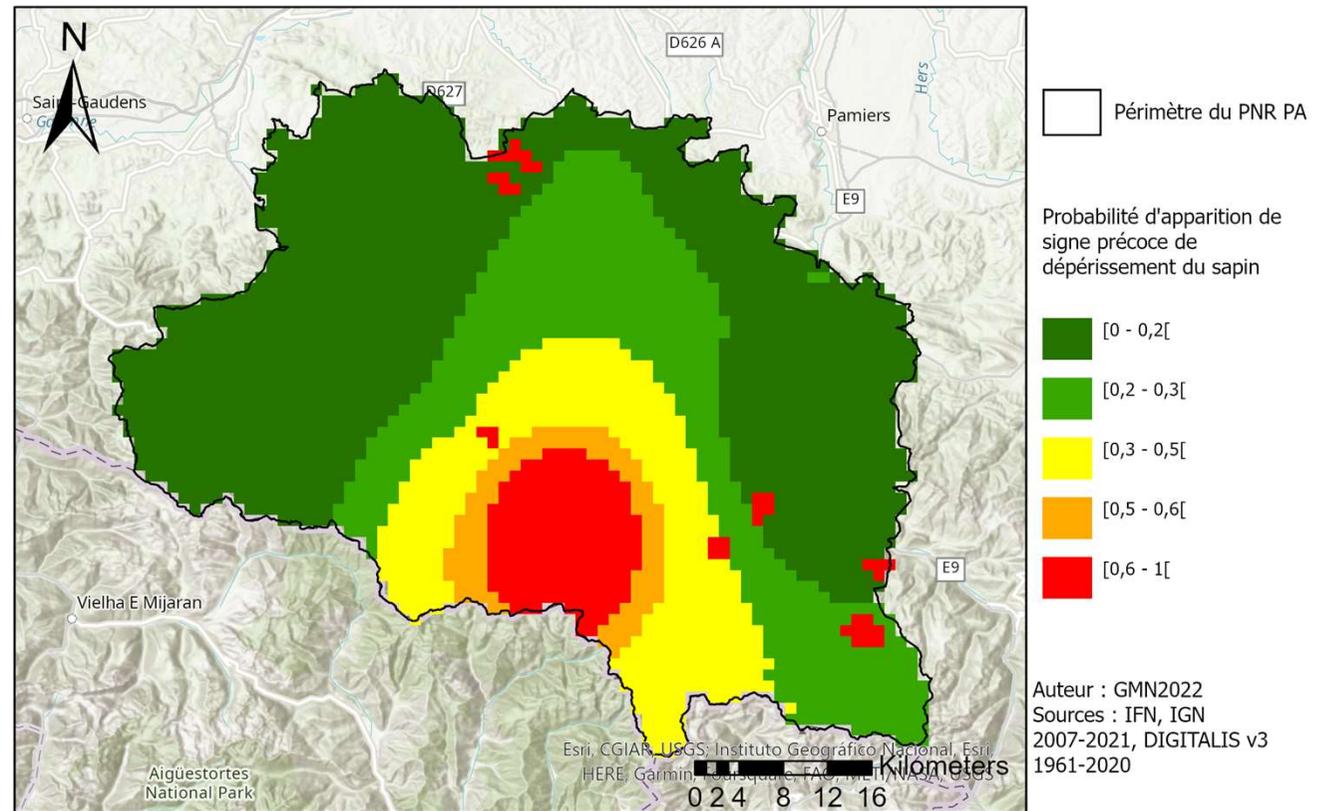
Conclusion

Modèle GLM pour le sapin

Variables explicatives :

- Texture du sol [modalité avec /sans sable]
- Anomalie relative des précipitations (moyennes sur les périodes 1961-1985 et 2007-2020)
- Surface terrière relative du hêtre

Carte de probabilité d'apparition de signe précoce de dépérissement pour le sapin pectiné





Choix
méthodologiques

Evolution et état
actuel

Modélisation

Cartographie de la
vulnérabilité

Conclusion

Conclusion



Etat des lieux :

- Peu de signes de stress sur le PNR PA entre 2009-2019
- Caractère "anormal" des années 2020-21, pour toutes les essences



Modélisation :

- Importance du contexte hydrique
- Variables pédologiques/topographiques difficilement interprétables



Limites :

- effectifs de placettes
- données disponibles pour la cartographie



Perspectives :

- Tester les performances des modèles sur jeu de données indépendant
- Refaire un bilan dans 2-3 ans



Questions

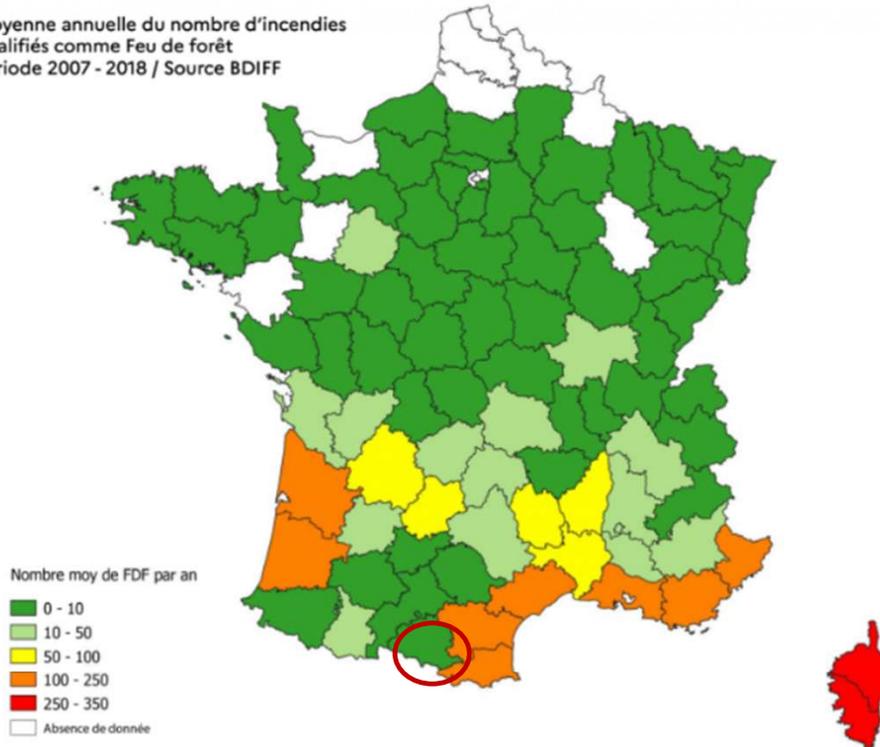


Quels outils peut-on mettre en œuvre pour cartographier le risque d'incendie ?

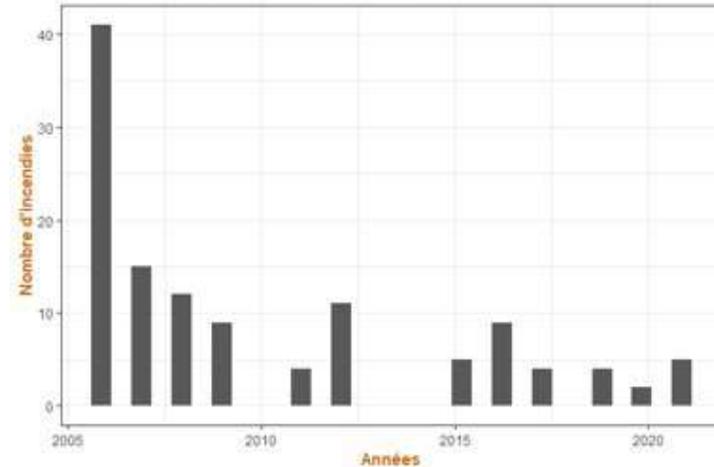


INTRODUCTION : Etat des lieux de l'Ariège face au risque incendie

Moyenne annuelle du nombre d'incendies qualifiés comme Feu de forêt
Période 2007 - 2018 / Source BDIFF

