



ADAPTATION DE LA GESTION DES ESPACES NATURELS SENSIBLES DE COTE-D'OR AUX EVOLUTIONS CLIMATIQUES

Phase 1 – Perspectives climatiques par écorégions
à l'horizon 2 100
Val de Saône

Avril 2023

Auteur :

Antoni Ardouin – Conservatoire d’Espaces Naturels de Bourgogne antoni.ardouin@cen-bourgogne.fr

Relecteurs :

Christine Coudurier – Réserves Naturelles de France Christine.COUDURIER@rnfrance.org

Anne-Cerise Tissot – Réserves Naturelles de France AnneCerise.TISSOT@rnfrance.org

Maryline Vernet – Conseil départemental de la Côte-d’Or maryline.vernet@cotedor.fr

Samuel Gomez - Conservatoire d’Espaces Naturels de Bourgogne samuel.gomez@cen-bourgogne.fr

Sommaire

A-Introduction	3
B-Les données climatiques de références de l'écorégion pour la période 1951-2005 au niveau du point SAFRAN de VILLERS-LES-POTS.....	7
C-Les perspectives climatiques selon divers scénarios (horizon 2100).....	9
1-Le changement climatique	9
2-Agro-climat.....	12
3-Les sécheresses pédologiques et météorologiques et le risque incendie	15
4-Pour résumer.....	20
Quelques indicateurs climatiques utiles pour l'analyse du climat et où les trouver	21

Table des illustrations

Figure 1 : L'effet de serre (source : eaufrance.fr).....	4
Figure 2 : Les différentes trajectoires, scénarios RCP du GIEC (source : ecologie.gouv.fr).....	4
Figure 2 : Evolution de la température moyenne annuelle par horizon et RCP	9
Figure 3 : Evolution du nombre de jours de vague de chaleur par RCP et par horizon	14
Figure 4 : Evolution de l'indicateur de sécheresse météorologique annuel moyen scénario A1B entre 1960 et 2100.....	16
Figure 5 : Evolution de la sécheresse agricole annuelle moyenne depuis 1960 et prévision jusqu'à 2100 (scénario A1B)	17
Figure 6 : Evolution du nombre de jours/an où l'IFM dépassera 20 entre la période de référence 1959-2008 et l'horizon 2070.....	18
Photographie 1 : Crue de la Saône en janvier 2018	8
Tableau 1 : Valeurs climatiques moyennes de références au point SAFRAN 11393 pour la période 1951-2005 récapitulatives du paragraphe	8
Tableau 2 : Évolution du cumul moyen annuel des précipitations en mm par RCP et par horizon.....	9
Tableau 3 : Evolution du nombre de jours de gel moyen par an, par horizon et par RCP	10
Tableau 4 : Evolution du nombre moyen annuel de journées d'été par horizon et par RCP	10
Tableau 5 : Evolution de l'évapotranspiration réelle moyenne annuelle par horizon et par RCP	11
Tableau 6 : Evolution de l'estimation de la date moyenne de reprise de la végétation par horizon et par RCP.....	12
Tableau 7 : Evolution du nombre moyen annuel de nuits tropicales par horizon et par RCP	13
Tableau 8 : Evolution du nombre moyen annuel de jours de vague de froid par horizon et par RCP..	13
Tableau 9 : Evolution de quelques indicateurs par rapport aux valeurs de référence selon les niveaux d'émission à l'horizon 2050 et 2100	20
Carte 1 : Localisation du point SAFRAN faisant référence pour dresser les perspectives climatiques...	6

A-Introduction

Les données climatiques sont majoritairement issues du portail Drias (<http://www.drias-climat.fr/> et <https://www.drias-eau.fr/>) du ministère de la Transition écologique. Il met à disposition plusieurs projections climatiques selon différents modèles. Comme précisé sur le site internet, Drias a pour vocation de mettre à disposition des projections climatiques régionalisées réalisées dans les laboratoires français de modélisation du climat (IPSL, CERFACS, CNRM).

Plusieurs modèles climatiques existent et diffèrent selon la méthode utilisée et le pays. Certains modèles peuvent être optimistes (ils fournissent des résultats plus optimistes que d'autres modèles) ou au contraire pessimistes (ils donnent des résultats plus pessimistes que d'autres modèles).

Compte tenu de ces spécificités, il est essentiel de chercher à obtenir une fourchette de valeurs, ce qui permet ainsi de prendre en compte des incertitudes liées à la modélisation. Il **convient généralement d'utiliser plusieurs modèles** et de les comparer entre eux. Par exemple : un modèle jugé pessimiste et plutôt réchauffant (comme CNRM CM5 / Aladin63), un modèle jugé optimiste (comme IPSL CM5A / WRF381P) et la médiane de l'ensemble des modèles disponibles (DRIAS 2020) proposée par DRIAS. Cette dernière est souvent située entre les deux autres modèles, mais est parfois plus pessimiste, avec des prévisions de réchauffement plus fort ou de pluie moins abondante.

Les perspectives climatiques sont dressées en fonction de différents indicateurs pour 3 profils de changement du bilan radiatif (rayonnement descendant moins rayonnement montant) au sommet de la troposphère (9 à 16 km d'altitude) ou de l'atmosphère, dû à l'évolution d'un des facteurs d'évolution du climat comme la concentration des gaz à effet de serre. C'est ce qu'on appelle les scénarios d'émission ou RCP (*Representative Concentration Pathway*). La figure 1 ci-après rappelle succinctement ce qu'est l'effet de serre : Lorsque les rayons du soleil atteignent la Terre, une partie de ces rayons est absorbée, permettant aux compartiments terrestres de se réchauffer, tandis qu'une autre partie est réfléchi. En retour, les compartiments terrestres émettent un rayonnement infrarouge que les nuages et les gaz à effets de serre (GES), qui **agissent telle une couche isolante**, absorbent et retournent en partie vers le sol : c'est **l'effet de serre**. La chaleur se retrouve piégée entre ces compartiments, de la même manière que dans une serre de culture. Le phénomène d'effet de serre est un phénomène naturel : il permet de créer un équilibre entre l'énergie absorbée et celle qui est réémise. Les principaux GES retrouvés naturellement dans l'atmosphère sont la vapeur d'eau (H₂O), le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄), le protoxyde d'azote (N₂O) ou encore l'ozone (O₃). Le rôle de l'effet de serre dans la régulation du climat est essentiel car s'il n'existait pas, la température terrestre moyenne serait non pas de 14°C, tel qu'actuellement, mais de -18°C.

