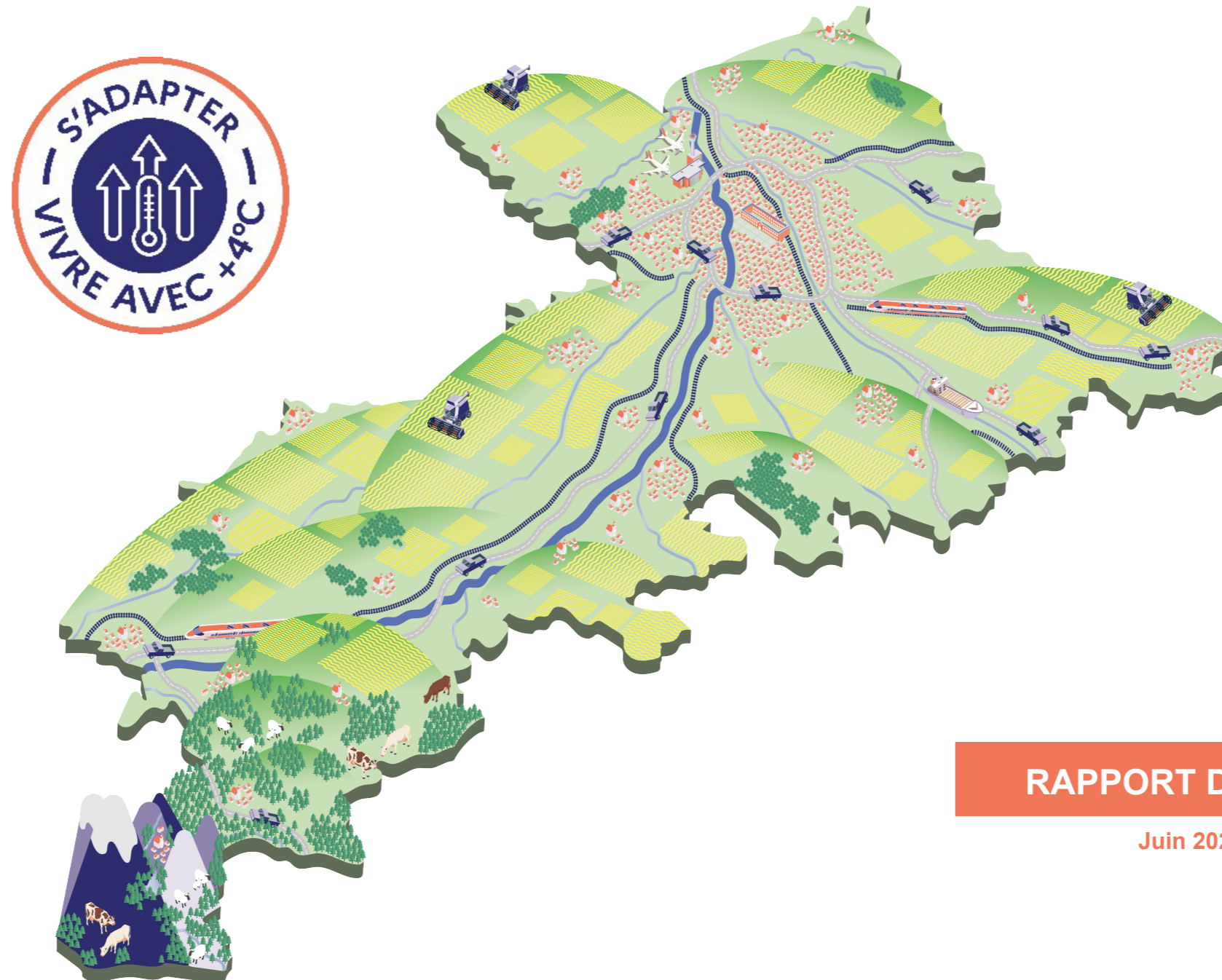


Diagnostic des vulnérabilités au changement climatique des territoires haut-garonnais

Portrait climatique horizon 2050



Le Cerema (Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement) est un établissement public tourné vers l'appui aux politiques publiques, placé sous la double tutelle du ministère de la transition écologique et du ministère de la cohésion des territoires et des relations avec les collectivités territoriales.

Les métiers du Cerema s'organisent autour de 6 grands domaines d'activité complémentaires visant à accompagner les acteurs territoriaux dans la réalisation de leurs projets.

6 domaines d'activité :

Expertise et ingénierie territoriale / Bâtiment / Mobilités / Infrastructures de transport / Environnement et risques / Mer et littoral

Site web : cerema.fr

Diagnostic des vulnérabilités au changement climatique des territoires haut-garonnais

Portrait climatique horizon 2050

Commanditaire : Département de la Haute-Garonne

Auteurs : Aurélien Mure, Claire Dollé, Florianne Jean, Mathilde Balent

Responsable du rapport

Claire DOLLÉ – Cerema Occitanie, Agence de Montpellier
Tél. : +33(0)4 67 20 90 55
Courrier : claire.dolle@cerema.fr
Site de Montpellier – 105 rue Marconi, 34000 Montpellier

Historique des versions du document

Version	Date	Commentaire
V1	10/06/2024	Version soumise à la relecture du département
V2	20/06/2024	Version intégrant les corrections du département
V3	24/06/2024	Version finale

Références

N° d'affaire : 24-OC-0042

Marché de quasi-régie signé le 08/02/2024

Nom	Service	Rôle	Date	Visa
MURE Aurélien	Cerema/DterOcc/DT/OSECC	Auteur principal	24/06/2024	 Aurélien MURE
DOLLÉ Claire	Cerema/DterOcc/AM	Co-Autrice	24/06/2024	 Claire DOLLÉ
BALENT Mathilde	Cerema/DterOcc/AM	Co-Autrice	24/06/2024	 Mathilde BALENT
JEAN Florianne	Cerema/DterOcc/AM	Co-Autrice	24/06/2024	 Florianne JEAN Le Directeur d'Agence
Responsable de la production	Cerema/DterOcc	Libération des livrables	24/06/2024	 Manuel MARTINEZ  Quentin Gautier Chef du département Territoires

Résumé de l'étude

Ce rapport dresse le portrait climatique de la Haute-Garonne dans le climat actuel et dans le climat de 2050. Il s'inscrit dans une démarche d'étude qui va se poursuivre par une analyse de sensibilité du territoire puis in fine par un diagnostic des vulnérabilités du territoire au changement climatique. Il est destiné à un public technique pour exploiter les données de projection climatique dans les projets et activités concernés.

La caractérisation de l'exposition future du territoire au climat, c'est à dire l'analyse des variations climatiques à horizon 2050, a été réalisée sur la base d'indicateurs de projections à 2050 de Météo-France, libre de droit et enrichie avec une étude bibliographique. Ce livrable n'a pas une vocation scientifique sur le climat mais il présente des tendances sur les indicateurs les plus pertinents pour le territoire, qui soient suffisamment robustes et localisés pour pouvoir comprendre les impacts sur le territoire, sa population et ses activités. La plus-value du travail du Cerema réside dans la synthèse intégratrice et la clarté des messages dégagés. Ce livrable est accompagné d'une version résumée et destinée aux décideurs : « Portrait climatique à horizon 2050 - Synthèse ».

5 à 10 mots clés à retenir de l'étude

Climat	Incertitude
Modélisation	Nuances territoriales
2050	Haute-Garonne
Projection	
Exposition	

Statut de communication de l'étude

Les études réalisées par le Cerema sur sa subvention pour charge de service public sont par défaut indexées et accessibles sur le portail documentaire du Cerema. Toutefois, certaines études à caractère spécifique peuvent être en accès restreint ou confidentiel. Il est demandé de préciser ci-dessous le statut de communication de l'étude.

- Accès libre : document accessible au public sur internet
- Accès restreint : document accessible uniquement aux agents du Cerema
- Accès confidentiel : document non accessible

Cette étude est capitalisée sur la plateforme documentaire [CeremaDoc](https://doc.cerema.fr/depot-rapport.aspx), via le dépôt de document : <https://doc.cerema.fr/depot-rapport.aspx>

La démarche d'étude initiée par le Département de la Haute-Garonne

Afin d'orienter et de guider sa bifurcation écologique, le conseil départemental de la Haute-Garonne a souhaité que le Cerema réalise un diagnostic des vulnérabilités des territoires au changement climatique à horizon 2050. La démarche suit les étapes suivantes :

- Comprendre l'**exposition du territoire** au climat actuel et projeté à 2050, avec la plus grande finesse géographique possible, et avec les données les plus récentes et robustes possibles.
- Évaluer sa **sensibilité intrinsèque** aux évolutions attendues du climat, à travers un diagnostic territorial à 360 degrés, sur une quinzaine de thèmes, couplant analyse de documents, données, et interviews d'experts.
- Évaluer les **vulnérabilités du territoire**, des habitants et des activités, en croisant l'analyse de l'exposition et de la sensibilité ; l'appréciation de la vulnérabilité sera modulée selon les capacités d'adaptation du territoire et les mesures prises pour le protéger.



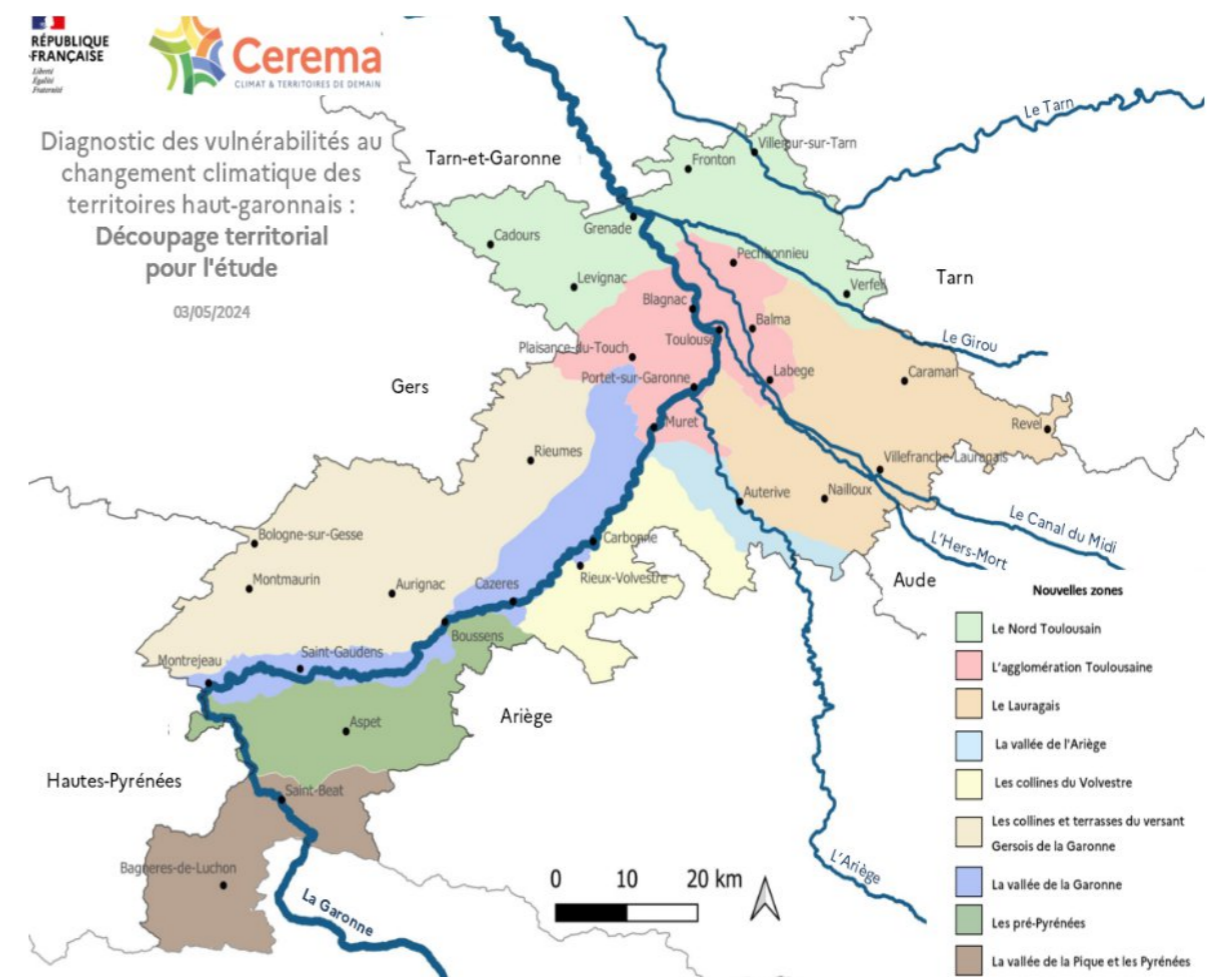
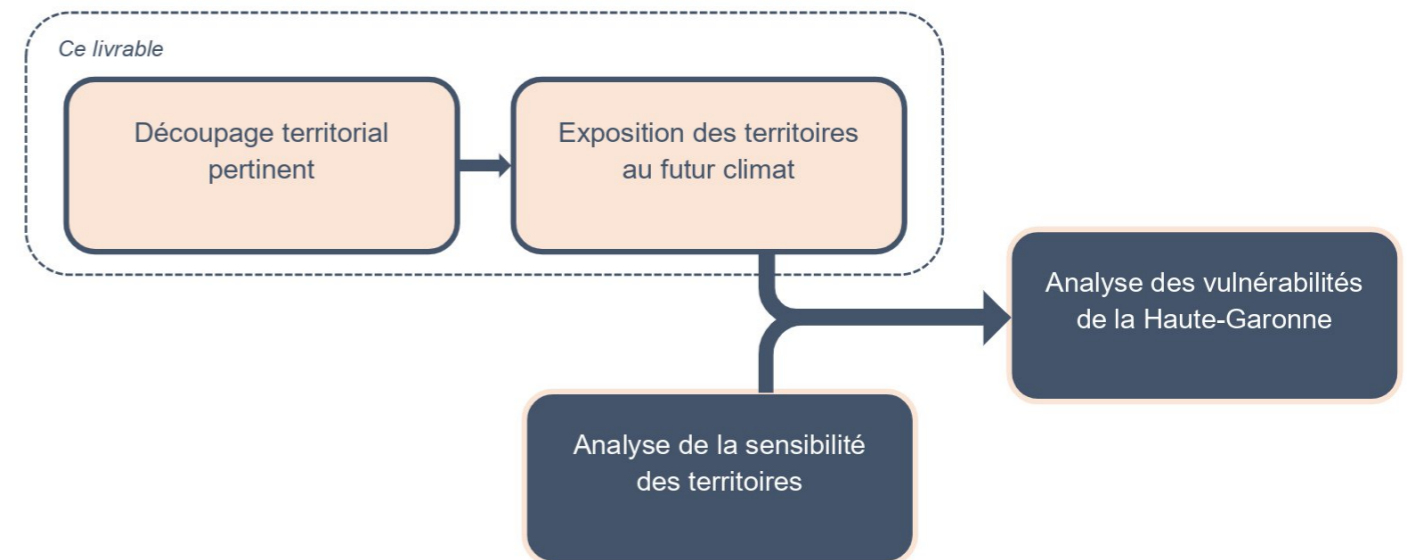
Pour réaliser cette démarche, un découpage d'étude (ci-contre) a été établi en concertation avec le Département : à partir de l'atlas des paysages et ses 24 unités paysagères, 9 territoires haut-garonnais ont été définis par rapprochement des paramètres de relief, hydrologie, types d'occupation du sol naturelle, agricole ou urbaine (détail du découpage en Annexe 4.2).

La caractérisation de l'exposition future du territoire au climat, c'est à dire l'analyse des variations climatiques à horizon 2050 a été réalisée sur la base d'indicateurs de projections à 2050 de Météo-France, libres de droit et enrichie avec une étude bibliographique. Ce livrable n'a pas une vocation académique sur le climat mais il présente des tendances sur les indicateurs les plus pertinents pour le territoire, qui soient suffisamment robustes et localisés pour pouvoir comprendre les impacts sur le territoire, sa population et ses activités. La plus-value du travail du Cerema réside dans la synthèse intégratrice et la clarté des messages dégagés. Ce portrait climatique vise à répondre aux questions suivantes :

- **Quelles sont les évolutions attendues des paramètres climatiques à 2050 sur les territoires haut-garonnais ?**
- **Quelles sont les zones d'incertitudes encore existantes et les tendances robustes, les messages forts sur lesquels l'analyse de la vulnérabilité pourra s'appuyer ?**

Ce livrable est accompagné d'une version résumée et destinée aux décideurs : « Portrait climatique à horizon 2050 - Synthèse ».

Pour la suite de l'étude, une analyse de la sensibilité des territoires aux évolutions des paramètres climatiques sera réalisée sur tous les sujets, en croisant le regard sur les thèmes. Il est question de synthétiser les études, données et productions existantes déjà réalisées sur la Haute-Garonne et d'identifier les éventuels manques de connaissances. L'analyse des vulnérabilités des territoires sera réalisée dans le second semestre 2024 en croisant les résultats du portrait climatique avec ceux de l'analyse de sensibilité.



Découpage territorial de la Haute-Garonne en 9 entités

Sommaire

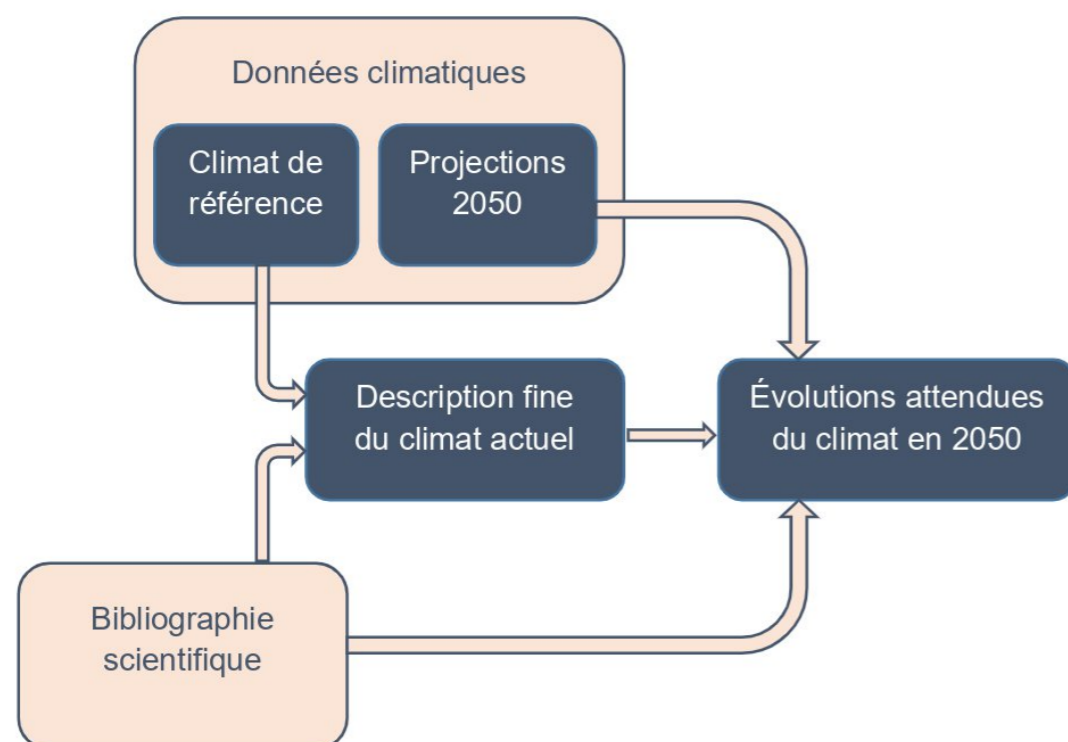
1. Le climat de la Haute-Garonne	7		
1.1. Le positionnement de la Haute-Garonne dans les grandes régions climatiques françaises et en Occitanie	7		
1.2. Climat de référence	8		
1.3. Climat actuel et changement climatique déjà observé	8		
1.3.1. L'îlot de chaleur urbain	9		
1.3.2. Vagues de chaleur et vagues de froid	9		
1.4. Précipitations	9		
1.4.1. Sécheresse et humidité des sols	10		
1.4.2. Enneigement et stock nival	10		
1.5. Vents régionaux	10		
1.5.1. Effet de foehn	11		
1.5.2. Tempêtes	11		
2. Méthodologie d'étude des projections climatiques	11		
2.1. Données mobilisées : base de données Drias	11		
2.1.1. Échelle spatiale	11		
2.1.2. Périodes temporelles	12		
2.2. Choix du scénario	12		
2.3. Méthodes de calcul	12		
2.4. Lecture des résultats	13		
2.4.1. Format de présentation	13		
2.4.2. Comprendre les graphiques	13		
2.4.3. Regroupement des entités par indicateur	14		
2.5. Limites des modèles	14		
2.5.1. Méthode de calcul	14		
2.5.2. Représentation spatiale	14		
2.5.3. Variabilité naturelle du climat	14		
2.6. Description et interprétation des indicateurs	15		
3. Évolution des paramètres climatiques	16		
3.1. Augmentation de la température	16		
3.1.1. Température moyenne	17		
3.1.2. Nombre annuel de jours de fortes chaleurs (en jours)	18		
3.1.3. Nombre annuel de nuits tropicales (en jours)	19		
3.1.4. Nombre de canicules en 30 ans (à gauche, en occurrences) et Durée moyenne d'une canicule (à droite, en jours)	20		
3.1.5. Focus sur les îlots de chaleur urbains	21		
3.1.6. Nombre annuel de jours échaudants (en jours)	22		
3.1.7. Nombre annuel de jours de gel (en jours)	23		
3.1.8. Période à risque de gel (en dates)	24		
3.1.9. A retenir sur l'augmentation des températures	25		
3.2. Perturbation des régimes de précipitations	26		
3.2.1. Cumul saisonnier de précipitations (en millimètres)	27		
3.2.2. Nombre saisonnier de jours de pluie (en jours)	28		
3.2.3. Évapotranspiration potentielle saisonnière (en millimètres)	29		
3.2.4. Épaisseur mensuelle de neige selon l'altitude (en mètres)	30		
3.2.5. Évolutions non modélisées par les données utilisées	31		
3.2.6. A retenir sur les perturbations des régimes de précipitations	33		
3.3. Impacts sur le sol et la végétation	34		
3.3.1. Disponibilité thermique du maïs et du tournesol et du blé (en degré-jour, DJ)	35		
3.3.2. Introduction du portail CANARI	36		
3.3.3. Le secteur agricole à l'horizon 2050	40		
3.3.4. Risque saisonnier de feu de végétation (en jours)	41		
3.3.5. Nombre de jours avec sol sec (en jours)	42		
3.3.6. A retenir sur les impacts sur les sols et la végétation	43		
3.4. Impacts sur la ressource en eau	44		
3.5. Éléments marquants du portrait climatique	45		
3.6. Ouverture : Et en 2100 ?	46		
4. Annexes	47		
4.1. Bibliographie	47		
4.2. Découpage d'étude en 9 zones	48		

Introduction

Au cours du processus de production du profil climatique de la Haute-Garonne, quatre grands objectifs de restitution se sont dégagés et le rapport a été construit pour y répondre :

- Présenter le climat actuel de la Haute-Garonne, qui est déjà largement bouleversé par le changement climatique à l'œuvre.
- Détailler la méthodologie d'exploitation des projections climatiques, justifier les choix de scénario de réchauffement dans le cadre de l'étude et mettre en lumière les incertitudes.
- Exploiter les données de projection et en tirer des conclusions robustes.
- Donner des éléments sur l'évolution des paramètres qui ne sont pas présents dans les modélisations à l'aide d'une étude bibliographique.

Le schéma suivant présente la démarche d'exploitation croisée entre les données climatiques et la bibliographie.



Afin de porter à connaissance la multitude de données climatiques présentes tout en respectant la rigueur scientifique autour de l'exploitation des résultats, la lecture de ce rapport demande du temps. Il exploite la richesse des projections et le détail des neuf entités du département tout en décrivant les incertitudes qui accompagnent la méthode. Les lecteurs voulant se focaliser sur les messages clé sont invités à se tourner vers le livrable « Portrait climatique à horizon 2050 - Synthèse ».

1. LE CLIMAT DE LA HAUTE-GARONNE

Il est proposé de replacer la Haute-Garonne dans son contexte climatique avant de détailler les différents paramètres météorologiques qui la caractérisent.

1.1. Le positionnement de la Haute-Garonne dans les grandes régions climatiques françaises et en Occitanie

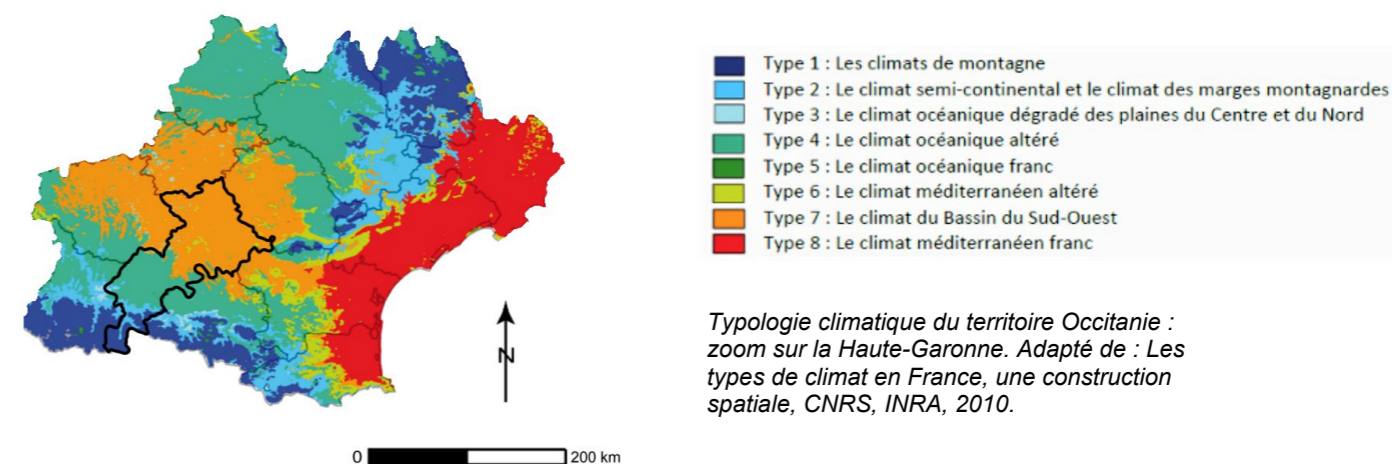
Le département de la Haute-Garonne se trouve à la frontière entre deux grandes zones climatiques en France métropolitaine (*Météo-France*). La majorité du département est sous un "climat océanique altéré", zone de transition entre les climats océanique, de montagne, et semi-continental : les écarts de température entre hiver et été augmentent avec l'éloignement de la mer, et la pluviométrie est plus faible qu'en bord de mer, sauf aux abords des reliefs. L'extrémité sud du département est sous un "climat de montagne" : la température décroît rapidement en fonction de l'altitude, la couverture nuageuse est minimale en hiver et maximale en été, et les vents et précipitations varient notablement selon le lieu.

Plus particulièrement, la Haute-Garonne est divisée en 4 différents climats (*CNRS, INRA*). La moitié nord, du type 7 "Bassin du sud-ouest", a un climat chaud, à l'amplitude thermique annuelle élevée (différence entre le mois le plus chaud et le mois le plus froid : 15 à 16°C). Le cumul annuel de précipitations est plutôt faible, inférieur à 800 mm, et les pluies sont plus rares en été qu'en hiver, mais plus intenses. La moitié sud, du type 4 "Climat océanique altéré", a un climat légèrement plus frais et une amplitude thermique annuelle plus faible. L'été y est sec, la majorité des précipitations ayant lieu durant l'hiver.

La présence du relief des Pyrénées à la pointe sud de la Haute-Garonne constitue de petites zones de climat de type 1 "Climat de montagne" et type 2 "Climat des marges montagnardes". Le climat des montagnes est froid, avec une température moyenne inférieure à 10°C, et a un cumul élevé de précipitations. Il y a une grande variabilité interannuelle. Le climat des marges montagnardes est proche de celui des montagnes, très variable, plus froid qu'en plaine, mais plus sec qu'en montagne surtout l'été.



La France en cinq climats : zoom sur la Haute-Garonne. Adapté de : *La France en cinq climats, Météo-France, 2019.*



Typologie climatique du territoire Occitanie : zoom sur la Haute-Garonne. Adapté de : *Les types de climat en France, une construction spatiale, CNRS, INRA, 2010.*

Au sein du département, les climats sont donc fortement contrastés, et ce selon plusieurs paramètres météorologiques, principalement la température, les précipitations, et le vent.

1.2. Climat de référence

Point méthodologique :

Ce rapport analyse l'évolution du climat entre une période de référence d'une durée de 30 ans, de 1976 à 2005, et un horizon de temps projeté à 2050 (période de 30 ans 2041-2070).

La période de référence 1976-2005 a été choisie car il s'agit de la période la plus récente utilisée dans l'exercice international d'intercomparaison de modèles climatiques couplés CMIP5 et qui a servi de base au 5e rapport du GIEC et donc pour les projections climatiques sur la France disponibles dans le portail DRIAS, source principale pour cette étude.

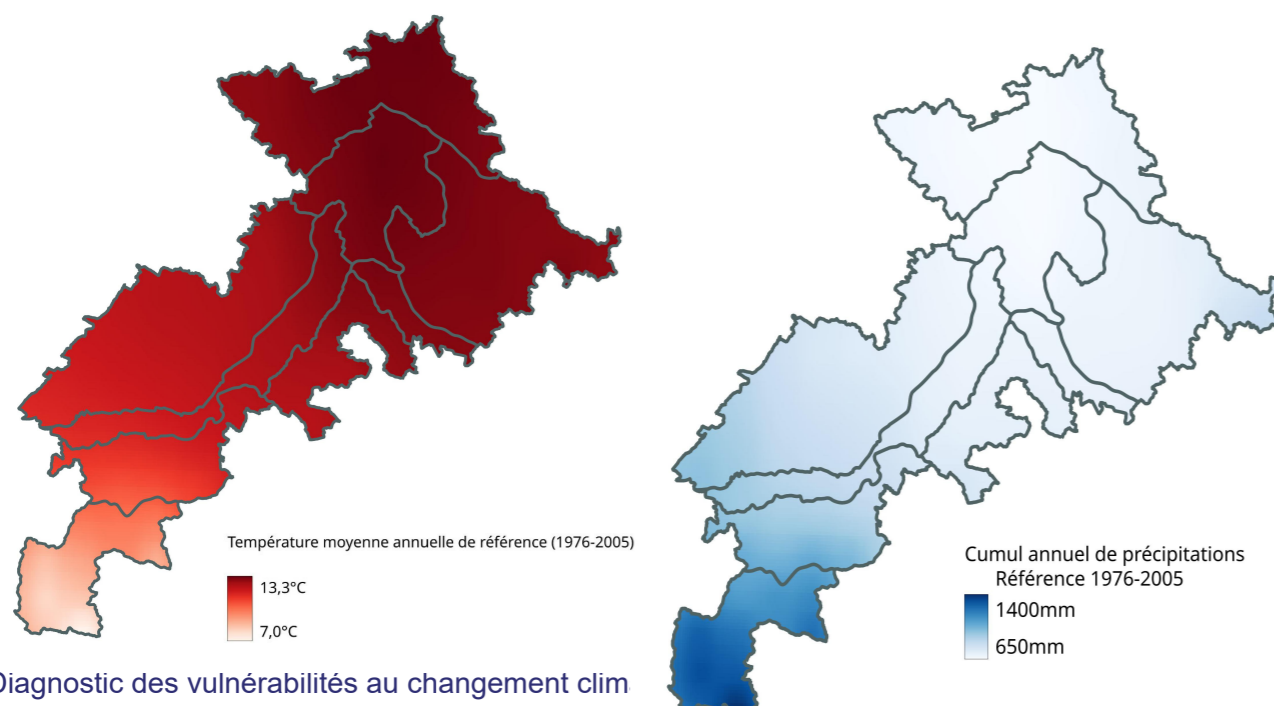
Météo France a produit en 2022 de nouvelles normales climatiques pour une période plus récente (1991 à 2020).

Celles-ci n'ont pas été utilisées comme référence pour le présent rapport, car les modèles de projection du climat disponibles ne s'appuient pas encore sur ces données. Par ailleurs, ces données ne comprennent pas l'ensemble des indicateurs disponibles dans DRIAS pour la période 1976-2005.

Toutes les évolutions climatiques présentées dans le rapport sont donc des écarts entre le climat de référence 1976-2005 et l'horizon 2050.

Pour autant, le réchauffement climatique est rapide et le climat a déjà significativement évolué depuis la période de référence 1976-2005. A titre d'exemple, la température moyenne annuelle sur la station météo de Toulouse Blagnac a augmenté de +0,6°C entre la période de référence et 1991-2020. Cependant les évolutions climatiques à venir entre aujourd'hui et 2050 seront très certainement nettement plus marquées que celles observées entre la période de référence et aujourd'hui.

La prise en compte de la période de référence 1975-2005 reste donc pertinente pour analyser les phénomènes d'évolution climatique à l'horizon 2050.



Diagnostic des vulnérabilités au changement clim
Portrait climatique horizon 2050

Jun 2024

Les cartes précédentes déclinent les paramètres de température moyenne annuelle et de cumul annuel de précipitations. La description du climat de référence ne sera pas faite ici car elle se retrouve dans l'exploitation des indicateurs climatiques de la partie 3. En effet, le climat de référence est toujours pris comme point de comparaison avec les projections. Des mentions de l'écart entre les observations 1976-2005 et 1991-2020 seront faites dans la partie suivante.

1.3. Climat actuel et changement climatique déjà observé

La Haute-Garonne profite d'un climat plutôt doux en plaine avec un ensoleillement, à Toulouse d'en moyenne 2000 h/an, contre 1800 h/an à Paris (*PanoSolar*).

Au sein du département, la température est maximale dans la moitié nord, au niveau de la plaine de Toulouse, et plus faible dans la moitié sud, au niveau des Pyrénées et de ses reliefs. Des valeurs très différentes sont rencontrées d'un bout à l'autre du territoire, et ce avant même de prendre en compte les effets du vent, des cours d'eau, et des îlots de chaleur urbains, qui affectent fortement les températures observées et ressenties localement. Pour illustrer les variations d'un bout à l'autre du territoire, voici les **chiffres à retenir** :

Températures (en °C) Normales 1991-2020 Météo-France	Toulouse Blagnac	Luchon
Température moyenne annuelle	14,2	11,5
Température maximale moyenne en août	28,5	25,4
Nombre annuel de gelées	27	82

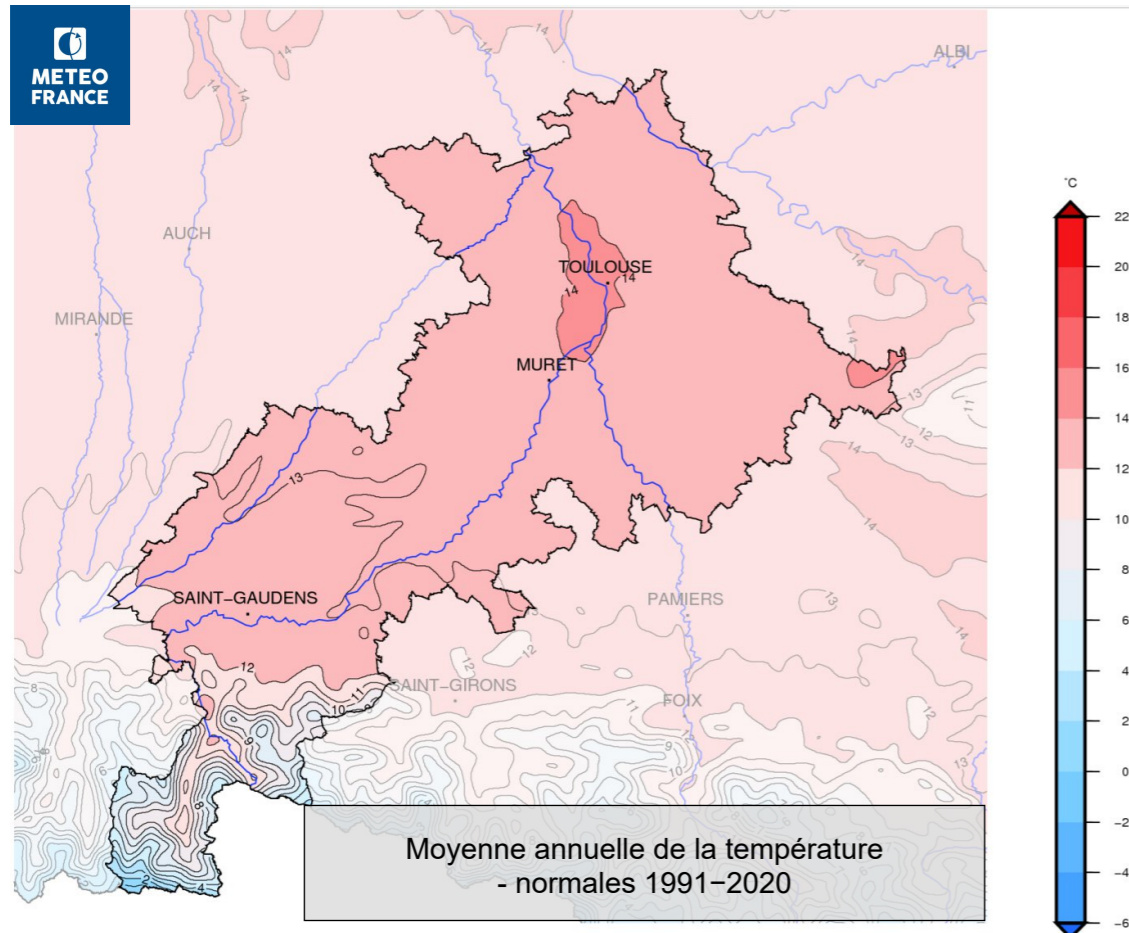
L'étude réalisée par la Chambre d'Agriculture Occitanie (station Toulouse-Blagnac) (*ORACLE*), rapporte que la température moyenne annuelle à Toulouse augmente en moyenne de 0.32°C par décennie, soit +1.94°C entre 1959 et 2021. Cette augmentation est plus marquée au printemps et à l'été (+0.33°C et +0.44°C) qu'en hiver et automne (+0.21°C et +0.29°C). Cette tendance au réchauffement affecte également les journées estivales, c'est à dire les journées atteignant 25°C ou plus, puisqu'à Toulouse il y a en moyenne 5.9 journées estivales de plus par décennie, soit 36.3 journées estivales de plus entre 1959 et 2023. Les jours de gel, eux, ont diminué, au rythme de -3.6 jours par décennie.