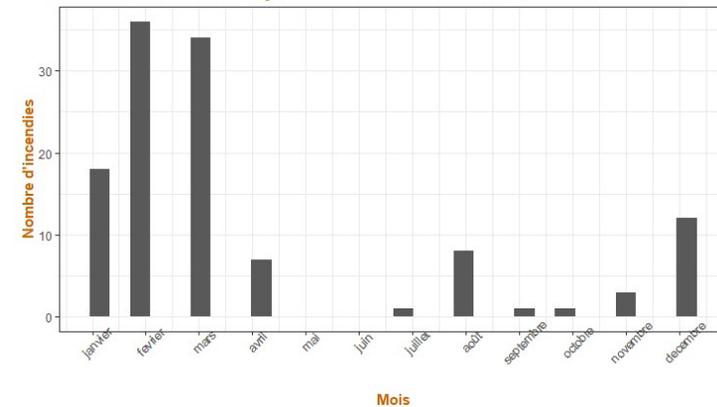


Nombre d'incendies entre 2006 et 2021



Données Ariège
Source : BD_IFF

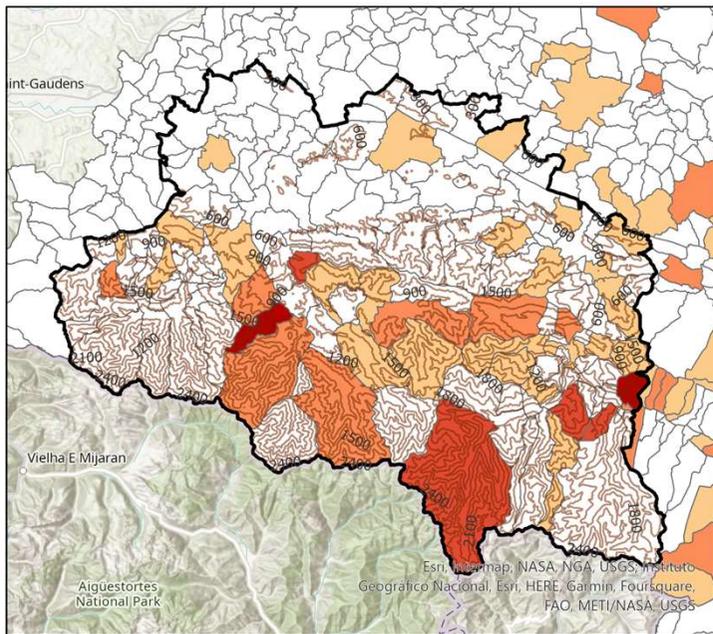
Nombre d'incendies moyen selon les mois de l'année, entre 2006 et 2021



→ L'Ariège est encore peu touchée mais proche de la région méditerranéenne : **quelle évolution avec le changement climatique ?**



Nombre d'incendies entre 2006 et 2021



Légende

- Périmètre du parc étendu
- courbes de niveaux

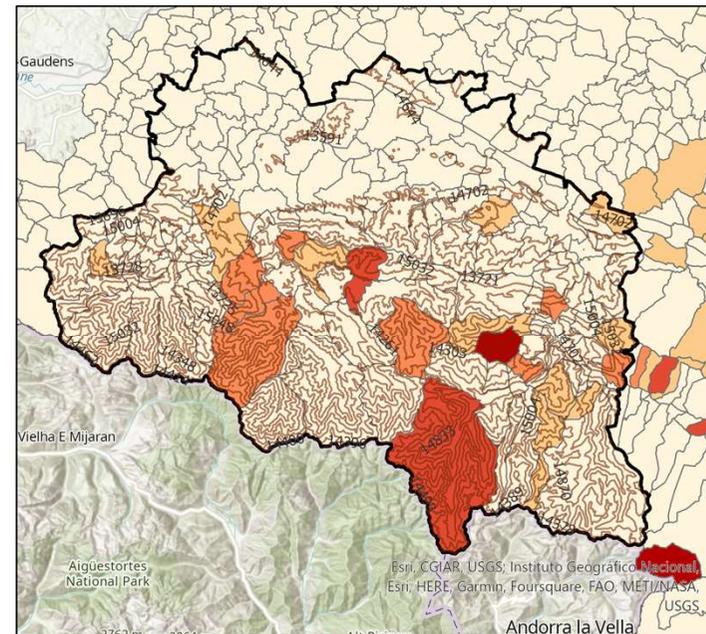
Nombre d'incendies entre 2006 et 2021



© GMN - 2022
Sources : BD_IFF (2022)

Kilometers
02,55 10 15 20

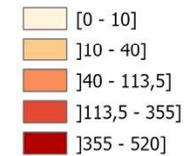
Surfaces brûlées entre 2006 et 2021



Légende

- Périmètre du parc étendu
- courbes de niveaux

Surfaces brûlées (en ha)



© GMN - 2022
Sources : BD_IFF (2022)

Kilometers
02,55 10 15 20



Région montagneuse au sud du PNR la plus touchée par les incendies, en nombre et en surface.

Hypothèses : conditions favorables aux départs de feux et à leur propagation (conifères + estives et lisières pâture/forêt : pratique potentielle de l'écobuage)



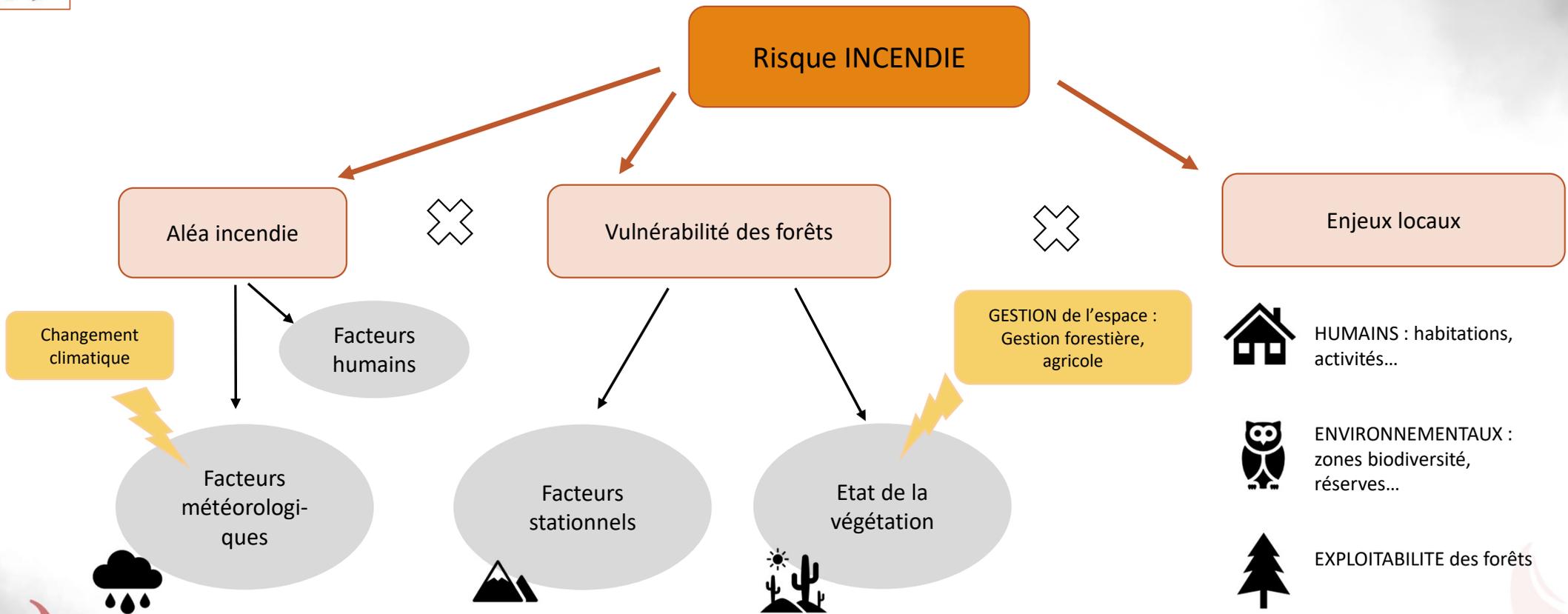
L'Ariège et le risque incendie

Démarche

Feux d'été

Feux d'hiver

Conclusion et perspectives



→ **Quels outils peut-on mobiliser pour cartographier le risque d'incendies à l'échelle du PNR des Pyrénées Ariégeoises ?**



METHODE : Démarche mise en œuvre en réponse à la problématique

Quatre phases :

- Synthèse bibliographique : indicateurs pour estimer l'aléa et la vulnérabilité des peuplements + enjeux liés au risque incendie + techniques de cartographie du risque.
- Collecte de données : contact d'acteurs et récupération de données SIG.
- Choix d'une méthodologie réalisable.
- Mise en oeuvre de la méthodologie retenue et proposition d'une cartographie du risque incendie actuel et futur dans le PNR des Pyrénées Ariégeoises.

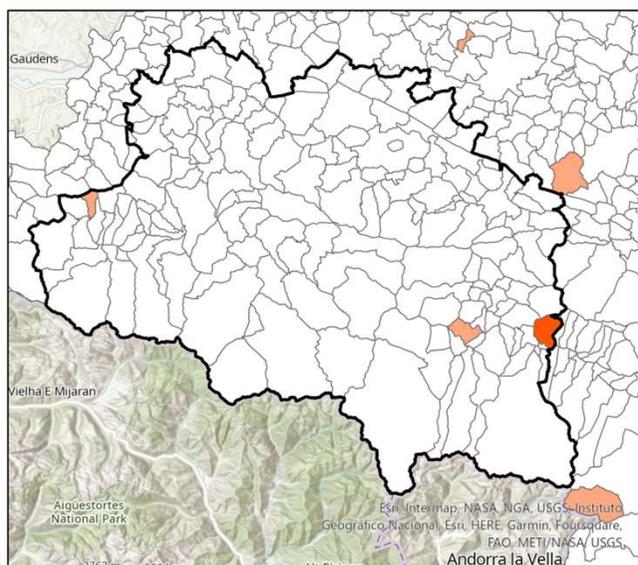
Tableau 2. Quelques indices de risque météorologique