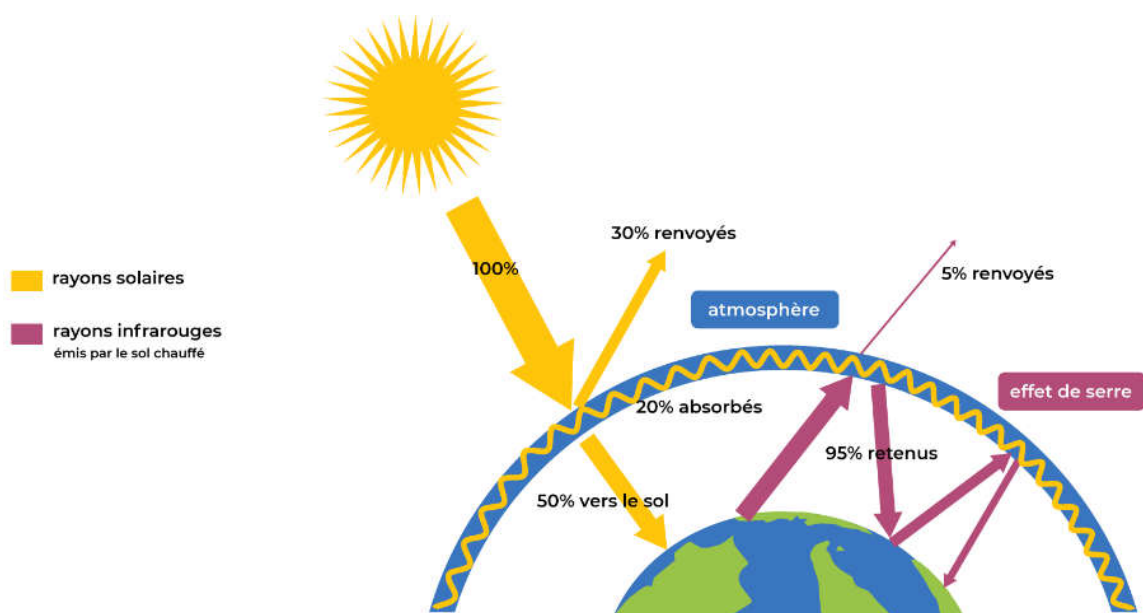


Figure 1 : L'effet de serre (source : eaufrance.fr)

Les scénarios d'émission ou RCP (*Representative Concentration Pathway* ou trajectoire représentatives de concentrations) :

Les scénarios d'émissions **RCP** correspondent à différents schémas d'évolution des émissions de Gaz à Effet de Serre proposés par le GIEC (groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat). Un RCP est utilisé comme paramètre d'entrée des modèles de climat. Sa valeur peut être associée à des hypothèses d'évolution socio-économique, mais également à des politiques d'adaptation et d'atténuation. Trois scénarios (ou profils) sont ainsi disponibles dans DRIAS : RCP 2.6 (émissions maîtrisées), RCP 4.5 (émissions modérées), et RCP 8.5 (émissions non réduites appelé aussi dans le jargon de la climatologie « scénario émetteur »).

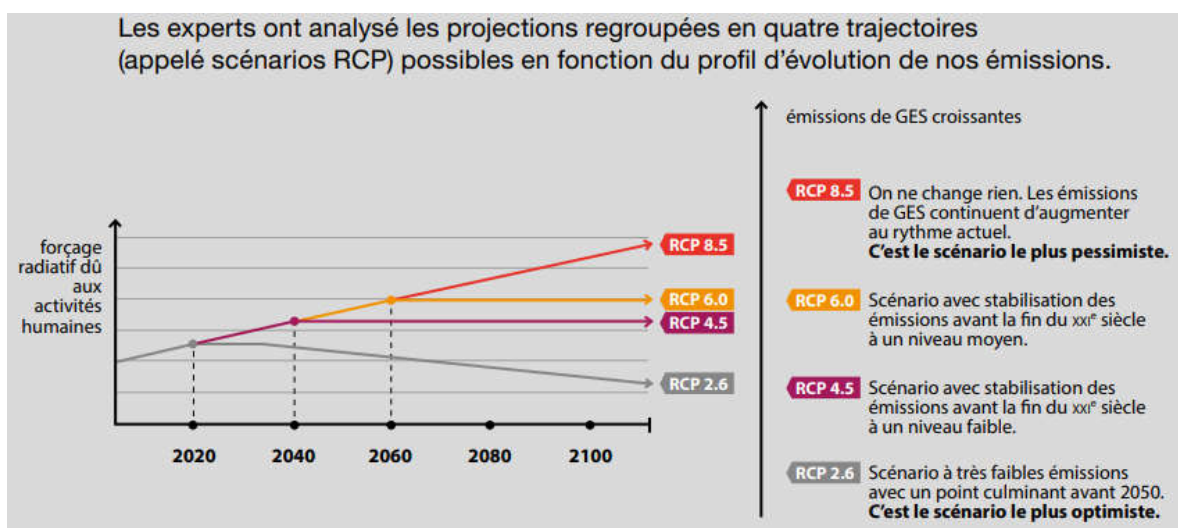


Figure 2 : Les différentes trajectoires, scénarios RCP du GIEC (source : ecologie.gouv.fr)

Pour chaque RCP, **les perspectives climatiques sont établies pour 3 horizons temporels** :

Les modèles climatiques fournissent des indicateurs pour différents pas de temps (souvent 2030, 2050, 2100) ou horizons temporels (c'est-à-dire des plages d'années). Compte tenu des incertitudes liées aux modèles climatiques, les horizons présentent l'avantage de ne pas donner à penser qu'à telle date précisément il fera telle température, mais bien « qu'il soit possible qu'à telle période, l'intervalle des températures possibles soit le suivant ... »

Dans DRIAS, 3 horizons temporels sont proposés :

- l'horizon proche : 2021-2050 (centré sur 2035 et noté H1))
- l'horizon moyen : 2041-2070 (centré sur 2055 et noté H2)
- l'horizon lointain : 2071-2100 (centré sur 2085 et noté H3)

Et seront comparés à **une période de référence** :

La climatologie nécessite des données sur un temps long. Pour caractériser le climat présent, une période minimum de 30 ans est recommandée par l'Organisation météorologique mondiale. **Pour mettre en évidence des changements climatiques, il faut donc une série de mesures allant au-delà de 30 ans**, l'idéal étant d'avoir 60 ans de données pour comparer deux périodes de 30 ans.

Ces dernières années c'est la période 1981-2010 qui faisait référence pour qualifier les normales climatiques. Suite à l'actualisation proposée par Météo France, c'est **dorénavant la période 1991-2020 qui fait référence**. La nouvelle normale de température calculée sur la période 1991-2020 en France s'établit pratiquement à 13 °C (12,97 °C) en hausse de +0,42 °C par rapport à 1981-2010.

Cependant pour prendre la mesure du changement climatique depuis la révolution industrielle, **il est conseillé de se référer à la période 1961-1990** (référence de l'Organisation météorologique mondiale). A cette période, les conséquences des émissions anthropiques de gaz à effet de serre n'étaient pas encore visibles et les instruments de mesures sont jugés comme étant fiables.

Lorsque la période de référence diffère, elle est précisée. Par exemple, pour certains indicateurs la période de référence est de 1951 à 2005.

La **notion d'incertitude**, fondamentale en climatologie :

Les projections climatiques futures sont des **projections**, c'est-à-dire qu'il s'agit de tendances, de trajectoires qui ne sont pas certaines. Il existe en effet plusieurs sources d'incertitudes :

- **Les incertitudes liées à la variabilité naturelle** propre au système climatique, du fait des interactions entre les différentes composantes du climat. Cette variabilité naturelle peut masquer temporairement les effets de l'évolution du climat aux horizons temporels proches.
- **L'incertitude des modèles climatiques eux-mêmes** (différences entre modèles). Le niveau d'incertitude lié aux modèles est beaucoup plus important pour les précipitations que pour les températures.
- **Les incertitudes liées aux scénarios socio-économiques** : nous ne savons pas encore quelles seront nos futures émissions de GES, cela dépend des trajectoires socio-économiques que nous choisissons d'emprunter.

Dans une analyse du climat futur, il convient de toujours garder en tête ces notions d'incertitudes. C'est pourquoi, il est en général conseillé de **travailler avec plusieurs modèles climatiques et/ou plusieurs scénarios**, pour **proposer des fourchettes d'évolution** des paramètres climatiques étudiés.