Écart de température 1976-2005 / 1991-2020 :

La station Toulouse Blagnac a enregistré une température moyenne de 13,54°C sur la période 1976-2005 et de 14,18°C pour 1991-2020 **soit un écart de 0,64°C** entre les deux périodes. La station Ondes a enregistré une température moyenne de 13,53°C sur la période 1976-2005 et de 13,92°C pour 1991-2020 **soit un écart de 0,39°C** entre les deux périodes.

Le plus fort réchauffement observé sur la station Toulouse Blagnac peut s'expliquer par la forte urbanisation de la métropole entre les deux périodes.

Schématiquement, sur une courbe ascendante menant à +2°C en 2050 par rapport à la référence, la période actuelle se situe déjà autour de +0,5°C de réchauffement et elle constitue un climat de transition.



L'augmentation des températures a déjà eu un impact sur les cycles phénologiques de la végétation et des conséquences sur l'agriculture sont déjà observables.

Entre 1959 et 2010, la température moyenne annuelle a augmenté sur l'ensemble du relief pyrénéen (OPCC). Plus marquée pendant l'été météorologique (juin, juillet, août) que pendant les autres saisons, cette augmentation présente peu de différences entre le versant nord et le versant sud du relief.

1.3.1. L'îlot de chaleur urbain

L'îlot de chaleur urbain (température plus élevée la nuit en ville qu'à la campagne) est un phénomène localisé aux zones les plus urbanisées. Il touche particulièrement la métropole toulousaine, mais aussi de villes comme Muret et Auterive (Agence d'Urbanisme et d'Aménagement de Toulouse ; ClimadiagCommune).

La partie 3.1.5. présente ce phénomène plus en détail.

1.3.2. Vagues de chaleur et vagues de froid

Les vagues de chaleur et de froid sont des périodes durables (plusieurs jours) où la température quotidienne dépasse un certain seuil. Une vague de chaleur s'étudie à l'échelle départementale en s'intéressant particulièrement aux températures minimales nocturnes qui ont un impact majeur sur la santé. Une vague de froid quant à elle s'étudie plutôt à l'échelle nationale (Météo-France).

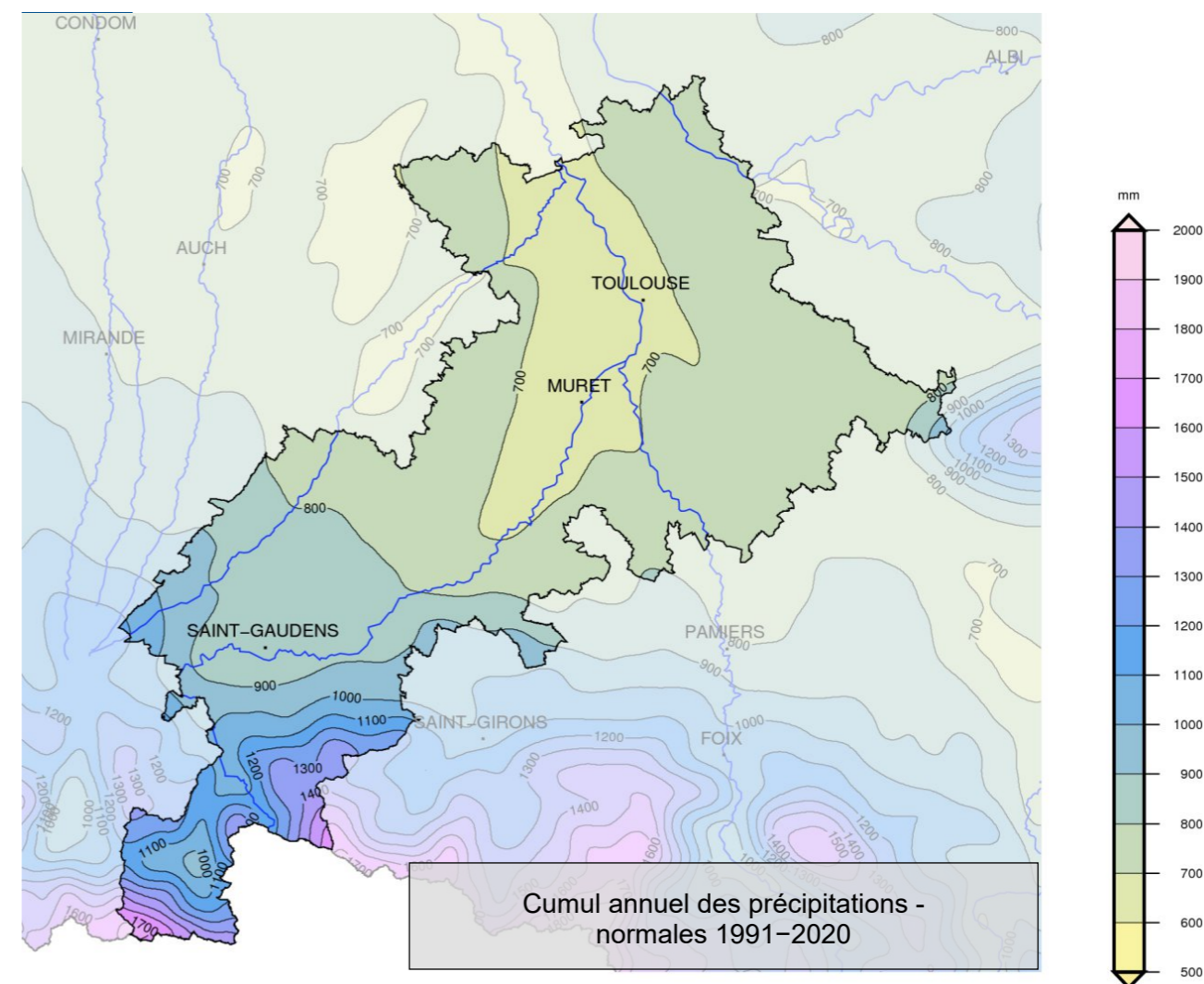
L'Occitanie et la Haute-Garonne sont des zones où les vagues de chaleur surviennent régulièrement, elles ont généralement lieu l'été, et sont de plus en plus fréquentes, plus longues, plus chaudes. Entre 1947 et 2003 en Occitanie, une vague de chaleur apparaissait tous les 5 ans, et tous les ans à partir de 2003. Les vagues de froid se font plus rares, plus courtes, moins froides : la dernière vague de froid sévère en Haute-Garonne

remonte à 2012 (14 jours de froid avec un seuil de -8°C). La dernière fois qu'une vague de froid avait été aussi longue, c'était en 2001, et la dernière fois qu'une vague de froid avait été aussi froide, c'était en 1987.

1.4. Précipitations

La Haute-Garonne fait partie des départements à « pluviométrie annuelle faible » selon Météo-France, puisqu'à Toulouse il pleut en moyenne 96 jours par an, avec un cumul annuel de 627 mm seulement (contre 734 mm à Nîmes). Le maximum des pluies est en mai et le minimum est en février, suivi de juillet.

La pluviométrie du département ne peut être réduite à celle de Toulouse, les chiffres augmentent rapidement avec l'altitude et le relief. L'extrême sec se trouve donc bien au niveau de la plaine de Toulouse, avec en moyenne moins de 70 mm de précipitations par mois, et l'extrême humide au niveau des Pyrénées, avec en moyenne 140 mm de précipitations par mois.



Écart de cumul des précipitations 1976-2005 / 1991-2020 :

La station Toulouse Blagnac a enregistré un cumul annuel moyen de 655mm sur la période 1976-2005 et de 627mm pour 1991-2020 **soit un écart de -28mm** entre les deux périodes. Pour Ondes, l'écart est de **+9mm** (de 656 à 665mm). Pour la station d'Oô, l'écart est de **+16mm** (de 1017 à 1033mm). Il est à retenir que les évolutions des précipitations sont faibles (moins de 4%) et peu robustes car négatives à Toulouse et positives à Ondes.

Le tableau suivant montre une saisonnalité décalée pour les mois les plus sec ou plus pluvieux entre le nord et le sud du département.

Moyenne annuelle des types de précipitations Normales 1991-2020 Météo-France	Plaine de Toulouse	Relief des Pyrénées
Pluviométrie (mm) (moyenne annuelle)	600-700	> 1000
Nombre de jours de pluie (moyenne annuelle)	90-100	> 110
Mois le plus pluvieux	mai	novembre
Mois le plus sec	février	juillet

L'étude ORACLE de la Chambre d'Agriculture a montré que le cumul annuel de précipitations à Toulouse-Blagnac a diminué de 31.21 mm entre 1959 et 2021, avec une variabilité interannuelle trop forte pour que ce soit considéré comme une tendance robuste.

Dans les Pyrénées, entre 1959 et 2010, les précipitations ont diminué (en moyenne -2.5% par décennie), une tendance très légèrement plus marquée en hiver et en été qu'au printemps et à l'automne, mais peu robuste (OPCC). La faible robustesse des conclusions s'illustre avec les données contradictoires de la station d'Oô présentée dans l'encart de fin de page précédente.

Enfin, si une partie de la région Occitanie est concernée par des épisodes méditerranéens, ce n'est pas le cas de la Haute-Garonne (*Pluies extrêmes Météo-France*).

1.4.1. Sécheresse et humidité des sols

Dans les 50 dernières années (1970-2020), le pourcentage annuel de la surface de l'ex région Midi-Pyrénées touché par la sécheresse a augmenté : de moins de 5% de la région à plus de 10%. De même, l'humidité moyenne annuelle des sols a diminué de 7%, ce qui se traduit par un allongement de la période de sol sec. Ces changements sont notables surtout au printemps où le sol s'assèche plus vite, tandis qu'à l'automne l'assèchement est moindre (*ClimatHD*).

1.4.2. Enneigement et stock nival

La durée de l'enneigement à 1800 m dans les Pyrénées Centrales présente une forte variabilité interannuelle, cependant une tendance à la baisse se dégage sur les 30 dernières années (de 1990 à 2020), passant de 150 jours avec plus de 50 cm de neige au sol à 120 jours. Un réseau de balises du côté espagnol des Pyrénées centrales montre une baisse significative de l'épaisseur du manteau neigeux, qui se retrouve dans une diminution significative de l'influence de la neige sur le débit des rivières de ce versant (*ClimatHD*).

Il en est de même pour le stock nival au 1er mai (défini par la quantité d'eau équivalente du manteau neigeux) qui en 50 ans (1970-2020) a diminué de 250 mm à 150 mm, soit une baisse de 40% (*ClimatHD*).

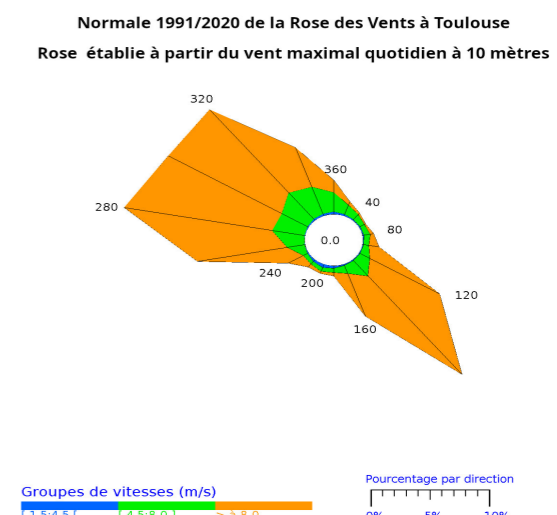
Il sera fait référence au cours de cette étude à un rapport de 2018 de l'Observatoire Pyrénéen du Changement Climatique (OPCC) : « Le changement climatique dans les Pyrénées: impacts, vulnérabilités et adaptation », qui servira de base de connaissances pour cette partie. Ce rapport explique notamment que les reliefs sont des espaces de grande variabilité de fine échelle (topographie, biodiversité), la difficulté principale étant le manque de sources de données fiables, sur des séries temporelles conséquentes, d'autant plus que l'altitude est élevée. Le projet ClimPy de l'OPCC a construit une base de données homogène sur la période 1949-2010 sur les températures, les précipitations, et la couverture neigeuse sur le relief pyrénéen, et a réalisé une étude du climat passé et des projections du climat futur selon les scénarios RCP4.5, 6.0, et 8.5 du 5e rapport du GIEC.

1.5. Vents régionaux

La Haute-Garonne est sous l'influence de deux vents principaux : l'Autan et la Tramontane (*Vents régionaux Météo-France*).



L'Autan (en bleu) et la Tramontane (en jaune). Météo-France.



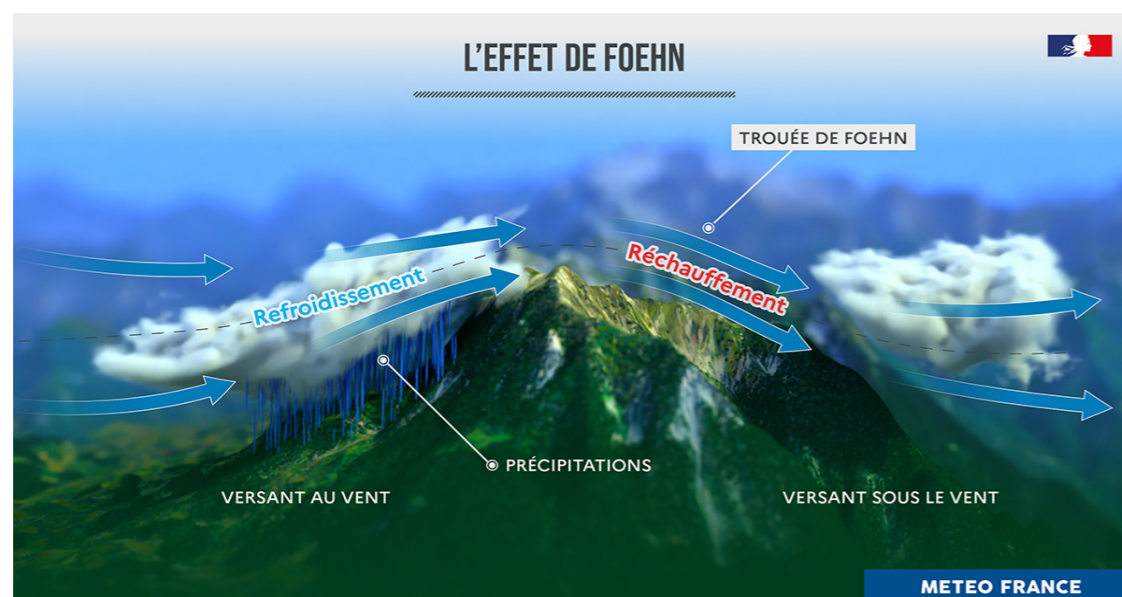
Rose des vents à Toulouse illustrant l'Autan et la Tramontane. Météo-France.

L'Autan est un vent de sud-est turbulent qui affecte le midi toulousain et le Tarn, c'est le prolongement du vent marin qui souffle sur les côtes du Languedoc-Roussillon. Il est notamment canalisé par les vallées du Lauragais et de la Garonne (en aval de Toulouse) et accéléré et asséché par le relief entre la montagne Noire et les Corbières. Il souffle donc particulièrement fort dans la région de Revel, même s'il monte jusqu'à Toulouse. Ses rafales peuvent dépasser les 100 km/h, il est au plus fort en milieu d'après-midi et au plus faible la nuit.

Il est présent le plus souvent au printemps et à l'automne, particulièrement en octobre en raison des conditions météorologiques de grande échelle.

La Tramontane est un vent de nord à nord-ouest qui remonte la vallée de la Garonne (en aval de Toulouse), souvent fort et turbulent. Il est généralement froid et sec et est observé en toute saison, même s'il est plus fort en hiver et au printemps en raison des conditions météorologiques de grande échelle qui l'accompagnent. Pour la même raison il souffle souvent et peut durer plusieurs jours consécutifs. Ses rafales peuvent dépasser les 100 km/h.

1.5.1. Effet de foehn



Effet de Foehn. Météo-France.

Les reliefs des Pyrénées mais aussi de la Montagne Noire apportent un autre élément météorologique majeur : l'effet de Foehn. Ce phénomène a lieu lorsqu'un vent souffle perpendiculairement à un relief : l'humidité se coince en amont du relief et le vent sec s'écoule en aval.

Dans les Pyrénées, si le vent est de sud, les nuages de pluie seront bloqués sur les versants espagnols tandis que les versants français seront sous le soleil, et inversement si le vent est de nord. Les effets peuvent être importants comme le 15 février 2024 où il a fait 25°C à Bagnères-de-Luchon et « seulement » 15°C à Toulouse-Blagnac. Cette situation est régulièrement observée dans la saison hivernale (*Vents régionaux Météo-France*).

1.5.2. Tempêtes

A l'échelle de la France comme de l'ancienne région Midi-Pyrénées, le nombre d'occurrences de tempêtes est très variable d'une année sur l'autre. Aucune tendance significative n'est observée sur les 30 dernières années (*ClimatHD*).

La Haute-Garonne se situe au croisement de quatre climats, principalement affectés par le relief des Pyrénées au sud et de la Méditerranée à l'est. S'il est difficile de savoir comment le climat régional évoluera précisément d'ici à 2050 ou 2100, des changements ont déjà eu lieu en 30 ans: les étés sont de plus en plus chauds et de plus en plus secs sur la majorité du département.

Le climat méditerranéen s'étend dans les terres et s'accompagne de nouvelles problématiques qui affectent déjà la Haute-Garonne : chaleur, sécheresse, feux de végétation, altération de la biodiversité, etc.

À l'échelle de la France, l'ONERC met en garde contre les impacts déjà visibles et à venir à l'horizon 2050. En Haute-Garonne ce sont l'îlot de chaleur urbain de Toulouse, la baisse de l'enneigement dans les Pyrénées, et l'augmentation de la température, qui présentent les plus grands enjeux.

2. MÉTHODOLOGIE D'ÉTUDE DES PROJECTIONS CLIMATIQUES

Le cœur de cette étude est basé sur l'exploitation de données de référence et de projections climatiques à l'horizon 2050 à travers différents indicateurs climatiques. Dans cette partie, les données mobilisées et des clés de compréhension pour aider à la lecture des résultats seront exposées.

2.1. Données mobilisées : base de données Drias

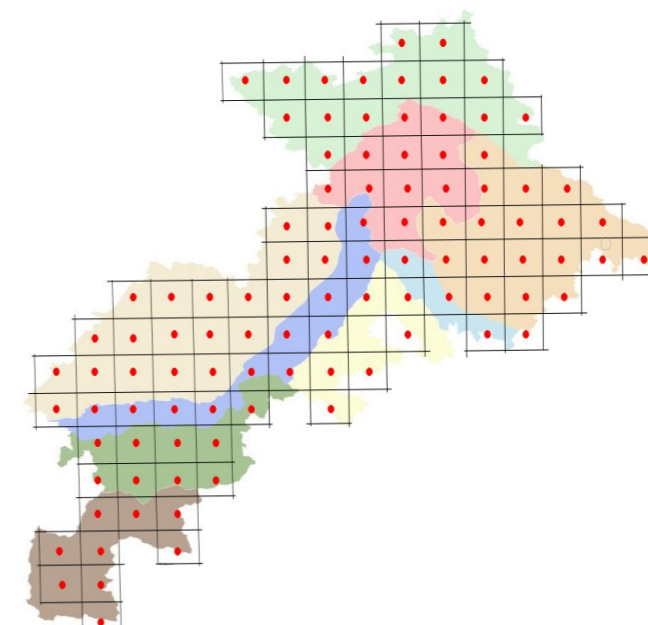
Le portail Drias - les futurs du climat a été créé en 2010 dans le cadre du 1^{er} Plan National d'Adaptation au Changement Climatique (2011), en partenariat avec Météo-France, l'Institut Pierre-Simon Laplace, et le CERFACS. Il vise à disposer aisément d'informations et d'accompagnement pour étudier les impacts du changement climatique et décider de mesures d'adaptation à mettre en œuvre. C'est une base de données climatologiques en libre accès. Créé dans le cadre du projet national Explore2 et dans la suite logique de Drias - les futurs du climat, le portail Drias - les futurs de l'eau est une base de données hydrologiques des eaux de surface et souterraines (*Drias*).

Les données climatologiques **de référence** sont produites à partir d'observations.

Les données **de projection** sont celles du jeu de données DRIAS-2020, en libre-accès sur le site Drias. Il s'appuie sur l'ensemble global produit dans le cadre de l'exercice international CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project, 5^e phase) qui a servi de base au 5^e rapport du GIEC (IPCC, 2014 : Climate Change 2014 : Synthesis Report), et des simulations climatiques régionales à haute résolution, issues des différents modèles de projection. Les données sont livrées sous forme de quantiles (voir définition en 2.3) issues des sorties de trente modèles. L'exploitation de ces statistiques est détaillée dans la partie 2.4 (*Rapport 2020 Drias*).

2.1.1. Échelle spatiale

La base de données Drias utilise la grille SAFRAN, de résolution horizontale 8 km (chaque point est le centre d'un carré de côté 8 km * 8 km). À l'échelle du département, la grille SAFRAN contient 102 points répartis de la manière suivante :



Représentation des points et mailles Drias sur la Haute-Garonne.

2.1.2. Périodes temporelles

Les données dites « de référence » correspondent à la moyenne climatologique du paramètre étudié, c'est à dire à la moyenne 1976-2005. Cette période, également utilisée dans ClimadiagCommune*, correspond à la moyenne climatologique (période de 30 ans) se concluant en 2005, année la plus récente de la référence dans la base de données Drias.

Les données dites « de projection » correspondent aux valeurs moyennes atteintes en 2050, aussi appelé « horizon moyen », par opposition à un « horizon lointain » correspondant à 2100. C'est la moyenne climatologique 2041-2070 des simulations.

2.2. Choix du scénario

Dans le cadre de la TRACC 2023, la Trajectoire de Réchauffement de Référence pour l'Adaptation au Changement Climatique, le scénario retenu (au 22 janvier 2024) est : « le réchauffement mondial se poursuit et se stabilise à + 3 °C en 2100 par rapport à l'ère pré-industrielle, soit environ + 4 °C en moyenne sur la France métropolitaine. Ce scénario correspond à la poursuite des politiques mondiales existantes, sans mesure additionnelle ». A horizon 2050, le niveau de réchauffement de +2,7°C de la TRACC est seulement atteint avec le scénario RCP-8.5 du 5e rapport du GIEC, qui s'appuie sur un monde sans réelle transition où les émissions de GES continuent d'augmenter au rythme actuel, ce qui est crédible au regard de l'évolution des émissions de gaz à effet de serre depuis 2015. C'est donc le scénario choisi pour représenter au mieux l'évolution future du climat en Haute-Garonne.

Dans une logique de politique de gestion du risque, il est pertinent de travailler avec cette trajectoire. De plus, le mécanisme des points de bascule du système climatique (fonte du pergélisol, forêt amazonienne qui pourrait émettre du carbone...) qui sont mal modélisés par les projections climatiques sont à même d'amplifier les changements même si l'humanité diminue ses émissions de gaz à effet de serre avant la fin du siècle. Ce scénario est également celui choisi par Météo-France pour s'inscrire dans le programme de la TRACC 2023. ClimadiagCommune a ainsi été mis à jour en 2024 en proposant un choix de scénario de réchauffement pour s'adapter aux planifications nationales.

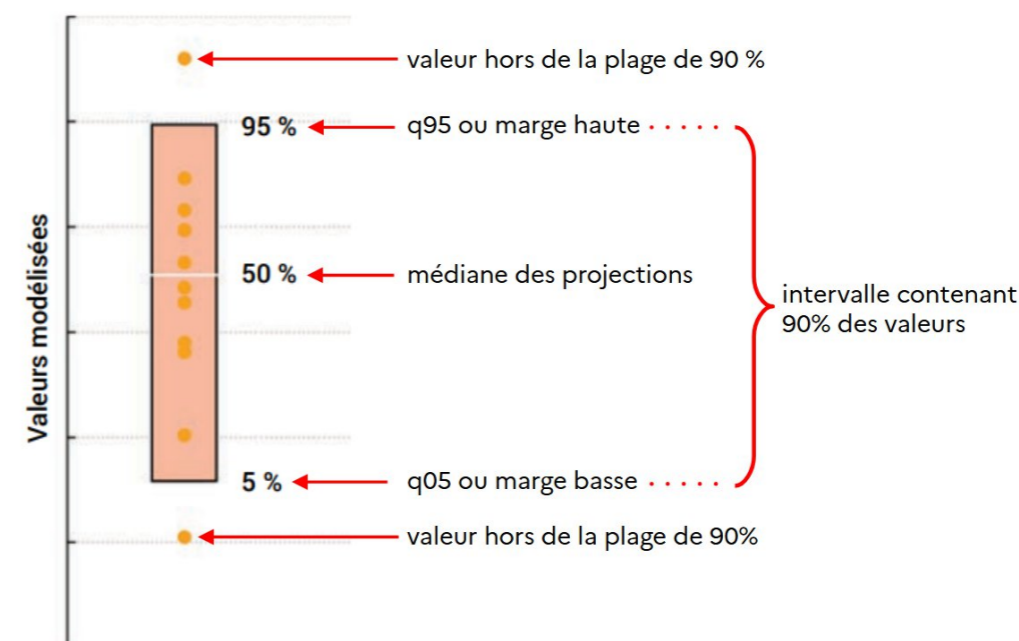
2.3. Méthodes de calcul

Les données de projection Drias sont représentées sous forme de quantiles (qui sont des divisions en parts égales des données). Dans cette étude les résultats seront majoritairement représentés par les quantiles 5, 50, 95 :

- Le 5e centile (q05) est la valeur seuil pour laquelle 95 % des valeurs de la distribution sont plus élevées (la probabilité de dépasser le 5e centile est de 95 %). Ce seuil sera appelé « marge basse ».
- La médiane (q50) est la valeur seuil pour laquelle 50 % des valeurs de la distribution sont plus élevées (la probabilité de dépasser la médiane est de 50 %).
- Le 95e centile (q95) est la valeur seuil pour laquelle 5 % des valeurs de la distribution sont plus élevées (la probabilité de dépasser le 95e centile est de 5 %). Ce seuil sera appelé « marge haute ».

L'intervalle entre le q05 et le q95 contient 90% des valeurs de la distribution.

Dans l'exemple ci-dessus d'un assemblage de modèles, les quantiles sont lus de la manière suivante :



Explication des quantiles. Image adaptée du rapport Drias 2020.

Chaque quantile étant disponible pour une maille, le découpage du territoire en 9 zones géographiques a nécessité de moyenner les quantiles entre eux pour obtenir une valeur unique pour chaque zone. Pour cette raison, l'utilisation des termes « incertitude », « probabilité », ou encore « niveau de confiance », n'est plus correcte. **Le terme de « intervalle entre la marge haute et la marge basse » sera donc utilisé pour faire référence à la plage de 90% des valeurs. Plus cette plage est resserrée plus les valeurs sont concentrées autour de la médiane, c'est-à-dire que les modèles sont davantage en accord.**

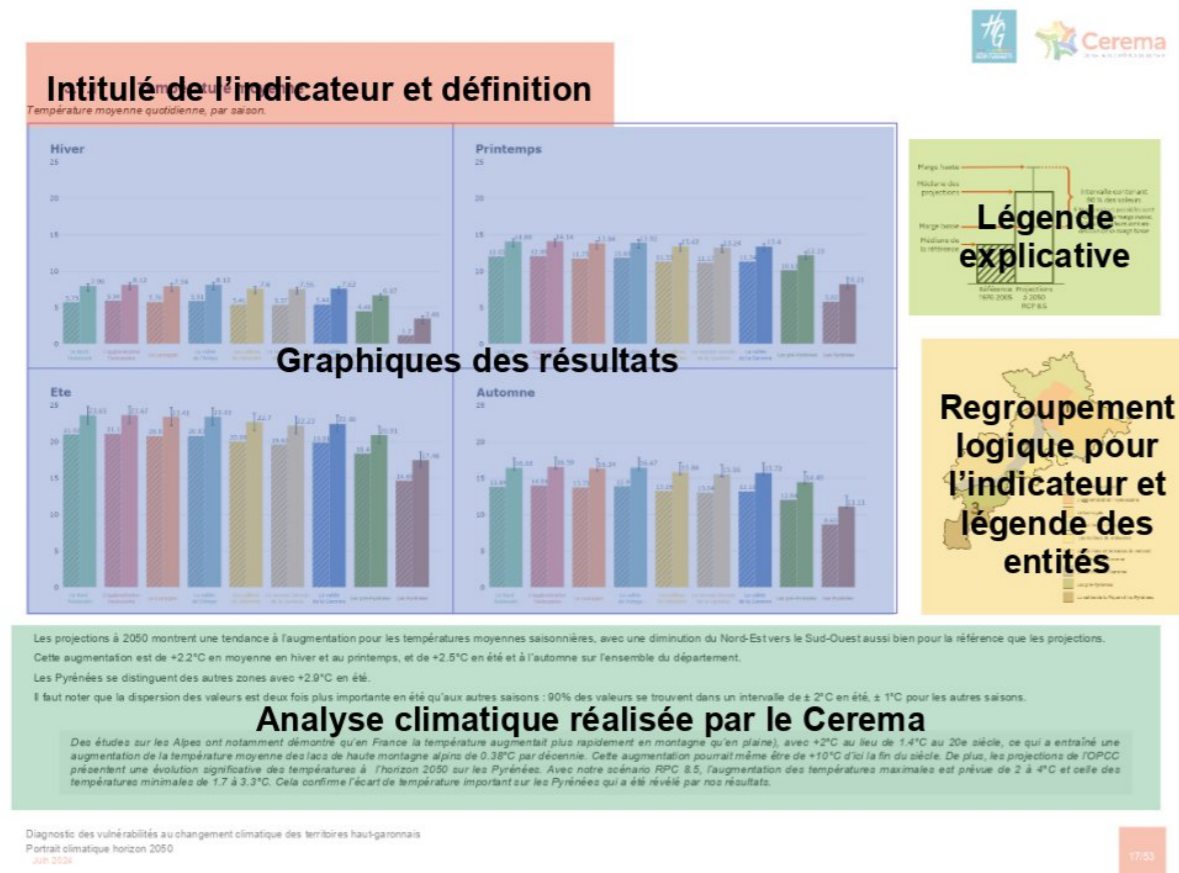
* ClimadiagCommune, site internet créé par Météo-France, propose une synthèse d'indicateurs climatiques à l'échelle de la commune. Trois horizons temporels sont disponibles : 2030, 2050, 2100. Ils sont calculés avec le RCP-8.5 du 5e rapport du GIEC pour suivre le scénario de réchauffement de la TRACC (+4°C en 2100 en France).

2.4. Lecture des résultats

Dans la partie 3 de ce rapport seront présentés les résultats de l'étude et l'analyse réalisée par le Cerema. Les sous-parties suivantes ont pour objectif d'aider à leur lecture.

2.4.1. Format de présentation

Les différents indicateurs sont présentés dans la partie 3 sous la forme de planches au format paysage. Le schéma ci-dessous guide l'interprétation de ces planches en détaillant la fonction de chaque zone.



2.4.2. Comprendre les graphiques

Les résultats de cette étude sont présentés sous forme d'histogrammes et de cartes.

Les histogrammes sont utilisés pour représenter les différentes zones redéfinies dans la phase de découpage territorial de l'étude. Pour chaque zone, la colonne hachurée, à gauche, affiche la médiane de référence ; la colonne pleine, à droite, affiche la médiane des projections. La colonne des projections comporte une marge représentée par un trait vertical, dont le point le plus élevé correspond à la valeur du q95, et le point le plus élevé à la valeur du q05. La longueur de ce trait vertical donne donc une idée de la dispersion de 90% des valeurs comprises entre le q05 et le q95, c'est l'intervalle entre la marge haute et la marge basse.

L'intervalle entre la marge haute et la marge basse est utilisé pour estimer la robustesse de la tendance. Cet intervalle est parfois appelé 'Boîte à moustaches'. Comme montré sur l'exemple ci-dessous, la tendance d'évolution est indiquée par la position de la médiane des projections par rapport à la médiane de référence. Cependant, si l'intervalle entre la marge haute et la marge basse englobe la médiane de référence, alors la tendance manque de robustesse, car les différentes projections montrent des évolutions contradictoires. Il est difficile de tirer des conclusions dans ce cas.

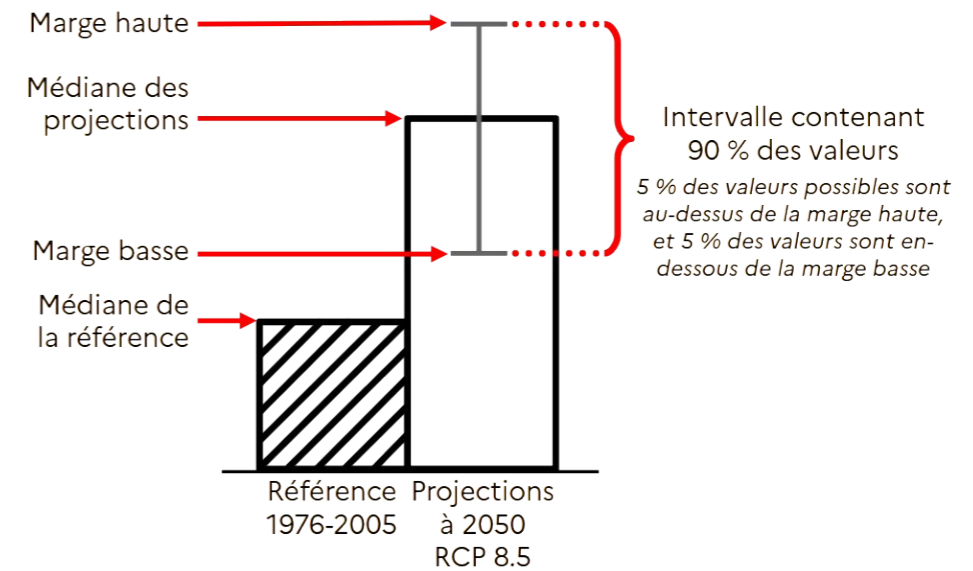
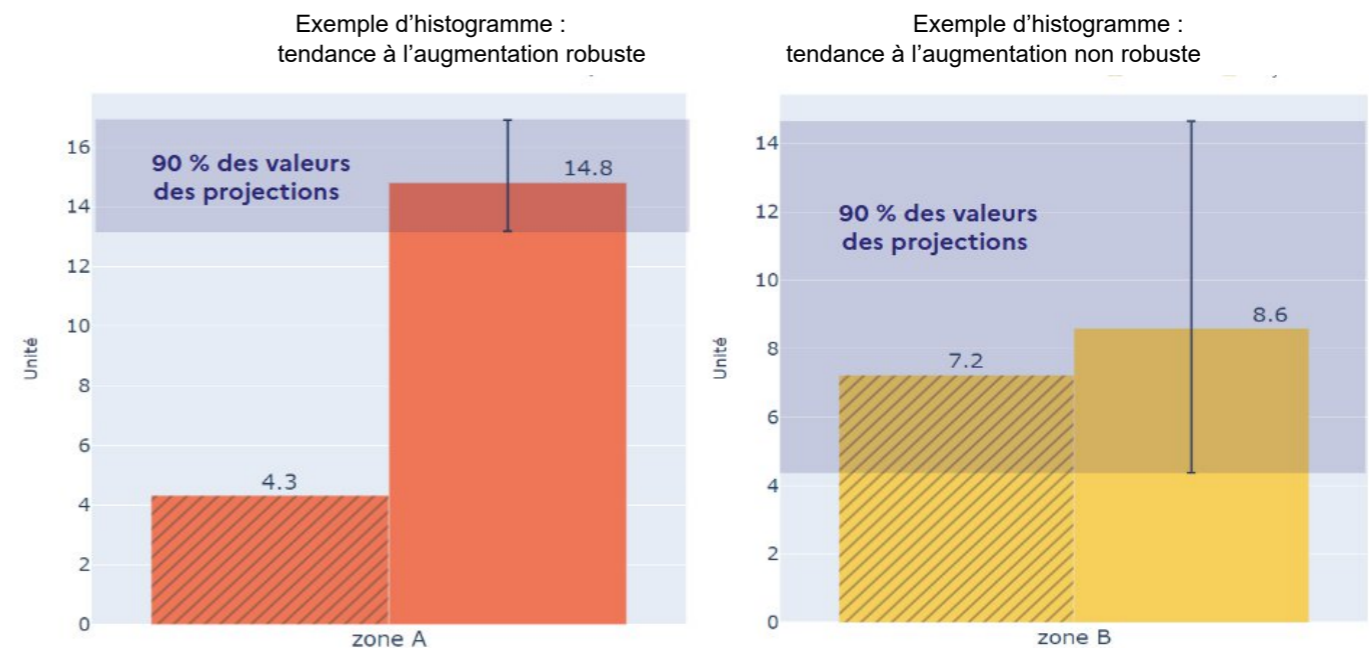


Schéma de lecture des résultats

Dans l'exemple ci-dessous, la zone A présente une tendance à l'augmentation forte et robuste, et la zone B présente une tendance à l'augmentation faible et non robuste. Il est possible de dire que la zone A montre une évolution à l'horizon 2050 de l'ordre de +10 unités, mais aucune conclusion ne peut être tirée sur l'évolution de la zone B.

