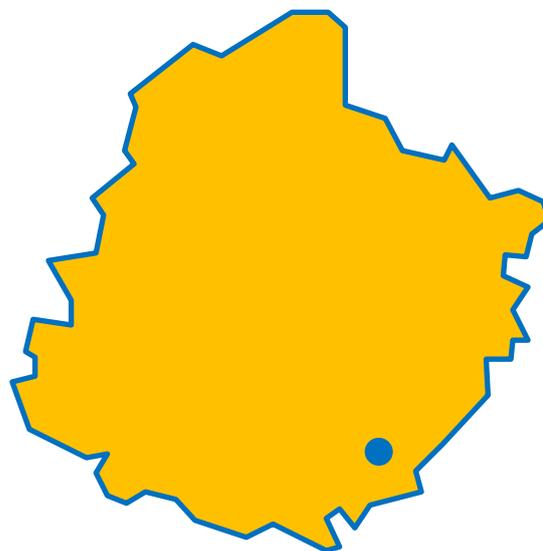


Changement climatique et agriculture au XXI^{ème} siècle : quelques évolutions attendues dans le pays Vallée du Loir.

Analyse faite à partir
d'indicateurs climatiques et agroclimatiques
issus de projections climatiques
pour les sites de Château du Loir
et Marçon



Sources

Climat modélisé : DRIAS – Les futurs du climat
CNRM 2014 / Modèle ALADIN / Scénario RCP 4.5
CNRM 2014 / Modèle ALADIN / Scénario RCP 8.5
Horizons étudiés : 1976-2005, 2021-2050, 2071-2100
Lieu : Château-du-Loir

Climat observé : ORACLE
Lieu : Marçon

Changement climatique et agriculture au XXI^{ème} siècle :
quelques évolutions attendues en Vallée du Loir

Etude réalisée par :

Hubert GUÉRAULT
Chargé de mission

Critères du climA XXI :

Conception et encadrement :

BERNARD Pierre-Yves – UniLaSalle Rouen
LEVRAULT Frédéric – Chambres d’agriculture – France

Sélection des indicateurs (et des sites)

GUERAULT Hubert – Chambre d’agriculture de la Mayenne
TEMEN Laetitia – Chambre d’agriculture des Pays de la Loire

Contrôle/validation des résultats :

LEVRAULT Frédéric – Chambres d’agriculture – France

Autres critères climatiques et agroclimatiques :

Conception et encadrement :

COLOMBIE Sarah

Formulation des indicateurs et conception des tableaux

ADDA Lucie – Chambre d’agriculture Mayenne-Sarthe

SOMMAIRE

1 – L’agriculture dans le Pays Vallée du Loir	4
2 – Le climat du Pays Vallée du Loir : un climat océanique dégradé	4
3 – Le réchauffement climatique pourrait être plus intense que prévu	5
4 – Anticiper l’évolution du climat	6
5 – ClimA XXI	7
6 – Critères complémentaires	8
7 – Évolution des températures	9
8 – Évolution des précipitations	13
9 – Le climat du futur proche	17
10 – Adaptation de l’agriculture et de la forêt au changement climatique	17
11 – Conclusions	22
Annexes	23
Annexe 1 : ClimA XXI – Château du Loir - critères agro-climatiques	
Annexe 2 : Fiches critères complémentaires spécifiques – Pays Vallée du Loir	