Rôle	Indices	Libellé	Pays	Références
Propagation du feu	IMPI	Indice Meteorologico di Prevenzione per Incendi	Italie	Palmieri et Cozzi 1983 Palmieri et al. 1992, 1993
	ISI	Initial Spread Index	Canada	Van Wagner, 1987
	GFDM	Global Fire Danger Meters	Australie	Noble et al., 1980
Inflammabilité de la litère fine	FMM	Fuel Moisture Model	Australie	McArthur, 1967
	EMC	Equilibrium Moisture Content	Canada	Simard, 1968
	FFMC	Fine Fuel Moisture Code	Canada	Van Wagner, 1987
	NFDRS 1h	National Fire Danger Rating System Humidité au pas de temps horaire	États-Unis	Deeming et al., 1977
	BEHAVE	BEHAVE fine fuel moisture model	États-Unis	Rothermel et al., 1986 Andrews et Chase, 1990
Inflammabilité de la biomasse et de la litère grossière	NFDRS 10-100h	National Fire Danger Rating System Humidité au pas de temps de 10 et 100 heures	États-Unis	Bradshaw et al., 1983
	NFDRS 1000h	National Fire Danger Rating System Humidité au pas de temps de 1000h	États-Unis	Fosberg et al., 1981
	KBDC et KBDI	Keetch-Byram Drought Code et Keetch-Byram Dryness Index	États-Unis	Keetch et Byram, 1968 révisé en 1988
	DMC	Drought Moisture Code	Canada	Van Wagner, 1987
	DC	Duff Code	Canada	Van Wagner, 1987
Détermination des jours à risque extrême	FWI	Fire Weather Index	Canada	Van Wagner, 1987
	BUI	Build Up Index	Canada	Van Wagner, 1987
	Orieux Index	Orieux Index	France	Orieux, 1979
	Risque numérique	Risque numérique	France	Drouet et Sol 1993, Sol 1990
	I87	Carrega Index	France	Carrega, 1990
	ICONA	Probabilité d'ignition par la méthode ICONA	Espagne	Icona, 1988 et 1993
	Irepi Index	Irepi Index	Italie	Bovio et al., 1984
	Index Portugais	Index Portugais	Portugal	INMG 1988, Gonçalves et Lourenço 1990
FFFI	Finnish Forest Fire Index	Finlande	Heikinheimo et al., 1998	



RESULTATS : Méthodologie retenue pour les feux d'été

Nombre d'incendies ayant eu lieu en été entre 2016 et 2021



Légende

- ▭ Périmètre du parc étendu
- ▭ Périmètre des communes

Nombre d'incendies ayant eu lieu en été entre 2016 et 2021

- ▭ 0
- ▭ 1
- ▭ 2
- ▭ 3



© GMN - 2022
Sources : BD_TOPO (2022)

0 2 5 10 15 20 Kilometers

Peu d'incendies en été au sein du PNR des Pyrénées Ariégeoises.

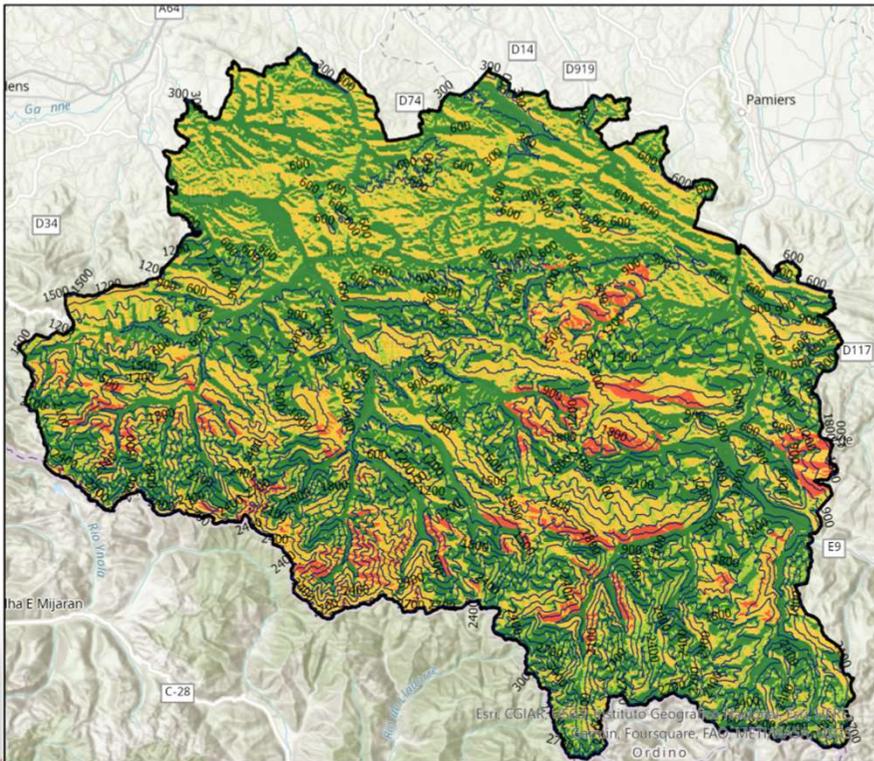
- A priori, le territoire est épargné par les feux d'été, période durant laquelle l'influence des facteurs climatiques prédomine.
- Mais épisodes de sécheresse récents (été 2022 par exemple) : **quelle évolution future dans un contexte de changement climatique ?**

Méthodologie retenue adaptée à partir de l'étude dans le cadre de la mission interministérielle sur l'extension des zones sensibles aux feux de forêt à l'horizon 2040 (Duché et al., 2011).



Vulnérabilité stationnelle des forêts

Vulnérabilité stationnelle



Légende

▭ Périmètre du parc étendu

— courbes de niveau

Classes de vulnérabilité

- 1
- 2
- 3
- 4

0 1.53 6 9 Kilomètres



© GMN - 2022
Sources : Carte des sols (Sols & Territoires, 2017)
et MNT (IGN, 2020)

Estimation de la réserve en eau du sol à partir de la composition du sol, de la pente et de l'exposition solaire
=> 4 classes de vulnérabilité.

Zones les plus vulnérables :
=> Versants ensoleillés à forte pente (plus fréquent dans le Sud du PNR)

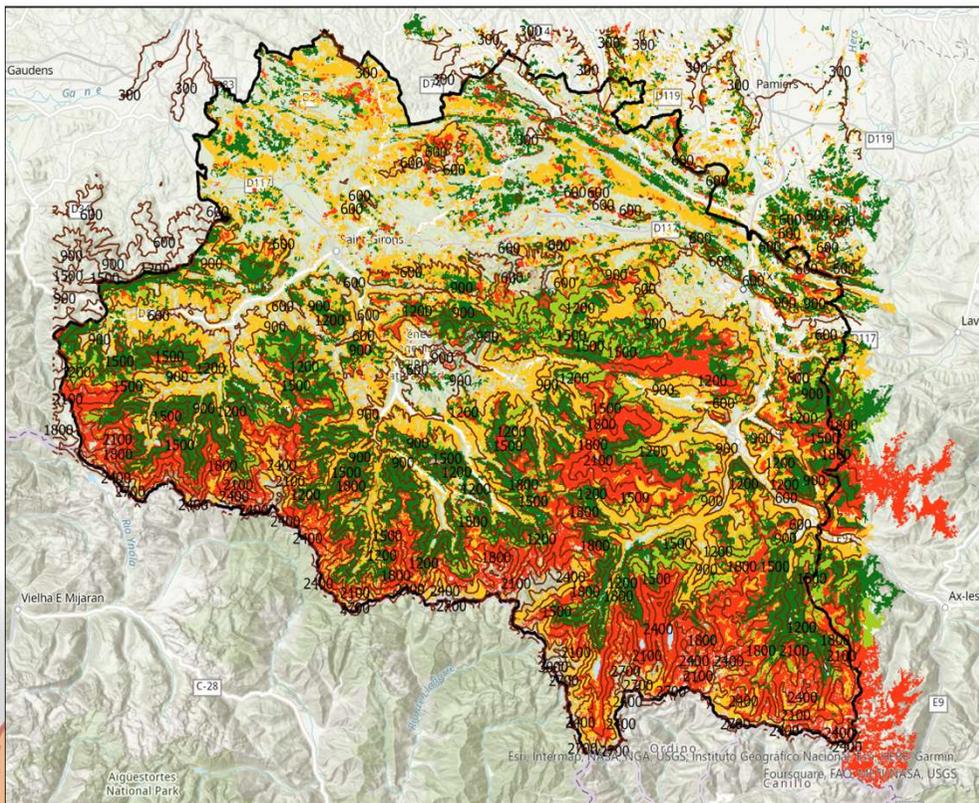
		facteur «exposition»		
		1	2	3
facteur «sol»	1	1	1	1
	2	1	2	3
	3	3	3	4





Représentation spatiale des niveaux de sensibilité des formations végétales sur le territoire du PNR des Pyrénées Ariégeoises

Vulnérabilité de la végétation



Légende

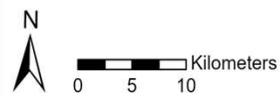
- courbes de niveaux
- ▭ périmètre du PNR

Sensibilité des formations végétales

Niveau de sensibilité

- 1 (Green)
- 2 (Light Green)
- 3 (Yellow)
- 4 (Red)

		Vulnérabilité «réserve en eau»			
		1	2	3	4
Vuln. «végétation»	1	1	1	2	3
	2	1	2	3	3
	3	2	3	4	5
	4	3	4	5	5



© GMN - 2022
Source : BD Forêt V2 IGN (2007-2018)

Indicateurs retenus : BEHAVE et FCCS mais complexes à appliquer.
=> Attribution d'une classe de vulnérabilité (de 1 à 4) des formations végétales du PNR à partir de la BD Forêt de l'IGN.