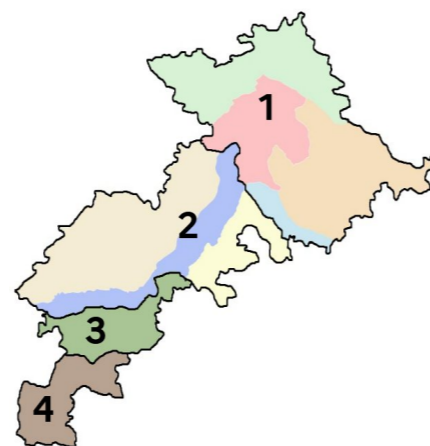


Exemples d'histogrammes pour comprendre la robustesse des tendances.

2.4.3. Regroupement des entités par indicateur

Pour chaque indicateur, il est possible de tirer des conclusions similaires sur plusieurs des 9 entités. Lorsque c'est le cas, la carte du département, à droite, indique les groupes identifiés. Il s'agit généralement de groupes associés au gradient présenté sur la page d'introduction de chaque catégorie d'indicateur. La légende des 9 entités et les couleurs des graphiques permettent de plus facilement associer chaque résultat à sa zone géographique et à son regroupement s'il existe.

Cependant, tous les indicateurs ne peuvent pas faire l'objet de regroupement géographique.



Exemple de regroupement des entités pour un indicateur

- **Moyenne par zone** : Réaliser la moyenne par zone géographique des points de grilles implique une perte d'information locale et peut noyer les variations au sein du territoire, c'est pourquoi il convient de s'assurer de l'homogénéité d'un territoire en amont pour correctement interpréter les résultats.

2.5.3. Variabilité naturelle du climat

Aux incertitudes techniques des projections s'ajoute l'incertitude du système étudié, à savoir le climat lui-même. En effet, le système climatique est composé de nombreux éléments en interaction évoluant à différents rythmes, dont les variations (interannuelles, annuelles, décennales ...) peuvent masquer temporairement l'évolution du climat, en particulier aux horizons courts (2030 à 2050).

2.5. Limites des modèles

L'utilisation d'un modèle de projection climatique implique un certain nombre d'incertitudes, à plusieurs moments de la chaîne opérationnelle. Nous mentionnerons ici les principales sources d'incertitudes des modèles.

2.5.1. Méthode de calcul

Par définition, un modèle traduit l'évolution de phénomènes physiques en équations mathématiques qui sont ensuite résolues. Dans le cas des modèles climatiques, le modèle est conditionné par des données d'observation. Les résultats sont un ensemble statistique de solutions possibles. Utiliser plusieurs modèles est utile pour comparer différentes méthodes de calculs et étoffer l'ensemble statistique des résultats. C'est l'objectif de Drias-2020, qui compare les résultats de trente modèles, sous forme de quantiles.

Tout au long de ce processus, des incertitudes sont présentes : qualité et quantité des observations, paramétrisation de chaque modèle, méthodes de calcul, application de méthodes statistiques sur les ensembles de résultats, correction et dé-biaisement des valeurs, etc. Pour cette raison, il est essentiel de conserver un regard critique sur les résultats d'une projection climatique. Plus l'horizon de temps est éloigné, plus ce regard critique est nécessaire (*Rapport 2020 Drias*).

2.5.2. Représentation spatiale

Comme présenté précédemment, la maille de Drias est composée de carrés de 8 km * 8km pour lesquels une seule valeur de projection est considérée. Cette représentation pose plusieurs difficultés :

- **Représentation des reliefs** : un seul point à une seule altitude est utilisé pour représenter une zone qui présente une forte variation d'altitude, différents versants, des contrastes de type de végétation et d'occupation du sol. Ceci impose une perte d'information importante et des projections très variables.
- **Représentation des phénomènes de petite échelle** : les îlots de chaleur urbain, le vent local, l'influence des cours d'eau, sont parmi les nombreuses variations locales qui ne peuvent être ni détectées ni modélisées par le multi-modèle Drias-2020, malgré les corrections.
- **Points limitrophes** : il arrive fréquemment qu'une maille soit à cheval sur plusieurs territoires, auquel cas l'algorithme Drias attribue à cette maille le territoire où se trouve son point central, ce qui pose des aberrations difficiles à corriger aux limites d'un territoire.

2.6. Description et interprétation des indicateurs

D'une manière semblable à ClimadiagCommune, 17 indicateurs météorologiques ont été sélectionnés pour étudier le climat en Haute-Garonne à l'horizon 2050. Ils ont été divisés en 4 catégories :

Catégorie	Indicateur	Définition
Augmentation de la température	Température moyenne saisonnière	Moyenne des températures quotidiennes, par saison.
	Nombre annuel de jours de fortes chaleurs	Nombre de jours pour lesquels la température maximale quotidienne est supérieure ou égale à 35°C, sur l'année.
	Nombre annuel de nuits tropicales	Nombre de jours pour lesquels la température minimale quotidienne est supérieure ou égale à 20°C, sur l'année.
	Nombre annuel de canicules	Nombre moyen de d'occurrences où la température maximale a dépassé les 36°C et la température minimale les 21°C, pendant au moins 3 jours consécutifs, sur année. Ces seuils sont spécifiques à la Haute-Garonne.
	Durée moyenne d'une canicule	Durée moyenne d'une occurrence de canicule.
	Nombre annuel de jours échaudants	Nombre de jours pour lesquels la température maximale quotidienne est supérieure ou égale à 25°C, sur l'année.
	Nombre annuel de jours de gel	Nombre de jours pour lesquels la température minimale quotidienne est inférieure ou égale à 0°C, sur l'année.
	Période à risque de gel annuelle	Période entre le premier gel automnal et dernier gel printanier, sur l'année.
Perturbation des régimes de précipitations	Cumul annuel de précipitations	Somme des précipitations quotidiennes, par année.
	Cumul saisonnier de précipitations	Somme des précipitations quotidiennes, par saison.
	Nombre saisonnier de jours de pluie	Nombre de jours où le cumul des précipitations est supérieur ou égal à 1 mm, par saison.
	Évapotranspiration potentielle saisonnière	Quantité d'évaporation qui pourrait se produire en cas d'approvisionnement en eau du sol suffisant, par saison.
	Épaisseur de neige mensuelle selon l'altitude	Moyenne par mois des épaisseurs quotidiennes de neige à chaque niveau d'altitude de 300 à 3300 m, sur l'année.

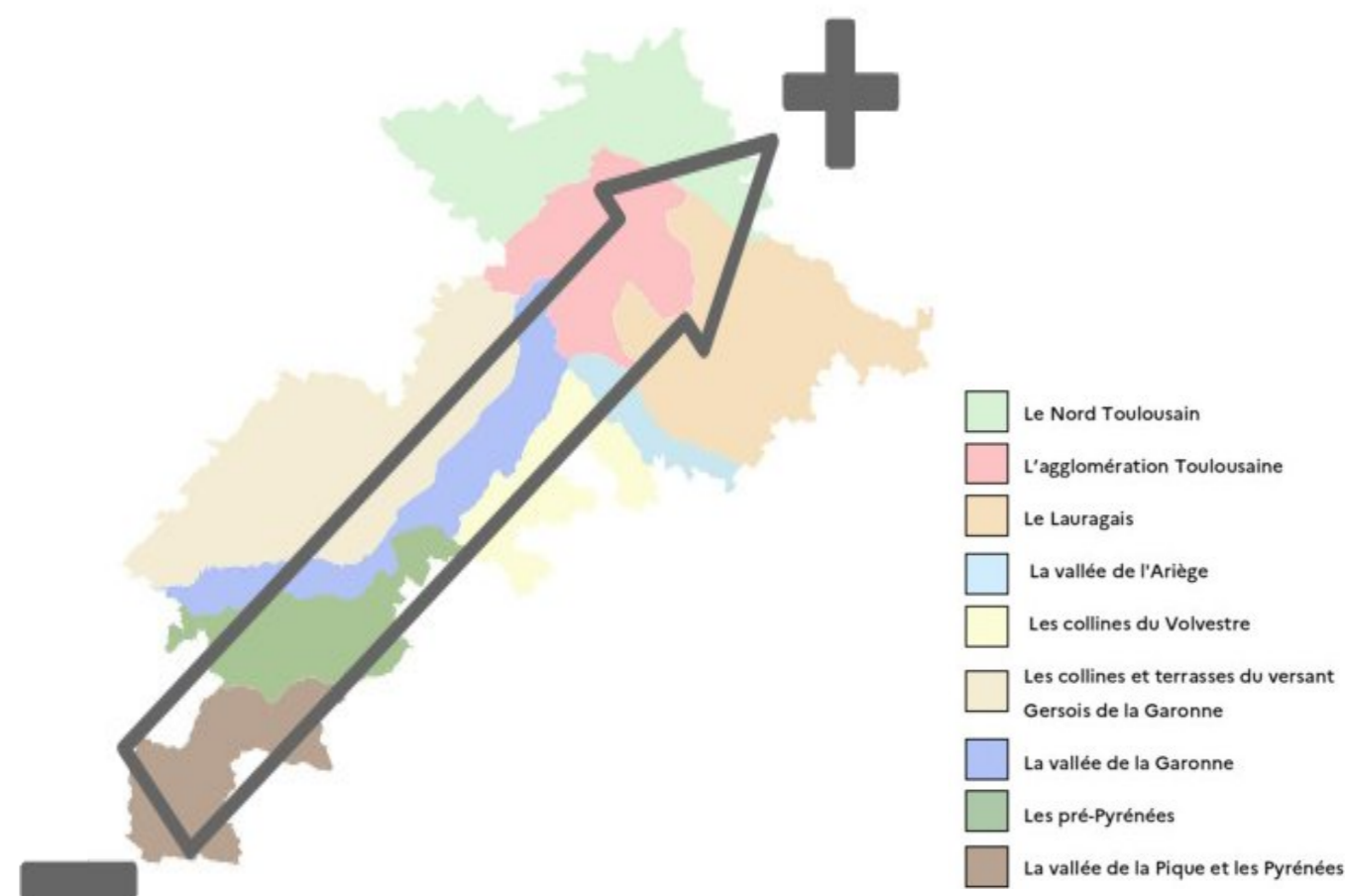
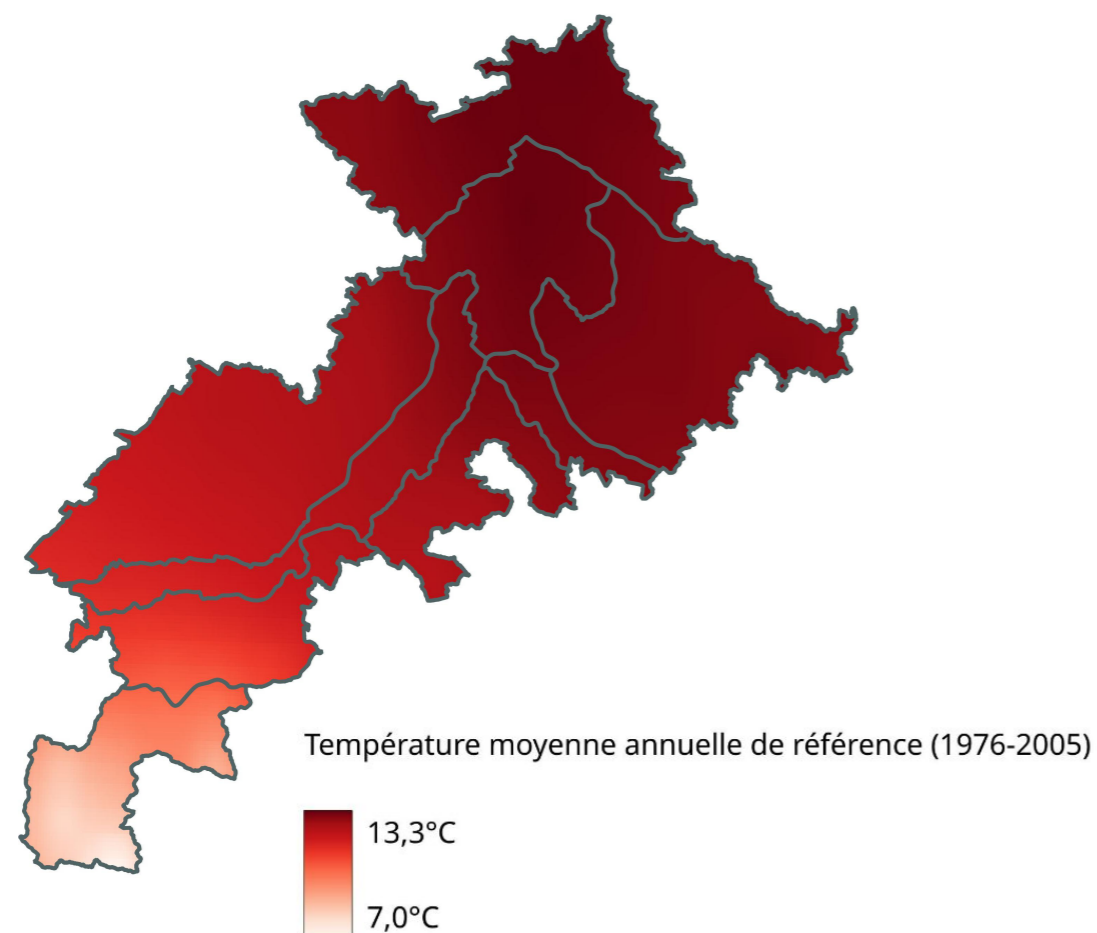
Impacts sur le sol et la végétation	Disponibilité thermique du maïs, du tournesol et du blé	Somme des températures supérieures à 6°C de mars à septembre pour le maïs/tournesol, et supérieures à 0°C, de octobre à juillet, pour le blé.
	Nombre saisonnier de jours à risque de feu de végétation	Nombre de jours où l'Indice Feu Météo (IFM) est supérieur à 40. L'Indice Feu-Météo, créé par Météo-France, correspond au diagnostic Danger Feu de Végétation Vivante ; il tient compte de la probabilité de son éclosion et de son potentiel de propagation (il y a une corrélation entre l'IFM moyen et le nombre de départs de feu).
	Nombre saisonnier de jours avec sol sec	Nombre de jours où l'indice de sécheresse du sol (Soil Wetness Index) est supérieur ou égal à 0.4, par saison. Le modèle utilisé pour simuler le SWI prend en compte : les flux d'eau et d'énergie à l'interface sol-biosphère-atmosphère, et l'évolution du débit des rivières et des principales nappes de surface. Il prend aussi en compte l'occupation du sol (types de végétation, urbanisation). $SWI = (W - Wwilt) / (Wfc - Wwilt)$ où W est le contenu intégré en eau du sol, Wwilt le contenu en eau au point de flétrissement et Wfc le contenu en eau du sol à la capacité au champ.
Impacts sur la ressource en eau	Débits saisonniers des cours d'eau	Moyennes saisonnières des débits des trois cours d'eau principaux (Garonne, Tarn, Ariège) en m ³ /s. Déclinaisons selon les très faibles débits (quantile 5) et très forts débits (quantiles 95).

3. EVOLUTION DES PARAMÈTRES CLIMATIQUES

L'objectif de cette partie est de comprendre l'exposition climatique du département et plus spécifiquement des neufs territoires haut-garonnais décrites plus haut afin de fournir une étude régionalisée. Chaque indicateur précédemment cité est illustré par une valeur de référence historique (1976-2005) comparée à un horizon de projection à la moitié du XXI^e siècle (2050). Un intervalle de confiance contenant 90% des valeurs entre la valeur haute et la valeur basse permet d'affiner l'étude de l'indicateur et de vérifier sa robustesse.

3.1. Augmentation de la température

A l'échelle du département, la température et les indicateurs qui en découlent présentent un gradient nord-est / sud-ouest, excepté les indicateurs concernant le gel qui font apparaître le gradient inverse. Les valeurs les plus élevées sont au nord-est et les plus basses sont au sud-ouest, en relation avec le relief du territoire.

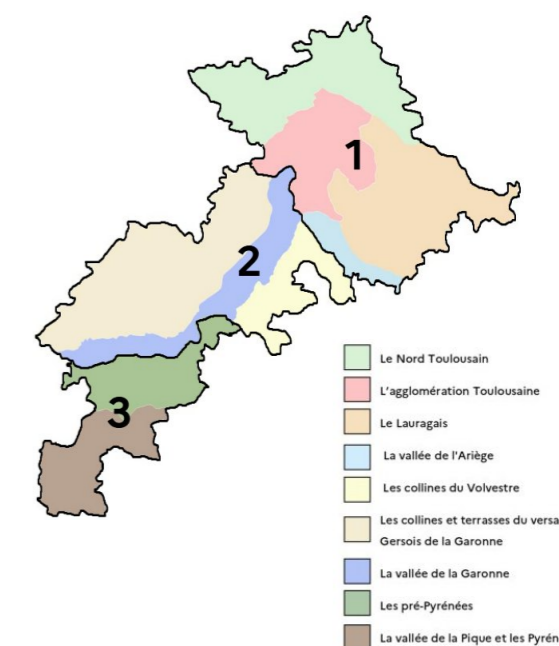
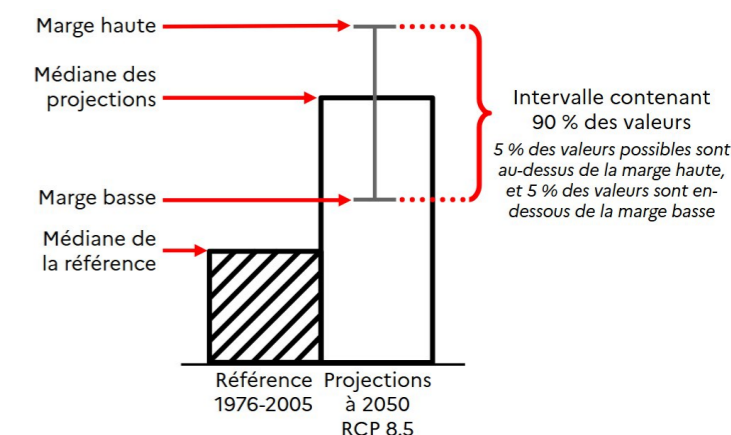
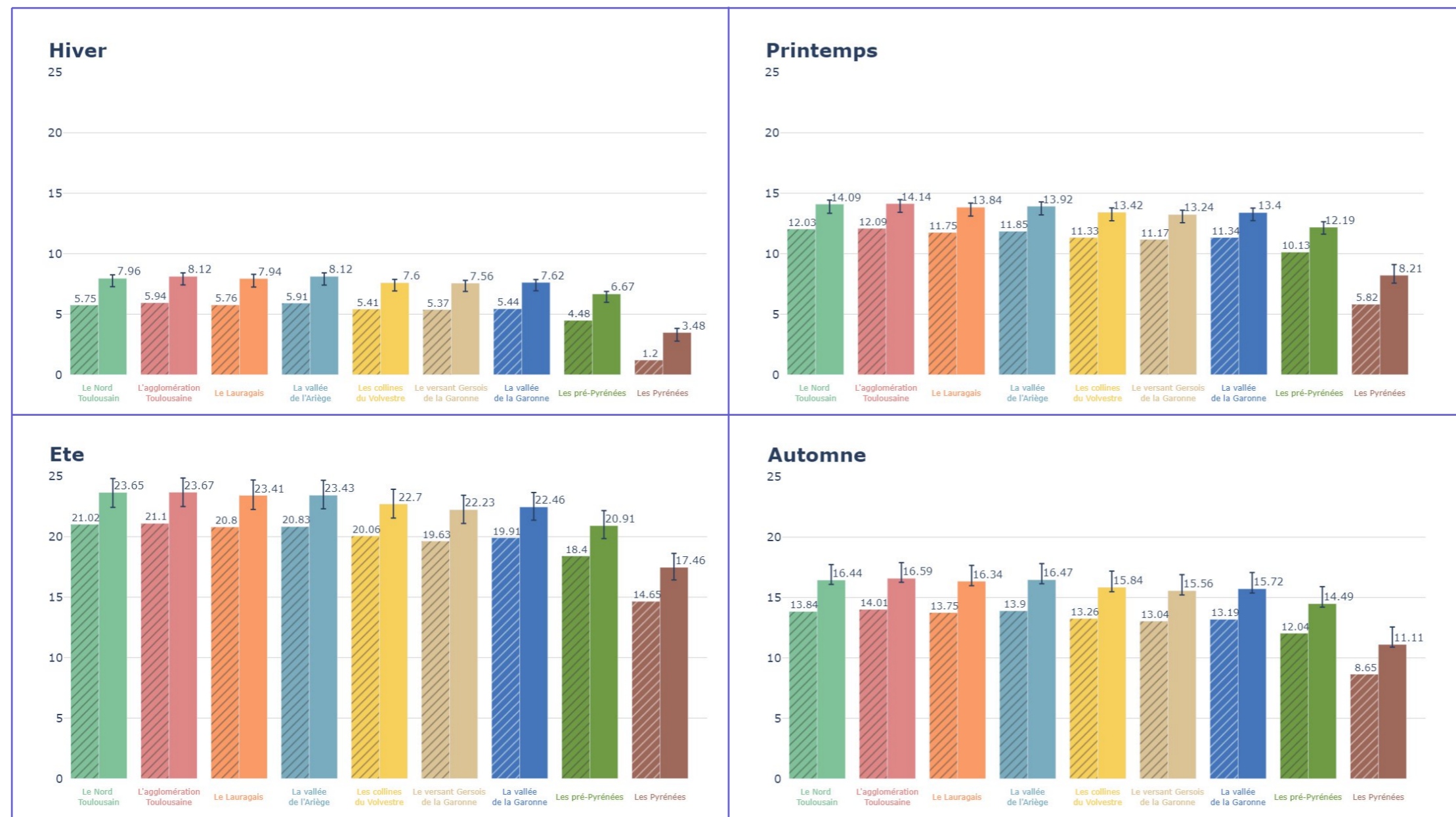


Liste des indicateurs du volet température :

- Température moyenne saisonnière
- Nombre annuel de jours de fortes chaleurs
- Nombre annuel de nuits tropicales
- Nombre annuel de canicules
- Nombre annuel de jours échaudants
- Nombre annuel de jours de gel
- Période de gel annuelle (en dates)

3.1.1. Température moyenne

Température moyenne quotidienne, par saison.



Les projections à 2050 montrent une tendance à l'augmentation pour les températures moyennes saisonnières. Le gradient de température du nord-est vers le sud-ouest est légèrement atténué par le changement climatique. Cette augmentation est de +2.2°C en moyenne en hiver et au printemps, et de +2.5°C en été et à l'automne sur l'ensemble du département.

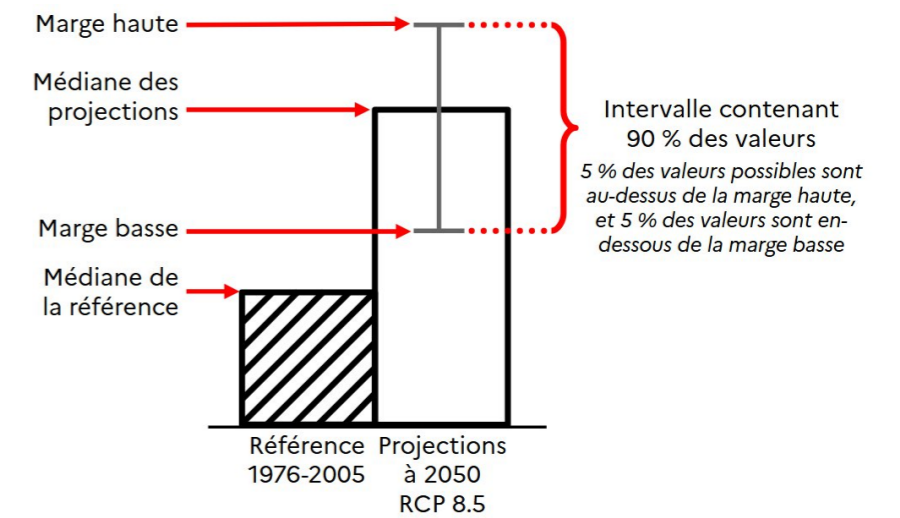
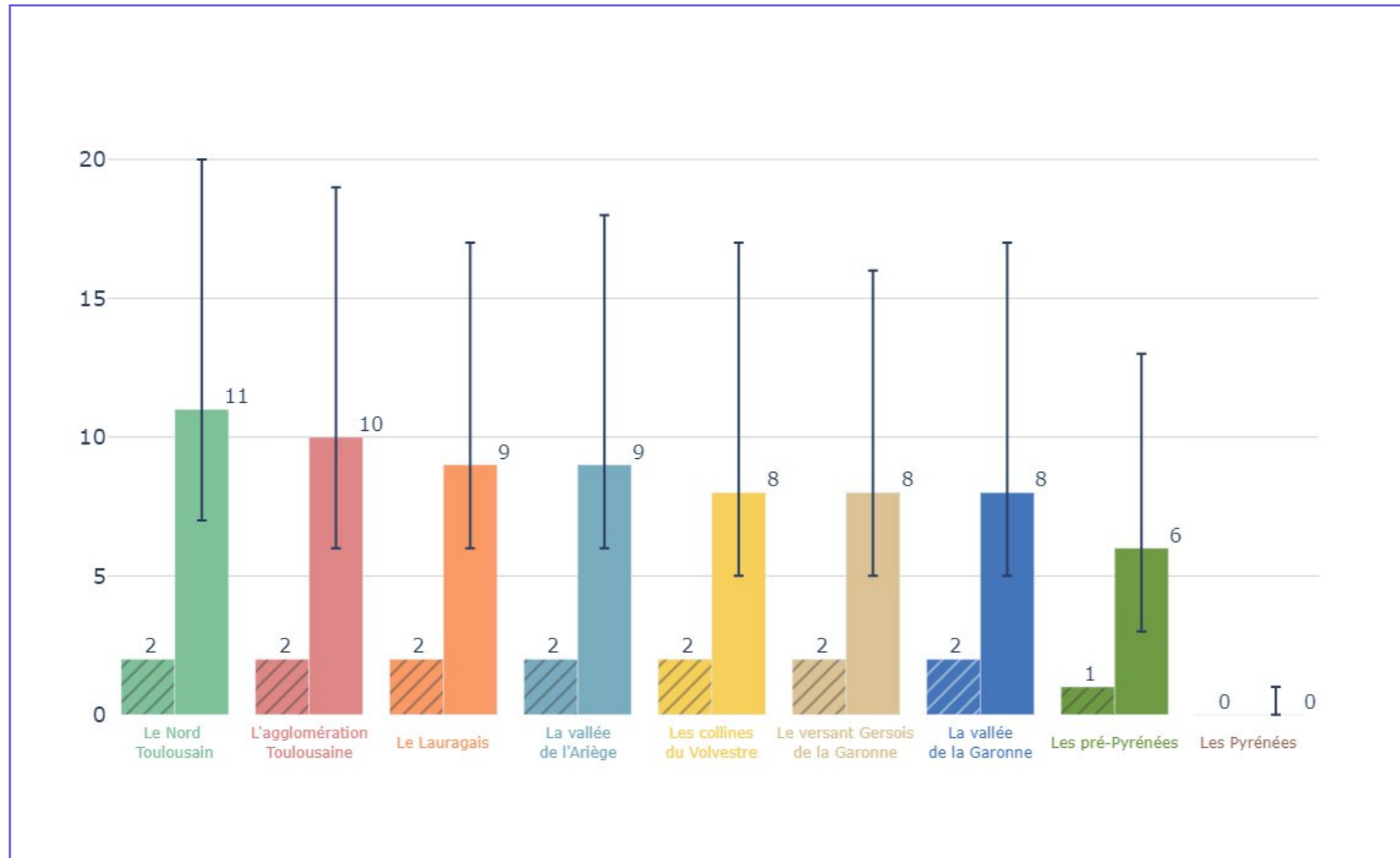
Les Pyrénées se distinguent des autres zones avec +2.8°C en été.

Il faut noter que la dispersion des projections est deux fois plus importante en été qu'aux autres saisons : 90% des valeurs se trouvent dans un intervalle de ± 2°C en été, ± 1°C pour les autres saisons.

Des études sur les Alpes ont notamment démontré qu'en France la température augmentait plus rapidement en montagne qu'en plaine), avec +2°C au lieu de 1.4°C au 20e siècle, ce qui a entraîné une augmentation de la température moyenne des lacs de haute montagne alpins de 0.38°C par décennie (ASTERS) . Cette augmentation pourrait même être de +10°C d'ici la fin du siècle. De plus, les projections de l'OPCC présentent une évolution significative des températures à l'horizon 2050 sur les Pyrénées. Avec le scénario RPC 8.5 choisi dans l'étude, l'augmentation des températures maximales est prévue de +2°C à +4°C et celle des températures minimales de +1.7 à +3.3°C. Cela confirme l'ordre de grandeur de l'écart de température sur les Pyrénées qui a été révélé par nos résultats.

3.1.2. Nombre annuel de jours de fortes chaleurs (en jours)

Nombre de jours pour lesquels la température maximale quotidienne est supérieure ou égale à 35°C, sur l'année.

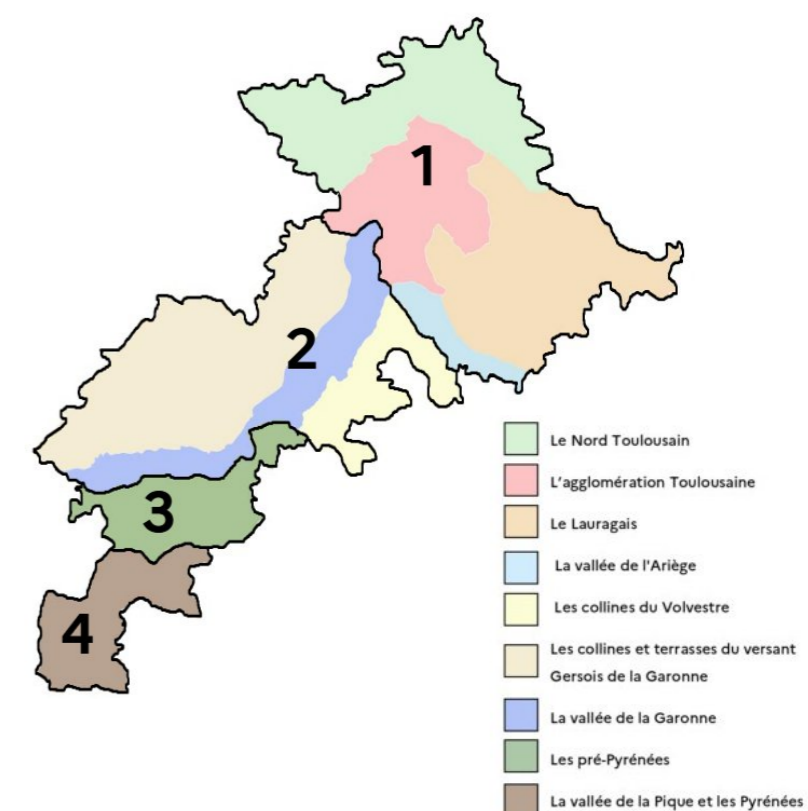
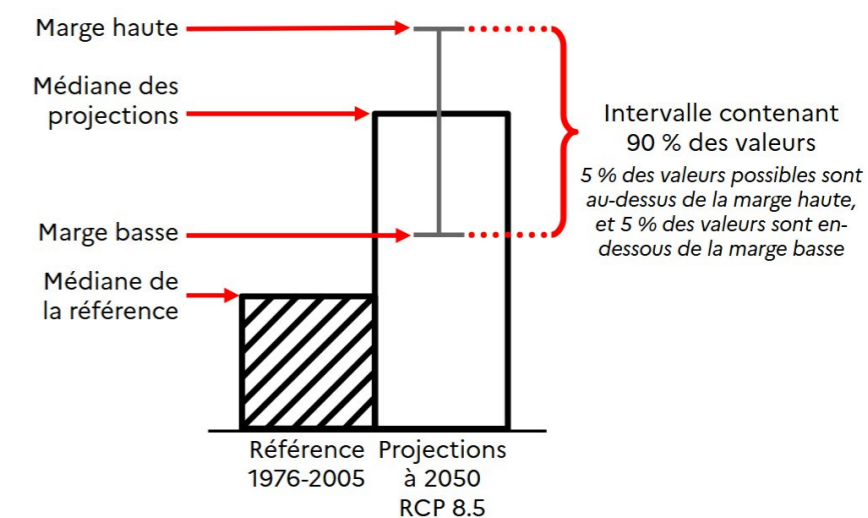
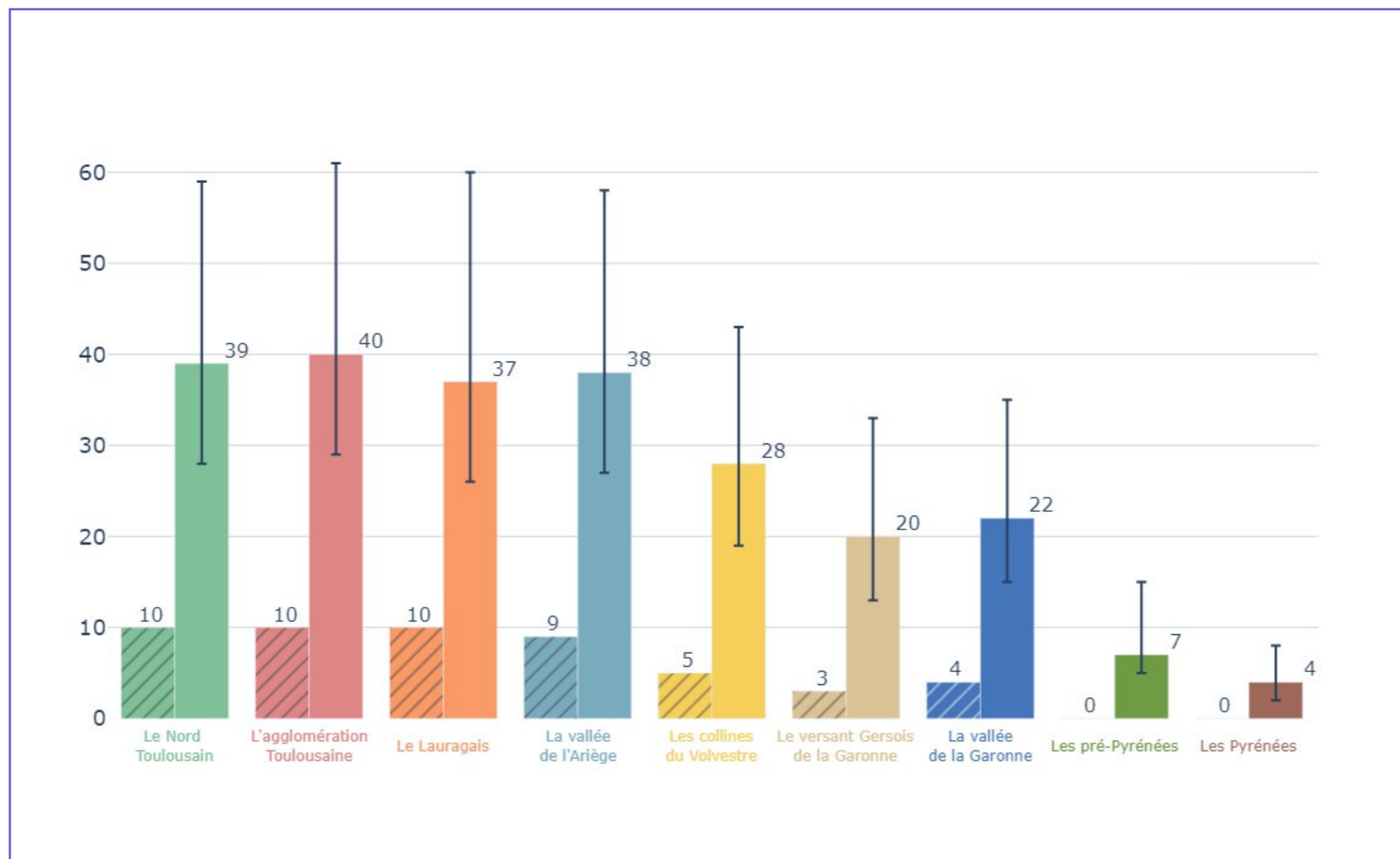


Le nombre annuel de jours de fortes chaleurs augmentera fortement à l'horizon 2050. Un gradient décroissant du nord-est vers le sud-ouest est visible. Les valeurs de référence sont **multipliées d'un facteur 4 à 6** pour les projections. Cet indicateur comporte une grande variabilité dans les projections avec des marges hautes élevées. De 11 à 6 jours du nord au sud en médiane de référence, l'indicateur peut monter **jusqu'à 20 jours** sur le Nord Toulousain, soit plus de 1 j sur 5 en été aux extrêmes.