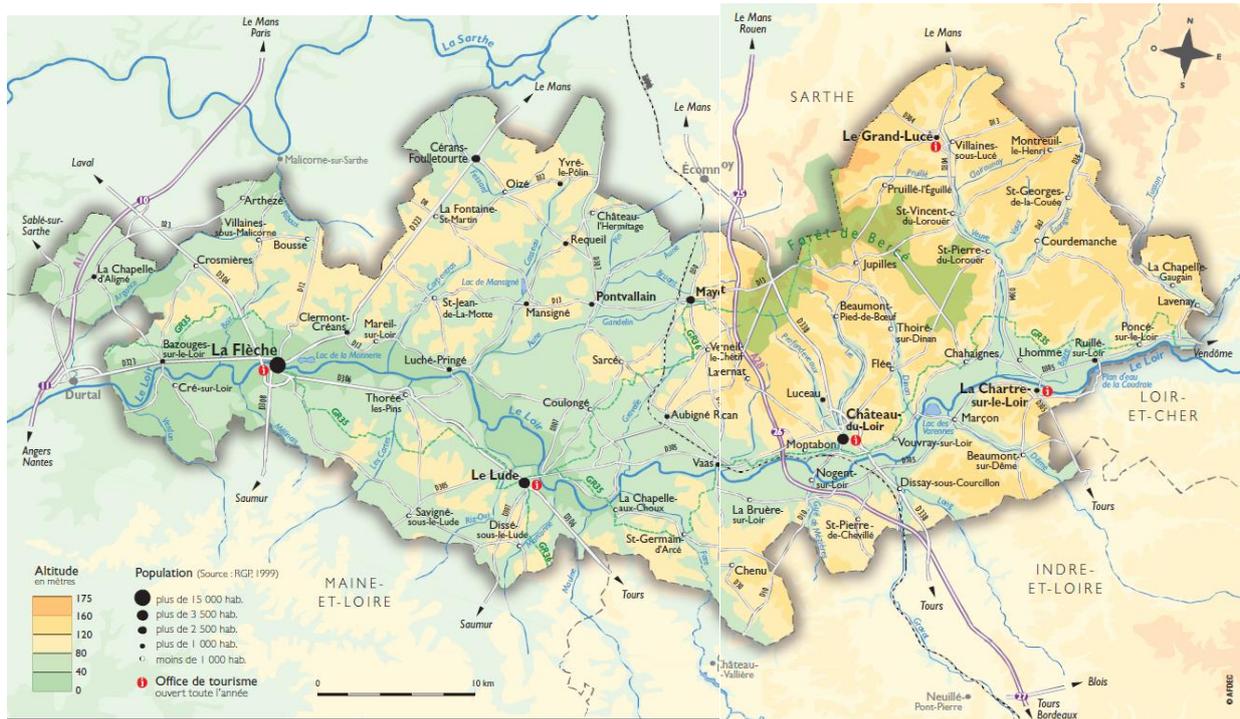
1. L'agriculture dans le pays Vallée du Loir

L'activité agricole et forestière du Pays Vallée du Loir est très diversifiée.

Dans la vallée du Loir ¹ se trouvent une partie importante des prairies et des systèmes fourragers ².

À l'Est, le relief est plus tourmenté avec une alternance de plateaux à bons potentiels agronomiques ³ et de vallées encaissées. Les forêts y sont plus présentes qu'à l'Ouest. En vallée et sur les côtes, des sapinières et des châtaigneraies alternent avec la polyculture - élevage (vallées) et la vigne (côtes en amont de Château-du-Loir). Les plateaux accueillent également des bois (châtaigniers, chênes) et, sur plus de 5 000 ha, une Chesnaie réputée : la Chesnaie de Bercée.

À l'Ouest (La Flèche, Le Lude), l'élevage est un peu moins présent et les cultures de vente plus dominantes. Nous y trouvons également l'essentiel des vergers de pomme de table du territoire.



Pays Vallée du Loir : une vallée sableuse entourée de plateaux fertiles

Les sols du territoire sont très divers. Les sols sableux de la vallée du Loir, du bassin Ludois et du canton de Pontvallain ont une faible capacité de stockage d'eau. L'irrigation et le drainage de surface font partie de l'histoire du territoire. Aujourd'hui, l'eau d'irrigation provient des eaux de surface ou de forages. Elle contribue à sécuriser les systèmes de cultures (fourrages, cultures de vente).

Comme sur beaucoup de territoires, le nombre d'exploitations et d'ateliers d'élevage est en repli. Le regroupement de ces ateliers est une tendance lourde amorcée depuis plusieurs décennies. Le renouvellement des actifs, la transmission des outils de production, la pérennité des réseaux d'entraide, le maintien de l'élevage sont, pour le territoire, un enjeu central.

2. Un climat océanique dégradé

Il ne fait pas assez froid l'hiver et pas assez chaud l'été pour que le climat du pays vallée du Loir (et de la Sarthe en général) soit considéré comme un climat continental.

Toutefois, le climat n'est pas complètement océanique non plus.

1. Le Loir traverse le Pays Vallée du Loir d'Est en Ouest.
2. 43 % des exploitations du pays sont en polyculture – élevage.
3. Et une plus grande proportion de systèmes de culture de type céréalier.

Le climat de la Sarthe et de la vallée du Loir est qualifié de climat océanique dégradé :

Climat océanique dégradé

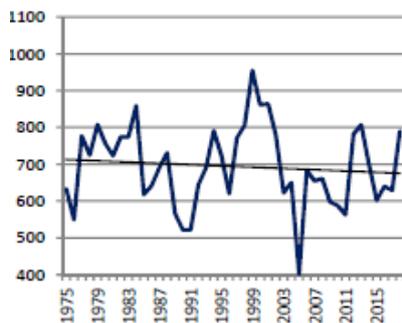
Climat océanique pouvant subir des influences continentales venant de l'Est de l'Europe :

- pluies plus faibles, surtout en été
(ex : 10 jours en juillet pour 40 mm dans le mois)
- faible variabilité interannuelle des précipitations
- hiver moyennement doux : 6 jours < - 5 °C (médiane 30 ans, passé proche)
- été un peu moins frais qu'en bordure littorale
- amplitudes thermiques plutôt élevées.