Pour le présent récit, nous avons sélectionnés les données provenant du modèle numérique ALADIN 63 CNRM-CM5 (Aire Limitée Adaptation dynamique Développement InterNational). Le point retenu pour l'analyse sur la grille SAFRAN est celui centré sur la commune de Mimeure (21 230) avec un rayon de 5 km. La grille SAFRAN est un modèle de surface utilisé en météorologie et climatologie par Météo France. Il couvre le pays de plus de 8 000 points équidistants de 8 km en tous sens. Les 2 RCP retenues sont RCP 4.5 et 8.5, la RCP 2.6 est définitivement écartée des climatologues.

Expérience : DRIAS 2020

Modèle : ALADIN63_CNRM-CM5

Point SAFRAN retenu : 11242 (commune de VILLERS-LES-POTS)

Altitude du point SAFRAN : 400 m



Carte 1 : Localisation du point SAFRAN faisant référence pour dresser les perspectives climatiques

B-Les données climatiques de références de l'écorégion pour la période 1951-2005 au niveau du point SAFRAN de VILLERS-LES-POTS

Pour l'analyse du climat passé et présent, on peut s'appuyer sur des données observées ou sur des données modélisées, si les données observées n'existent pas.

Dans le cas de la présente étude, nous avons privilégié les données modélisées au point de la grille SAFRAN considérée, pour une « continuité » entre les données pour le passé, le présent et le futur. Néanmoins, lorsque la donnée modélisée n'est pas disponible sur le point SAFRAN à ARCENANT, c'est la station météorologique de Longvic Dijon qui est utilisée (et les données sont alors des données observées).

Avant de dresser des perspectives climatiques, il convient de préciser les valeurs qui caractérisent le climat de l'écorégion selon différents indicateurs. L'annexe 1 reprend avec détails la série d'indicateurs climatiques retenus dans le présent document

Température moyenne annuelle

Pour la période de référence, la température moyenne annuelle est de 10,94°C.

A titre indicatif, pour la station météorologique du réseau Météo-France de Dijon-Longvic, les températures moyennes annuelles étaient respectivement de 10,5°C sur la période 1961-1990 et 11,4°C sur la période 1991-2020.

Température moyenne minimale

Sur la période de référence 1951-2005, la température moyenne minimale journalière est de 7,9°C.

Température moyenne maximale

Pour la période de référence 1951-2005, la température moyenne maximale journalière est de 14,7°C.

Pluviométrie moyenne annuelle

Pour la période de référence 1951-2005, la pluviométrie moyenne annuelle est de 786 mm.

A titre de comparaison, la pluviométrie moyenne annuelle était de 792 mm sur la période 1961-1990 à la station météorologique du réseau Météo-France de Dijon-Longvic et de 743 mm sur la période 1991-2020. Soit des valeurs orientées à la baisse.

Evapotranspiration réelle (ETR)

L'ETR est la quantité totale d'eau qui s'évapore du sol/substrat et des plantes présentes dans une zone lorsque le sol est à son taux d'humidité naturel. Elle peut être estimée par type de culture à partir d'un bilan de l'eau du sol ou issue de modélisation (dans notre cas c'est le modèle SIM2).

Pour la période de référence 1951-2005, l'ETR est de 551 mm.

Ensoleillement

On parle d'ensoleillement à partir du moment où l'éclairement direct reçu par une surface est supérieur ou égal à 120 watts par mètre carré. Pour la période de référence au niveau du point SAFRAN retenu il n'y a pas de valeurs.

Toutefois, pour la station météorologique du réseau Météo-France de Dijon-Longvic l'ensoleillement moyen annuel était de 1782 heures sur la période 1971-2000 et de 1890 heures pour la période 1991-2020. Soit une hausse de plus de 100 heures et un gain mensuel de près de 15 heures d'ensoleillement entre 1971 et 2020.

Classification de Köppen

La classification de Köppen est une classification des climats fondée sur les précipitations et les températures datant des années 1920.

Sur les périodes 1958-1987 et 1988-2017 le type moyen de climat observé en Côte d'Or relève du type « breton », noté Cfb dans la classification de Köppen. Ce genre de climat est tempéré et à été frais sans saison sèche (un été étant considéré comme chaud lorsque la température moyenne des mois de juin, juillet et août dépasse les 22°C) (d'après Dubreuil Vincent, le changement climatique en France illustré par la classification de Köppen, Université Rennes 2).

Quelques records

Caractériser le climat présent et à venir c'est aussi traiter des records. Les valeurs données ci-après sont issues de la station météorologique du réseau Météo-France de Dijon-Longvic AUSSI valables pour le point SAFRAN de Villers-les-Pots.

On note que l'année la plus chaude jamais enregistrée est 2022 avec une température moyenne annuelle de 13°C, que la plus froide est 1985 avec seulement 9,4°C. L'extrême de température journalière le plus bas est atteint le 9 janvier 1985 avec -20,9°C (seulement -19,6°C le 15 février 1956...) et le plus haut est atteint le 24 juillet 2019 avec 39,5°C. Côte pluviométrie, le record annuel date de 1995 avec 1 258 mm/an et le record mensuel date de novembre 1996 avec 362,8 mm. Sous nos latitudes, ces valeurs peuvent être qualifiées d'ovnis climatiques.

Paramètres	Référence 1951-2005
Température moyenne annuelle (°C)	10,94
Température moyenne minimale journalière (°C)	7,19
Température moyenne maximale journalière (°C)	14,7
ETR moyenne (mm)	551
Ensoleillement moyen (heures) à la station Météo-France de Dijon-Longvic	1890 (période 1990-2020)
Cumul de précipitation moyen (mm)	786,22
Climat Köppen	Cfb

Tableau 1 : Valeurs climatiques moyennes de références au point SAFRAN 11393 pour la période 1951-2005 récapitulatives du paragraphe



Photographie 1 : Crue de la Saône en janvier 2018

C-Les perspectives climatiques selon divers scénarios (horizon 2100)

Rappel : Toutes les valeurs présentées ci-après sont issues du simulateur du climat DRIAS pour le point de référence SAFRAN 11393 VILLERS LES POTS.

1-Le changement climatique

Température moyenne annuelle

Cet indicateur est un des plus parlants vis-à-vis du changement climatique amorcé. Selon le scénario de RCP 4,5 (stabilisation des émissions de CO₂), la température moyenne annuelle devrait tourner autour de 12°C d'ici à 2050 pour dépasser les 13°C à l'horizon 2100. Dans le scénario le plus pessimiste (RCP 8,5), la température moyenne annuelle devrait dépasser les 12°C d'ici à 2050 pour approcher les 15°C en 2100 soit des hausses comprises entre +1°C et +4°C environ.