Ce phénomène suit une tendance robuste. Il est et sera majoritairement présent en été, à l'horizon 2050 il devrait **apparaître également au printemps et à l'automne** (sauf dans les Pyrénées).

3.1.3. Nombre annuel de nuits tropicales (en jours)

Nombre de jours pour lesquels la température minimale quotidienne est supérieure ou égale à 20°C, sur l'année.



La tendance à l'horizon 2050 est à l'**augmentation forte** en ce qui concerne le nombre annuel de nuits tropicales. Elles sont rencontrées majoritairement l'été.

Dans le groupe 1, ce phénomène sera 4 fois plus fréquent dans les projections à 2050. Cela représente une évolution d'occurrence de 10 à **40 nuits tropicales par année**, débordant sur le printemps et l'été. Ce phénomène sera encore plus fréquent dans les grandes villes où a lieu le phénomène d'îlot de chaleur urbain qui peut générer +3°C en moyenne à Toulouse (**90 nuits tropicales**).

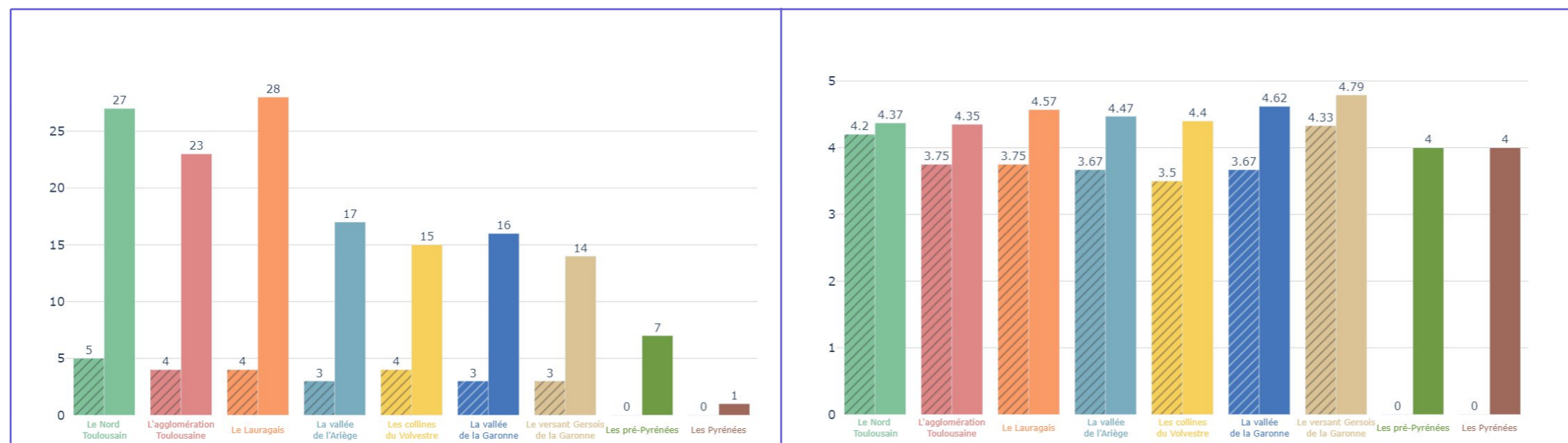
Dans le groupe 2, ces valeurs sont moitié moins importantes, mais l'occurrence de nuits tropicales est multiplié par 6 par rapport à la référence.

En montagne, le phénomène apparaîtra, plus souvent dans les pré-Pyrénées que dans les Pyrénées.

3.1.4. Nombre de canicules en 30 ans (à gauche, en occurrences) et Durée moyenne d'une canicule (à droite, en jours)

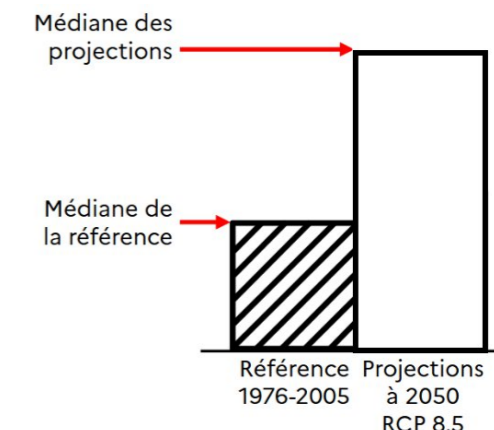
Une canicule est une période de 3 jours consécutifs au moins où la température maximale quotidienne est supérieure ou égale à 36°C et la température minimale quotidienne est inférieure ou égale à 21°C.

Cet indicateur a nécessité une exploitation de données plus brutes de DRIAS que les autres. Il est basé sur un seul modèle (CNRM CMIP5) et ne comporte donc pas de quantiles multimodèles (les boîtes à moustache sur les histogrammes).



Nombre de canicules en 30 ans

Durée moyenne d'une canicule



Le phénomène de canicule est essentiellement remarqué au mois d'août sur la période de référence (1976-2005) avec en moyenne 1 période de canicule tous les 10 ans sur le département, excepté dans les Pyrénées et pré-Pyrénées.

A l'horizon 2050, le phénomène apparaîtra dans les pré-Pyrénées et les Pyrénées, et pourra apparaître sur le reste du territoire sur une période temporelle plus étendue (**de la fin du printemps jusqu'au début de l'automne**).

Le phénomène s'intensifie, il y aura sur le département **5 fois plus de canicules** à l'horizon 2050. Elles dureront en moyenne **1j de plus**, mais pourraient s'étendre jusqu'à 11 jours pour les plus longues.

Cependant, il est important de noter que le nombre de canicules en 2050 sur l'agglomération (et en particulier sur l'agglomération toulousaine) ne prend pas en compte le phénomène d'îlot de chaleur urbain et sous-estime ainsi les évolutions probables.

3.1.5. Focus sur les îlots de chaleur urbains

Informations sur le phénomène d'îlot de chaleur urbain :

L'îlot de chaleur urbain (température plus élevée la nuit en ville qu'à la campagne) est un phénomène localisé propre aux zones les plus urbanisées. Un phénomène similaire a lieu le jour, appelé « surchauffe urbaine ». L'urbanisation, l'absence de végétation, et l'inertie thermique des surfaces, peuvent amener une différence de plusieurs degrés entre la ville et la campagne. **Le changement climatique ne va pas modifier largement cette différence.** Il va cependant étendre les zones soumises aux ICU. Par ailleurs, l'allongement des canicules est susceptible d'entraîner une augmentation du phénomène.

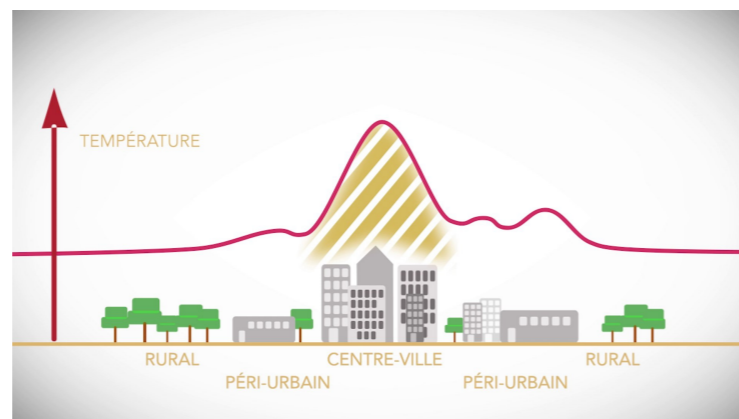
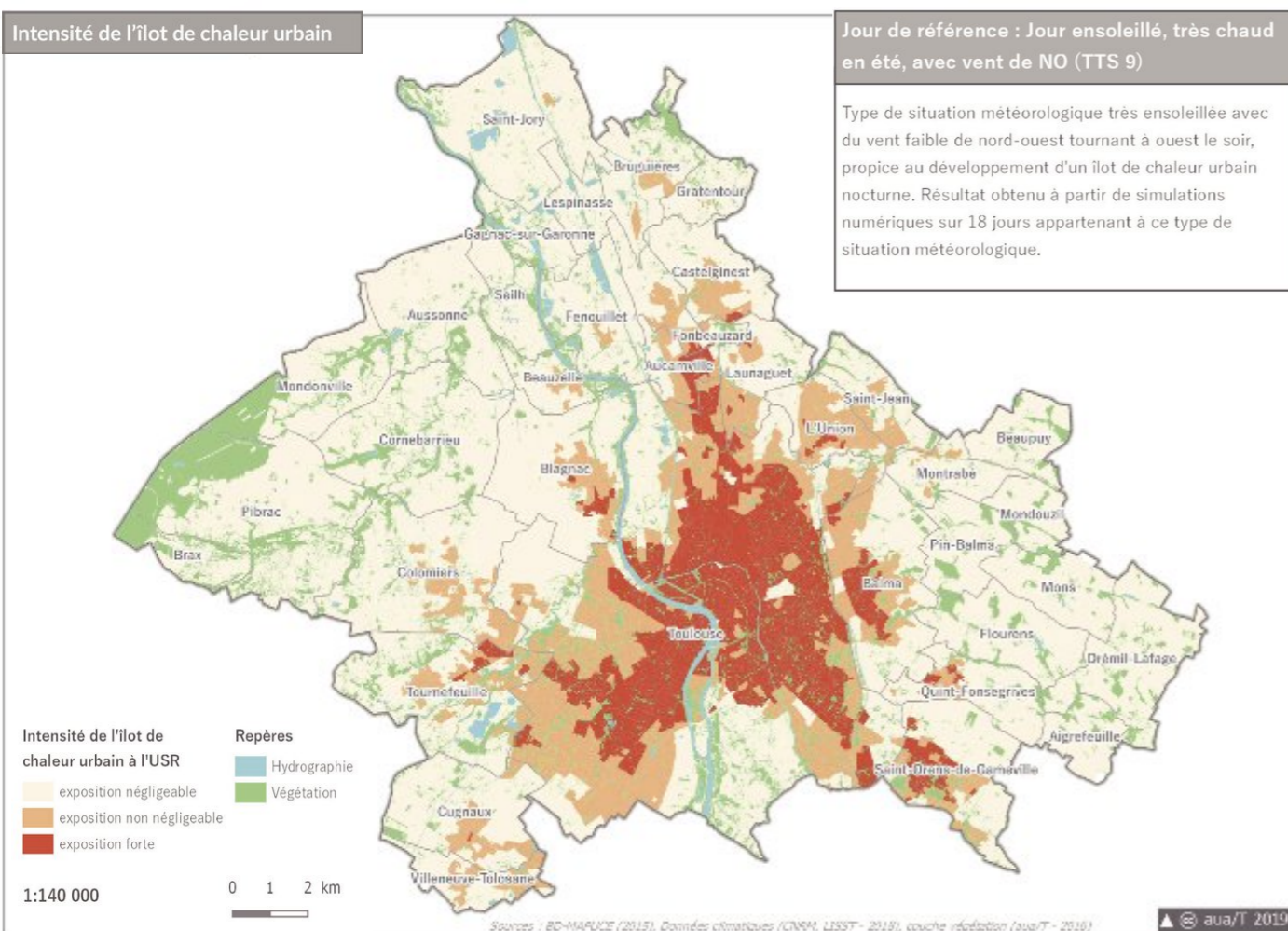


Schéma du phénomène d'îlot de chaleur urbain.

En moyenne, l'écart de température généré par l'ICU est de +4°C sur Toulouse métropole, au maximum +6°C. Il est très variable à la limite de la ville en fonction des aménagements urbains (Agence d'Urbanisme et d'Aménagement de Toulouse).



Intensité de l'îlot de chaleur urbain sur la métropole toulousaine. Source : Toulouse Métropole.

Les îlots de chaleur urbains prévus par ClimadiagCommune par Météo-France ont été calculés à partir de simulations numériques et prennent en compte plusieurs indicateurs pouvant influencer l'intensité de l'ICU : la population totale, la distance au centre de l'agglomération, la distance au littoral et le climat d'influence de la ville. Selon ce calcul, ClimadiagCommune estime un ICU d'une amplitude +3°C à Toulouse, +2°C à Colomiers et +1°C à Cugnaux, Muret et Auterive. Cette modélisation est simplifiée et elle sous-estime probablement le phénomène mais la méthode harmonisée permet de l'utiliser sur plusieurs communes du territoire.

Modélisation avec la prise en compte du phénomène d'îlot de chaleur urbain en Haute-Garonne :

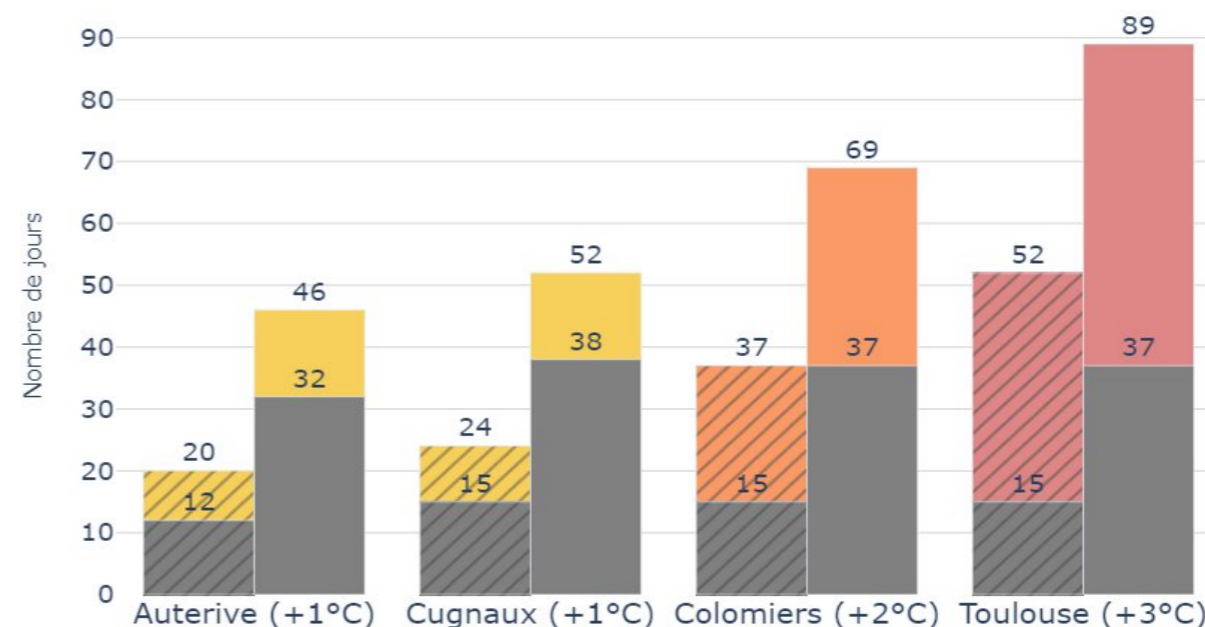
Comme évoqué précédemment, les modèles utilisés dans l'étude n'ont pas une résolution assez fine pour inclure le phénomène d'îlot de chaleur urbain dans leurs prévisions.

A partir des données journalières de température minimale, une modélisation simplifiée de l'effet des ICU sur le nombre de nuits tropicales est proposée pour 4 villes ayant des amplitudes thermiques différentes au sein de la métropole (Toulouse : +3°C, Colomiers : +2°C, Cugnaux : +1°C) et une ville hors de l'agglomération toulousaine (Auterive : +1°C). Les seuils utilisés pour l'ICU sont ceux de ClimadiagCommune.

Le graphique ci-dessous montre clairement le phénomène d'îlot de chaleur urbain, qui s'amplifie est s'approchant de Toulouse. Pour les ICU de +2°C et +3°C, l'ICU augmente de 90 et 140% le nombre de nuits tropicales.

Cette modélisation reste simpliste et la Métropole de Toulouse a lancé un diagnostic de vulnérabilité au changement climatique qui inclura un profil climatique de la métropole et donnera plus d'éléments tangibles sur le sujet.

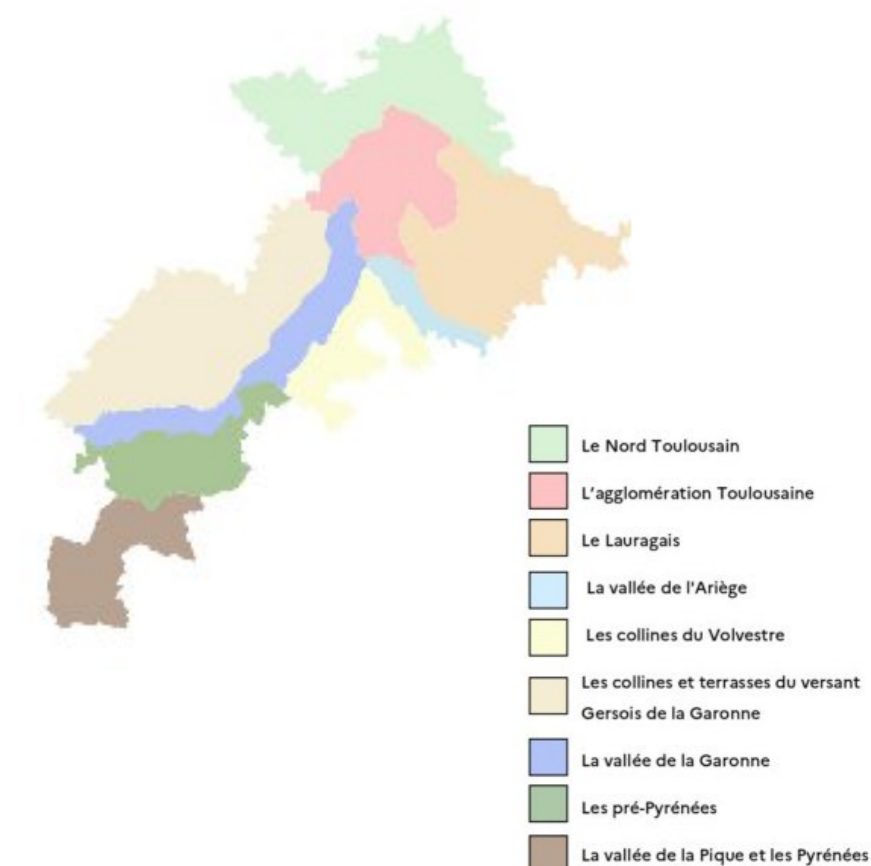
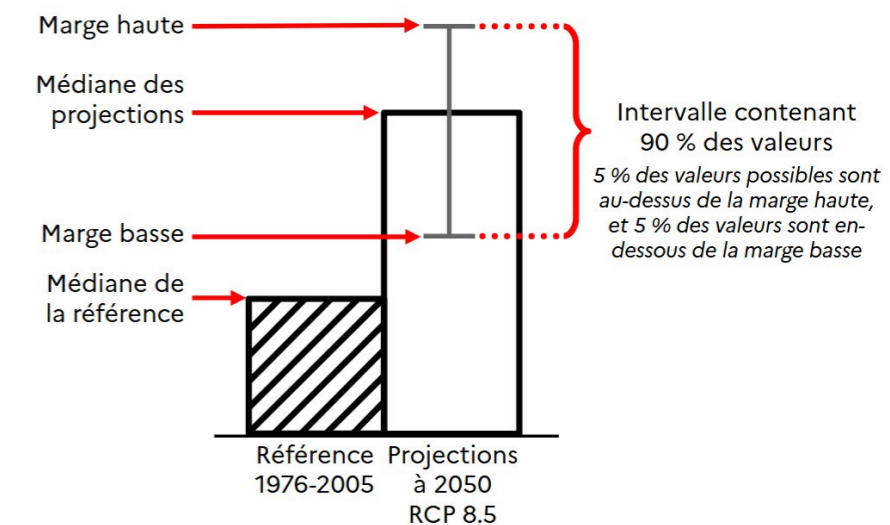
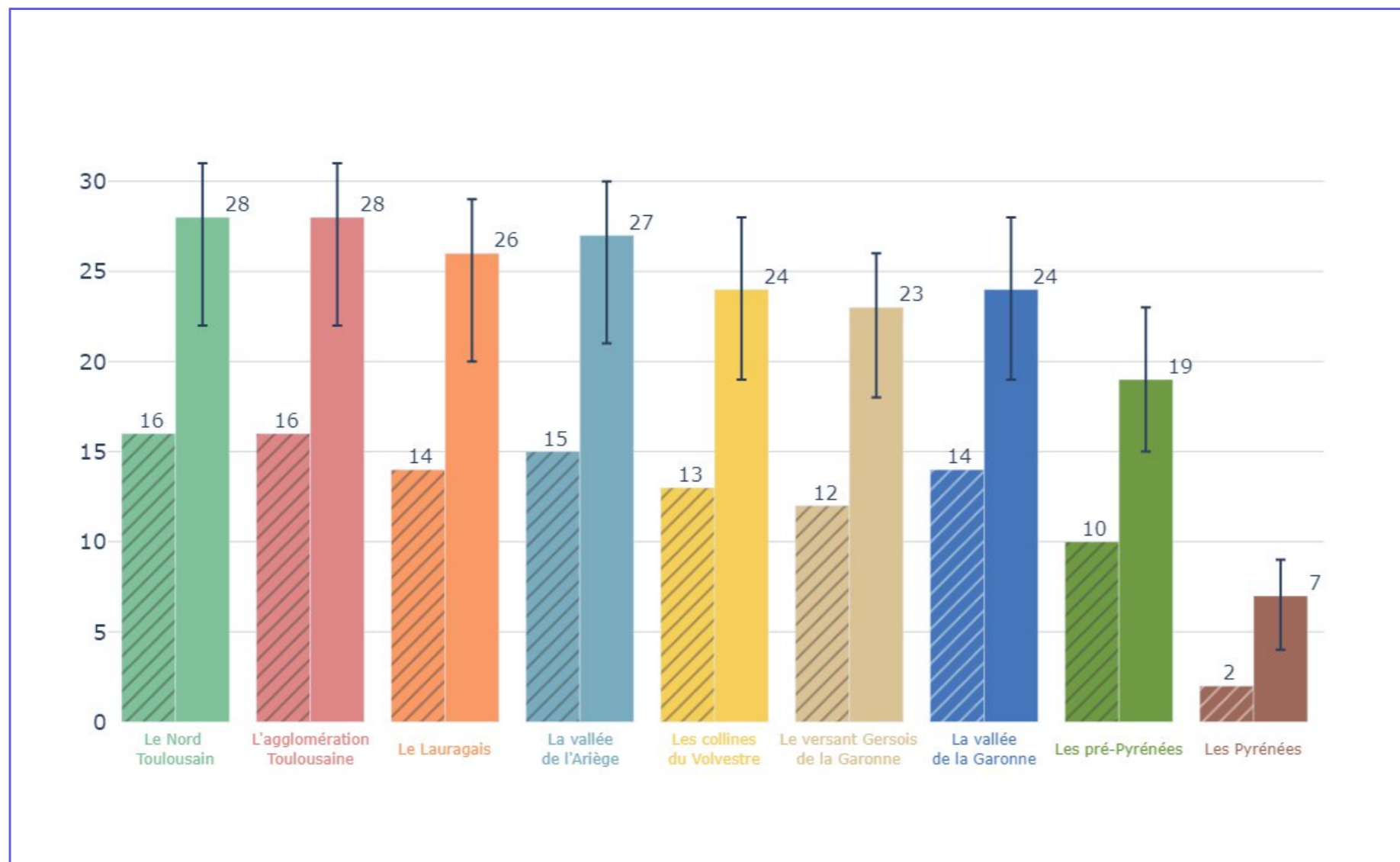
Influences des ICU sur les nuits tropicales



Indicateur Nuits tropicales avec ICU (couleur) et sans ICU (gris), pour différentes valeurs d'ICU. Seules les médianes de référence et de projection sont affichées.

3.1.6. Nombre annuel de jours échaudants (en jours)

Nombre de jours pour lesquels la température maximale quotidienne est supérieure ou égale à 25°C, sur l'année.



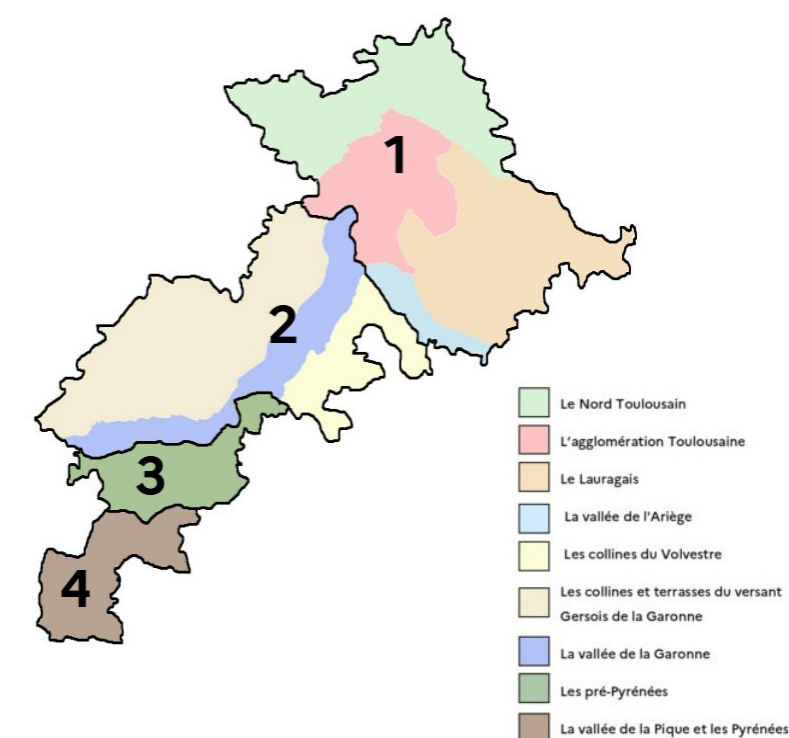
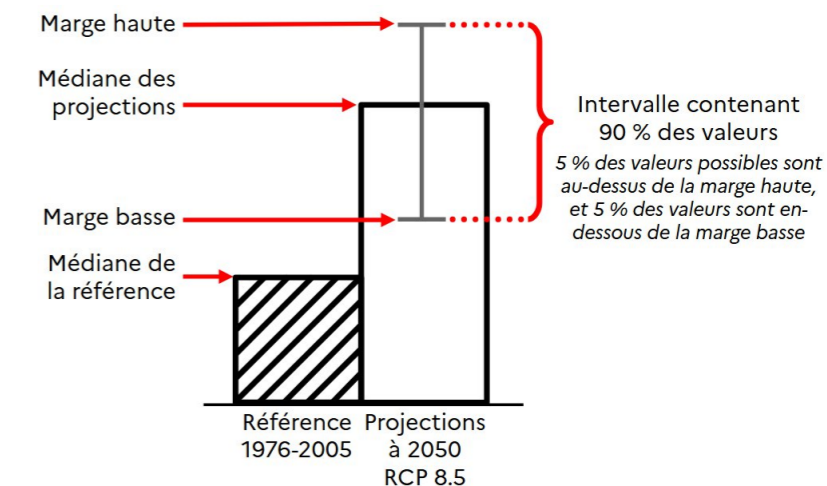
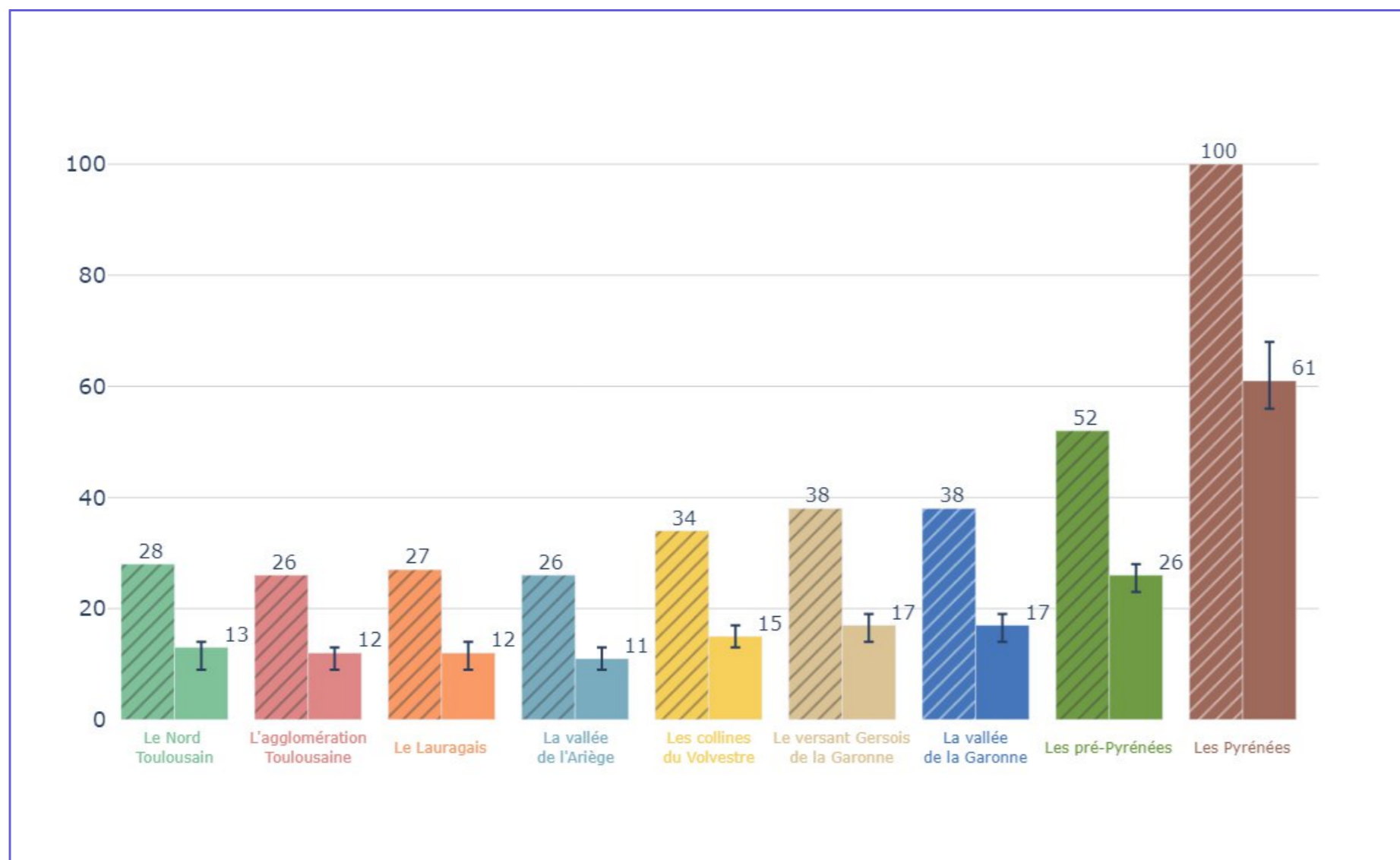
Le nombre annuel de jours échaudants va augmenter fortement d'ici 2050.

L'augmentation sera de 12 à 5 jours du nord au sud, avec des valeurs **multipliées par 2** en moyenne sur chaque zone.

Ce phénomène assez rare dans les Pyrénées va se normaliser.

3.1.7. Nombre annuel de jours de gel (en jours)

Nombre de jours pour lesquels la température minimale quotidienne est inférieure ou égale à 0°C, sur l'année.

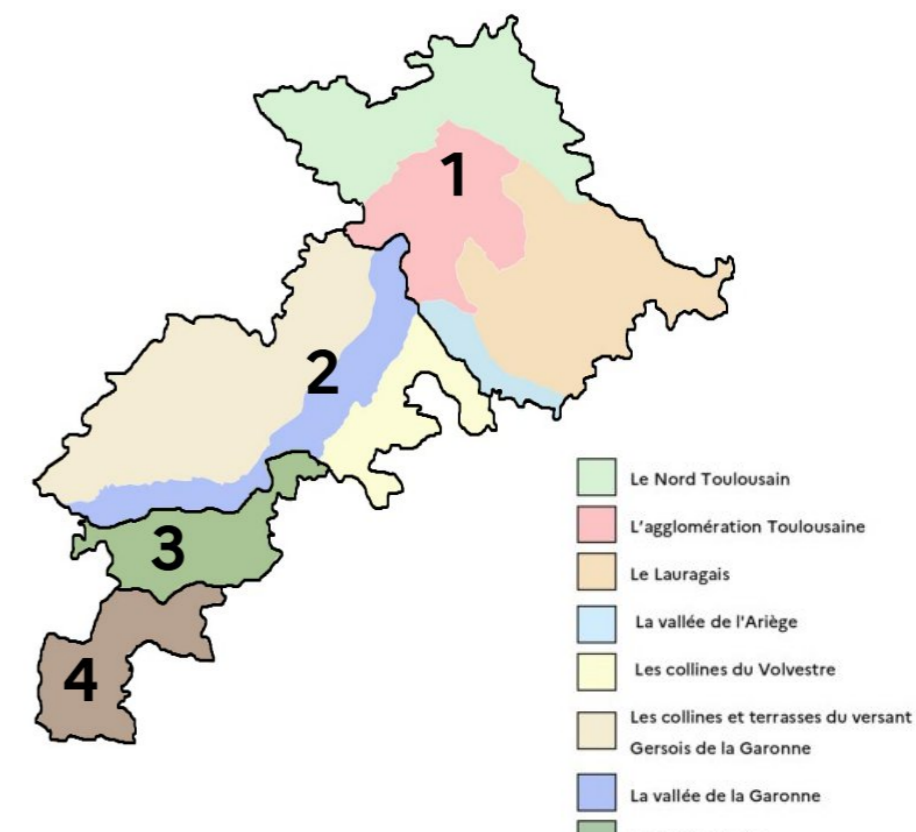
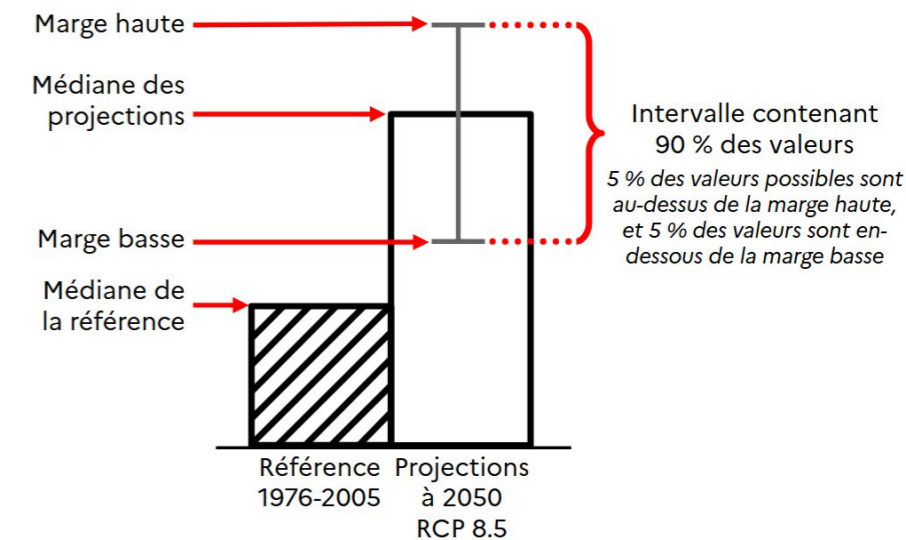
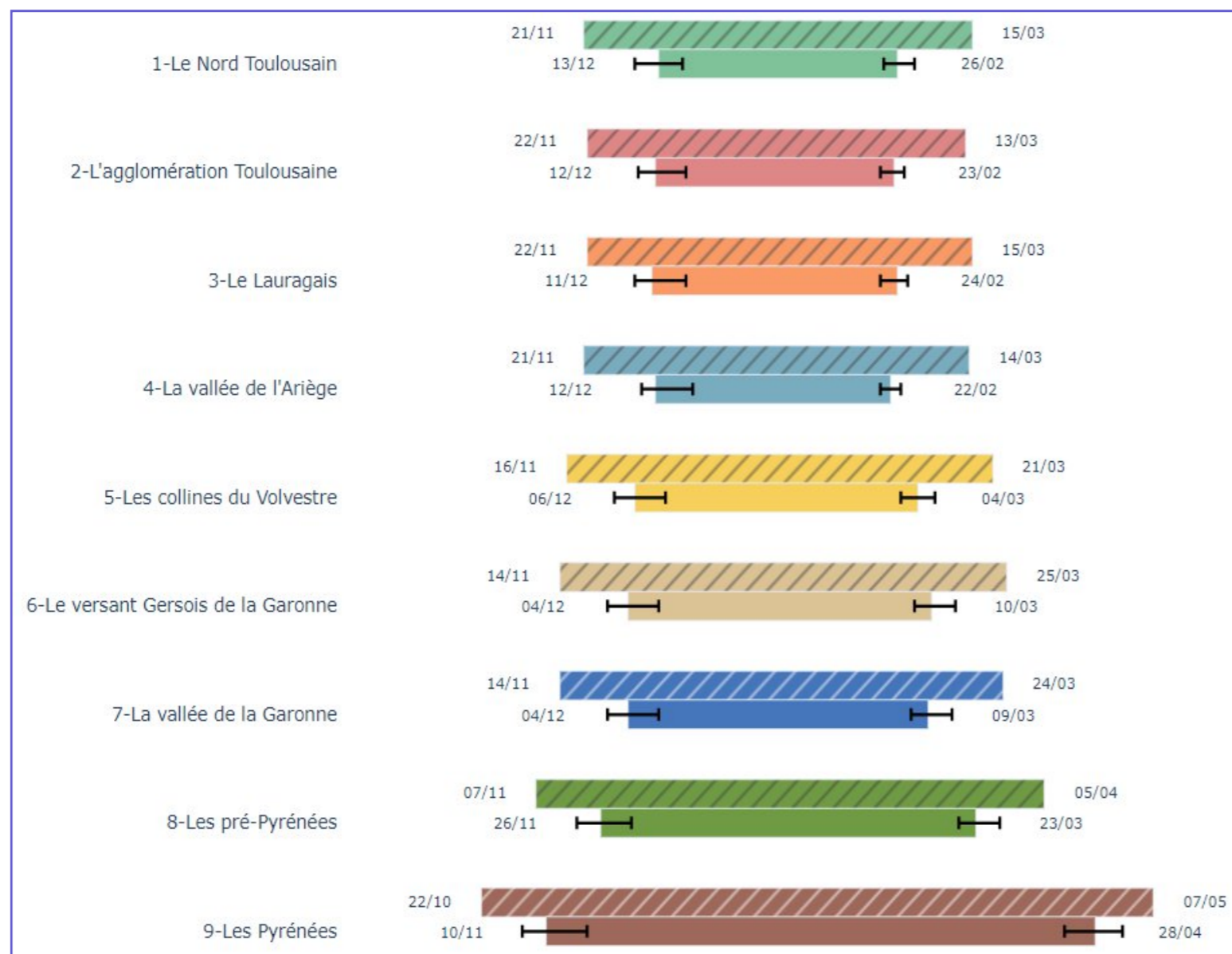


A l'horizon 2050, le nombre de jours de gel par année va diminuer fortement, suivant un gradient du nord-est au sud-ouest. Cet indicateur est particulièrement robuste : les valeurs sont très resserrées autour de la médiane. La tendance est à -15 jours sur le groupe 1, -20 jours sur le groupe 2, et -26 jours sur les pré-Pyrénées, ce qui correspond à une **diminution de 50 %**. 90 % des valeurs sont réparties à ± 2 jours autour de la médiane de projection. Les Pyrénées resteront la zone où le nombre de jours de gel est le plus élevé passant de 100 à 61 entre les médianes de référence et de projections, soit une diminution de 40 %. 90 % des valeurs sont réparties à ± 5 jours autour de la médiane de projection. Cet indicateur est très robuste.