Formations les plus sensibles :
=> Landes arbustives et pâtures, chênes liège, vert et pubescent, conifères.

Croisement de la vulnérabilité stationnelle (réserve en eau du sol) précédemment obtenue avec la sensibilité de la végétation.





L'Ariège et le risque incendie

Démarche



Feux d'été

Feux d'hiver

Conclusion et perspectives

Vulnérabilité de la végétation

< Strate arborée sans sous-bois.

LiDAR

- Structure 3D végétation : information sur la quantité de combustible dans les différentes strates + continuité verticale et horizontale.
- Exemple de paramètres à relever : FCC (Fraction de la surface terrestre couverte), hauteur moyenne des arbres et Canopy Relief Ratio, un indicateur lié à la longueur libre de couvert de la masse calculé à partir d'observations des hauteurs (Parker et Russ 2004).
- Limites : sous-estime la couverture des herbacées et des arbustes bas (confusion avec le sol).

< Strate arbustive sous couvert arboré.





L'Ariège et le risque incendie

Démarche



Feux d'été

Feux d'hiver

Conclusion et perspectives

Données météo

Précipitations

Température

Humidité de l'air

Vitesse du vent

IFM = Indice Forêt
Météo

Calcul IFM sur la saison "été"

30 - Aléa Fort

0 - Aléa Faible



- Un des + utilisé (international / national)
- Corrélé aux départs de feu



Pas prise en compte données activité feu

Aléa incendie

Passé / Actuel

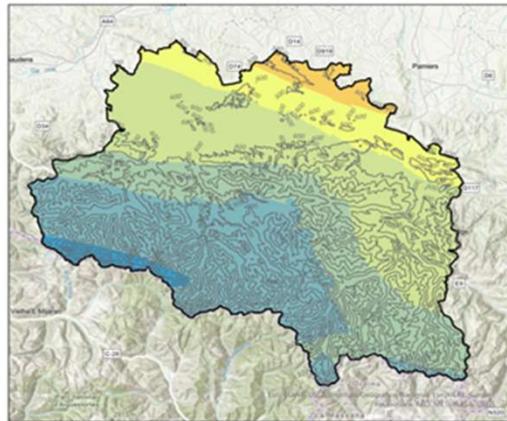
Donnée journalière Météo France
maille 8x8 km

Futur : prédictions

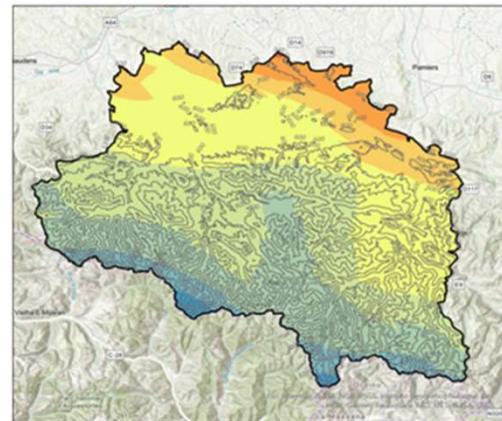
- Scénario évolution climat : Modèle ARPEGE_V4_CNRM, scénario A1B (intermédiaire), années 1990
- Proche / Moyen / Long terme



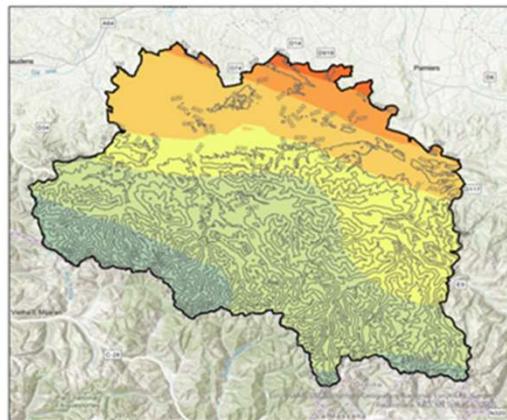
Distribution de l'Indice Forêt Météo au cours du temps



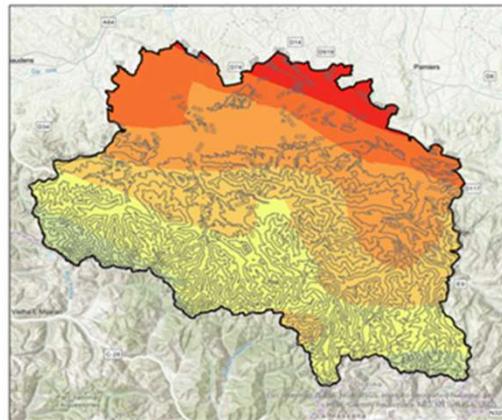
1961-1986



1987-2007



2021-2050



2041-2070

Légende

- ▭ Périmètre étendu PNR
- Courbes_niveau_PNR
- Indice Forêt Météo
- Value
- ≤ 2,5
-]2,5 - 3,5]
-]3,5 - 4,5]
-]4,5 - 6]
-]6 - 7,5]
-]7,5 - 9]
-]9 - 11]
-]11 - 13]
- > 13

© GMN 2022
Source : Météo France



0 2,5 5 10 15 Kilomètres

Aléa incendie

Interpolation données IFM
MétéoFrance (Kriegerage)

➔ Evolution spatiale : aléa incendie décroissant selon gradient d'altitude. Aléa encore faible en Ariège (cohérent car peu de feu été)

➔ Evolution temporelle : aléa incendie progresse sur le territoire en altitude

Classification par rapport à un seuil pour croisement avec enj eux*vulnérabilité



L'Ariège et le risque incendie

Démarche



Feux d'été

Feux d'hiver

Conclusion et perspectives

ENJEUX

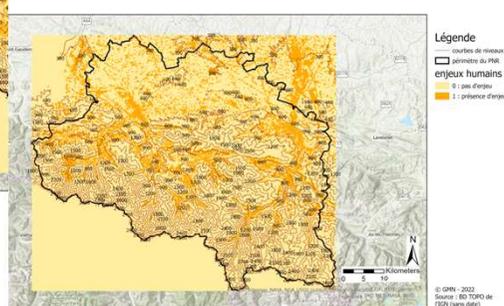
Représentation spatiale de l'enjeu de biodiversité sur le territoire du PNR des Pyrénées Ariégeoises



Représentation spatiale de l'enjeu d'exploitabilité forestière sur le territoire du PNR des Pyrénées Ariégeoises



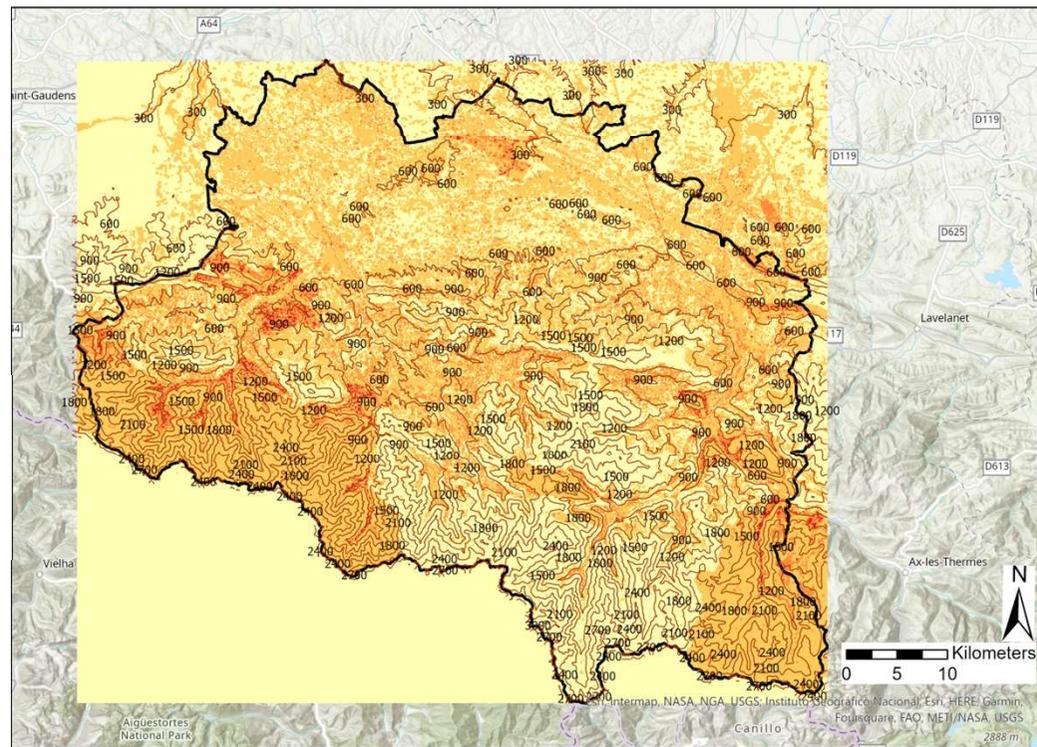
Représentation spatiale de l'enjeu humain sur le territoire du PNR des Pyrénées Ariégeoises