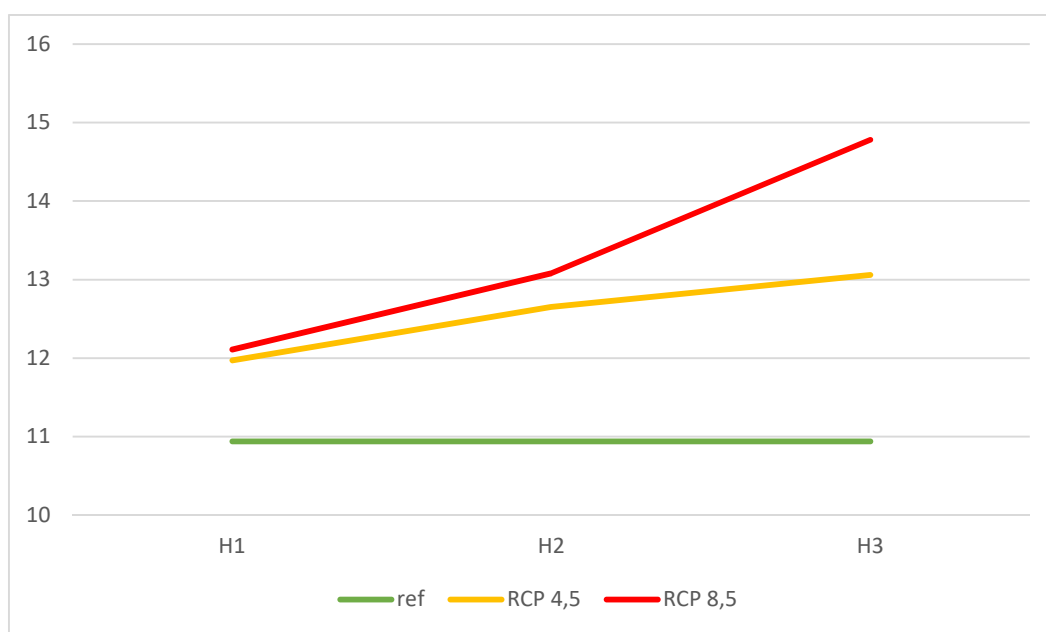


Figure 3 : Evolution de la température moyenne annuelle par horizon et RCP

Pluviométrie moyenne annuelle

Cet indicateur est une des grandes inconnues des différents modèles climatiques. Les valeurs modélisées diffèrent trop (selon les différents modèles pour être considérées comme fiables. Le modèle ALADIN utilisé ici, fait cependant état d'une très grande stabilité des cumuls annuels de pluies, quelques soit le scénario retenu et l'horizon. Les cumuls seraient même orientés à la hausse à l'horizon 2070-2100 avec près de 900 mm prévus. Ces données sont à traiter avec une extrême prudence, elles ne tiennent pas compte de l'importante variabilité saisonnière des précipitations annoncées, ni de l'augmentation probable des jours de fortes précipitations. Des paramètres comme la fonte des glaces, les changements de courants marins ou des phénomènes de blocages anticycloniques sont autant d'inconnues qui joueront un rôle majeur dans la répartition des pluies.

Paramètres	Référence 1951-2005	RCP 4,5			RCP 8,5		
		2031- 2050	2041- 2070	2070-2100	2031-2050	2041- 2070	2070- 2100
Précipitations moyennes annuelles (mm)	786	822	831	883	887	857	926

Tableau 2 : Évolution du cumul moyen annuel des précipitations en mm par RCP et par horizon

Nombre de jours de gel moyens par an

Cet indicateur correspond au dénombrement, entre le 1^{er} janvier et le 31 décembre de chaque année, des jours où la température minimale journalière est inférieure ou égale à 0°C.

On sait que le nombre de jours de gel influe directement sur bon nombre de processus chez les végétaux et animaux comme par exemple la levée de dormance ou la durée et la qualité de la floraison.

Ainsi pour un RCP de 4,5, à l'horizon 2100, le nombre de jours de gel moyen par an sera de 36 jours contre 56 sur la période de référence, soit une baisse d'environ 40%.

Pour un RCP de 8,5, à l'horizon 2100, le nombre de jours de gel moyen par an sera de seulement 19 jours contre 56 sur la période de référence, soit une réduction d'environ 70%.

Ces baisses sont parmi les plus importantes de l'ensemble des simulations faites sur le département de la Côte-d'Or avec la Côte et l'arrière-Côte dijonnaise.

Paramètres	Référence 1951-2005	RCP 4,5			RCP 8,5		
		2031- 2050	2041- 2070	2070-2100	2031-2050	2041- 2070	2070- 2100
Nombre de jours de gel (jour(s))	56	46	43	36	46	35	19

Tableau 3 : Evolution du nombre de jours de gel moyen par an, par horizon et par RCP

En tout état de cause, le nombre de jours de gel sera orienté à la baisse, quel que soit le scénario et l'horizon retenu. Cet indicateur est déjà impacté par le changement climatique depuis 1990. A la station météorologique de Dijon-Longvic, on note une baisse de 5,7 jours de gel par décennie soit une diminution de 33 j depuis 1983.

Nombre de jours estivaux moyens par an (=nombre de journées d'été)

Cet indicateur correspond au dénombrement, entre le 1^{er} janvier et le 31 décembre de chaque année, des jours où la température maximale journalière est supérieure ou égale à 25°C.

En moyenne, le nombre de journées d'été est de 46 j/an pour la période de référence. Selon les 2 RCP à l'horizon 2070, les chiffres seront équivalents avec en moyenne 73 j/an de journées d'été (hausse de 58%).

La principale différence se situe à l'horizon 2100 pour la RCP 8,5 avec le nombre impressionnant de 97 journées d'été prévues en moyenne par an, soit près de 25% des jours d'une année.

Paramètres	Référence 1951-2005	RCP 4,5			RCP 8,5		
		2031- 2050	2041- 2070	2070- 2100	2031- 2050	2041- 2070	2070- 2100
Nombre de journées d'été (jour(s))	46	60	73	73	60	73	97

Tableau 4 : Evolution du nombre moyen annuel de journées d'été par horizon et par RCP

A titre indicatif, le nombre de jours estivaux par an a nettement augmenté en Bourgogne-Franche-Comté au cours des 50 dernières années : augmentation de 3 à 6,4 jours par décennie pour les différentes stations météorologiques du réseau Météo France en région.

Evapotranspiration réelle (ETR) moyenne annuelle

Données issues de modèle hydro EXPLORE 2 SIM2-2021 ALADIN63_CNRM-CM5

L'évapotranspiration réelle est un paramètre capital dans le cycle de l'eau, elle permet d'extraire l'eau du sol vers l'atmosphère. Elle correspond à la somme de l'évaporation de l'eau contenue dans le sol et de l'eau transpirée par les plantes. C'est le seul processus du vivant capable d'une telle prouesse.

Selon le RCP 4,5 à l'horizon 2050/2070 nous devrions avoir une hausse de l'ETR moyenne annuelle autour de 7%, et d'environ 11% aux alentours de 2100.

Pour le RCP 8,5, la hausse est plus importante à court et moyen terme avec 12% à l'horizon 2050/2070, puis près de 18% aux alentours de 2100.

Paramètres	Référence 1951-2005	RCP 4,5			RCP 8,5		
		2031-2050	2041-2070	2070-2100	2031-2050	2041-2070	2070-2100
ETR (mm)	551	590	598	612	622	615	652

Tableau 5 : Evolution de l'évapotranspiration réelle moyenne annuelle par horizon et par RCP

Ces valeurs sont cohérentes et corrélées à la hausse de la température moyenne donc sans surprise. La nuance est à apporter dans l'ETR moyenne saisonnière qui pourrait être extrêmement marquées durant les mois d'été (juin-juillet et aout). A précipitations inchangées, cet accroissement de l'évapotranspiration réelle se traduira par un durcissement des conditions hydriques pour la végétation (naturelle ou cultivée) avec des sécheresses du sol qui devraient s'intensifier.

2-Agro-climat

Date de reprise de la végétation

L'estimation de la date de reprise de la végétation est un des indicateurs les plus suivis dans le monde agricole notamment dans l'élevage. Il est calculé sur un modèle de prairie permanente de pâture majoritairement composé de graminées.

La date de reprise de la végétation est habituellement calculée au moyen d'un cumul thermique (base 0°C) calé au 1^{er} janvier, seuls les processus de croissance étant ici en jeu. On cumule donc les températures moyennes journalières base 0°C (zéro de végétation des graminées) à partir du 1^{er} janvier, puis on note la date de dépassement du seuil de 200°C par jour (seuil de température cumulée à partir duquel les graminées commencent leur croissance).