L'isotherme 0°C est l'altitude à partir de laquelle la température reste inférieure à 0°C. Dans les Pyrénées, la remontée en altitude de l'isotherme 0°C permanent est estimée à environ 500m d'ici 2050 (Carrasco, 2005).

3.1.8. Période à risque de gel (en dates)

Période temporelle entre le premier gel automnal et dernier gel printanier, sur l'année.



En lien avec le nombre annuel de jours de gel, la période à risque de gel va diminuer fortement à l'horizon 2050.

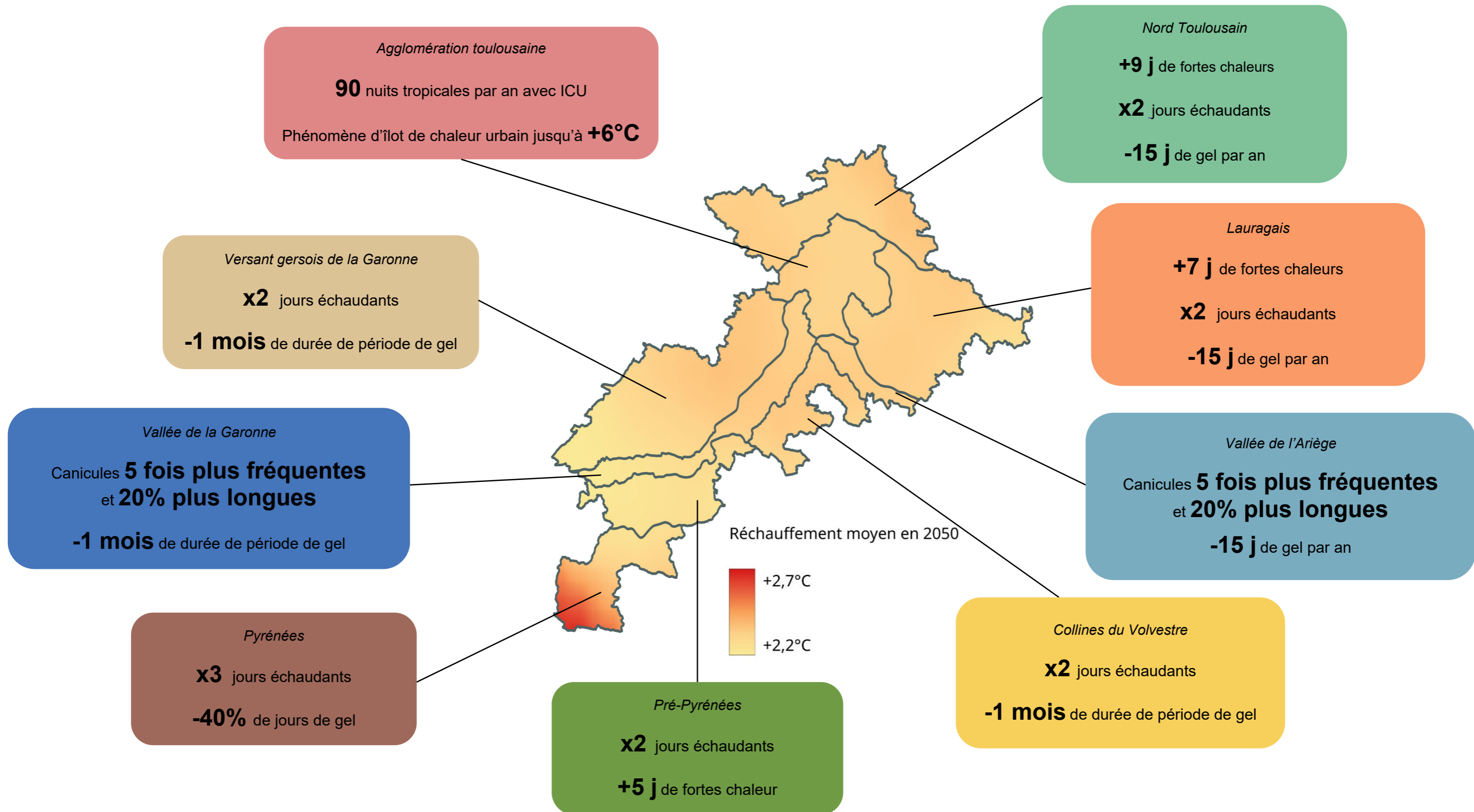
Les groupes 1 et 3 perdront 40 jours sur l'année, le groupe 2 perdra 35 jours sur l'année, et les Pyrénées perdront 30 jours sur l'année.

En moyenne, **la période à risque de gel commencera 3 semaines plus tard à l'automne et finira 2 semaines plus tôt au printemps**. Il est à noter que le raccourcissement de la période de gel est plus robuste au printemps qu'à l'automne. La section 3.3.3 détaille l'évolution du risque associé aux gelées tardives.

3.1.9. A retenir sur l'augmentation des températures

Sur cette planche, une mosaïque d'indicateurs pertinents au regard des spécificités locales est proposée.

Écart entre la référence (1976-2005) et la projection à 2050 de la température moyenne annuelle



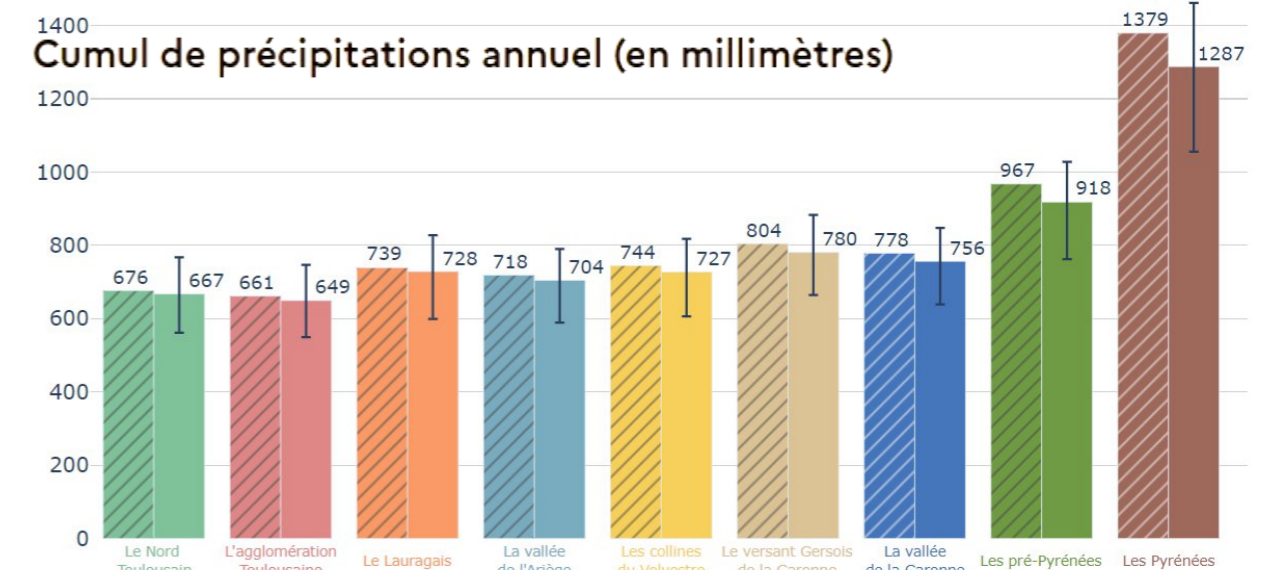
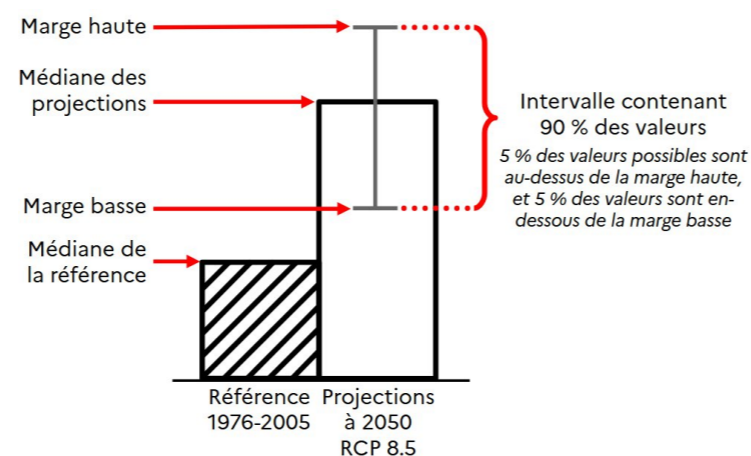
3.2. Perturbation des régimes de précipitations

A l'échelle du département, les précipitations et les indicateurs qui en découlent présentent un gradient nord-est / sud-ouest. Les valeurs les plus élevées sont au sud-ouest et les plus basses sont au nord-est, proportionnellement au relief du territoire. Les régions de Revel (★) et de Montréjeau (☆) sont deux points locaux où les précipitations sont plus élevées qu'aux environs. Il est important de croiser les cumuls de précipitations avec le nombre de jours de pluie par saison pour déterminer s'il s'agit d'une évolution de la fréquence ou de l'intensité des précipitations. Il y a également une saisonnalité des pluies inversées entre l'hiver au sud et le printemps au nord : en moyenne il pleut 70 mm/mois au nord, février étant le plus sec et mai le plus pluvieux, et il pleut jusqu'à 140 mm/mois au sud, juillet étant le plus sec et novembre le plus pluvieux. Le cumul annuel des précipitations montre une tendance très légère à la baisse mais sans aucune robustesse. Cette supposée variation ne doit donc pas être exploitée.



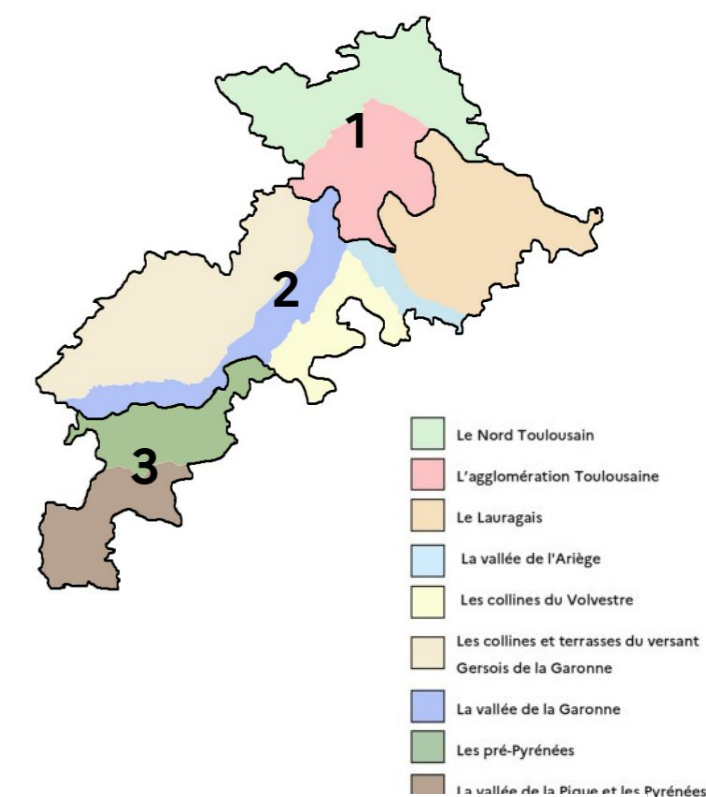
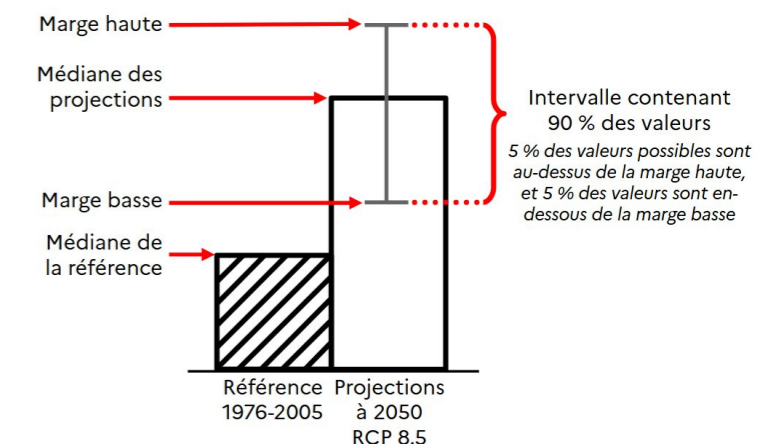
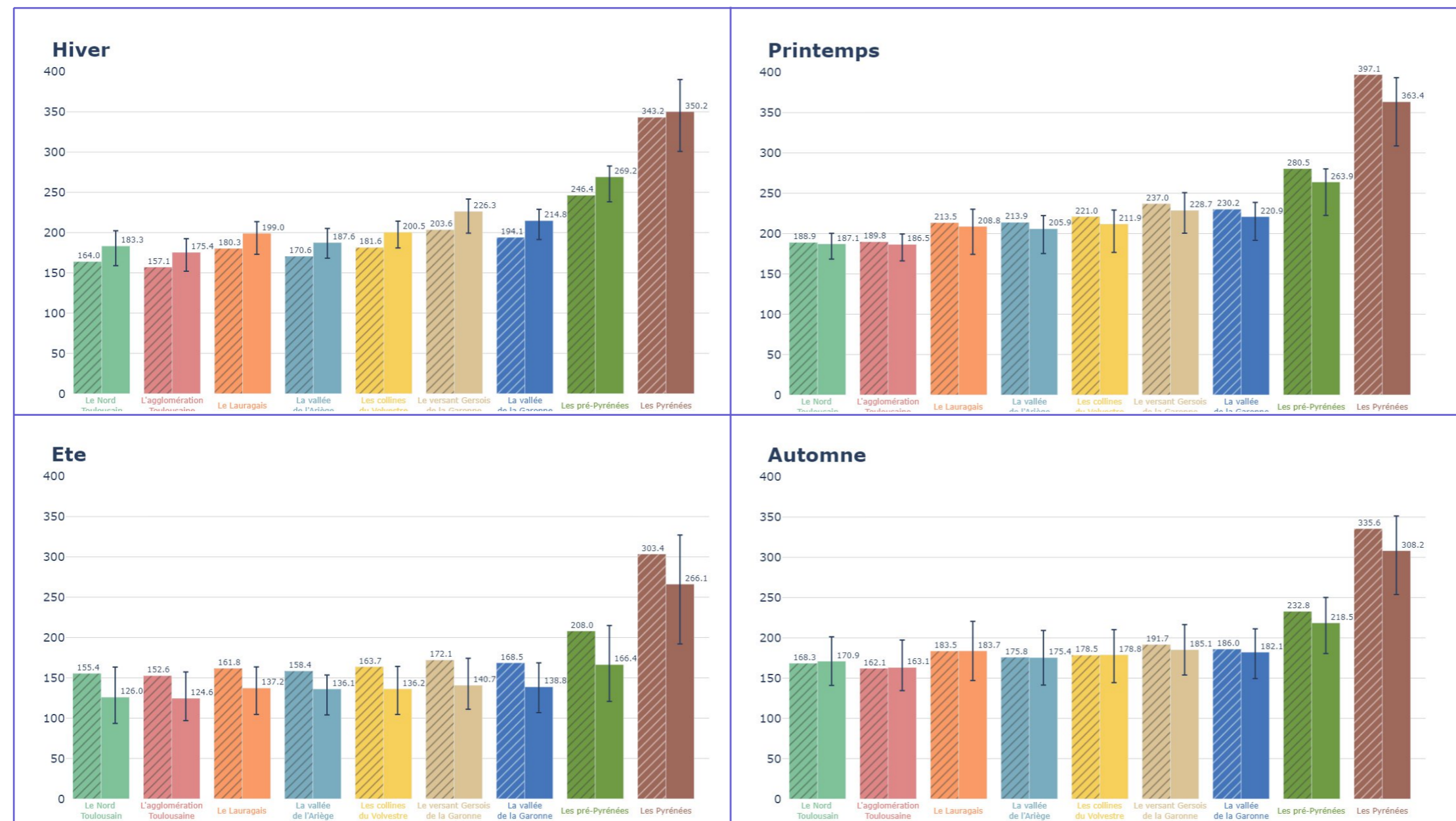
Liste des indicateurs du volet précipitations :

- Cumul saisonnier de précipitations
- Nombre saisonnier de jours de pluie
- Évapotranspiration potentielle saisonnière
- Épaisseur de neige mensuelle selon l'altitude



3.2.1. Cumul saisonnier de précipitations (en millimètres)

Cumul de précipitations moyen, par saison.

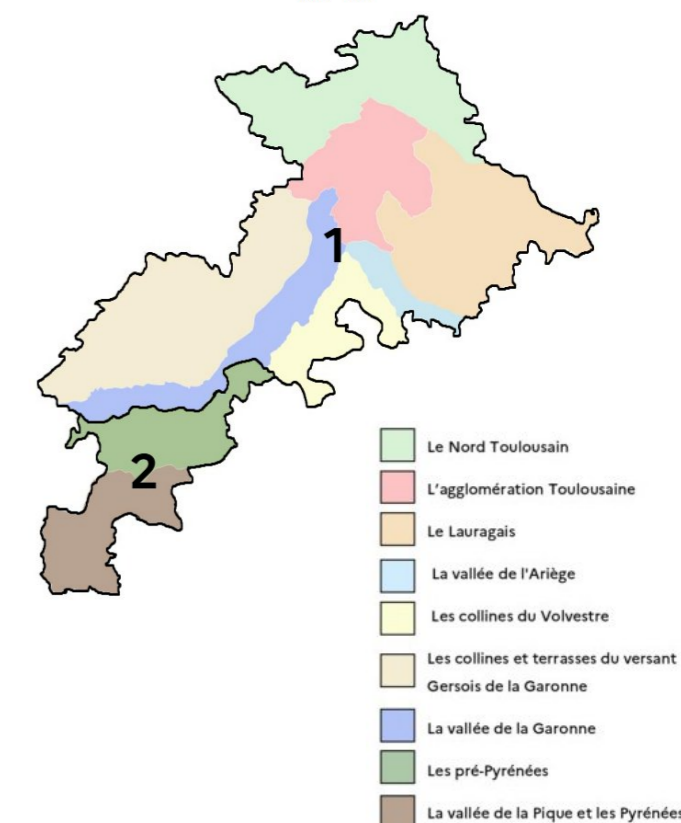
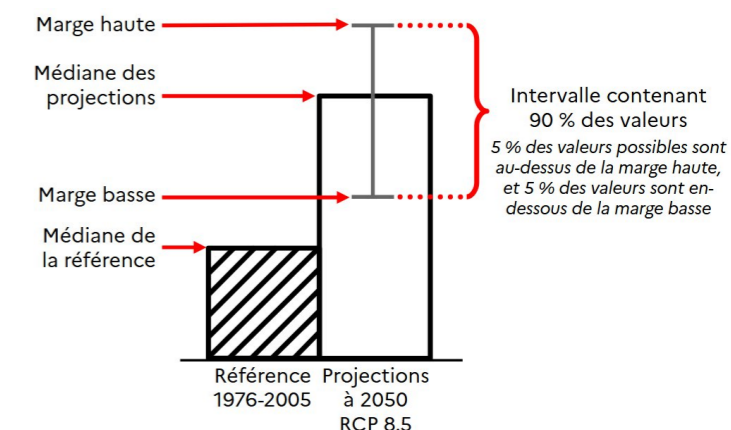
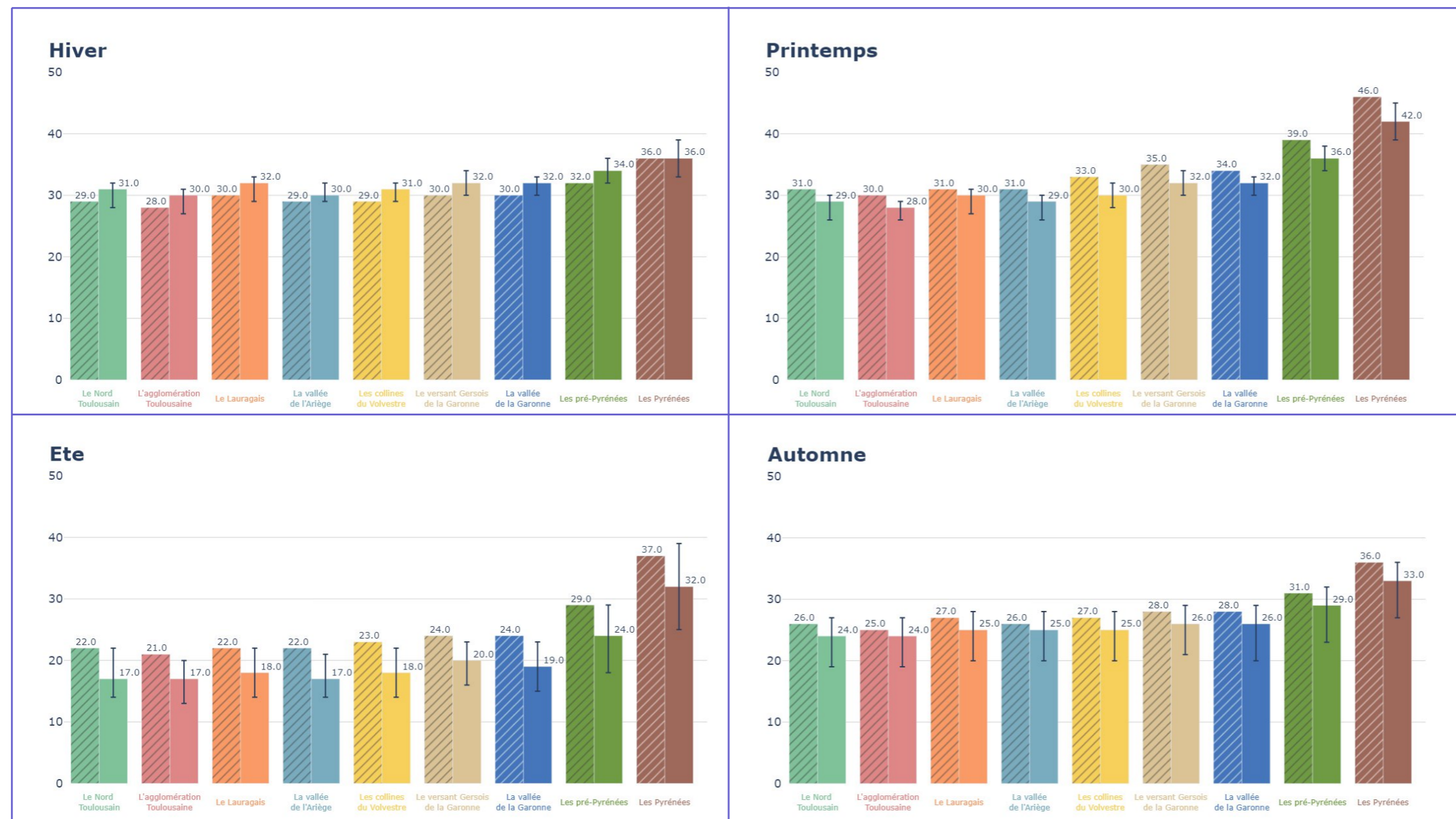


A l'horizon 2050, l'hiver présente une tendance robuste avec une augmentation faible sur toute la Haute-Garonne à l'exception des Pyrénées où la tendance à la baisse n'est pas robuste.

L'été présente une tendance marquée de diminution faible, et le printemps et l'automne ne présentent pas de tendance. La variabilité interannuelle importante des précipitations et les limites de la modélisation entraînent cette absence de tendance nette. Le gradient nord-sud du département n'est pas modifié par le changement climatique.

3.2.2. Nombre saisonnier de jours de pluie (en jours)

Nombre de jours où le cumul des précipitations est supérieur ou égal à 1 mm, par saison.

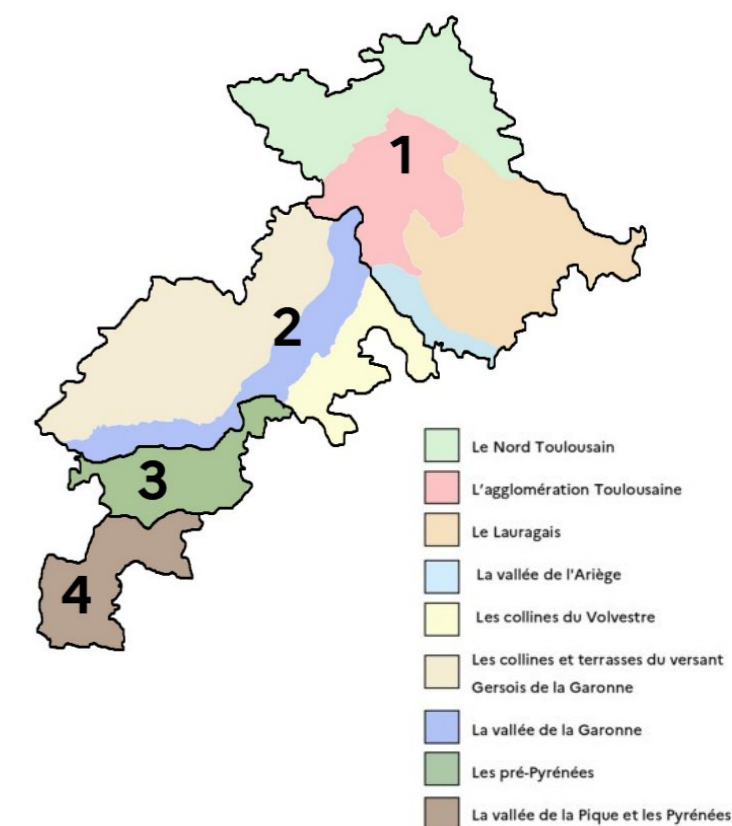
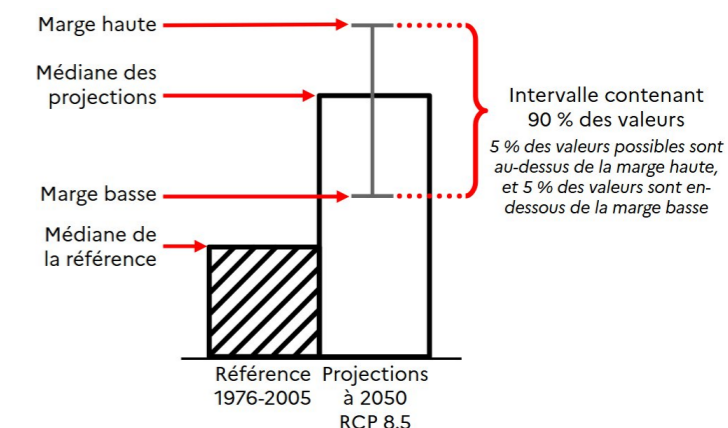
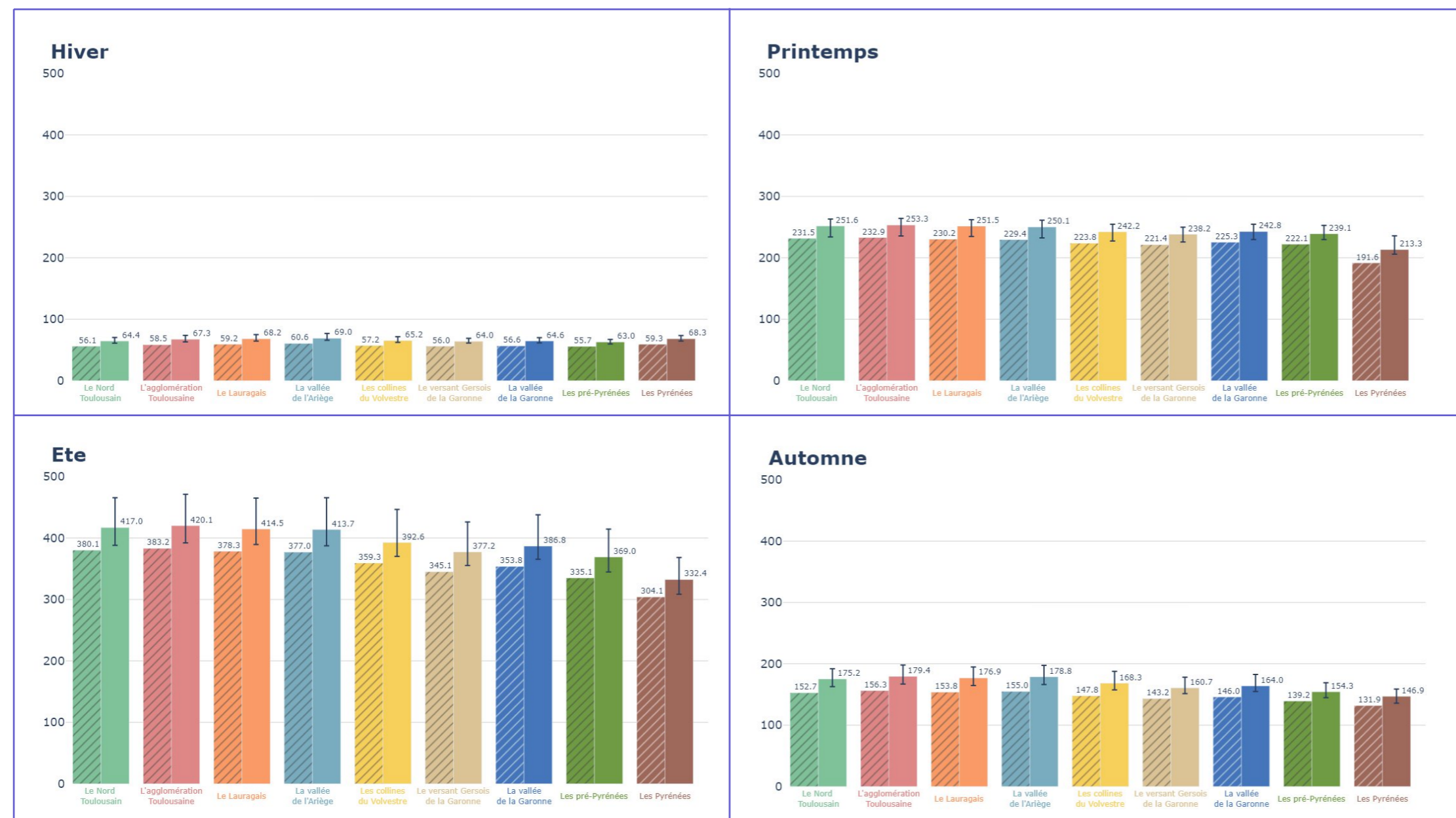


A l'horizon 2050, seuls l'été et le printemps présentent une tendance robuste de faible diminution du nombre de jours de pluie. Les autres saisons montrent des tendances non robustes, avec une faible diminution en automne et une faible augmentation du nombre de jours de précipitations en hiver.

En croisant le nombre de jours de pluie au cumul saisonnier des précipitations, aucune tendance nette sur l'évolution de l'intensité des précipitations n'émerge. Il serait cependant intéressant de pouvoir étudier des données horaires car un événement peut être violent par sa très faible durée plus que par un cumul élevé. Des considérations sur l'évolution des pluies extrêmes seront proposées en 3.2.5.3. Il est à retenir que l'évolution des précipitations est imprévisible et que leur variabilité interannuelle est très élevée et va s'accroître.

3.2.3. Évapotranspiration potentielle saisonnière (en millimètres)

Quantité d'évaporation qui pourrait se produire en cas d'approvisionnement en eau du sol suffisant, par saison.



Le gradient décroissant nord-est / sud-ouest se retrouve dans l'évapotranspiration potentielle, surtout au printemps et en été.