Enjeu humain
+ Enjeu biodiversité
+ Enjeu exploitabilité



Représentation spatiale de la somme des enjeux humains, de biodiversité et d'exploitabilité forestière sur le territoire du PNR des Pyrénées Ariégeoises



Légende

- courbes de niveau
- périmètre du PNR
- nombre des enjeux
- 0 pas d'enjeu
- 1 présence d'enjeu
- 2
- 3

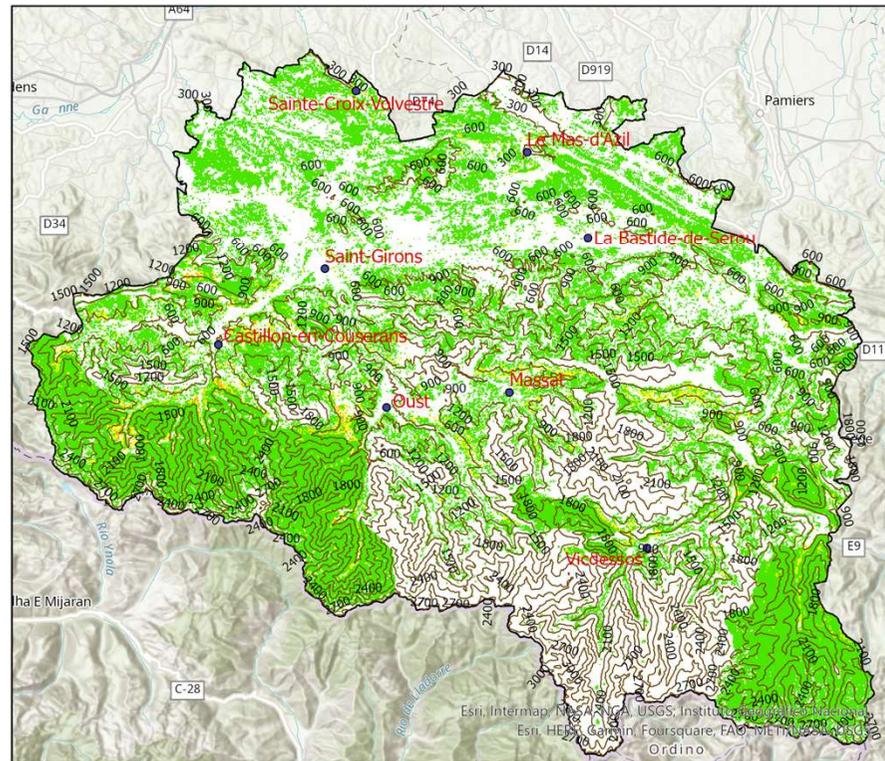
© GMN - 2022
Source : INPN (1994, 2022)
CNPf (2020)
BD TOPO IGN (sans date)





		indice brut de sensibilité potentielle de la végétation		
		1 ou 2	3	4 ou 5
Aléa : IFM	1	1	1	2
	2	1	2	3
	3	2	3	4

Risque incendie sur la période 1961 - 2007



RISQUE

		ALEA * VULNERABILITE			
		1	2	3	4
ENJEUX	1	1	1	2	3
	2	1	2	3	4
	3	2	3	4	4

Légende

- Périmètre du parc étendu
- Villes principales du PNR
- courbes de niveaux

Risque incendie

- 0
- 1
- 2
- 3

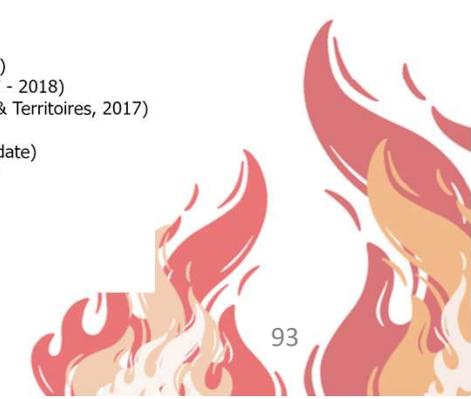
0 2,5 5 10 15 Kilomètres



© GMN - 2022
 Sources : (Météo France, 2022)
 BD_Forêt (IGN, 2007 - 2018)
 Carte des sols (Sols & Territoires, 2017)
 MNT (IGN, 2020)
 BD_TPO (IGN, sans date)
 (INPN, 1994 et 2022)
 (CNPFF, 2020)



Risque incendie faible à l'échelle du PNR





L'Ariège et le risque incendie

Démarche



Feux d'été

Feux d'hiver

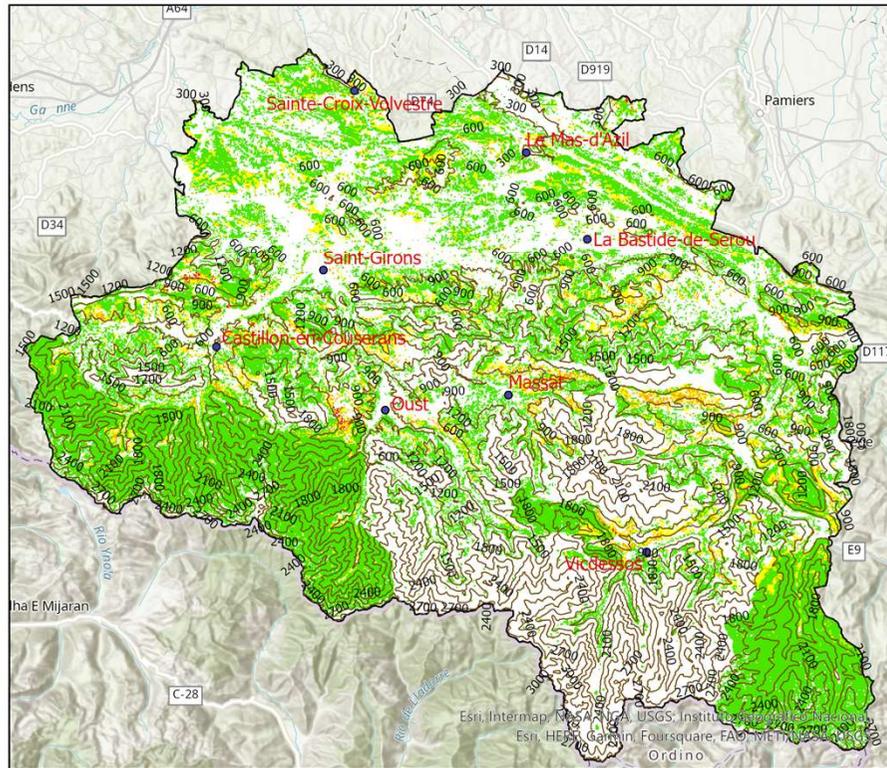
Conclusion et perspectives

RISQUE

Risque incendie pour la période future moyenne (2041 - 2070)

		indice brut de sensibilité potentielle de la végétation		
		1 ou 2	3	4 ou 5
Aléa : IFM	1	1	1	2
	2	1	2	3
	3	2	3	4

		ALEA * VULNERABILITE			
		1	2	3	4
ENJEUX	1	1	1	2	3
	2	1	2	3	4
	3	2	3	4	4



Légende

- Périmètre du parc étendu
 - Villes principales du PNR
 - courbes de niveaux
- Risque incendie
- 0
 - 1
 - 2
 - 3
 - 4

0 2,5 5 10 15 Kilomètres



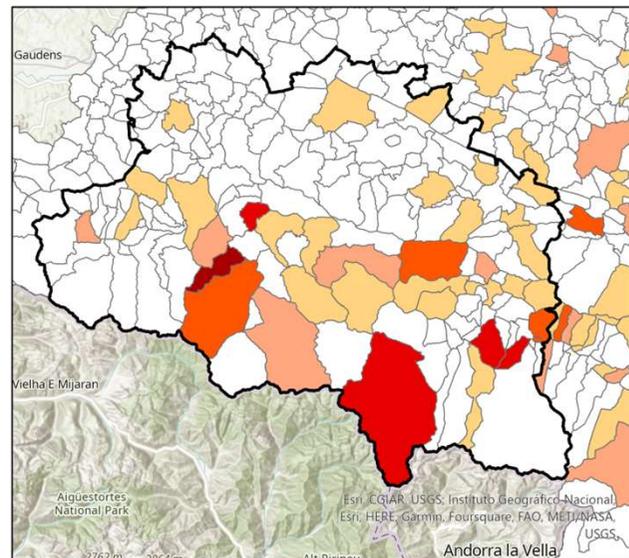
© GMN - 2022
 Sources : (Météo France, 2022)
 BD_Forêt (IGN, 2007 - 2018)
 Carte des sols (Sols & Territoires, 2017)
 MNT (IGN, 2020)
 BD_TPO (IGN, sans date)
 (INPN, 1994 et 2022)
 (CNPF,2020)

➔ Risque s'accroît là où il est déjà présent en plaine et dans les vallées



RESULTATS : Méthodologie retenue pour les feux d'hiver

Nombre d'incendies ayant eu lieu entre octobre et mai entre 2016 et 2021



Légende

- Périmètre du parc étendu
- Périmètre des communes

Nombre d'incendies ayant eu lieu entre octobre et mai entre 2016 et 2021

- 0
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5



© GMN - 2022
Sources : BD_TOPO (2022)