On mentionne que la température moyenne journalière base 0°C est calculée sans tenir compte des températures négatives, et est plafonnée à 18°C.

La date de référence pour la période 1951-2005 est calculée au 1^{er} mars. C'est-à-dire qu'à cette date les graminées prairiales débourrent. Pour un RCP de 4,5, aux horizons 2050 et 2070, les prévisions tablent sur une avance de 7/8 jours puis 15 jours en 2100. Pour un scénario plus pessimiste, les dates sont encore avancées de quelques jours (entre 9 et 13 jours) aux horizons 2050 et 2070 et on pourrait constater un débourrement précoce de près de 1 mois à l'horizon 2100.

Paramètres	Référence 1951-2005	RCP 4,5			RCP 8,5		
		2031-2050	2041-2070	2070-2100	2031-2050	2041-2070	2070-2100
date de reprise de végétation (calendrier grégorien)	01-mars	22-févr	21-févr	16-févr	19-févr	15-févr	04-févr

Tableau 6 : Evolution de l'estimation de la date moyenne de reprise de la végétation par horizon et par RCP

Cet indicateur de reprise de la végétation, initialement calculé pour la prairie, donne aussi une indication relativement fiable pour le débourrement d'une végétation arborescente ou arbustive. En parallèle, il est indispensable d'examiner les risques de gels précoces lors de la floraison pour dresser un tableau complet des impacts potentiels de l'avancée de la date de reprise de la végétation.

Phénomène de nuit tropicale

Une nuit tropicale se définit par une température minimale ne descendant pas sous les 20°C la nuit. Encore exceptionnelles dans notre département avant les années 1990, les nuits tropicales ont tendance à se multiplier ces dernières années, en lien avec les phénomènes de vagues de chaleur (8 nuits tropicales en 2003 à la station météorologique de Dijon-Longvic, 6 en 2020).

Ce qui marque aussi, c'est l'apparition de nuits tropicales dès le mois de juin et leur survenue jusqu'en septembre, là où traditionnellement ces nuits n'étaient connues qu'au cœur de l'été entre le 10 juillet et le 20 août.

Pour la période de référence 1951-2005, le nombre de nuits tropicales est de 4. Selon le RCP 4,5 à l'horizon 2050, ces nuits auront doublés (7), triplés aux alentours de 2070 voire quadruplés en 2100.

Pour le RCP 8.5, ces nuits auront doublés à l'horizon 2050, quadruplés en 2070 et seront multipliées par 9 autour de 2100.

Paramètres	Référence 1951-2005	RCP 4,5			RCP 8,5		
		2031-2050	2041-2070	2070-2100	2031-2050	2041-2070	2070-2100
Nombre de nuits tropicales (jour(s))	4	7	14	17	10	15	35

Tableau 7 : Evolution du nombre moyen annuel de nuits tropicales par horizon et par RCP

Vagues de chaleur et de froid

On parle de vague de froid lorsque l'épisode dure au moins deux jours et que les températures atteignent des valeurs nettement inférieures aux normales saisonnières de la région concernée fixées par Météo-France et par département (en moyenne de 10°C en dessous des normales saisonnières c'est-à-dire les moyennes trentenaires calculées sur la période de référence).

Conformément à l'évolution des températures attendue pour le futur, les vagues de froid devraient nettement diminuer, voire disparaître à l'horizon 2100, et ce, quel que soit le RCP considéré.

Paramètres	Référence 1951-2005	RCP 4,5			RCP 8,5		
		2031-2050	2041-2070	2070-2100	2031-2050	2041-2070	2070-2100
Nombre de jours d'une vague de froid (jour(s))	4	3	2	1	2	0	0

Tableau 8 : Evolution du nombre moyen annuel de jours de vague de froid par horizon et par RCP

Un épisode de vague de chaleur est détecté dès lors qu'une valeur quotidienne de l'indicateur thermique national atteint ou dépasse 25,3°C et qu'il reste au-dessus de cette valeur pendant au moins 3 jours.

L'explosion du nombre de jours de vague de chaleur est une réalité. Pour une moyenne de 10 jours/an sur la période de référence, le RCP 4.5 prévoit une **multiplication par 4,5 (45 j/an) du nombre de jours à l'horizon 2100 et pour le RCP 8.5 une multiplication par 8,4 (84 j/an) en moyenne.**

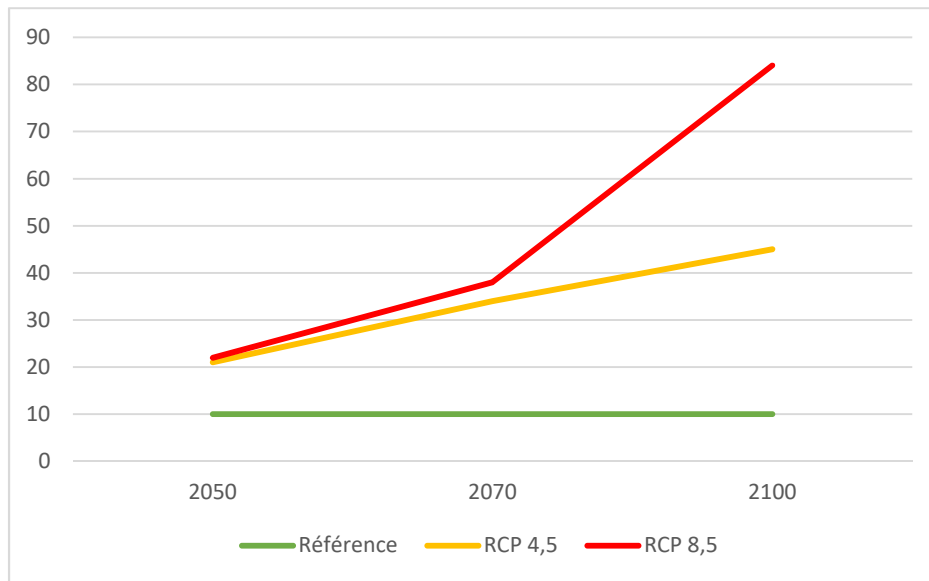


Figure 4 : Evolution du nombre de jours de vague de chaleur par RCP et par horizon

La disparition des « grands froids » au profit des « canicules » est donc une réalité déjà nettement perceptible dans le quotidien et qui devrait s'accroître fortement dans les décennies à venir avec toutes les conséquences qui en découleront.

3-Les sécheresses pédologiques et météorologiques et le risque incendie

L'évaluation des sécheresses futures même si elle reste entachée d'incertitudes est intéressante à plusieurs titres. Elle permet de mettre en évidence les impacts possibles sur la ressource en eau et sur l'humidité des sols.

Pour cette partie, les données utilisées sont issues du site Drias, et ont été obtenues avec les simulations sur la période 1961-2100 du modèle Arpège-Climat, version 4.6, mettant en scène à partir de l'an 2000 trois scénarios de concentration de gaz à effet de serre: B1, A1B et A2.

- **A1B (intermédiaire)** : correspondant *grosso modo* à la RCP 4,5
- **A2 (pessimiste)** : correspondant *grosso modo* à la RCP 8,5
- **B1 (optimiste)** : correspondant *grosso modo* à la RCP 2,6

Sur les 3 scénarios, nous ne présenterons que le scénario A1B dit « intermédiaire » (les résultats étant quasi similaires avec le scénario A2 dit « pessimiste »).

3.1-La sécheresse météorologique

La sécheresse météorologique notée SPI (*Standardized Precipitation Index*) dont la variable est la précipitation correspond au déficit de précipitations et peut être calculée sur un mois, sur une saison ou sur une période plus longue. Elle dépend donc des précipitations mais aussi de l'état du sol influant sur le ruissellement et l'infiltration.