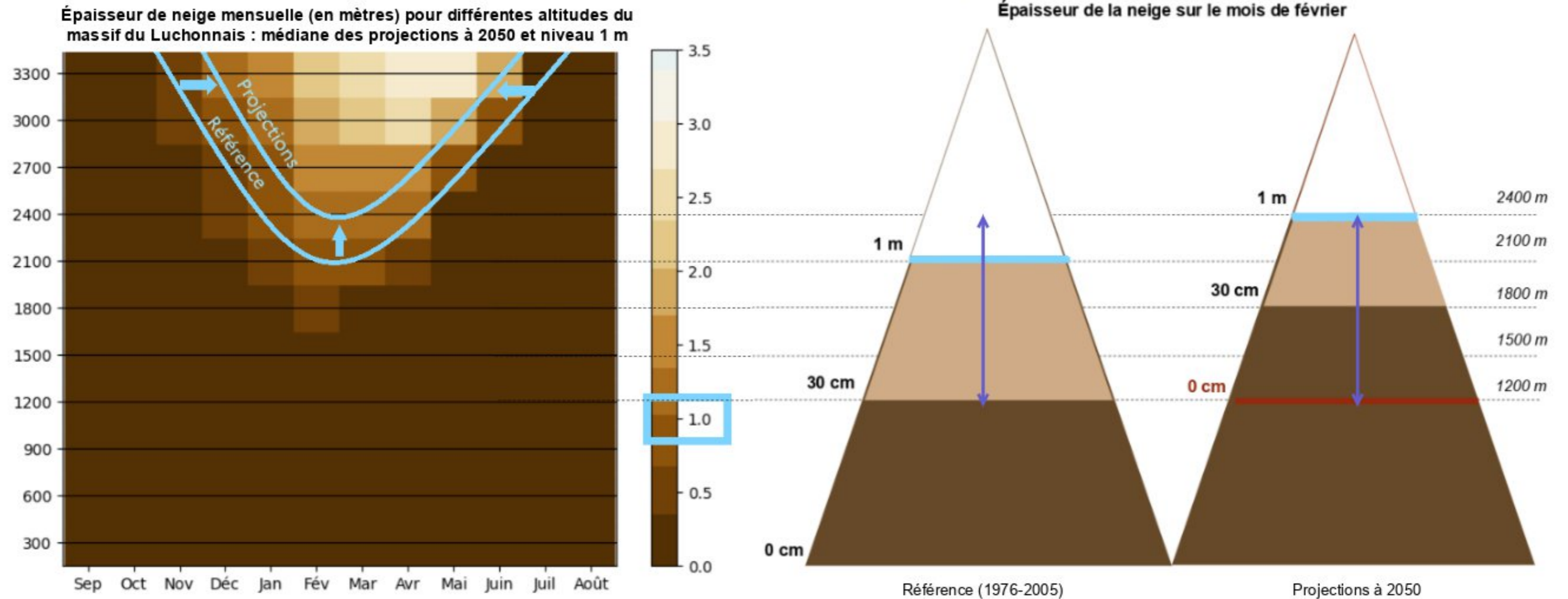
Directement corrélée à l'augmentation des températures moyennes saisonnières, une tendance robuste à l'augmentation est visible pour chaque saison à l'horizon 2050.

Cette hausse est plus importante en été avec en moyenne **+30 mm d'évapotranspiration** potentielle. Les pluies efficaces représentent les précipitations qui contribuent réellement à alimenter les milieux aquatiques et à recharger les nappes souterraines. Elles sont calculées par soustraction de l'évapotranspiration aux précipitations totales. Cette augmentation de l'évapotranspiration génère donc un assèchement général des sols par une baisse des pluies efficaces, une augmentation du ruissellement (assèchement du sol), une baisse de la recharge des nappes ainsi que des assèchs sur les masses d'eau de surface.

3.2.4. Épaisseur mensuelle de neige selon l'altitude (en mètres)

Moyenne par mois des épaisseurs quotidiennes de neige à chaque niveau d'altitude de 300 à 3300 m, sur l'année.

↑ ↓ Étendue des stations de ski de Haut-Garonne



L'épaisseur de neige mensuelle sur le massif du Luchonnais va diminuer fortement à l'horizon 2050.

La médiane des projections montre une **remontée du manteau neigeux d'au moins 300m**. À l'horizon 2050 il faudra monter à 2400 m pour trouver 1m de neige entre février et avril. En décembre, il faut monter à plus de 3300m pour trouver 1m de neige ou plus.

La médiane montre également un resserrement temporel : il faudra 1 mois de plus en 2050 pour atteindre la même épaisseur de neige que sur la médiane de référence, et la fonte sera plus précoce de 1 mois.

D'après plusieurs sources, d'ici 2050, l'épaisseur de la neige pourrait diminuer de 50% en-dessous de 1800 m et de 78% en-dessous de 1500 m d'altitude dans les Pyrénées centrales.

3.2.5. Évolutions non modélisées par les données utilisées

Bien que les événements météorologiques extrêmes ne touchent pas souvent la Haute-Garonne, le département a été confronté par le passé à des épisodes ayant de lourdes conséquences sur des parties du territoire. Avec le dérèglement du système climatique, il est possible que des phénomènes s'amplifient ou apparaissent.

3.2.5.1. Vent et ensoleillement

Trop peu d'études poussées existent à l'heure actuelle au sujet de l'impact du changement climatique sur les vents locaux de la Haute-Garonne, ou même de l'Occitanie, pour tirer des conclusions robustes sur l'évolution de ces phénomènes. Les modèles régionaux utilisés dans la recherche, notamment dans le cadre des énergies renouvelables, ne sont pas assez performants pour représenter les reliefs de petite échelle qui nous intéressent. Les évolutions attendues du vent d'autan, de la tramontane ou de l'effet de foehn restent inconnues à ce jour. Toutefois, Obermann-Hellhun (2018) évoque une possible diminution de la fréquence d'épisodes de tramontane à l'horizon 2100 dans le cadre d'un scénario de réchauffement 8.5.

En ce qui concerne l'ensoleillement, peu d'informations sont disponibles pour des projections à 2050 et 2100. Le portail de Copernicus, basé sur le modèle CMIP6, estime une diminution proche de -4% de la couverture nuageuse sur l'Occitanie d'ici 2050, et -8% en 2100, par rapport à la référence 1976-2005. Ces valeurs sont les médianes de résultats statistiques dont l'intervalle entre la marge haute et la marge basse est important.

3.2.5.2. Fonte des glaciers

En 2022, les glaciers du Portillon d'Oô et de Boum ont été déclarés « morts » par le rapport annuel de l'état des glaciers du parc national des Pyrénées. Le seul glacier toujours existant en Haute-Garonne est celui du Seil de la Baque. La littérature donne une **disparition des glaciers des Pyrénées avant 2050** (OPCC). Par sa taille restreinte, le glacier du Seil de la Baque aura fondu avant cette échéance (*Parc National des Pyrénées*).

3.2.5.3. Pluies extrêmes et état du sol

Les pluies « extrêmes » sont des pluies particulièrement intenses (cumul horaire très élevé), qui arrivent en moyenne 1 fois tous les 100 ans. Elles sont à l'origine de dégâts majeurs et mortels : inondations, crues, glissements de terrain.

Même si les projections autour des précipitations sont fortement incertaines, certaines tendances d'évolution se dessinent : les pluies extrêmes seraient encore plus intenses, et possiblement plus fréquentes. **Il est possible que la fréquence de ces épisodes pluvieux triple, passant de 1 fois tous les 100 ans à 1 fois tous les 33 ans**, dans un scénario sans réduction d'émissions de gaz à effets de serre (*Hosseinzadehtalaei, 2020*). Les zones urbaines sont particulièrement vulnérables à cette augmentation, en raison des processus de ruissellement sur les sols imperméables (*Caballero, 2018*).

En contrepartie, **les épisodes pluvieux les moins intenses pourraient se faire plus rares**, intensifiant la sécheresse des sols et la vulnérabilité des zones rurales au ruissellement et au glissement de terrain (*Madsen, 2014*).

De multiples facteurs peuvent influencer l'état du sol, par exemple :

- La variation du niveau d'eau des nappes phréatiques et donc de la stabilité du sol
- L'augmentation du risque de feux de forêt, fragilisant les systèmes racinaires

- L'intensification de l'évapotranspiration et la diminution de l'humidité du sol.

S'il est impossible aujourd'hui de prévoir une tendance robuste concernant l'augmentation ou la diminution des pluies extrêmes dans le relief des Pyrénées, il est en revanche clair que les modifications du climat local y seront exacerbées : les épisodes de précipitations et/ou de sécheresse seront plus intenses.

3.2.5.4. Grêle

Les observations de grêle en Europe montrent une tendance à l'augmentation. Si à l'échelle de la France aucune tendance ne se dessine, les observations dans le massif des Pyrénées, lui, indique bien une augmentation de l'intensité de la grêle, entre 10 et 30% en 30 à 60 ans selon la région, mais aucune tendance certaine sur l'occurrence des épisodes.

Les projections temporelles et la modélisation du phénomène est cependant très difficile, car très localisé et relativement rare. Peu d'observations et de modèles de qualité existent, et la variabilité annuelle est trop importante pour obtenir des tendances claires. La formation de la grêle repose sur de nombreux paramètres météorologiques de petite échelle qui sont eux-mêmes sensibles au changement climatique, et dont l'évolution future est trop peu connue aujourd'hui (*Sanchez, 2017 ; Raupach, 2021*).

D'une part, l'augmentation des températures entraînera une augmentation de l'humidité de l'air à basse altitude (condition nécessaire à la formation des orages et donc de la grêle) : une augmentation de la température de l'air de 1°C se traduit par +7% d'humidité. D'autre part, la hausse des températures augmente l'altitude de l'isotherme-0°C (altitude à laquelle la température de l'air reste négative) : les précipitations solides (neige, grêle) de petite taille fondront plus vite et atteindront le sol sous forme d'eau liquide.

Cela signifie qu'en cas d'orage, les grêlons de petite taille vont fondre plus vite et se transformer en pluie, ce qui apportera davantage de matière aux grêlons les plus massifs pour grossir encore davantage (*Dessens, 2015*).

Il est donc impossible de formaliser clairement le futur des occurrences de grêle en Haute-Garonne. Néanmoins, à mesure que les températures augmentent, **il est tout à fait probable que les épisodes de grêle soient de plus en plus destructeurs**.

3.2.5.5. Tornades

Voici la liste des tornades répertoriées selon l'échelle de Fujita en Haute-Garonne depuis 1900 :

- Garac 18/05/1960 (EF3)
- Toulouse 15/05/1980 (EF2)
- Carbonne 08/06/1992 (EF0)
- Seysses 29/04/2012 (EF4)

A l'échelle de la France comme de la région, le département n'est pas particulièrement concerné par le risque de tornades. En Occitanie, l'Aude et l'Hérault sont les départements les plus à risque.

Les connaissances actuelles ne permettent pas de tirer de conclusion sur les occurrences de tornades dans le contexte du changement climatique (*Brooks, 2013 ; Pons, 2022 ; Woods, 2023 ; Keraunos*).

L'événement violent de juillet 2023 à Auterive et Cintegabelle n'est pas une tornade mais un épisode de macrorafales de forte intensité. Leur évolution dans le futur est aussi mal connue.

3.2.5.6. Tempêtes et cyclones

L'évolution des tempêtes de moyennes latitudes avec le changement climatique reste encore largement incertaine. S'il est probable que les cyclones tropicaux se fassent plus rares mais plus intenses, les modèles montrent pour les tempêtes (extra-tropicales) des tendances contradictoires (*Haarsma, 2021 ; Leckebusch, 2004*). En mer Méditerranée, les cyclones subtropicaux méditerranéens (ou « medicanes ») qui arrivent déjà en moyenne 1 à 2 fois par année, pourraient être **moins nombreux mais plus violents** (*Romero, 2013*).

De même que pour les indicateurs de régimes de précipitations, la variabilité interannuelle élevée de ces phénomènes se rapproche des limites des modèles climatiques actuels

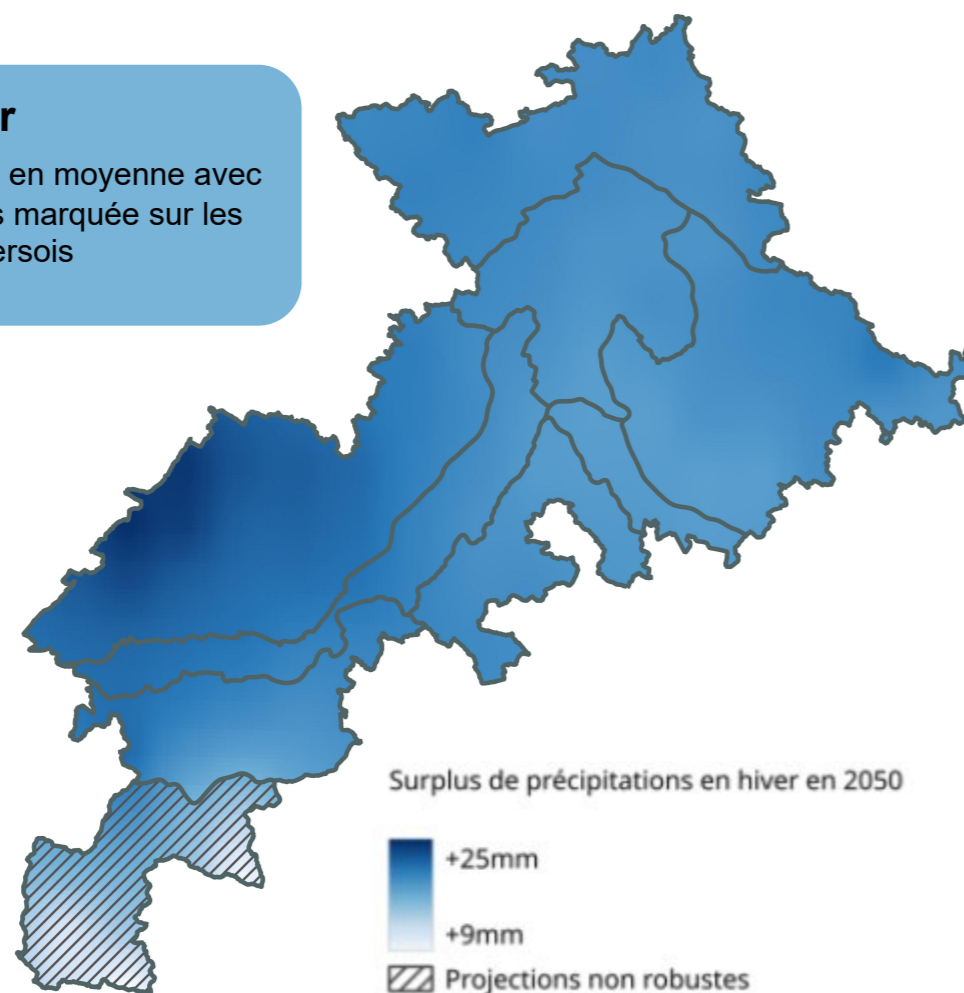
3.2.5.7. Poussières du Sahara

L'augmentation des sécheresses en Afrique du nord et la modification des régimes météorologiques de grande échelle vont modifier les déplacements de poussières du Sahara vers l'Europe. Les conclusions scientifiques sur le sujet restent incertaines mais il est probable qu'il y ait plus d'événements de transport de poussières nord-africaines vers la France en hiver et au printemps et que leur intensité augmente (cette tendance est observée sur les dernières années). Ceci accélère considérablement la fonte du manteau neigeux car la neige se fonce et capte plus de chaleur du soleil. Ces épisodes engendrent aussi une dégradation notable de la qualité de l'air (*Copernicus*).

3.2.6. A retenir sur les perturbations des régimes de précipitations

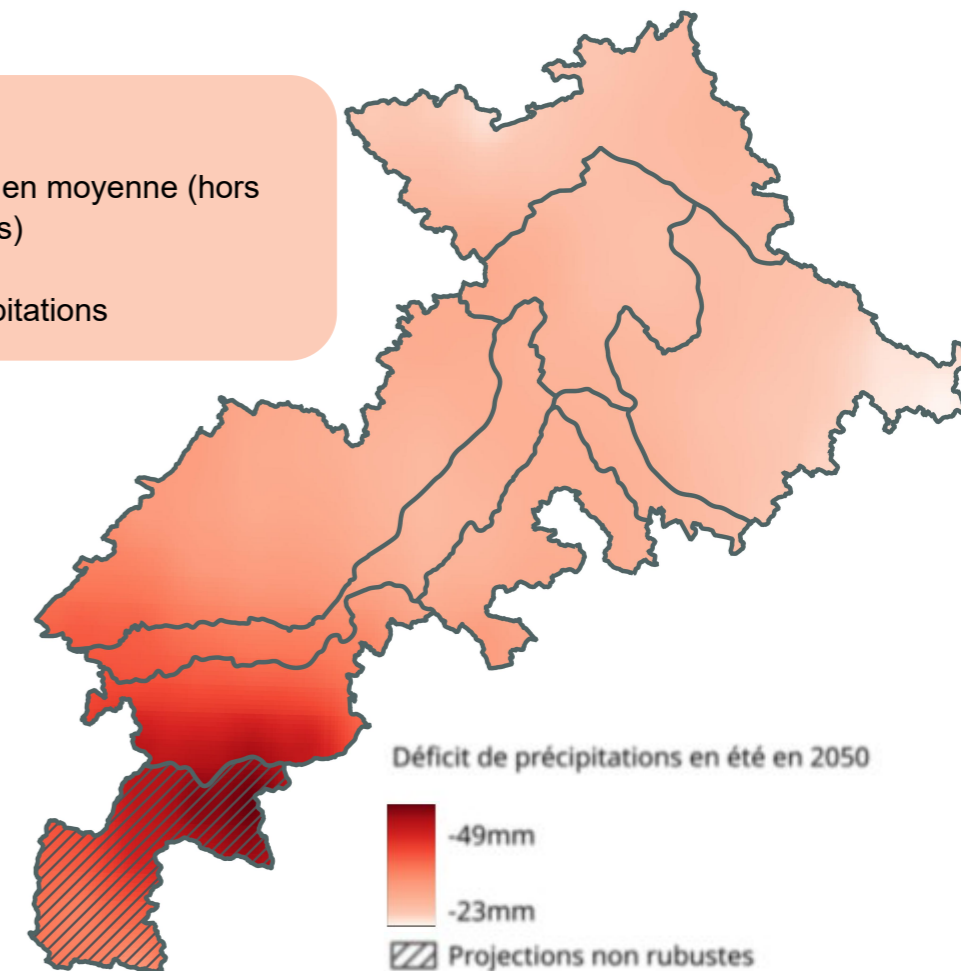
Écart entre la référence (1976-2005) et la projection à 2050 du cumul de précipitations en hiver

Hiver
+7% de précipitations en moyenne avec une augmentation plus marquée sur les coteaux gersois



Écart entre la référence (1976-2005) et la projection à 2050 du cumul de précipitations en été

Été
-15% de précipitations en moyenne (hors Pyrénées)
-5 j de précipitations

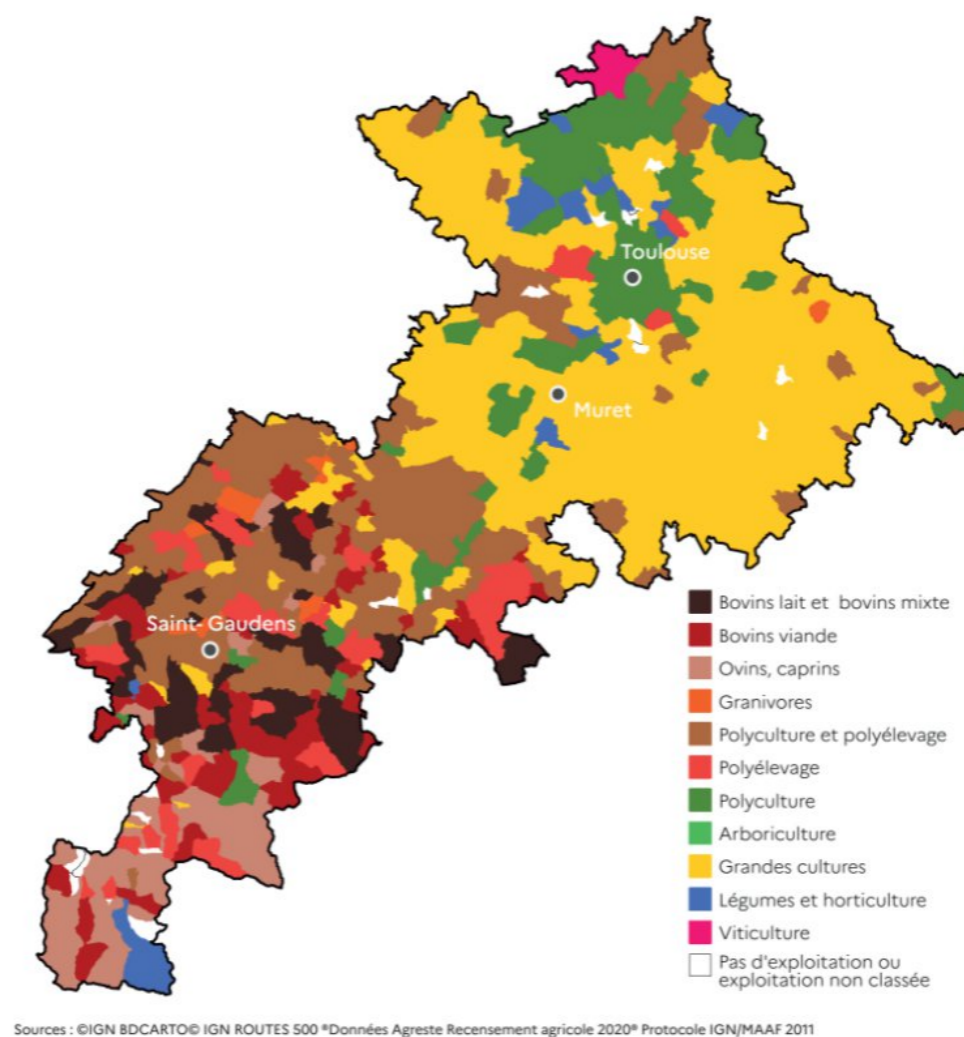
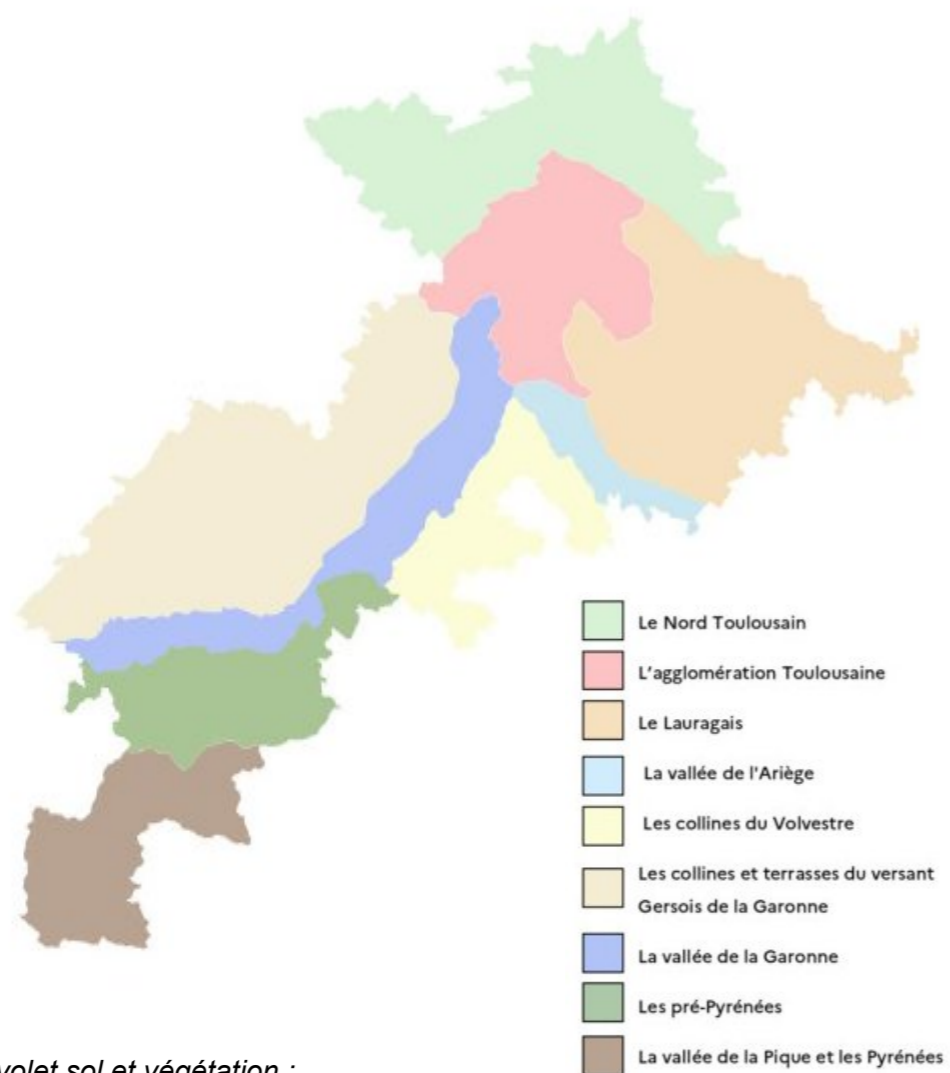


Et aussi ...

- **+10%** d'évapotranspiration potentielle annuelle
- **-50 cm** de neige en moyenne sur la période hivernale à 2100m d'altitude
- Le changement climatique apporte avec certitude une augmentation considérable de la variabilité interannuelle des précipitations. Il est donc important d'anticiper des années avec des cumuls bien plus faibles ou plus forts que ceux affichés dans les médianes.
- L'impact connu du changement climatique sur la ressource en eau se situe plus dans l'augmentation de l'évapotranspiration, du ruissellement et de la variabilité interannuelle des précipitations que dans des modifications de quantités moyennes de précipitations qui sont incertaines.

3.3. Impacts sur le sol et la végétation

Le département de la Haute-Garonne possède une superficie importante de terres agricoles. Dans le nord du département, les terres de grandes cultures telles que le tournesol, le blé et le maïs sont prédominantes tandis que l'élevage est majoritaire dans le sud. Ces activités impliquent une vigilance supplémentaire quant à l'état des sols et de la végétation face aux modifications climatiques afin d'anticiper d'éventuels changements ou adaptations nécessaires.

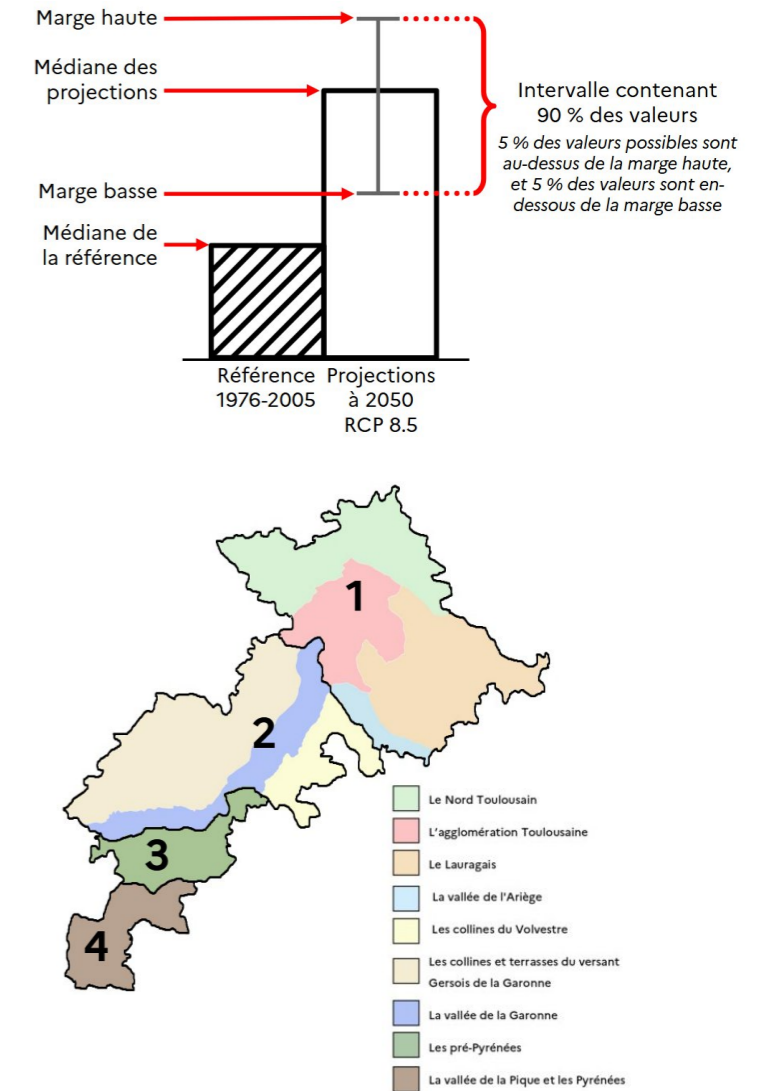
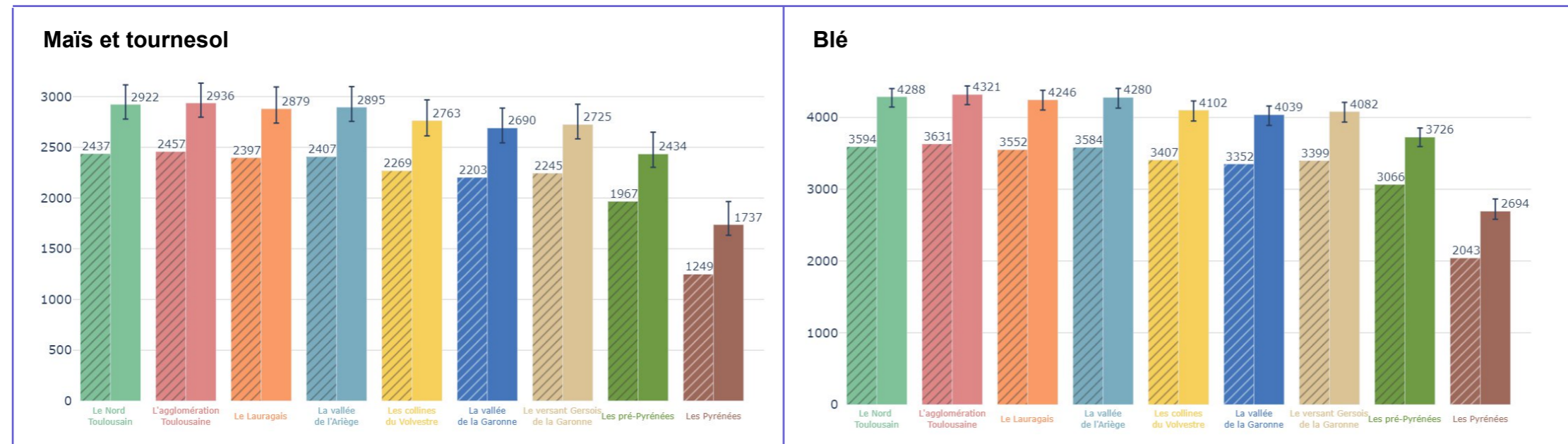


Liste des indicateurs sur le volet sol et végétation :

- Disponibilité thermique du maïs, tournesol, blé
- Le secteur agricole à l'horizon 2050 : résumé d'indicateurs issus du portail Canari
- Nombre saisonnier de jours à risque de feu de végétation
- Nombre saisonnier de jours avec sol sec

3.3.1. Disponibilité thermique du maïs et du tournesol et du blé (en degré-jour, DJ)

Somme des températures supérieures à 0°C de octobre à juillet pour le blé et somme des températures supérieures à 6°C de mars à septembre pour le maïs et le tournesol



Le maïs et le tournesol ont la même méthode de calcul de disponibilité thermique : la somme des températures moyennes journalières supérieures à 6°C entre mars et septembre. La différence se trouve dans les seuils à atteindre pour la récolte. Les seuils de maturation du maïs et du tournesol varient en fonction de la variété de 1500 DJ à 2020 DJ.

Le seuil maximum est largement atteint sur la période de référence pour toutes les zones où ces grandes cultures sont présentes. Les projections à l'horizon 2050 envisagent une augmentation significative de la disponibilité thermique sur le cycle de développement, d'environ 450 DJ. Tout comme le blé, les dates de récoltes des différentes cultures vont être avancées de quelques jours dans les années à venir.

La zone des Pyrénées n'est actuellement pas favorable à ces types de cultures mais il n'est pas exclu qu'en 2050, de nouvelles cultures puissent faire leur apparition dans certaines zones avec l'augmentation de la disponibilité thermique.

Pour que le blé arrive à maturation, il est nécessaire que sa disponibilité thermique se situe entre 2800 - 3000 DJ.

L'analyse de cet indicateur montre sans surprise que ce seuil est atteint et dépassé sur la période de référence pour les zones qui pratiquent déjà cette culture.

Les projections pour 2050 révèlent une nette augmentation de la disponibilité thermique du blé sur la période totale de son cycle, 700 DJ de plus en moyenne.

L'arrivée plus précoce dans la saison des différents seuils de disponibilité thermique implique des changements de pratique dans la gestion des semis, mais aussi des récoltes. Le cycle phénologique des plantes étant raccourci, les sols seront disponibles plus longtemps.

3.3.2. Introduction du portail CANARI

Pour obtenir des projections à plus fine échelle et étudier au cas par cas, le portail CANARI-France aide tous les acteurs agricoles qui veulent accompagner localement les agriculteurs de leur territoire dans des démarches d'adaptation. Il met à disposition une interface gratuite permettant de visualiser des projections climatiques futures d'indicateurs Agro-Climatique selon le type de cultures et la zone géographique choisie. Comme pour notre étude, CANARI utilise les données DRIAS et permet de choisir entre les scénarios RCP 4.5 et 8.5 ainsi que l'horizon de la projection (futur proche 2021-2050, futur lointain 2051-2100) afin de visualiser les projections à l'échelle d'une exploitation agricole (maille de 8x8km)

Ci-dessous une liste, non-exhaustive, des indicateurs disponibles sur le portail CANARI.

Il y a au total 80 indicateurs répartis dans 11 catégories agricoles. Trois indicateurs sont exposés dans les pages suivantes à titre d'exemple. Les parties prenantes de l'agriculture sont encouragées à exploiter les indicateurs les plus pertinents sur leur zone d'intérêt.



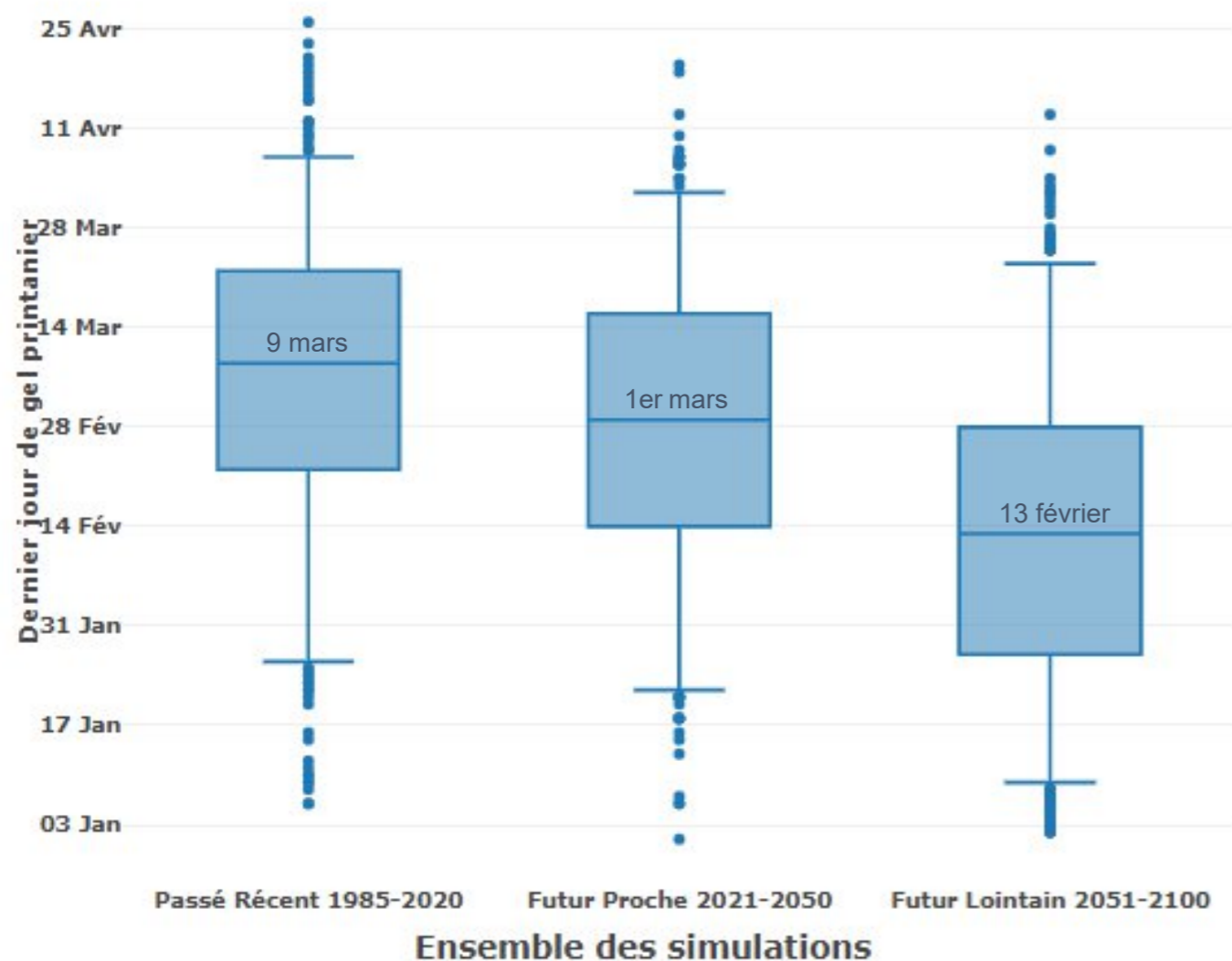
Céréales d'hiver	Maïs, Tournesol, Betterave	Colza	Fourrages	Vignes	Verger
Risque d'excès d'eau post semis (mm)	Températures très basses au printemps (nb de jours)	Pluviométrie à l'implantation du colza (mm)	Redémarrage de pousse de l'herbe (date)	Indice héliothermique de Huglin (IH)	Risque de gel tardif (nb de jours)
Stress froid début montaison	Déficit hydrique (mm) de mai à août	Nombre de jours consécutifs sans pluie suite à l'implantation	Date de mise à l'herbe	Indice de Winckler (IW)	Pluies intenses (nb de jours)
Gel tardif courant montaison	Date du premier gel significatif à l'automne	Déficit hydrique automnale (mm)	Date de fauche précoce (foin)	Dernier jour de gel printanier	Nombre de jours chauds en été
Stress thermique épiaison - floraison (nb jours)	Vol de pyrale du maïs : début de l'activité	Gel automnal (nb de jours)	Déficit hydrique au printemps (mm)	Indice de fraîcheur des nuits (IF)	Dernier jour de gel printanier
Déficit hydrique montaison-remplissage (mm)	Maïs très tardif (G6) : simulation de la date de récolte	Echaudage en fin de cycle (nb de jours)	Nombre de jours consécutifs sans pluie au printemps	Evolution du rayonnement global (kJ/m ²)	Déficit hydrique sur le cycle cultural (mm)

3.3.2.1. Exemple : Les Vignes dans le Frontonnais



Dernier jour de gel RCP 8.5

Dernier jour où la température minimale est en dessous de 0 °C entre le 1 janvier et le 31 décembre



Indicateur : Dernier jour de gel printanier
 Projection : Futur proche (2021-2050) et lointain (2051-2100)
 Scénario : RCP 8.5
 Période : du 01/04 au 31/05

Le dernier jour de gel moyen va avancer de **8 jours** par rapport au passé récent dans le frontonnais puis encore de **15 jours** d'ici la fin du siècle.