Kilometers
02,55 10 15 20

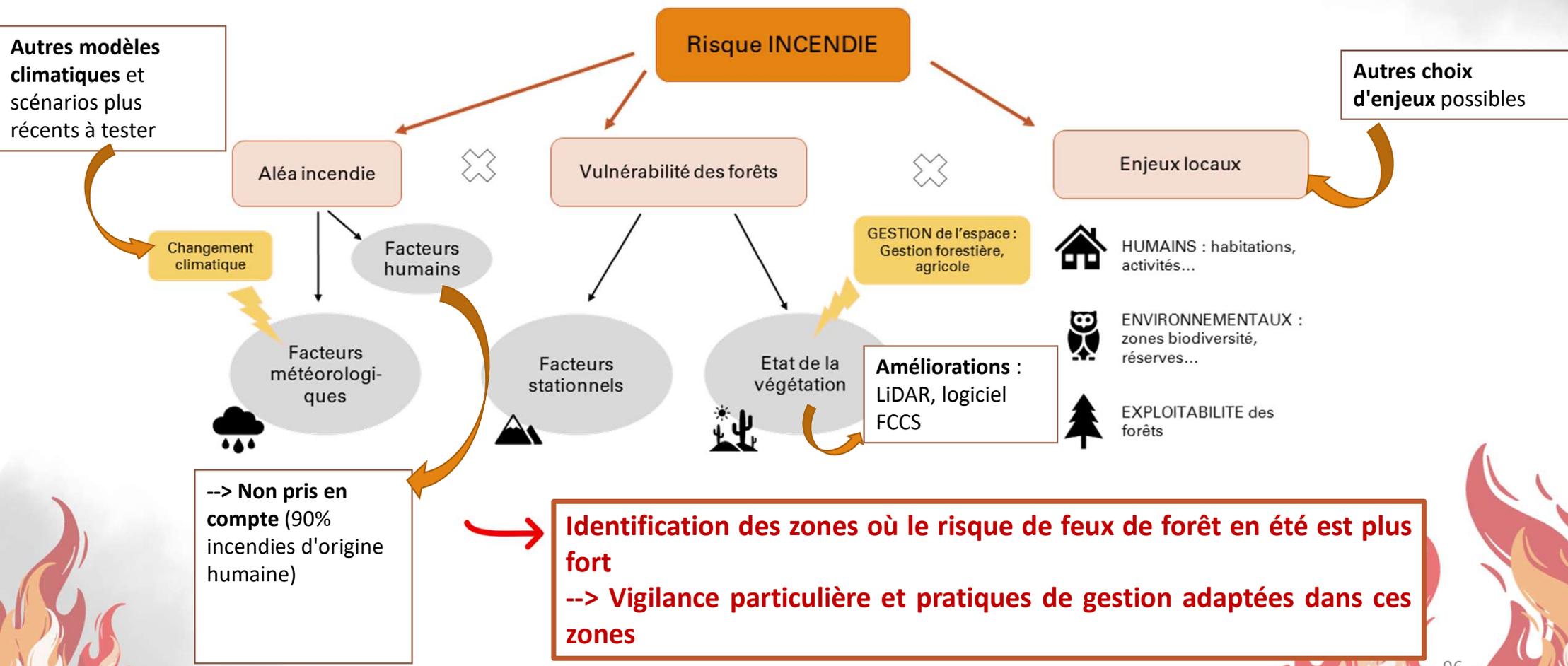
- Incendies d'hiver plus nombreux que ceux d'été, notamment au sud (zone montagnarde, donc estives).
- Défi plus actuel que les feux d'été pour le PNR
- Ces feux pourraient être liés au facteur humain avec la pratique traditionnelle de l'écobuage.
- Facteur météo : pas données IFM hiver.

=> **Quel(s) moyen(s) pour évaluer le risque incendie lié à ces pratiques ?**

Méthodologie proposée : étude des corrélations entre nombre / surface des incendies dans chaque commune et le périmètre de lisières (interfaces pâtures - forêt), la distance à la lisière et surface de broussailles.



CONCLUSION : Discussion et perspectives





Questions

Evolution du stock d'eau



Santé des
peuplements



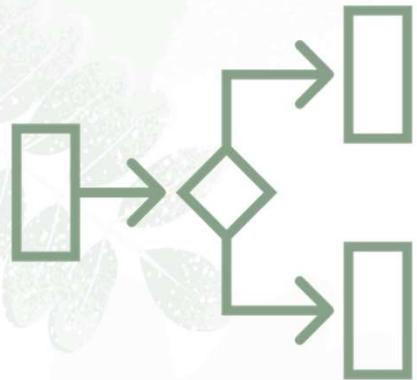
Facteurs du
déperissement



Risque incendie



**Mesures de gestion
adaptées**



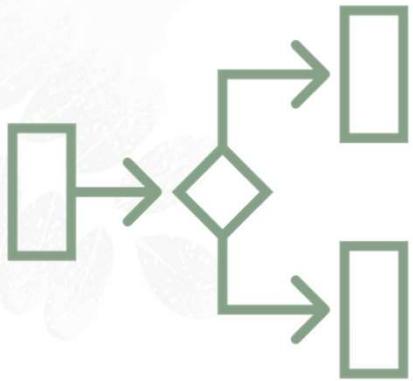
Réflexion sur la mise au point d'une
méthode pour l'adaptation des forêts
du PNR au changement climatique

Un cas concret

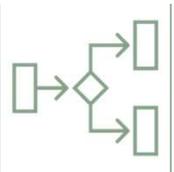
Construction d'une clef

Utilisation de l'outil

Discussion



Réflexion sur un cas concret : le mélange de feuillus



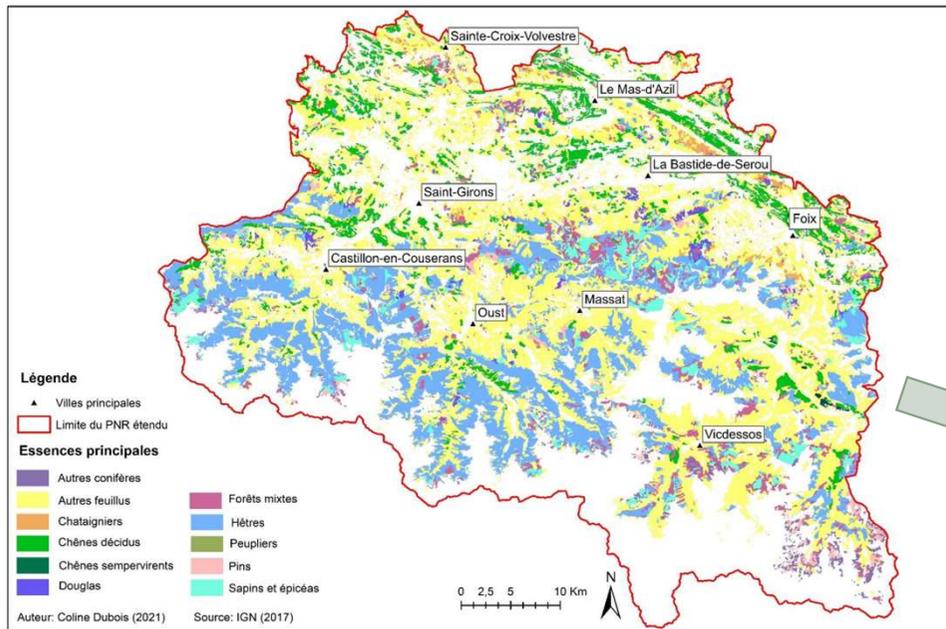
Un cas concret

Construction d'une clef

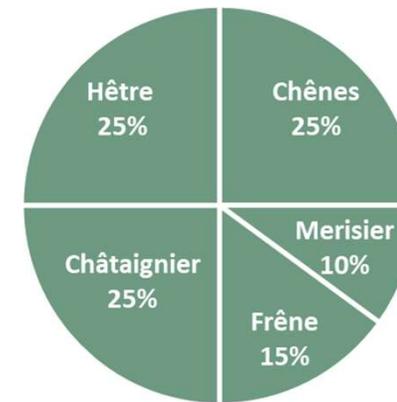
Utilisation de l'outil

Discussion

Contextualisation du cas concret



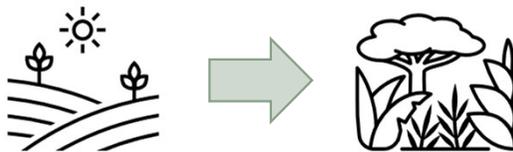
Répartition spatiale des forêts mélangées de feuillus sur le PNR PA

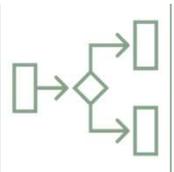


Composition mélange du cas concret



Enjeux des peuplements feuillus mélangés du PNR PA





Un cas concret

Construction d'une clef

Utilisation de l'outil

Discussion

Identification de la vulnérabilité du mélange

Exposition



**Qu'est-ce
que la vulnérabilité ?**

Sensibilité



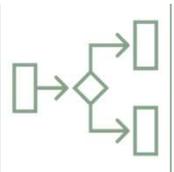
Capacité d'adaptation



Modalités
d'exploitation

Essence	Résistance à la sécheresse du peuplement pur
Chêne pédonculé	Moyenne
Chêne pubescent	Bonne
Merisier	Moyenne
Frêne	Pas de donnée
Châtaignier	Bonne
Hêtre	Médiocre