Valeurs et signification du SPI :

SPI > 0 : plus de précipitations que la normale (plus humide)

SPI < 0 : moins de précipitations que la normale (plus sec)

SPI > 1 : année humide

SPI < -1 : année sèche

SPI < - 2.0 : extrêmement sec

SPI > 2.0 : extrêmement humide

La figure 4 ci-dessous montre l'évolution de la sécheresse météorologique annuelle moyenne entre 1960 et 2100. Le premier point qui doit attirer l'attention sur ce graphique en aire, c'est la quasi permanence d'un état de sécheresse météorologique sur le secteur à partir de 2050 avec un SPI quasi constamment inférieur à -1. Le second point, c'est la violence des pics à l'horizon 2030 avec des valeurs prévues encore jamais égalées inférieures à -3 signe d'années extrêmement sèches. A partir de 2030 jusqu'en 2100, sur les 70 ans de simulation, 50% des années devraient afficher un SPI < -1 (années sèches) et seulement 10% des années avoir un SPI > 1 (années humides). 16% des années afficheront un SPI < -2 (années extrêmement sèches) et toutes situées après 2050.

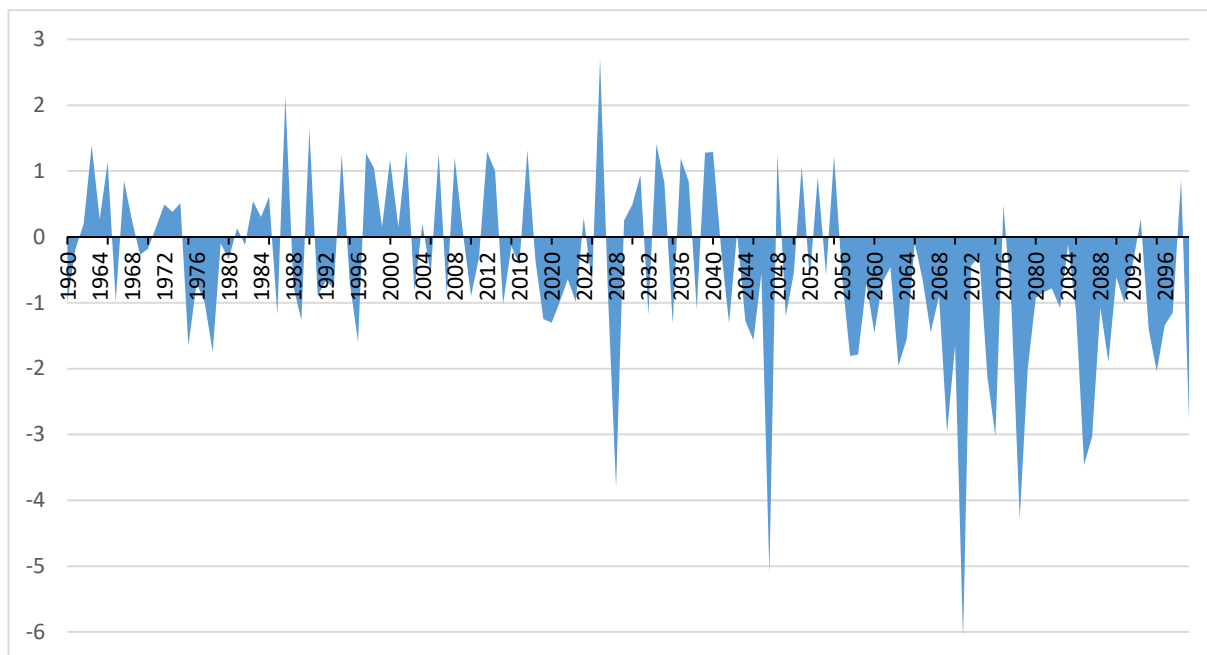


Figure 5 : Evolution de l'indicateur de sécheresse météorologique annuel moyen scénario A1B entre 1960 et 2100

Les sécheresses sans précédent dans les mémoires que nous connaissons aujourd'hui ne doivent pas occulter que la situation pourrait encore empirer si l'on se réfère aux prévisions du GIEC.

3.2-La sécheresse pédologique

Il s'agit de la sécheresse agricole, notée SSWI (*Standardised Soil Wetness Index*). Elle se caractérise par un déficit en eau des couches superficielles du sol (entre 1 et 2 m de profondeur), suffisant pour altérer le bon développement de la végétation. Elle dépend des précipitations et de l'évapotranspiration réelle des plantes. Le paramètre sécheresse agricole est donc sensible aux précipitations, à l'humidité, à la température de l'air, au vent mais aussi à la nature des plantes et des sols.

Valeurs et signification du SSWI :

SSWI < 0,4 sol sec

SSWI > 0,4 sol humide

SSWI > 0,9 sol très humide

SSWI > 1 est un sol saturé auquel il reste encore de l'eau qui ne s'est pas écoulé par gravité

SSWI < 0 est un sol auquel la plante ne peut plus absorber d'eau

Là encore, l'interprétation du graphique ci-après ne souffre d'aucune ambiguïté. On constate qu'à partir de l'horizon 2040, il n'y aura plus aucune année sans sécheresse agricole annuelle marquée (SSWI < 0,4). Pour mémoire, une année de sécheresse de référence comme 1976 affichait un SSWI inférieur à 0,58. Cette valeur a depuis été balayée par les années 2019 et 2022 et deviendrait la norme à l'horizon 2040.

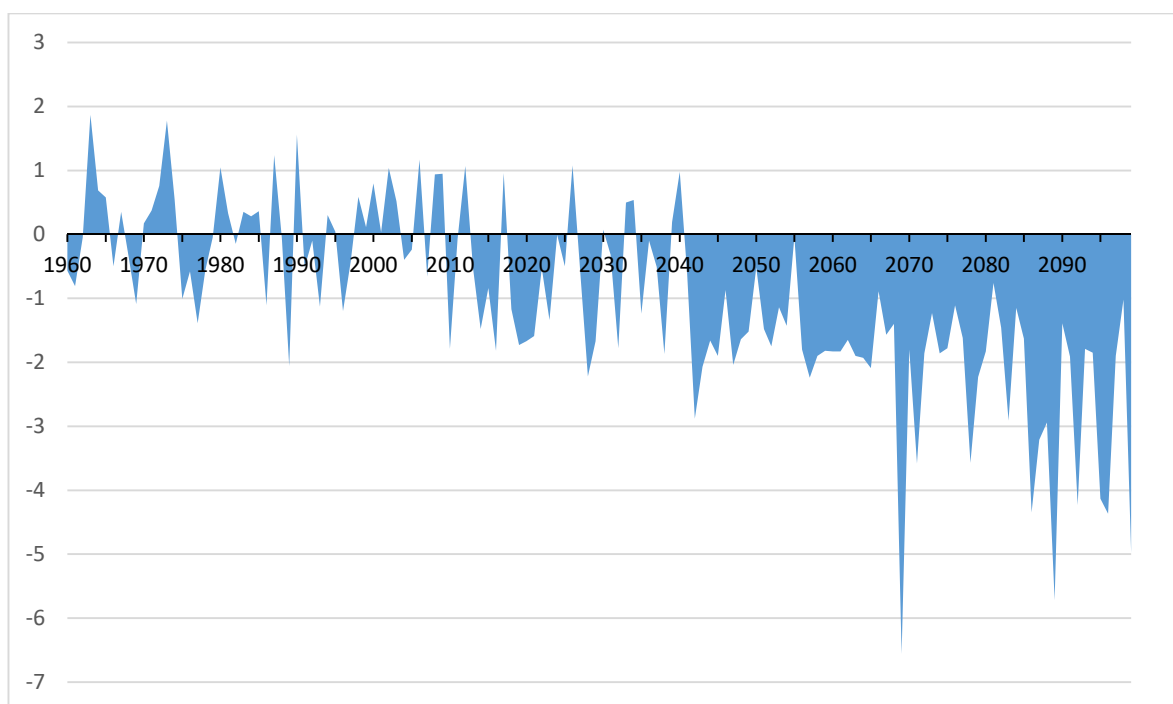


Figure 6 : Evolution de la sécheresse agricole annuelle moyenne depuis 1960 et prévision jusqu'à 2100 (scénario A1B)

3.3-Risque incendie : l'Indice de Feu Météorologique (IFM)

Le risque d'occurrence de feu de forêt est estimé en France à partir de l'Indice de Feu Météorologique (IFM). Il est calculé à partir de six composantes qui tiennent compte des effets de la teneur en eau des combustibles et du vent sur le comportement des incendies.