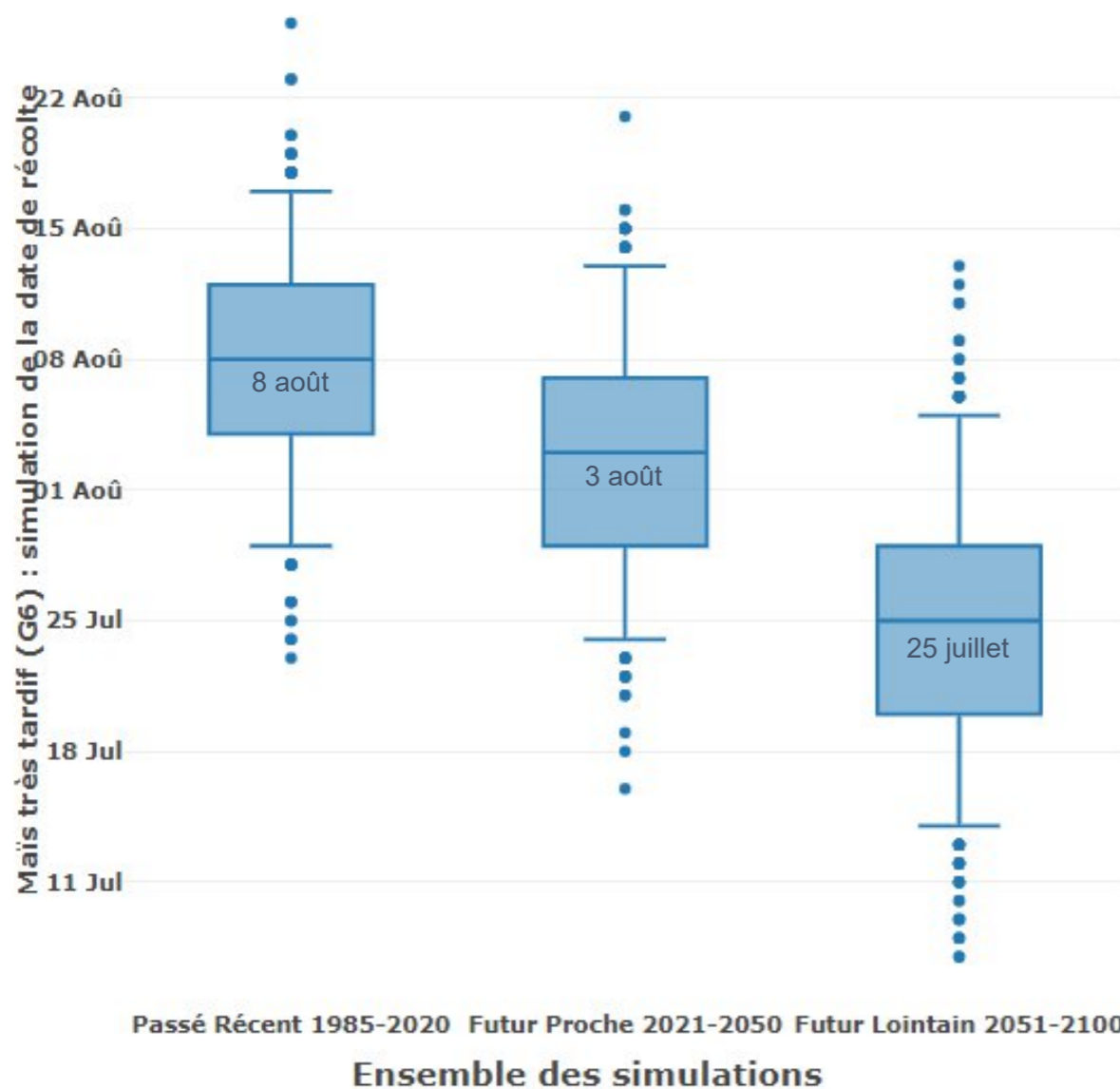


3.3.2.2. Exemple : Le Maïs dans la vallée de la Garonne



Maïs très tardif (G6) : simulation de la date de récolte **RCP 8.5**

Date à laquelle le seuil de DJ (degrés-jours) est atteint depuis le 15 avril avec des valeurs entre 6 °C et 30 °C



Indicateur : Simulation de la date de récolte du maïs
 Projection : Futur proche (2021-2050) et lointain (2051-2100)
 Scénario : RCP 8.5
 Période : à partir du 15/04

Il est attendu que la date de récolte du maïs très tardif dans la vallée de la Garonne soit avancée de **5 jours** par rapport au passé récent puis encore de **9 jours** sur la deuxième partie du siècle.

Attention :

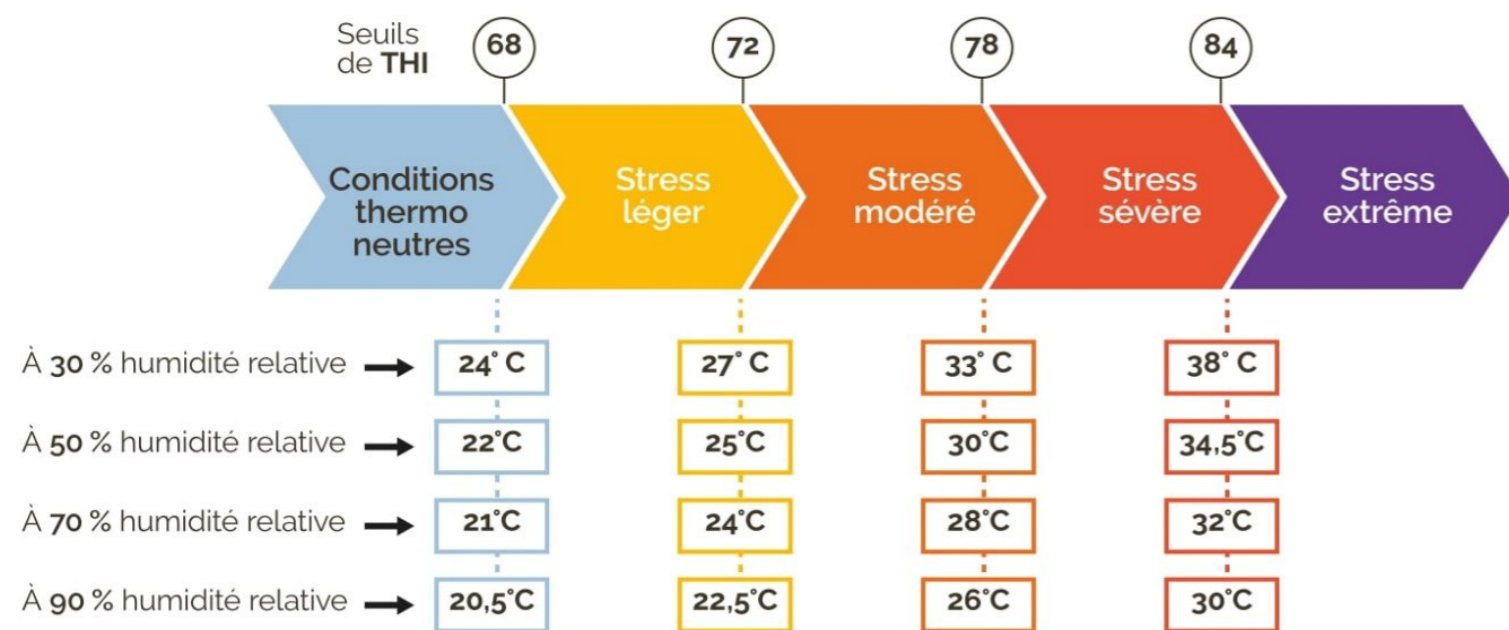
Les dates de récolte observées pour le maïs sur le département sont plus tardives que celles annoncées par Canari. Ce décalage peut être dû au paramétrage du nombre de degrés-jour. Cet écart de modélisation ne change pas le message à retenir sur l'avancée des dates de récolte.



3.3.2.3. Exemple : Le stress thermique des animaux dans le versant gersois

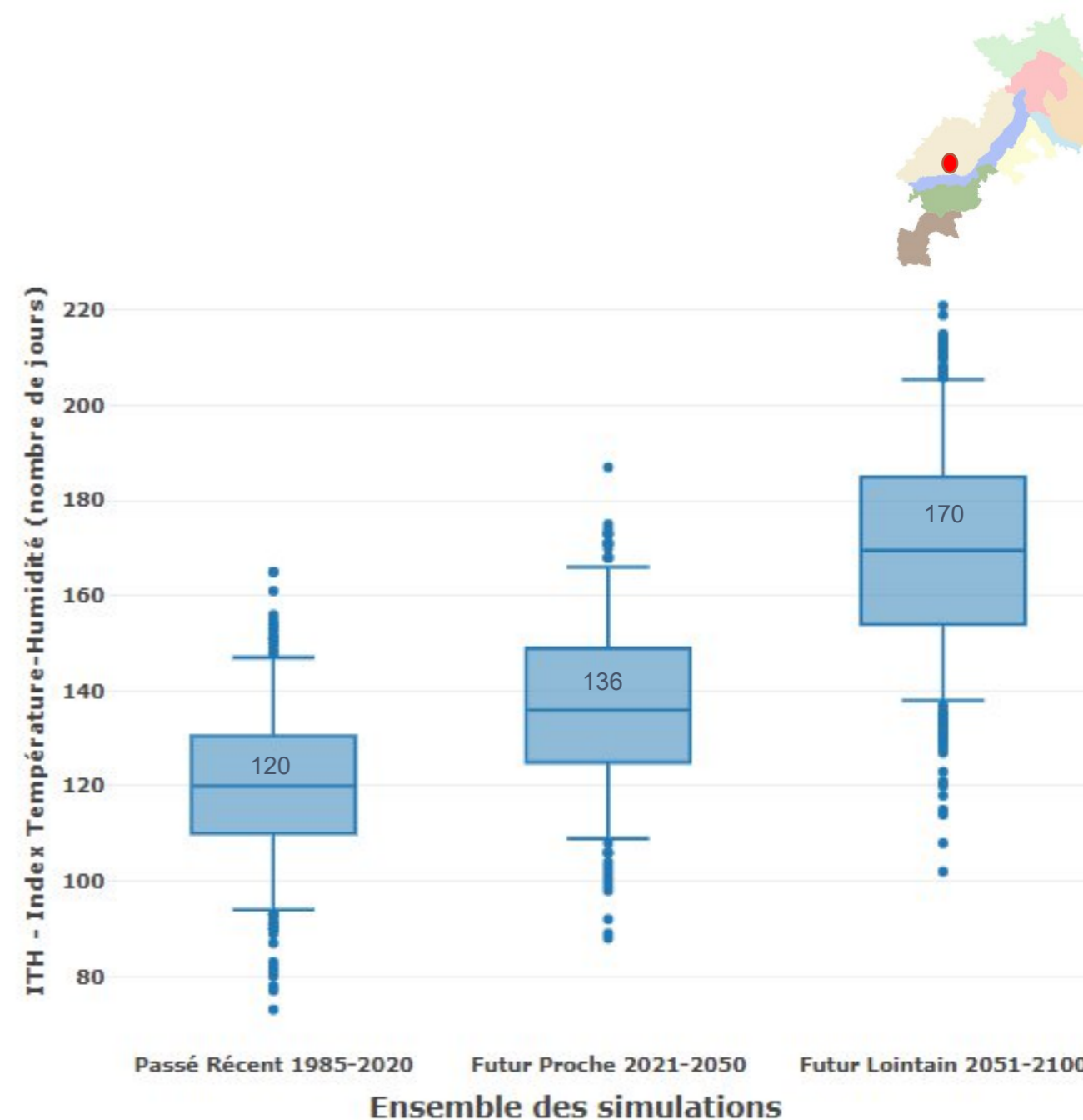
L'ITH est un indice construit à partir de deux variables (Température et humidité) afin de déterminer l'intensité du stress thermique auquel sont exposés les animaux.

Par ailleurs, ces deux paramètres ont également une corrélation entre eux. En effet, comme nous l'avons mentionnés plus haut, 1°C de température supplémentaire entraîne une potentielle augmentation de l'humidité relative de 7%. L'augmentation des températures évoquée précédemment va ainsi avoir un impact certain sur la santé des animaux (*IDELE*). La figure 2 représente le nombre de jours de stress thermique total sur une année pour les animaux (ITH>68). Sur le versant gersois de la Garonne, 16 jours additionnels de stress thermique par an sont attendus pour les animaux en 2050 et 50 jours additionnels d'ici 2100. Le nombre de jours de stress thermique extrême évolue de 5 à 11 d'ici 2050 et 27 d'ici 2100.



Seuils de THI et niveaux de stress associés (Collier et al.2011)

ITH - Index Température-Humidité (nombre de jours) **RCP 8.5** ITH - Index Température-Humidité (nombre de jours) entre le 1 janvier et le 31 décembre : Ensemble des jours de stress: 68 <= ITH < 150



3.3.3. Le secteur agricole à l'horizon 2050

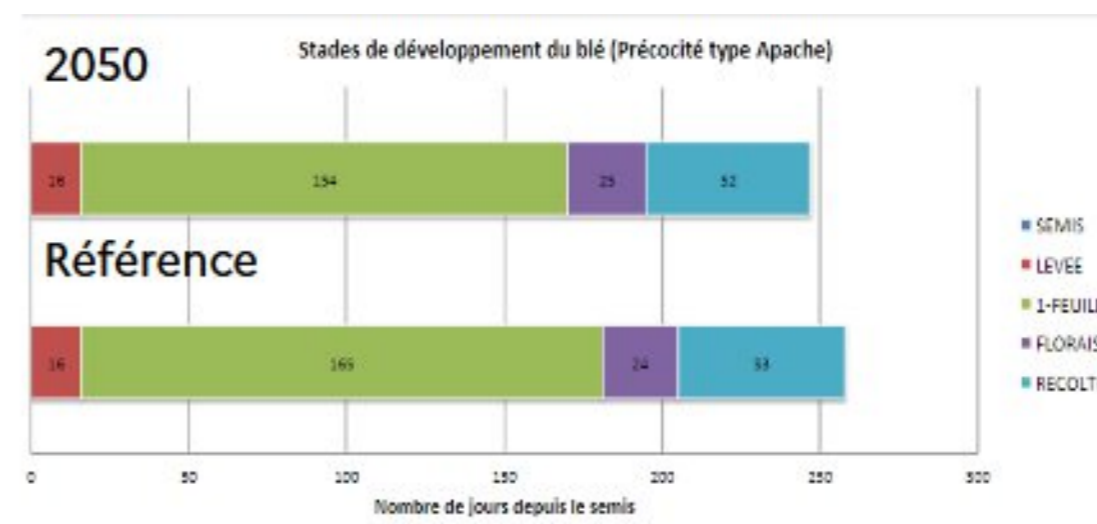
- Le blé connaîtra une accélération de son cycle de développement et une récolte plus précoce, au minimum une semaine plus tôt.
- L'ensemble des modèles semble être en accord sur une tendance à ce que la date de récolte du maïs soit avancée, d'une semaine environ d'ici 2050 et deux d'ici 2100.
- Tout comme le maïs et le blé, le cycle de développement du tournesol sera accéléré.

La principale problématique qui se présente pour les grandes cultures est le déficit hydrique. Comme vu précédemment, la tendance des cumuls de précipitations estivaux est plutôt à la baisse et la hausse des températures augmente le besoin en eau des plantes au travers de l'évapotranspiration. Ces deux phénomènes combinés vont engendrer une baisse de récolte pour les cultures non irriguées et une augmentation de la pression sur la ressource en eau en cas d'irrigation.

- Pour les céréales, les températures supérieures à 30 voire 35°C ralentissent brutalement le remplissage des grains. La photosynthèse est également affectée sur le long terme, ce qui limite les opportunités de rattrapage à la fin de la vague de chaleur. Au delà de 35°C et lorsque les réserves en eau deviennent faibles, les plantes peuvent ne plus être capables d'absorber assez d'eau et de contrôler leur transpiration. Ceci peut aboutir à un arrêt immédiat et définitif du fonctionnement de la plante. Les situations les plus à risques concernent les parcelles plus tardives qui cumulent l'exposition aux fortes chaleur et aux sols sec comme le blé tendre.
- Les dates de reprise de végétation des prairies, de mise à l'herbe des animaux, et de récolte du foin sont représentées par le premier jour de l'année où la somme des températures quotidiennes dépasse respectivement 200°CJ, 250°CJ et 1000°CJ. Elles seront plus précoces sur tout le territoire avec un décalage d'environ une semaine pour la période 2021-2050 et deux pour la période 2050-2100.
- L'arrivée plus précoce des récoltes va allonger la période d'interculture avec un sol nu plus propice à l'érosion. Une solution serait d'élargir la mise en place de couverts intermédiaires qui stockent de l'azote tout en faisant baisser l'albedo planétaire et limiter le réchauffement (une culture absorbe moins de chaleur du soleil que du sol nu). Cependant, ces cultures intermédiaires nécessiteront peut-être de l'irrigation à une période où le manque d'eau se fera le plus sentir.
- Le dernier jour de gel moyen va avancer de **8 jours** par rapport à la référence dans le frontonnais puis encore de **15 jours** sur la fin du siècle. Ce décalage est à mettre en regard avec l'avance phénologique que la végétation va prendre avec l'augmentation de la température. La période à laquelle les viticulteurs du frontonnais vont devoir être vigilants se déplace plus tôt dans l'année. Il en est de même pour les arboriculteurs du département. Les dégâts causés par ce type d'événement peuvent être conséquents, comme en 2021 où le vignoble du frontonnais a perdu de 60 à 80% des récoltes.
- Le froid et le gel jouent un rôle dans le travail du sol et dans la régulation des ravageurs pour les cultures d'hiver. Ces fonctions pourraient être fragilisées par la diminution du nombre de jours de gel et le raccourcissement de la période à risque de gel.
- Il est important de noter que les cultures sont par ailleurs menacées par des maladies cryptogamiques qui seront amenées par le changement climatique. Parmi elles, l'Esca/BDA est une menace pour les vignes et la fusariose pour les grandes cultures. La multiplication de ces agents pathogènes est notamment due aux températures élevées et à l'humidité, auxquels ils sont sensibles mais qui accroît par la même occasion leur vitesse de développement. Si ces maladies ne sont pas freinées, elles auront des conséquences quantitatives et qualitatives sur les cultures (*Benizri, 2021 ; Larignon, 2022*).
- Concernant le fourrage et les animaux, d'autres enjeux vont également apparaître. Le stress thermique sera le problème majeur à l'horizon 2050 pour les animaux d'élevage. La question du fourrage est également en proie à des changements. Le stress hydrique est aussi une menace pour le fourrage tant au niveau des réserves en eau dans les sols que des réserves en eau pour hydrater les animaux qui seront plus régulièrement en situation de stress thermique.
- L'isotherme-0°C, altitude à laquelle la température de l'air reste négative, est de plus en plus haut en raison de l'augmentation de la température de l'air, ce qui s'illustre par le recul de la neige en montagne. Certains modèles prévoient un décalage en altitude moyen de l'isotherme-0°C de 500m entre 2000 et 2040. Cette modification a ainsi des conséquences sur les zones de pâturages qui vont être contraintes de s'adapter à cette remontée de l'isotherme-0°C.

Les dangers du gel tardif sur la reprise de végétation à 2050 en France :

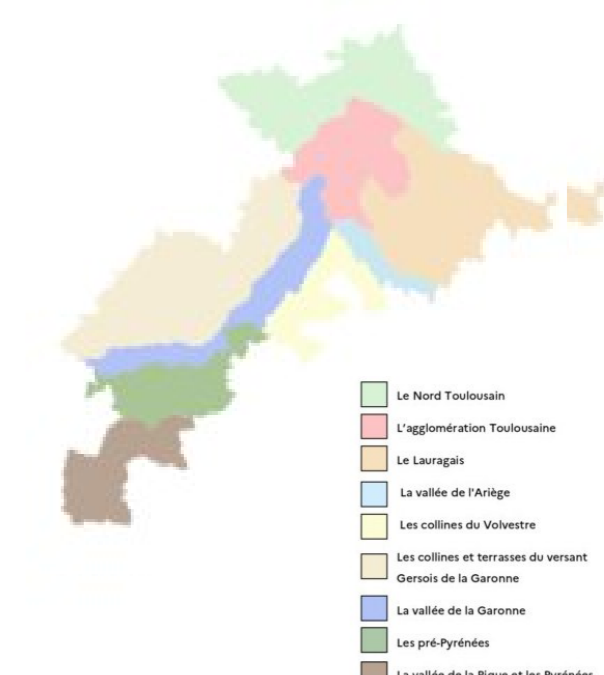
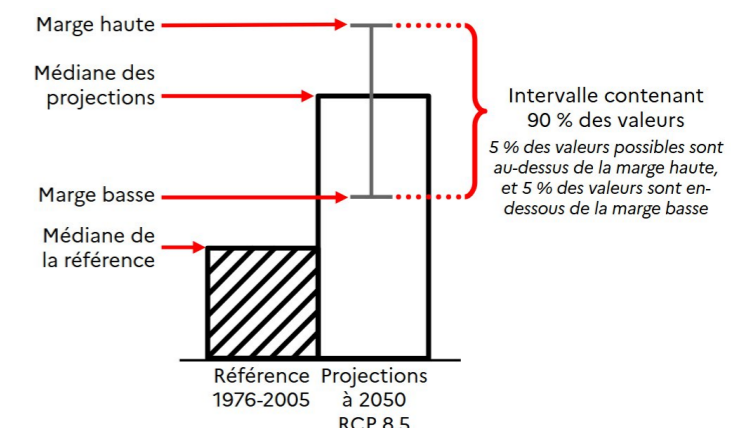
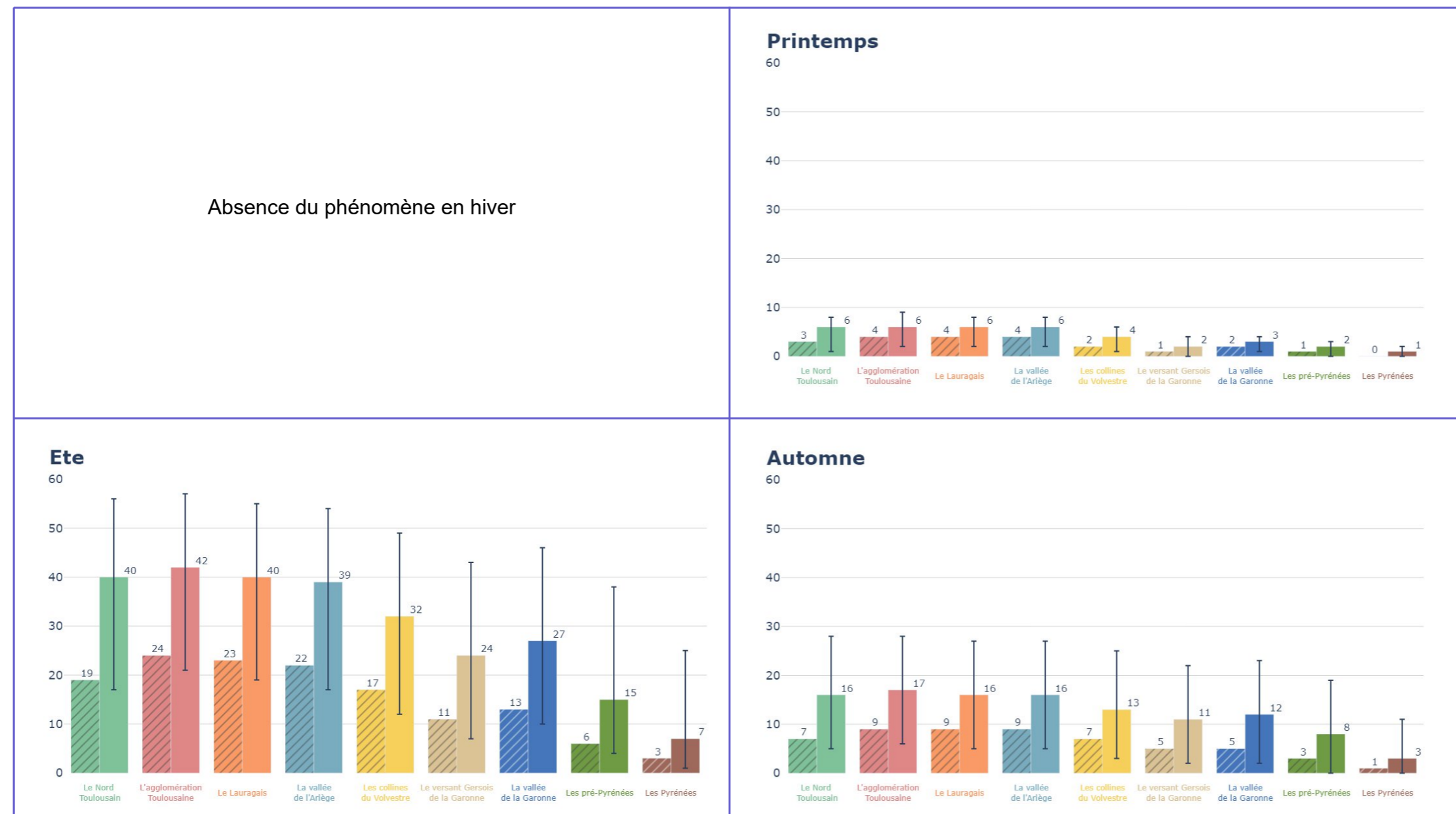
Une étude du World Weather Attribution a démontré en 2021 l'augmentation notable des dégâts agricoles associés aux occurrences de gel tardif à l'échelle nationale. Cette tendance, déjà visible aujourd'hui, est lisible en croisant les données de degré-jour et de période de gel : la croissance végétale s'accélère plus vite que la période de gel ne se raccourcit. **En conséquence, si les derniers gels printaniers auront lieu plus tôt dans l'année en 2050 que sur la période de référence, la végétation aura déjà atteint un stade de croissance bien plus avancé qui la rendra particulièrement vulnérable.** Il n'est pas encore possible aujourd'hui d'estimer en détail les quantités de dégâts associés à ce phénomène ni sa fréquence.



Projections à 2050 des nombres de jours pour les stades de développement du blé (Agri4Cast).

3.3.4. Risque saisonnier de feu de végétation (en jours)

Nombre de jours à Indice Feu Météo supérieur ou égal à 20, par saison, sauf hiver.



Le nombre de jours à risque de feu de végétation s'étudie majoritairement l'été, mais le phénomène est également présent au printemps et à l'automne.

Les projections à 2050 montrent une tendance de forte hausse en été et en automne, et une faible hausse au printemps. L'indicateur a une forte dispersion à cause de l'incertitude sur l'évolution des précipitations.

Entre les valeurs de référence et de projection, les médianes sont doublées.

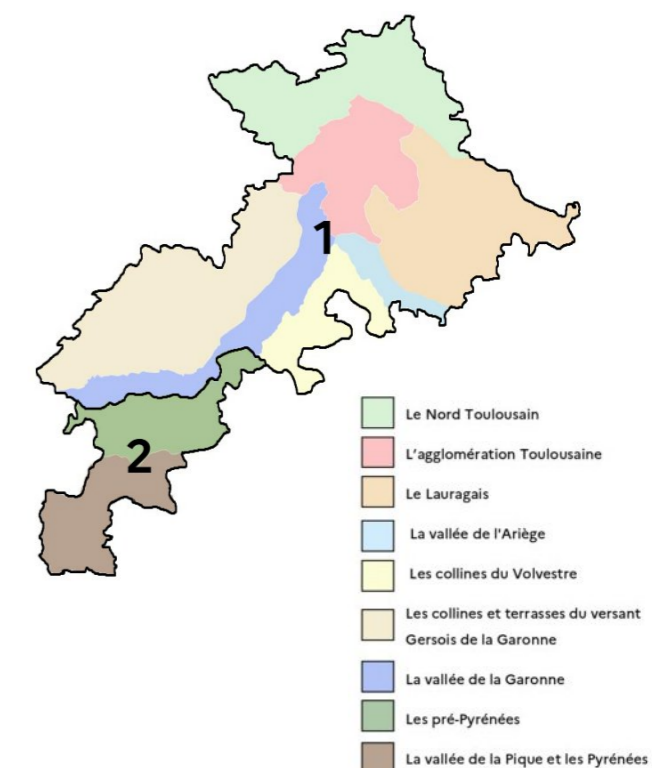
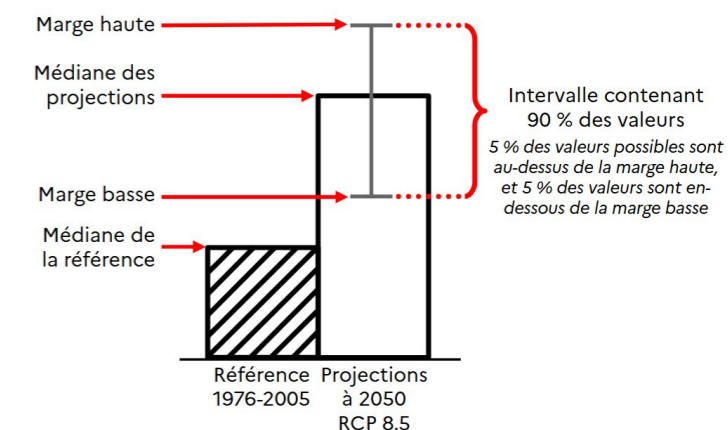
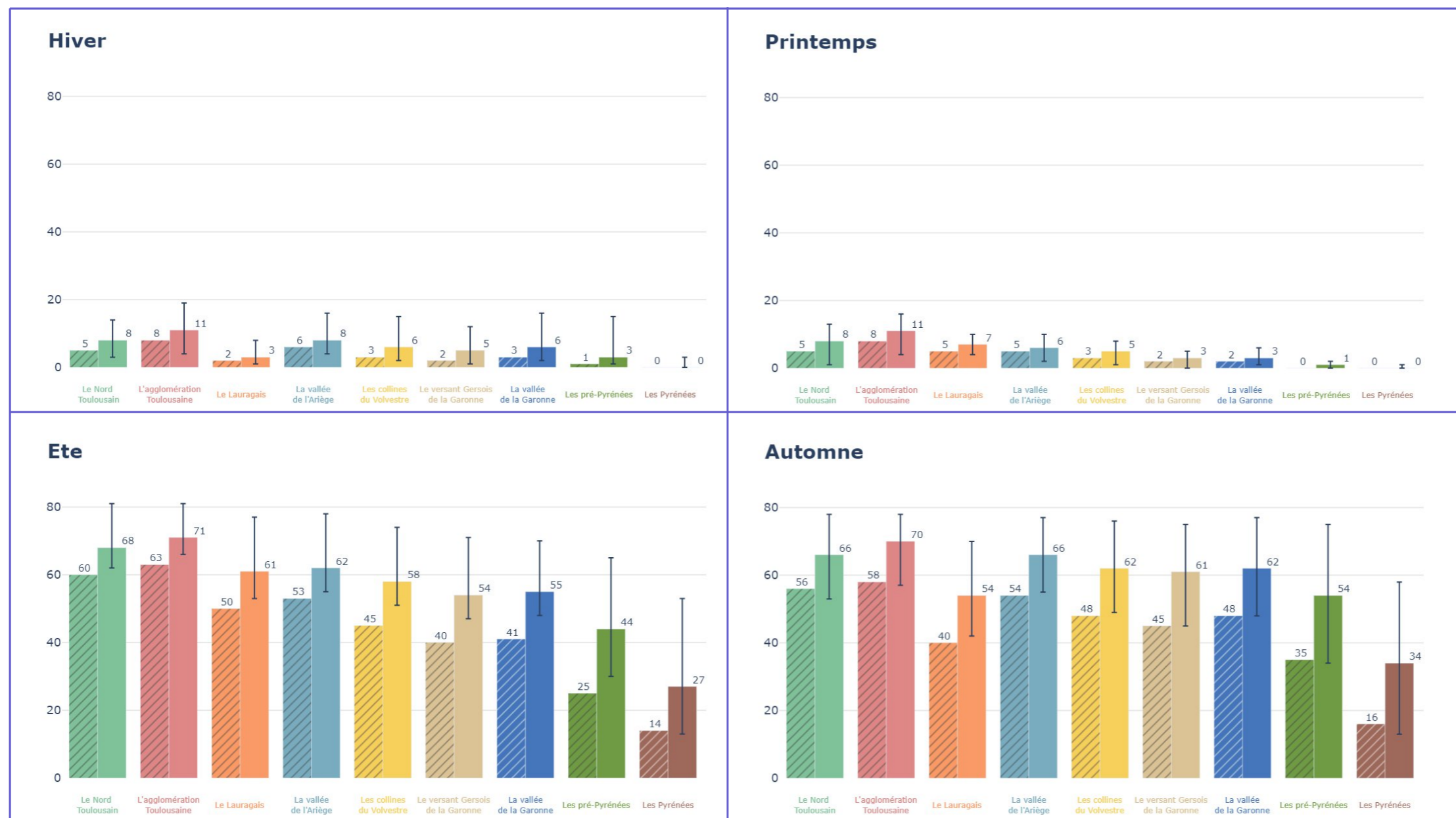
Au printemps, tout le territoire affiche une augmentation de 1 à 2 jours, avec au maximum 9 jours à risque durant cette saison.

En été, l'évolution serait de **20 à 40 jours à risque** au nord et de **6 à 15 jours** dans les pré-Pyrénées. Dans les Pyrénées, le phénomène apparaîtra au printemps et à l'automne et restera faible en été.

Néanmoins, cet indicateur ne prend en compte que des paramètres météorologiques, il ignore donc des facteurs aggravants de surmortalité des arbres induits par la sécheresse ou par la présence de parasites qui augmentent drastiquement le risque de feu de végétation et qui sont tous amplifiés par le changement climatique. Le non respect des OLD (Obligations Légales de Défrichement) est aussi un facteur aggravant pour les départements d'incendie.

3.3.5. Nombre de jours avec sol sec (en jours)

Nombre de jours où l'indice de sécheresse du sol (Soil Wetness Index) est supérieur ou égal à 0.4, par saison. Le modèle SWI modélise les flux d'eau et d'énergie à l'interface sol-biosphère-atmosphère, l'évolution du débit des rivières et des principales nappes de surface et l'occupation du sol (types de végétation, urbanisation).