Classements de Clim'essence pour la résistance face
aux fortes sécheresses



Un cas concret

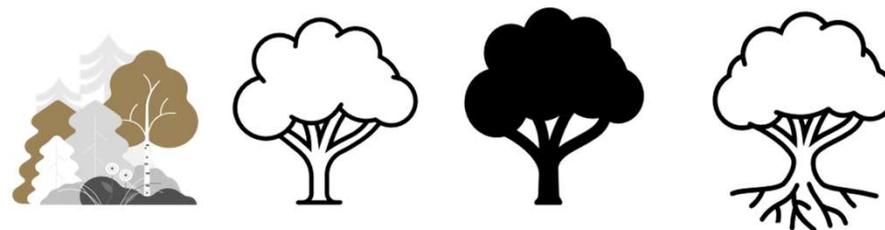
Construction d'une clef

Utilisation de l'outil

Discussion

Gestions pour ce peuplement :

➤ Conserver le mélange



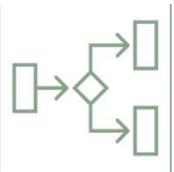
➤ Irrégulariser le peuplement ou allonger les périodes d'entrée en régénération



➤ Conserver la régénération naturelle



Source : Cours de sylviculture : les régimes forestiers, Fonctionnement d'une futaie, Caractérisation des peuplements, les techniques sylvicoles, 2019 - 2020



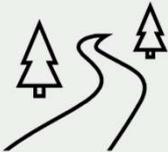
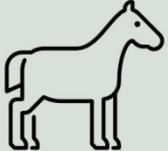
Un cas concret

Construction d'une clef

Utilisation de l'outil

Discussion

Gestions préconisées pour chaque enjeu

Production 	Paysage 	Biodiversité 
Améliorer la desserte	Conserver l'image 	Îlots de sénescence 
Cloisonnements 	Eviter les coupes rases	Îlots de Vieillessement 
Engins légers Ou Alternatifs 		Arbres habitat isolés 

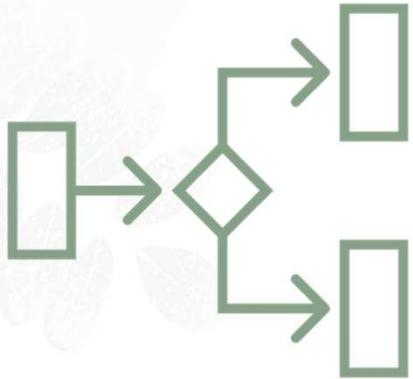
Un cas concret

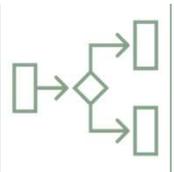
Construction d'une clef

Utilisation de l'outil

Discussion

Réflexion sur une méthode généralisable : la clef de détermination





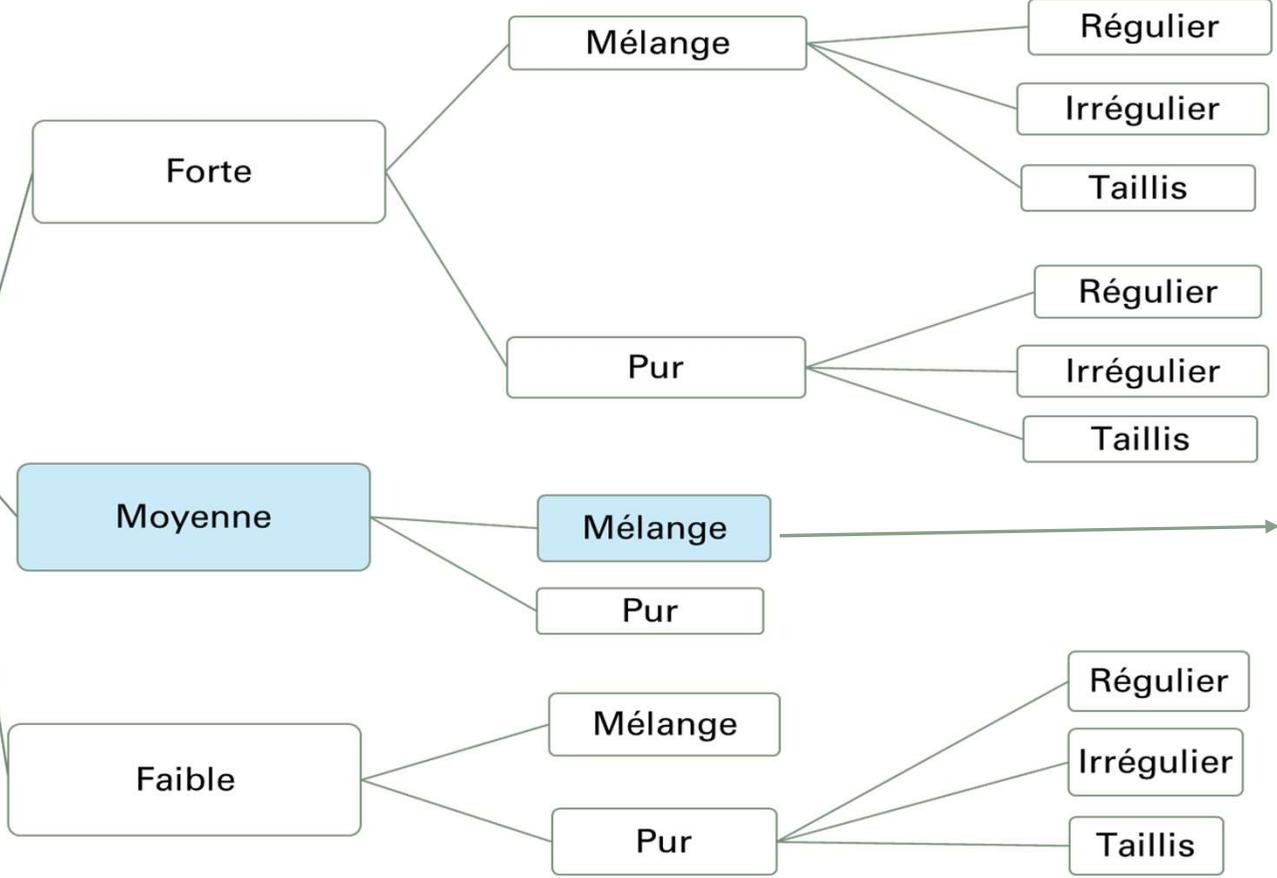
Un cas concret → Construction d'une clef → Utilisation de l'outil → Discussion

Vulnérabilité	Composition	Traitement
---------------	-------------	------------

Enjeux



Entrée par le peuplement



Mesures de gestion :

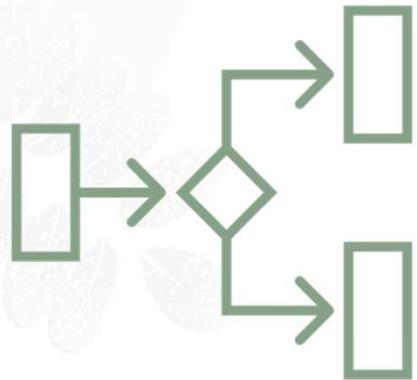
- ...
- ...
- ...