Les trois premières composantes sont des indices d'humidité des combustibles ; ce sont des valeurs numériques :

- de la teneur en eau de la litière et d'autres combustibles légers
- de la teneur moyenne en eau de couches organiques peu tassées de moyenne épaisseur
- de la teneur moyenne en eau d'épaisses couches organiques compactes

Les trois autres composantes sont des indices de comportement du feu qui représentent :

- la vitesse de propagation du feu
- les quantités de combustibles disponibles
- l'intensité du feu sur le front de l'incendie

La valeur de ces indices est directement proportionnelle au danger d'incendie.

La probabilité de voir un feu se déclencher devient importante quand l'IFM approche et dépasse les 20.

La figure ci-après montre l'évolution du nombre de jours par an où l'indice IFM dépassera 20 à l'horizon 2070. Les deux années « noires » pour les feux de forêts en France qui sont 1976 (IFM > 20 de 62 jours/an) et 2003 (IFM > 20 de 71 jours/an) servent ici de point de repère. Ainsi on constate facilement qu'à partir de 2050, le risque feu de forêt deviendra majeur certaines années avec des valeurs où l'IFM > 20 pourrait dépasser les 80 jours/an voire les 100 jours/an à l'horizon 2070. A partir de 2040, on aura en **moyenne 48 jours/an** où l'IFM dépassera 20. Des années avec plus de 100 jours où l'IFM dépassera les 20 ne seront pas à exclure non plus.

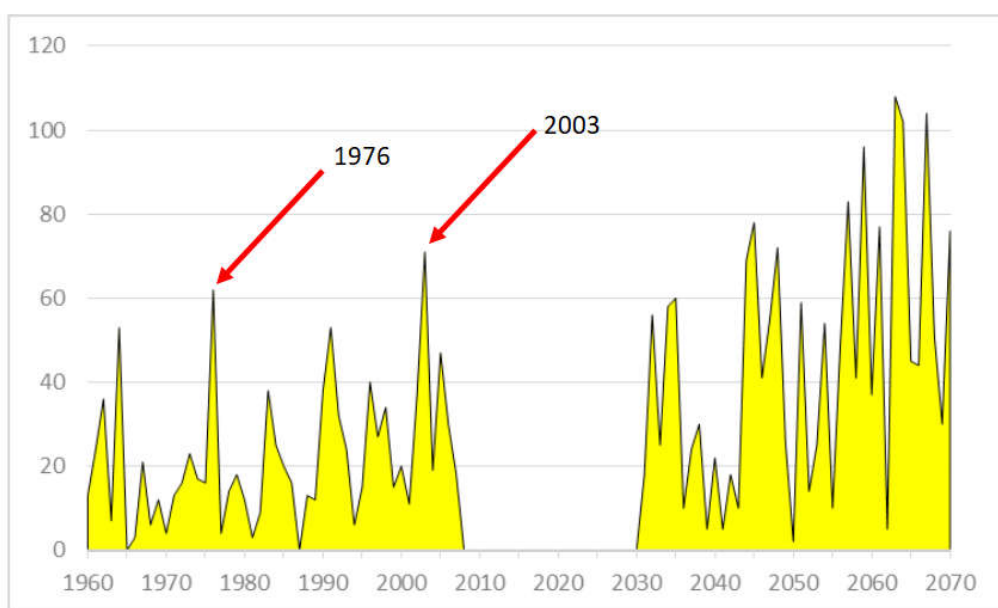


Figure 7 : Evolution du nombre de jours/an où l'IFM dépassera 20 entre la période de référence 1959-2008 et l'horizon 2070

A titre d'information, au niveau national, la valeur moyenne annuelle de l'IFM a augmenté de 18 % entre la période 1961-1980 et la période 1989-2008. À l'horizon 2040, l'IFM annuel moyen devrait encore progresser de 30 % par rapport à la période 1961-2000. Certaines simulations montrent que cette augmentation pourrait atteindre 75 % d'ici 2060. À cette échéance, une année comme 2003 deviendrait ainsi la norme en matière de danger météorologique de feux de forêts à l'échelle du pays.

4-Pour résumer

Ce qu'il faut retenir des perspectives d'évolution climatique dans l'écorégion du Val de Saône :

- Une **augmentation de la température moyenne annuelle comprise entre +2°C et +4°C** à l'horizon 2100 selon le scénario retenu (pour information depuis la fin du XIX^{ème} siècle la température moyenne mondiale a augmenté d'au moins 1,1 °C).
- Une **diminution drastique du nombre de jours de gel comprise entre -40 et -70%** à l'horizon 2100 selon le scénario retenu.
- Une **disparition quasi-totale des vagues de froid**.
- Une **augmentation significative des journées estivales et des nuits tropicales**.
- Une **multiplication par 4,5 à 8,4 des vagues de chaleurs** à l'horizon 2100 selon le RCP retenu.
- La stabilisation des pluies MAIS des **périodes de sécheresses significatives voire extrêmes** (SWI et SPI dévastateurs pour les sols et la végétation agricoles et naturelles).
- Des **risques feux de forêt accrus** à partir de 2040 avec 2 années sur 3 présentant en moyenne plus de 40 jours où l'IFM sera supérieur à 20

Paramètres	Référence	2050		2100	
		RCP 4,5	RCP 8,5	RCP 4,5	RCP 8,5
Température moyenne annuelle (°C)	10,94	+1,03°C	+1,17°C	+2,12°C	+3,84°C
Précipitations moyenne annuelle (mm)	786,22	augmentation			
Nombre moyen annuel de jours de gel	56	-20%	-40%	-20%	-67%
Nombre moyen annuel de jours estivaux	46	+30%	+58%	+30%	+110%
ETR (mm)	551	+7%	+12%	+7%	+18%
Date moyenne de reprise de la végétation	1 ^{er} mars	-7j	-15j	-10j	-28j
Nombre de nuits tropicales	4	x 2	x 4,25	x 2,5	x 8,75
Nombre de jours d'une vague de froid	4	-25%	disparition	-50%	disparition
Nombre de jours d'une vague de chaleur	10	x 2,1	x 4,5	x 2,2	x 8,4

Tableau 9 : Evolution de quelques indicateurs par rapport aux valeurs de référence selon les niveaux d'émission à l'horizon 2050 et 2100

Quelques indicateurs climatiques utiles pour l'analyse du climat et où les trouver