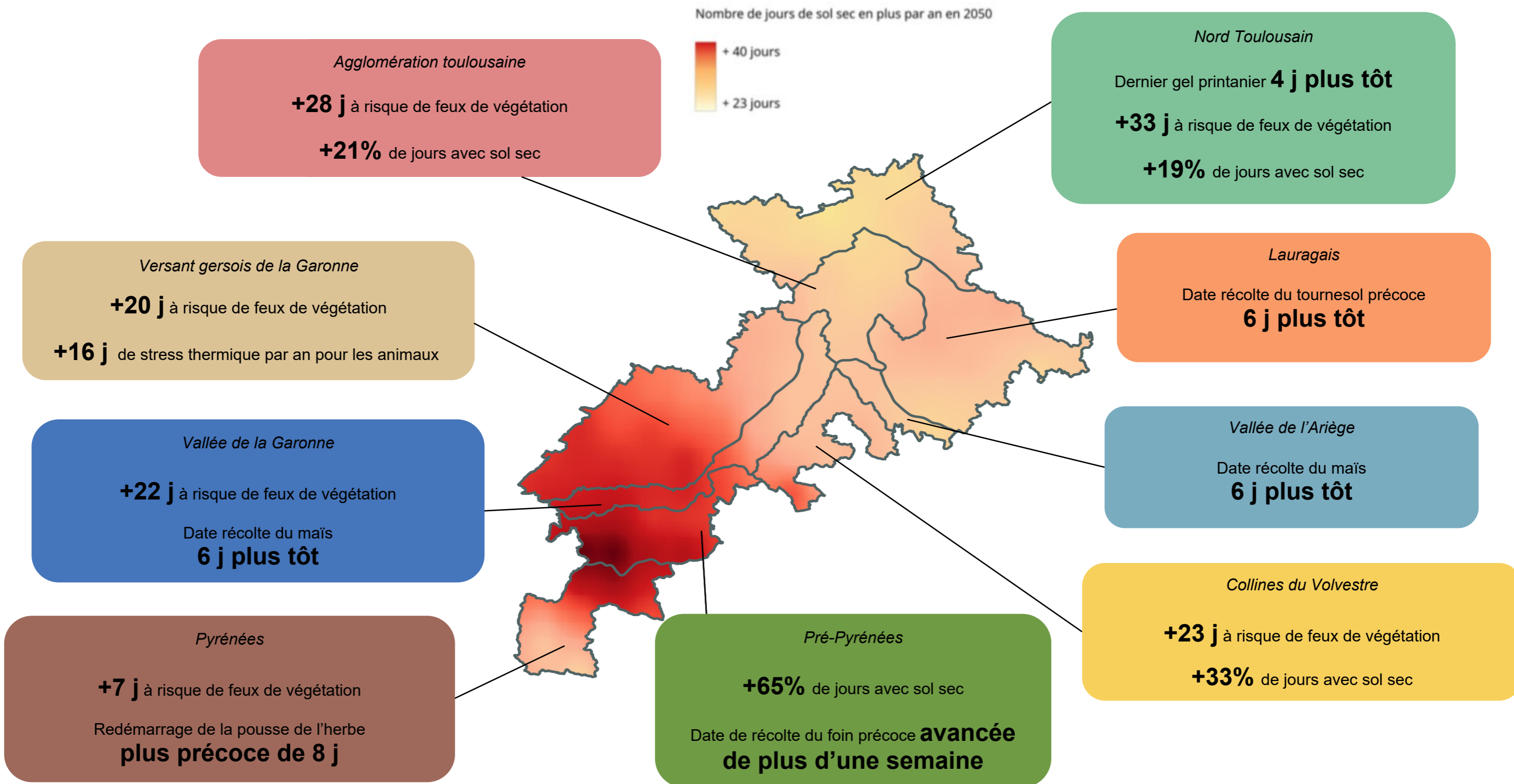
À l'horizon 2050, le nombre de jours avec sol sec a une tendance très robuste à l'augmentation en été et en automne. Cette augmentation est chiffrée entre **+10 et +20 jours du nord au sud** du département sur la période estivale par rapport à la médiane de la période de référence (1976-2005). Il y a une tendance non robuste de faible augmentation en hiver et au printemps.

Au regard des évolutions de température et de précipitations, cette augmentation du nombre de jours avec sol sec est principalement liée à l'augmentation des températures, qui a une tendance nette de forte augmentation, et non aux précipitations dont la tendance d'évolution du cumul annuel n'est pas robuste.

3.3.6. A retenir sur les impacts sur les sols et la végétation

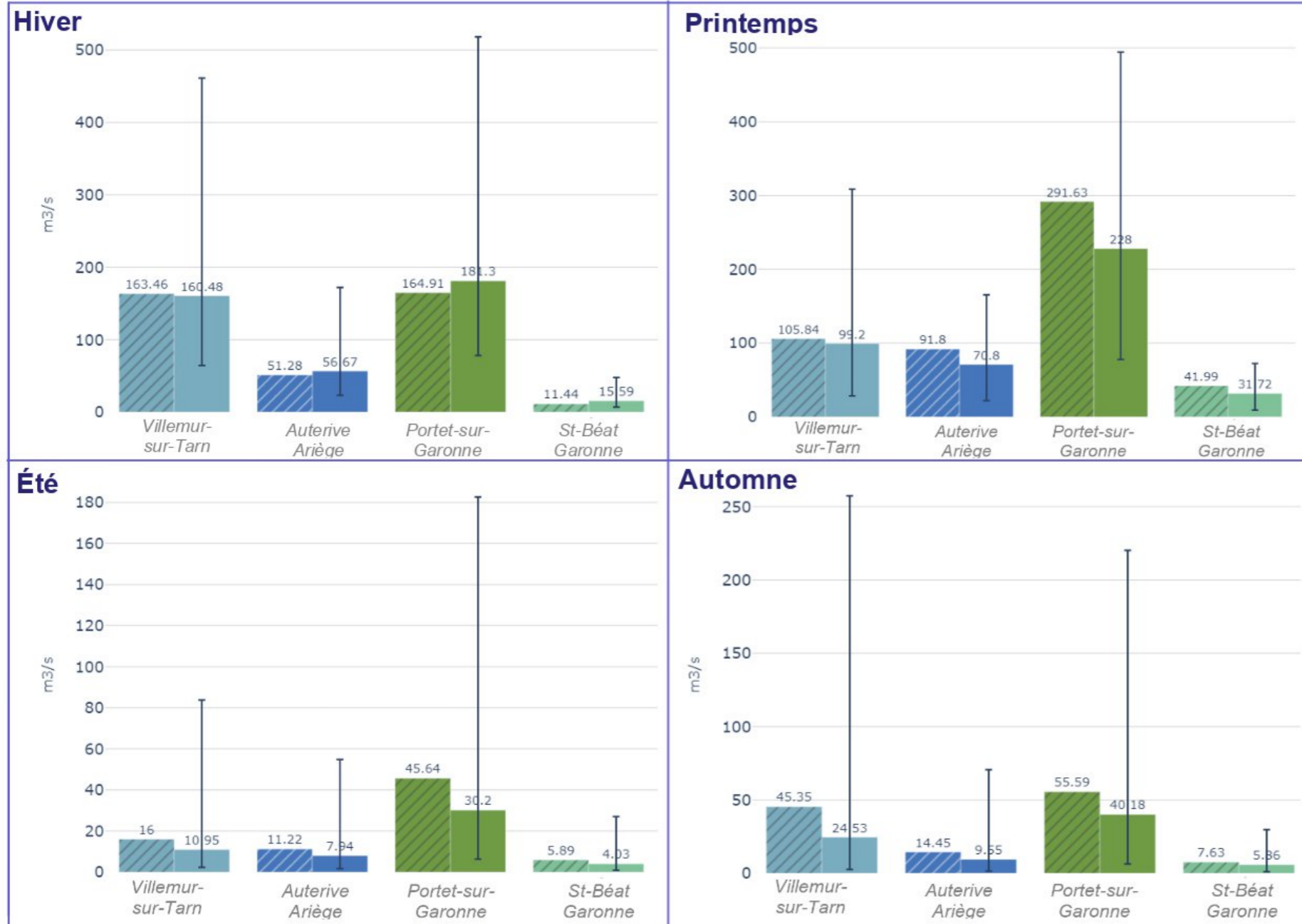
Sur cette planche, une mosaïque d'indicateurs pertinents au regard des spécificités locales est proposée.

Écart entre la référence (1976-2005) et la projection à 2050 des jours de sol sec annuel

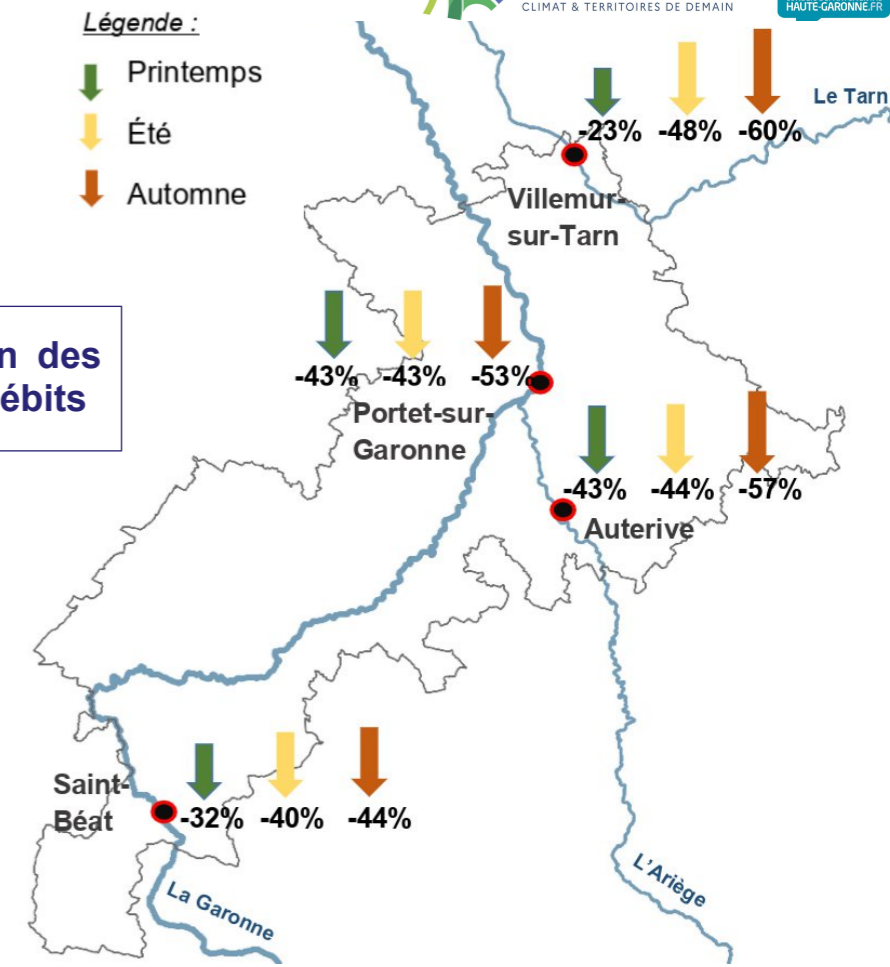


3.4. Impacts sur la ressource en eau

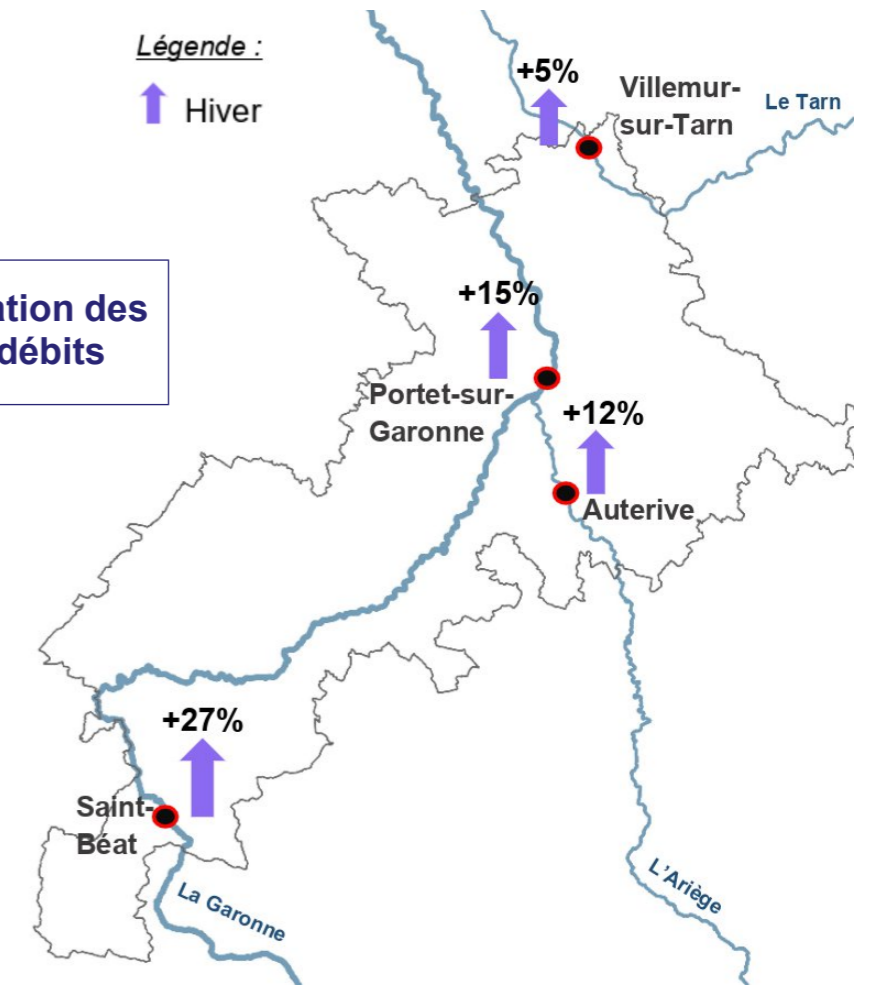
Débits médians saisonniers en m³/s dans les histogrammes et écart des très bas et très forts débits dans les cartes ci contre. Données issues de DRIAS-EAU
 Très bas (très forts) débits: extrême bas (haut) atteint seulement 5% du temps par saison.



Diminution des très bas débits



Augmentation des très forts débits



La très grande variabilité dans les projection d'évolution des débits des cours d'eau est à retenir. Pour la Garonne à Portet-sur-Garonne, la baisse médiane du débit annuelle est évaluée à 15%, avec une très faible robustesse. L'évolution des très bas débits en automne et en été est à étudier. Il est à retenir qu'ils vont considérablement être réduits (-50% pour la Garonne et jusqu'à -60% en automne pour le Tarn ou l'Ariège).

L'incertitude sur les projections des précipitations couplée à l'augmentation de l'évapotranspiration, la baisse du stock nival et la variabilité dans la recharge des nappes sont responsables des évolutions et de leurs grandes variabilités.

Il est important de noter que les débits des cours d'eau vont évoluer pour des raisons climatiques mais peuvent aussi évoluer en fonction de la demande en eau, qui pourrait être en baisse comme en hausse.

3.5. Éléments marquants du portrait climatique



Augmentation des températures

- Augmentation des températures moyennes saisonnières
- Amplification des conséquences du phénomène d'îlot de chaleur urbain
- Canicules plus fréquentes
- Nombre de jours chauds et de nuits tropicales plus élevés
- Diminution du nombre de jours de gel et de la période à risques (mais gel tardif toujours présent !)
- Forte robustesse des indicateurs de températures



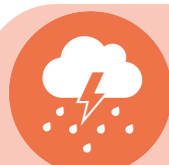
Perturbations des régimes de précipitations

- Évènements extrêmes plus intenses
- Grande variabilité interannuelle
- Diminution des chutes de neige et fonte accélérée
- Diminution des cumuls de précipitations estivaux
- Évapotranspiration plus élevée
- Augmentation des risques de glissement de terrains
- Faible robustesse de la plupart des indicateurs liés aux précipitations et par effet induit tendances incertaines sur l'évolution des débits des cours d'eau.



Impacts sur le sol et la végétation

- Croissance de la végétation plus précoce et plus longue
- Augmentation du stress thermique sur les animaux et la végétation
- Date de récoltes des cultures plus précoces
- Changement des mécaniques de ruissellement de surface et recharge des eaux souterraines
- Apparition du risque incendie
- Augmentation de la période de sécheresse des sols
- Augmentation de la vulnérabilité de la végétation face au gel tardif



Évolution des événements extrêmes

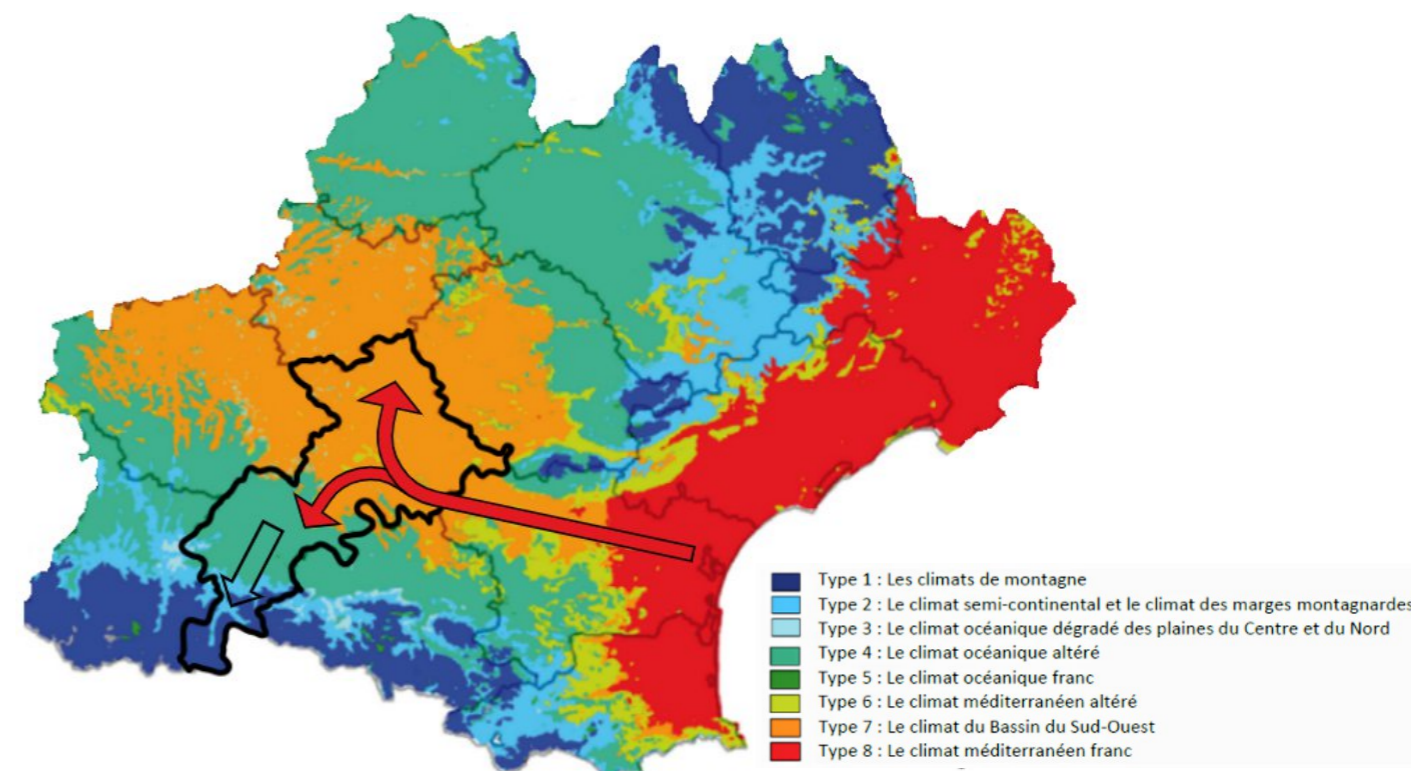
A l'horizon 2050, il est possible que les événements de précipitations extrêmes deviennent **trois fois plus fréquents**, que la grêle devienne **plus destructrice** (grêlons plus gros) et que les tempêtes soient moins fréquentes mais **plus violentes**. **L'évolution des vents et des tornades est inconnue** et celles des événements extrêmes est incertaine.

Le **gradient climatique nord-est/sud-ouest** du département ne sera pas particulièrement modifié par le changement climatique.

Le nord et le centre du département vont subir une « **méditerranéisation** » (flèche rouge ci-contre), dont voici les traits caractéristiques :

- Augmentation du nombre de jours chauds et raréfaction des jours froids
- Augmentation de l'amplitude intra-annuelle (écart entre les températures de juillet et janvier)
- Augmentation des précipitations en été et diminution en hiver

Pour le sud du département, les climats océaniques vont se **décaler vers le sud** et les climats montagnards vont considérablement **remonter en altitude**.

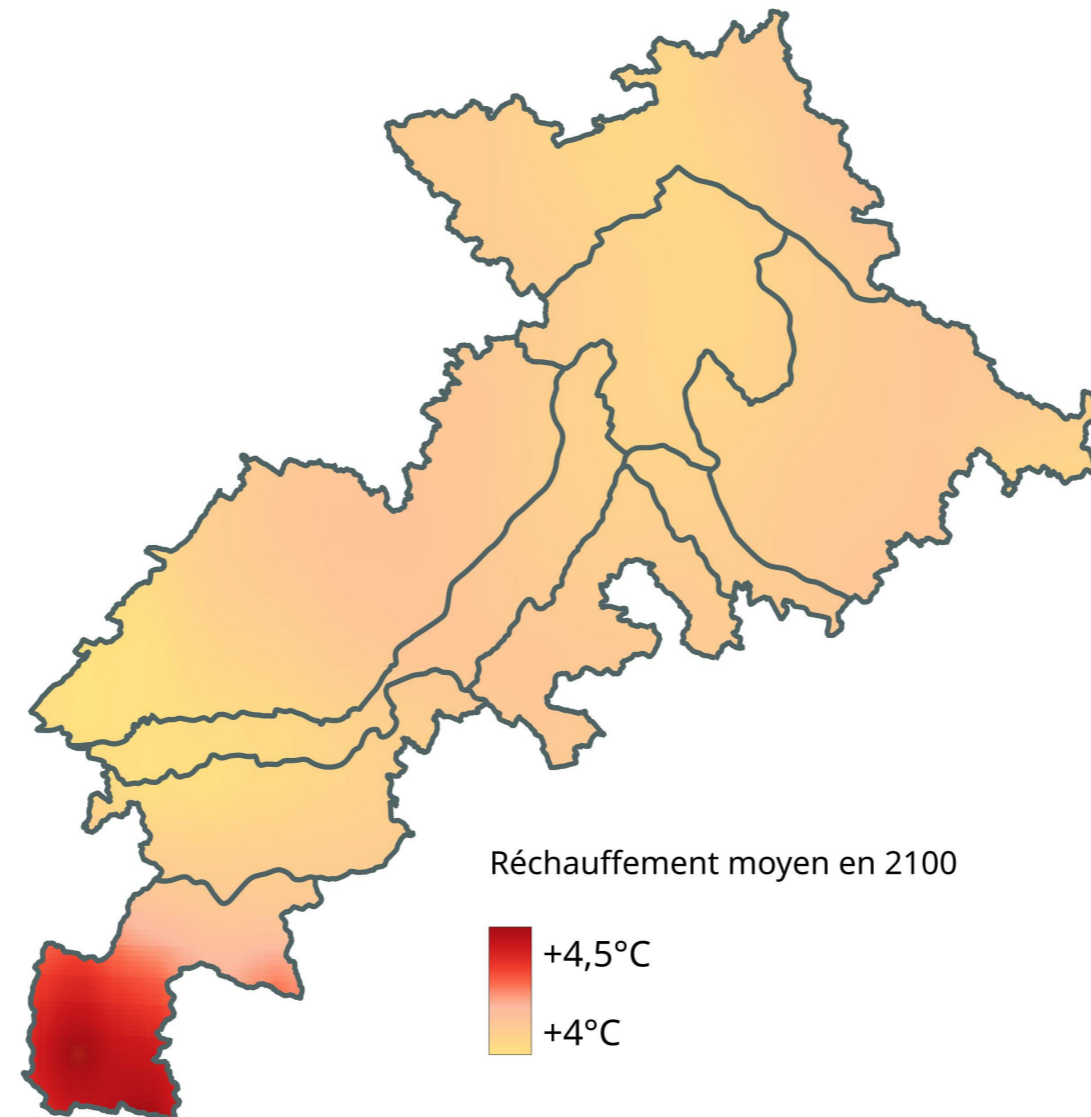


3.6. Ouverture : Et en 2100 ?



Augmentation des températures

- +4,1°C en moyenne
- -75% de jours de gel
- +15 à +20 jours de fortes chaleurs
- x6 à x10 nuits tropicales par an (hors îlots de chaleur urbain)



Perturbations des régimes de précipitations

- Variabilité interannuelle des précipitations encore plus importante
- Moins de jours de pluie, excepté en hiver



Impacts sur le sol et la végétation

- x2 à x4 jours à risques de feu de végétation
- +40% de jours avec sol sec en moyenne en été et en automne
- +20% d'évapotranspiration potentielle en été

4. ANNEXES

4.1. Bibliographie

- Agence d'Urbanisme et d'Aménagement Toulouse. (2020). Atlas climatique. http://lib.aua-toulouse.org/PageFlipPDF/Atlas_climatique_Toulouse_Metropole_2020/
- ASTERS. (2021). Les lacs de montagne se réchauffent-ils avec le changement climatique ? <https://www.lacs-sentinelles.org/fr/pages/lacs-altitude/lacs-montagne-se-r%C3%A9chauffent-changement-climatique>
- Benizri E. (2021). Maladies des Cultures. Impacts des populations d'agents pathogènes et adaptations au changement climatique. Université de Lorraine. ENSAIA. INRAe. <https://asso.adebiotech.org/wp-content/uploads/2021/12/1-Benizri-Adebiotech-20211207.pdf>
- Brooks, H. E. (2013). Severe thunderstorms and climate change. *Atmospheric Research*, 123, 129-138. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2012.04.002>
- Caballero, Y., Bernardie, S., Graveline, N., Del Carmen Llasat, M., Bouisset, C., Clarimont, S., Degrémont, I., Beguería, S., Moreno, J. I. L., Jomelli, V., & Serrano, E. (2018). 3.4 Risques naturels. <https://hal.science/hal-02166448>
- Carrasco, J., Casassa, G., & Quintana, J. (2005). Changes of the 0°C isotherm and the equilibrium line altitude in central Chile during the last quarter of the 20th century / Changements de l'isotherme 0°C et de la ligne d'équilibre des neiges dans le Chili central durant le dernier quart du 20ème siècle. *Hydrological Sciences Journal*, 50(6). <https://doi.org/10.1623/hysj.2005.50.6.933>
- Cattiaux, J. (2018). Événements météorologiques extrêmes et changement climatique - Encyclopédie de l'environnement. <https://www.encyclopedie-environnement.org/climat/evénements-meteorologiques-extremes-changement-climatique/>
- Chambre D'agriculture Occitanie. (2024). ORACLE 2023 : État des lieux sur le changement climatique et ses incidences agricoles en région Occitanie. <https://occitanie.chambre-agriculture.fr/publications/toutes-les-publications/la-publication-en-detail/actualites/oracle-2023-etat-des-lieux-sur-le-changement-climatique-et-ses-incidences-agricoles-en-region-occit/>
- Copernicus Interactive Climate Atlas. <https://atlas.climate.copernicus.eu/atlas>
- Copernicus. (2024). Repeated Saharan dust intrusions raise questions about increasing frequency. Copernicus. <https://atmosphere.copernicus.eu/repeated-saharan-dust-intrusions-raise-questions-about-increasing-frequency>
- Dessens, J., Berthet, C., & Sanchez, J. (2015). Change in hailstone size distributions with an increase in the melting level height. *Atmospheric Research*, 158-159, 245-253. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2014.07.00>
- Drias les futurs du climat. (2020). Rapport DRIAS 2020. <https://www.drias-climat.fr/document/rapport-DRIAS-2020-red3-2.pdf>
- Haarsma, R. J. (2021). European Windstorm Risk of Post-Tropical Cyclones and the Impact of Climate Change. *Geophysical Research Letters*, 48(4). <https://doi.org/10.1029/2020GL091483>
- Hosseinzadehtalaei, P., Tabari, H., & Willems, P. (2020). Climate change impact on short-duration extreme precipitation and intensity-duration-frequency curves over Europe. *Journal Of Hydrology*, 590, 125249. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125249>
- Keraunos. Base de données des tornades françaises. <https://www.keraunos.org/>
- Laignon, P. (2022). Le cycle de vie des Botryosphaeriacees chez la vigne. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/364323110_Le_cycle_de_vie_des_Botryosphaeriacees_chez_la_vigne
- Leckebusch, G. C., & Ulbrich, U. (2004). On the relationship between cyclones and extreme windstorm events over Europe under climate change. *Global And Planetary Change*, 44(1-4), 181-193. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2004.06.011>
- Madsen, H., Lawrence, D., Lang, M., Martínková, M., & Kjeldsen, T. (2014). Review of trend analysis and climate change projections of extreme precipitation and floods in Europe. *Journal Of Hydrology*, 519, 3634-3650. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.11.003>
- Météo-France. ClimatHD <https://meteofrance.com/climathd>
- Météo-France. Pluies extrêmes en France métropolitaine <http://pluiesextremes.meteo.fr/>
- Météo-France. Tempêtes en France métropolitaine. <http://tempetes.meteo.fr/>
- Observatoire pyrénéen du changement climatique (OPCC). Écosystèmes sensibles de haute montagne. <https://opcc-ctp.org/fr/sector/ecosystemes-sensibles-haute-montagne>
- Observatoire pyrénéen du changement climatique (OPCC). Le changement climatique dans les Pyrénées: impacts, vulnérabilités et adaptation. <https://opcc-ctp.org/sites/default/files/editor/opcc-resumen-fr.pdf>
- PanoSolar. (2023). Carte d'ensoleillement 2022 : durée d'ensoleillement par ville en heures par an. <https://panosolar.com/carte-ensoleillement.html>
- Pendergrass, A. G., Knutti, R., Lehner, F., Deser, C., & Sanderson, B. M. (2017). Precipitation variability increases in a warmer climate. *Scientific Reports*, 7(1). <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-017-17966-y>
- Philbro Animal Health Corporation. <https://europe.pahc.com/fr/les-defis/stress-thermique>
- Pons, F. (2022). La tornade du 23/10/22 en France : Analyse météo et lien avec le réchauffement climatique.
- Raupach, T., Martius, O., Allen, J. T., Kunz, M., Lasher-Trapp, S., Mohr, S., Rasmussen, K. L., Trapp, R. J., & Zhang, Q. (2021). The effects of climate change on hailstorms. *Nature Reviews. Earth & Environment*, 2(3), 213-226. <https://www.nature.com/articles/s43017-020-00133-9>
- René, P. (2021). Suivi des glaciers. Parc national des Pyrénées. https://www.pyrenees-parcnational.fr/sites/pyrenees-parcnational.fr/files/available_docs/suivi-des-glaciers-parc_national_des_pyrenees-sept2022_0.pdf
- Romero, R., & Emanuel, K. (2013). Mediane risk in a changing climate. *Journal Of Geophysical Research. Atmospheres*, 118(12), 5992-6001. <https://doi.org/10.1002/jgrd.50475>
- Sanchez, J., Merino, A., Melcón, P. H., García-Ortega, E., Fernández-González, S., Berthet, C., & Dessens, J. (2017). Are meteorological conditions favoring hail precipitation change in Southern Europe ? Analysis of the period 1948–2015. *Atmospheric Research*, 198, 1-10. https://www.researchgate.net/publication/318919541_Are_meteorological_conditions_favoring_hail_precipitation_change_in_Southern_Europe_Analysis_of_the_period_1948-2015
- Vallée, R. (2021). Impacts du stress thermique sur les vaches laitières. Cniel. https://www.idele.fr/umt-ebis/?eID=cmis_download&oID=workspace%3A%2F%2FSpacesStore%2F6e71a361-6b6e-460d-a140-aed81d7c8e89&cHash=50557fae57f74ca602d0212ba1ae25bd
- Woods, M. J., Trapp, R. J., & Mallinson, H. M. (2023). The Impact of Human-Induced Climate Change on Future Tornado Intensity as Revealed Through Multi-Scale Modeling. *Geophysical Research Letters*, 50(15). https://www.researchgate.net/publication/371436454_The_impact_of_human-induced_climate_change_on_future_tornado_intensity_as_revealed_through_multi-scale_modeling
- World Weather Attribution. (2021). Human-caused climate change increased the likelihood of early growing period frost in France. <https://www.worldweatherattribution.org/human-caused-climate-change-increased-the-likelihood-of-early-growing-period-frost-in-france/>

4.2. Découpage d'étude en 9 zones

Nouvelle zone	Unités Paysagères (UP) associées	Justification
Le Nord Toulousain	1 – Les coteaux de Montclar	<p>Cette zone englobe le nord du département, au-dessus de la métropole toulousaine. C'est la transition entre les vallées (Garonne, Girou) urbaines et industrielles, et les coteaux et terrasses (Lomagne, Frontonnais) plus ruraux. Les paysages y sont homogènes avec une alternance de vallées et de coteaux.</p> <p>L'activité agricole est présente sur toute cette zone et assez diversifiée avec du blé, du maïs, des tournesols, des arbres fruitiers ou encore des vignes et de l'ail AOP. Les zones de pâturages sont aussi bien présentes sur ce territoire.</p> <p>La végétation y est particulièrement développée, avec les importants réservoirs de biodiversité des forêts de Bouconne à l'ouest et de Buzet à l'est.</p>
	2 – La vallée du Tarn	
	3 – Les Terrasses du Frontonnais	
	4 – La Vallée du Girou	
	5 – Les coteaux de Lomagne	
	6 – Les terrasses moyennes de la Save	
L'agglomération Toulousaine	8 – L'agglomération Toulousaine	L'agglomération toulousaine est très différente des autres zones puisque c'est le pôle urbain du département. L'urbanisation est très développée avec le réseau de transports, les industries et les logements et le pourcentage de végétation sur la zone est très faible. La Garonne est également un élément structurant de la zone, elle passe au coeur de la ville de Toulouse.
Le Lauragais	11 – Le Sillon Lauragais	<p>Cette zone a un paysage homogène avec des vallons et une activité agricole majeure dont les cultures du blé et tournesol sont dominantes. Il y a beaucoup de zones humides dues aux boisements et aux nombreux ruisseaux. Cette zone est traversée par le Canal du Midi et l'Hers Mort donne des caractéristiques d'une vallée à cette zone, bien que son relief soit moins marqué que ceux des autres vallées. Un réseau d'infrastructures important se dessine en parallèle de ces cours d'eau. Le reste de cette zone est occupé par de nombreuses communes éparpillées.</p>
	9 – Les collines ouvertes du Lauragais	
	10 – La Plaine de Revel	
	12 – Les collines resserrées du Lauragais	
La vallée de l'Ariège	13 – La Vallée de l'Ariège	Cette zone s'articule autour de l'Ariège et de sa vallée. Elle représente une double zone de transition, entre le péri-urbain et le rural et entre les collines du Lauragais et du Volvestre. Beaucoup d'activités d'extractions de gravières sont réalisées dans cette zone en plus des cultures, surtout celle du maïs.

Les collines du Volvestre	17 – Les collines du Volvestre	Cette UP se distingue des autres par son paysage de collines différentes de celles du Gers et du Lauragais, associé à des essences d'arbres spécifiques (comme le pin parasol). L'ensemble de trois vallées agit comme zone de transition entre les territoires peu vallonnés du Lauragais et les reliefs de l'Ariège.
Les collines et terrasses du versant Gersois de la Garonne	15 – Les Terrasses moyennes de la Garonne	<p>Cette zone est la continuité géologique du plateau de Lannemezan à l'ouest. Traversée de nombreux cours d'eau, elle comporte de nombreuses zones humides et est consacrée en grande partie à l'agriculture (blé, maïs) et à l'élevage (bovins, ovins). En conséquence, il y a peu d'industries et les zones urbaines sont dispersées.</p> <p>A cette zone est aussi associée le tiers ouest de l'UP Petites Pyrénées.</p>
	16 – Les Collines gasconnes du Savès	
	18 – Les collines du Comminges	
	20 – Le Balcon Pyrénéen	
La vallée de la Garonne	7- La Garonne des Terrasses	<p>Cette zone, à laquelle on ajoute la commune de Boussens (qui constitue le tiers central de l'UP des Petites Pyrénées), forme la vallée de la Garonne, grande zone Natura 2000. Cette zone comporte des autoroutes (A62, A64) et de nombreuses zones urbaines et industrielles, toutes concernées par les mêmes risques d'inondation.</p>
	14 – La Plaine de la Garonne	
	21 – La Garonne du Comminges	
Les pré-Pyrénées	22 – Le Comminges Pyrénéen	Cette UP agit comme zone de transition entre les Pyrénées et le reste du département. D'importantes variations d'altitude, de géologie, d'urbanisme, de végétation sont présentes. Elle rassemble le Comminges Pyrénéen et le tiers est de l'UP Petites Pyrénées.
La vallée de la Pique et les Pyrénées	23 – La Montagne Garonnaise	<p>Cette zone rassemble les caractéristiques du relief des Pyrénées, aussi bien des points de vue géologique et biodiversité (vaste zone Natura 2000) que dans les pratiques agricoles et le tourisme.</p>
	24 – La Haute Montagne du Luchonnais	
*	19 – Les Petites Pyrénées	Cette UP est unique pour ses paysages ariégeois, son sol calcaire et sa biodiversité. Pour conserver un nombre restreint d'entités et des superficies cohérentes, cette UP sera divisée en trois parties : le tiers ouest, le tiers central de la vallée de Boussens, et le tiers est. L'ouest sera regroupé avec les collines et terrasses du versant Gersois de la Garonne, le centre avec la vallée de la Garonne et l'est avec les Pré-Pyrénées, qui partagent les caractéristiques géologiques associées au relief ariégeois.



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Cerema

CLIMAT & TERRITOIRES DE DEMAIN