Un cas concret

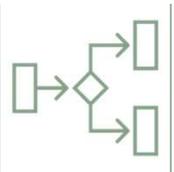
Construction d'une clef

Utilisation de l'outil

Discussion



Utilisation de l'outil cartographique créé



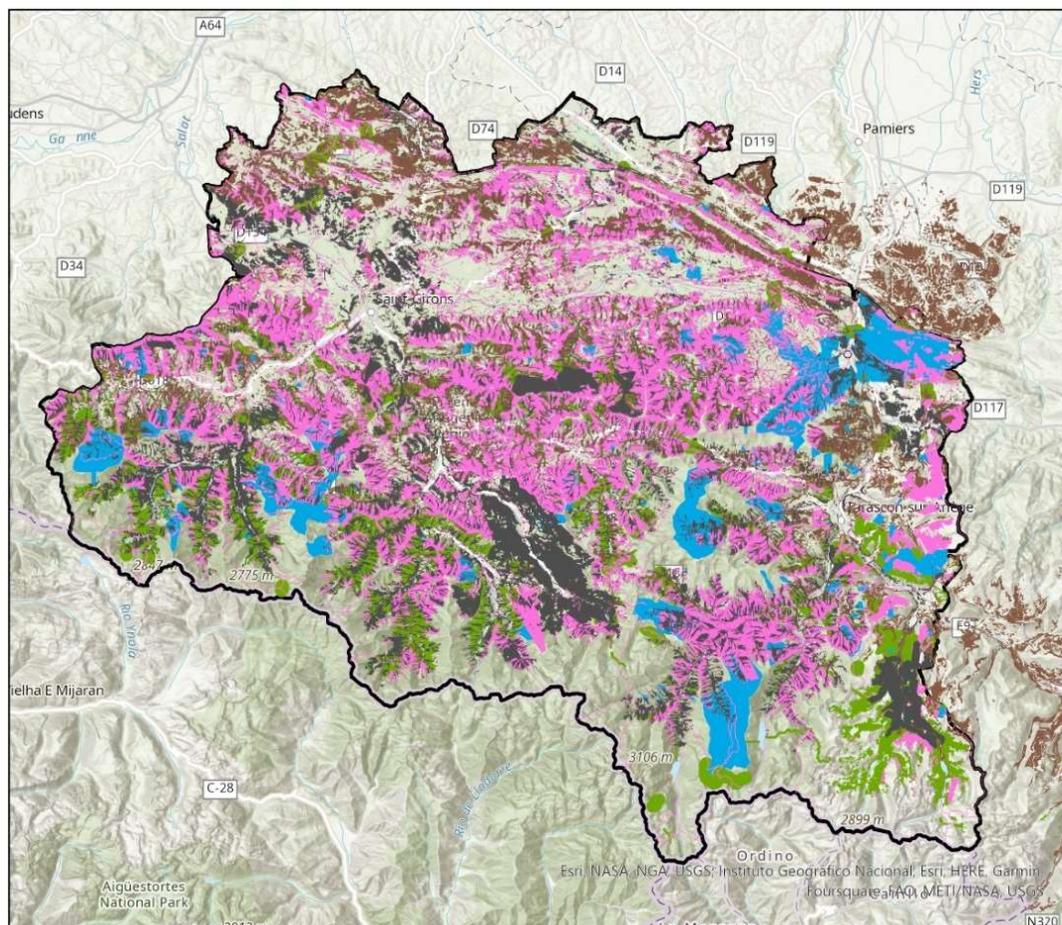
Un cas concret

Construction d'une clef

Utilisation de l'outil

Discussion

Carte des enjeux couplés à la vulnérabilité des essences



Légende

Vulnérabilité des essences

Sapinière hêtraie

- 0
- 1
- 2

Sapin épicéa

- Pin
- Hêtre
- Forêt mixte en mélange
- Chênes sempervirents
- Chênes décidus
- Autre feuillus

Enjeux

- Risques
- Paysage
- Eau potable
- Filière bois
- Biodiversité

Périmètre étendu buffer 5km

N GMN - 2022
Sources : Coline Dubois (2021)

Kilometers
0 1,75 5 7 10,5 14

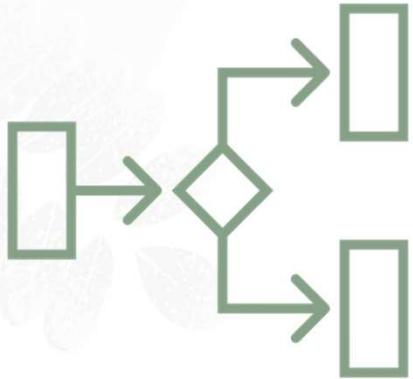
Un cas concret

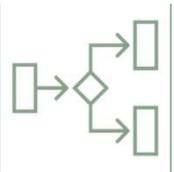
Construction d'une clef

Utilisation de l'outil

Discussion

Discussion sur la méthode





Un cas concret

Construction d'une clef

Utilisation de l'outil

Discussion

Clé de détermination

Hiérarchiser les efforts en fonction de la vulnérabilité en maintenant une surveillance

A compléter avec bibliographie et expertises des acteurs (COFIL, ateliers thématiques)

Hiérarchiser les enjeux

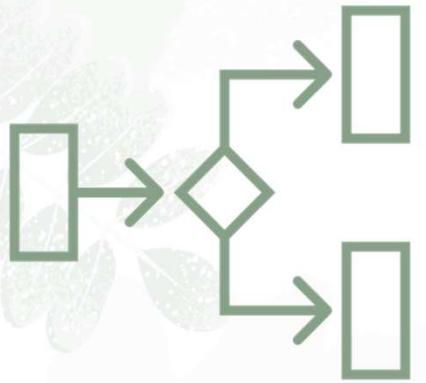
Attention ! Pas UNE gestion miracle : diversifier les peuplements et les gestions pour plus de résilience

Outil SIG

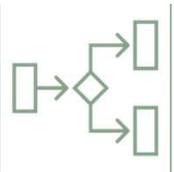
Fréquentation des sites remarquables et des sentiers à améliorer

Cœur de biodiversité mis à jour à ajouter

Seuils de risques forts à définir sur des bases bibliographiques



Questions



Bonus : Exemples de gestion pour chaque enjeu

Biodiversité

- Conserver les trames écologiques
- Respecter les zones de quiétude
- Diversifier les strates et les mélanges au sein des strates

Risques

- Respect des sols
- Garder branches basses pour retenir la neige
- Éviter le tassement dans les parcelles

Eau

- Conserver les zones humides
- Ne pas traverser de cours d'eau
- Maintenir un couvert forestier

Tourisme / paysage

- Garder le paysage visible en place
- Peuplement patrimonial

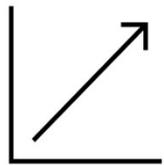
Filière bois et territoire

- Intégrer le sylvo-pastoralisme
- Rétablir l'équilibre sylvo-cynégétique
- Améliorer la desserte

Conclusion : Bilan de la situation



Espace assez "protégé" pour l'instant mais augmentation des risques à l'avenir prévue et rapide



Mosaïques et gradients de vulnérabilité



Sensibilité des zones de basse altitude et plaine



Conclusion : Pour le futur

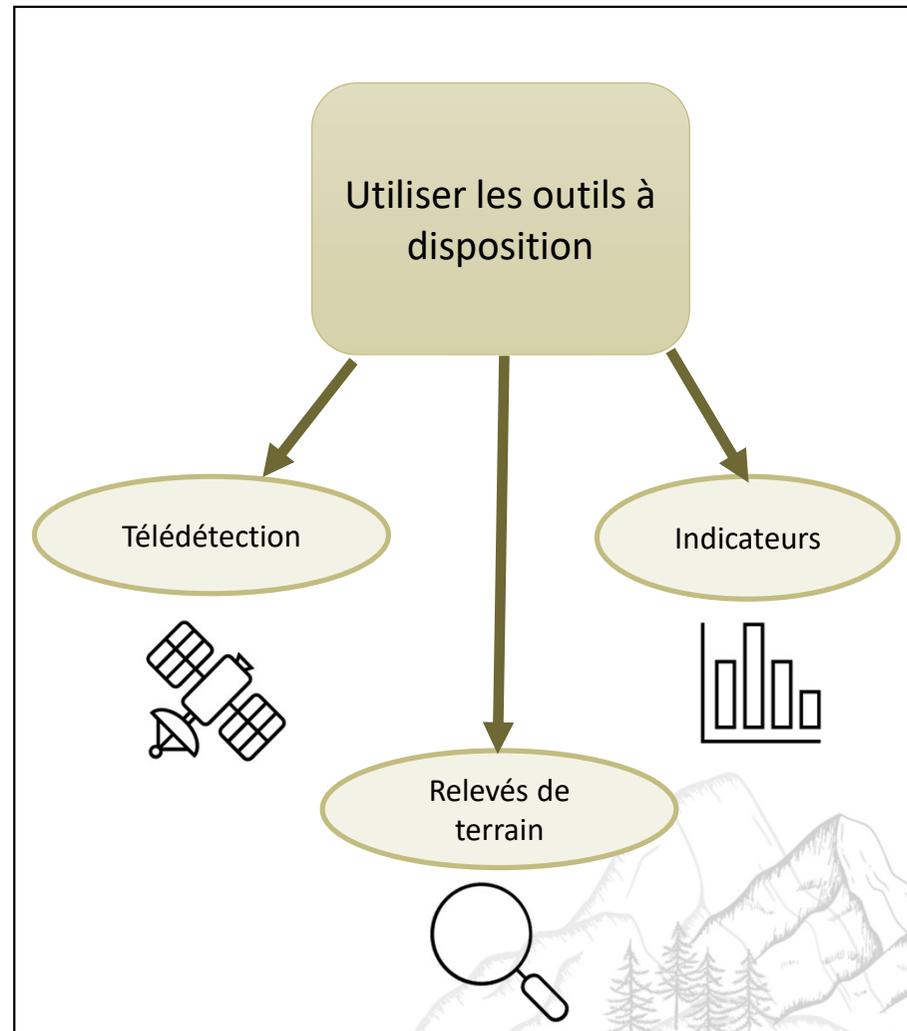


Augmentation du Stress Hydrique



Augmentation du Risque Incendie

Ajuster les efforts sur le terrain en fonction de la vulnérabilité à court et moyen terme



Remerciements



Raphaëlle Hemerick

Christian Piedallu
Hélène Carletti

AgroParisTech
Célia Bresson
Myriam Legay
Gaspar Massiot

Camille Fleury chargé
de mission TVB du PNR

Vincent Bisquay-Garcia du
DSF

L'école ingénieure
de Purpan & Raphaël Dutrieux, progr
ammeur de Fordead

Emmanuel Rouyer du CRPF
Gilles Prevost & Livio Tilatti de l'ONF
Michel Bartoli

Et tant d'autres...

L'ensemble des
étudiant·e·s GMN
2022/2023