NOM DE L'INDICATEUR	INTÉRÊT DE L'INDICATEUR	UTILITÉ POUR L'ANALYSE DE VULNÉRABILITÉ	DESCRIPTIF	SOURCES DE DONNÉES	Où le trouver ?
Moyennes de températures	Illustrer et suivre la tendance à l'augmentation des températures maximales et minimales, des températures moyennes annuelles et saisonnières, déjà observables sur une longue période d'observation.	Un des éléments les plus importants pour le suivi des évolutions climatiques pouvant impacter les milieux, les ressources et les activités humaines.	Détail des indicateurs de suivi : température minimale, maximale et moyenne par mois permettant de calculer les valeurs saisonnières et annuelles. Données futures disponibles.	Météo-France Réseaux de mesures locales (stations météo) Laboratoires de recherche type IPSL	CLIMAT HD PUBLITHÈQUE DRIAS SWICCA.EU <i>Observatoires régionaux</i>
Nombre de journées chaudes, nombre de jours de vague de chaleur	Marqueur important pour suivre le changement climatique qui se traduit par une augmentation du nombre de journées chaudes, et de jours de vagues de chaleur.	Suivi d'extrêmes climatiques pouvant impacter le territoire, en particulier à proximité des villes potentiellement concernées par les îlots de chaleur, lors d'épisodes de sécheresse, etc.	Journées chaudes : une journée chaude est une journée au cours de laquelle la température maximale quotidienne dépasse 25°C Nombre de jour de vague de chaleur : correspond à une température maximale supérieure de plus de 5°C à la normale pendant 5 jours consécutifs Données futures disponibles.	Météo-France Réseaux de mesures locales Laboratoires de recherche type IPSL	CLIMAT HD PUBLITHÈQUE DRIAS <i>Observatoires régionaux</i>

NOM DE L'INDICATEUR	INTÉRÊT DE L'INDICATEUR	UTILITÉ POUR L'ANALYSE DE VULNÉRABILITÉ	DESSCRIPTIF	SOURCES DE DONNÉES	Où le trouver ?
Nombre de jours de gel, nombre de jours de vague de froids	Le nombre de jours de gel est un indicateur pertinent car c'est un marqueur de l'évolution climatique.	Les évolutions du phénomène de gel ont des répercussions sur les écosystèmes et les ressources naturelles, notamment sur la ressource en eau, la productivité végétale, la modification d'habitats et d'espèces, la phénologie ou encore la pollution de l'air.	Nombre de jours de gel : Dénombrement, entre le 1er janvier et le 31 décembre de chaque année, des jours où la température minimale journalière est inférieure ou égale à 0°C. Nombre de jours de vague de froid : correspond à une température minimale inférieure de plus de 5°C à la normale pendant au moins 5 jours Données futures disponibles.	Météo-France Réseaux de mesures locales Laboratoires de recherche type IPSL	CLIMAT HD PUBLITHÈQUE DRIAS <i>Observatoires régionaux</i>
Cumul des précipitations	L'eau étant la base de la vie terrestre, cet indicateur est élémentaire pour suivre les évolutions climatiques car il impacte toutes les sphères de la vie, les milieux, les ressources et les activités humaines.	Suivre l'évolution du cumul des précipitations permet éventuellement de dégager des tendances, soit en déficit (sécheresse) soit en surplus (inondation...).	Cumul des précipitations : correspond à la hauteur d'eau cumulée sur une période donnée. Le cumul saisonnier des précipitations est obtenu en faisant la somme des cumuls mensuels des précipitations sur les 3 mois correspondant à chaque saison. Données futures disponibles.	Météo-France Réseaux de mesures locales Laboratoires de recherche type IPSL	CLIMAT HD PUBLITHÈQUE DRIAS SWICCA.EU <i>Observatoires régionaux</i>
Date de reprise de la végétation	La date de reprise de la végétation est un marqueur pertinent du changement climatique. Plus elle est précoce, plus le climat tant à se radoucir. Il fait partie des marqueurs importants au même titre que la date des moissons ou des vendanges.	L'évolution de cet indicateur est importante en agriculture notamment vis-à-vis des risques de gels tardifs. Plus la végétation débourre précocement plus le risque de gel printanier est important.	calculée au moyen d'un cumul thermique (base 0°C) calé au 1 ^{er} janvier, seuls les processus de croissance étant ici en jeu. On cumule donc les températures moyennes journalières base 0°C (zéro de végétation des graminées) à partir du 1 ^{er} janvier, puis on note la date de dépassement du seuil de 200°C par jour (seuil de température cumulée à partir duquel les graminées commencent leur croissance).	Météo-France Réseaux de mesures locales Laboratoires de recherche type IPSL	CLIMAT HD PUBLITHÈQUE DRIAS <i>Observatoires régionaux</i>

NOM DE L'INDICATEUR	INTÉRÊT DE L'INDICATEUR	UTILITÉ POUR L'ANALYSE DE VULNÉRABILITÉ	DESSCRIPTIF	SOURCES DE DONNÉES	Où le trouver ?
Nombre de nuits tropicales	Détermine une période durant laquelle la température minimale ne passe pas sous les 20°C même la nuit.	Cet indicateur est particulièrement intéressant dans l'élevage mais aussi dans le domaine de la santé humaine ou animale. Les nuits tropicales sont particulièrement éprouvantes pour les organismes.	Une nuit tropicale se définit par une température minimale ne descendant pas sous les 20°C la nuit	Météo-France Réseaux de mesures locales Laboratoires de recherche type IPSL	CLIMAT HD PUBLITHÈQUE DRIAS <i>Observatoires régionaux</i>
Nombre de jours secs, période de sécheresse	Détermine une période de sécheresse, qui est définie comme le nombre de jours secs consécutifs.	Ces extrêmes climatiques renforcent la probabilité des catastrophes naturelles (sécheresse, feu de forêt,...) et de nombreuses espèces sont sensibles à la sécheresse.	Nombre de jours secs : Un jour est considéré comme étant sec si les précipitations quotidiennes enregistrées ce jour-là n'ont pas excédé 1 mm. Période de sécheresse : nombre maximum de jours secs consécutifs Données futures disponibles.	Météo-France Réseaux de mesures locales Laboratoires de recherche type IPSL	CLIMAT HD PUBLITHÈQUE DRIAS <i>Observatoires régionaux</i>
Sécheresse pédologique	Appelée aussi sécheresse agricole ou agronomique, elle est particulièrement importante à évaluer pour les agronomes car elle impacte directement la croissance des végétaux.	Permet de voir comment pourrait évoluer le potentiel agronomique d'une région. Des sols secs la majeure partie de l'année deviennent impropre à l'agriculture.	Mesure du taux d'humidité dans le sol par sonde capacitive.	Météo-France	DRIAS

NOM DE L'INDICATEUR	INTÉRÊT DE L'INDICATEUR	UTILITÉ POUR L'ANALYSE DE VULNÉRABILITÉ	DESRIPTIF	SOURCES DE DONNÉES	Où le trouver ?
Indice de feu météorologique	Permet de juger du risque incendie sur un territoire et de déclencher des mesures de protection et de prévention adéquates	Influence la gestion, les itinéraires sylvicoles, l'occupation du territoire, etc.	Il est calculé à partir de six composantes qui tiennent compte des effets de la teneur en eau des combustibles et du vent sur le comportement des incendies. La probabilité de voir un feu se déclencher devient importante quand l'IFM approche et dépasse les 20.	Météo-France	DRIAS
Evapotranspiration (ETP)	Contribue au calcul du bilan hydrique, avec d'autres données.	Influence sur la disponibilité en eau et sur la végétation (écosystème, agriculture)	Evapotranspiration: Il s'agit de la somme de l'évaporation de l'eau contenue dans le sol et de l'eau transpirée par les plantes. Données futures disponibles.	COPERNICUS Météo-France	https://www.drias-eau.fr/commande