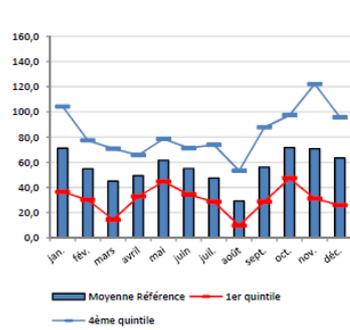
La température moyenne est de 11,3 °C et il pleut 700 mm sur l'année. La répartition des pluies montre une légère chute en juillet et août⁴ et une relative capacité de recharge entre novembre et janvier⁵.

En juin, les pluies permettent de gérer un besoin en eau moyen maximal de 2 mm par jour (entre 1 et 2,35 mm). En août, la pluviométrie moyenne quotidienne tombe à 1,3 mm / jour (entre 0,3 et 1,8 mm). La satisfaction des besoins des cultures dépend donc fortement de la réserve hydrique des sols (ou de l'irrigation lorsque cette réserve hydrique est trop faible).

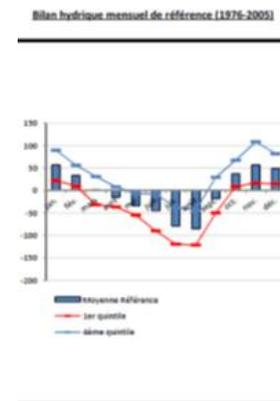
Sur le territoire, la pluviométrie annuelle a tendance à baisser depuis 1975. Il semblerait que ce soit une particularité du pays⁶.



Pluviométrie annuelle de référence
Évolution entre 1975 et 2018



Pluviométrie moyenne de référence (1976-2005) : répartition mensuelle



P – Evaporation Théorique Potentielle (végétation développée au maximum de ses besoins) : répartition mensuelle

3. Le réchauffement climatique pourrait être plus intense que prévu

Dès les années 1960, prenant acte de l'augmentation de la présence de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, Charles Keeling⁷, géochimiste et océanographe américain, analyse les variations annuelles et saisonnières de la concentration de CO₂, et prédit une augmentation de la température moyenne du globe de 2,5 °C avant la fin du XX^{ème} siècle.

Il a fallu attendre le protocole de Kyoto en 1997 pour qu'une partie des pays du monde s'accordent sur des objectifs de réduction de leurs émissions de gaz à effet de serre. Le cinquième rapport d'évaluation du GIEC⁸ « Changements climatiques 2014 » conclut (1) que l'utilisation des réserves de combustibles fossiles conduira à un réchauffement global de 4 à 5 °C en 2100, et (2) qu'il est encore possible de limiter l'élévation de la température à 2 °C en 2100 à condition de réduire les émissions de gaz à effet

4. Un climat continental aurait plus de pluie, l'été. En Sarthe, l'été, les précipitations tombent majoritairement sous des orages.
 5. Les perturbations pluvieuses venant de l'océan en hiver affectent le territoire de manière atténuée.
 6. On n'observe pas cette diminution à Angers et au Mans.
 7. Charles D. Keeling, « The Concentration and Isotopic Abundances of Carbon Dioxide in the Atmosphere », *Tellus*, vol. 12, n° 2, 1^{er} mai 1960, p. 200–203
 8. GIEC : groupe intergouvernemental d'études sur le Climat.

de serre de 70 % entre 2010 et 2050. L'Accord de Paris en décembre 2015 retient cet objectif de 2 °C, et propose que les pays signataires se donnent les moyens d'atteindre la barre des 1,5 °C.

En 2019, de nouvelles simulations réalisées en France et destinées à alimenter le sixième rapport d'évaluation du GIEC ⁹ montrent que l'augmentation des températures est plus forte que celle des scénarii du rapport précédent : la température moyenne annuelle aurait déjà augmenté de 1,1 °C par rapport à 1990 (+ 1,7 °C sur les continents). Ces simulations interrogent sur la capacité à atteindre l'objectif de 2 °C en 2100, sauf à mettre en place des capacités de stockage de carbone considérables ¹⁰.

4. Anticiper l'évolution du climat

Depuis 30 ans, le GIEC évalue l'état des connaissances sur l'évolution du climat, ses causes et ses impacts. Il identifie également les possibilités de limiter l'ampleur du réchauffement et la gravité de ses impacts, et de s'adapter aux changements attendus. Les rapports du GIEC fournissent un état des lieux régulier des connaissances les plus avancées sur le changement climatique.

Le GIEC travaille aujourd'hui avec quatre scénarii de référence, qualifiés de profils¹¹ représentatifs d'évolution des concentrations de gaz à effet de serre (GES), d'ozone et de précurseurs des aérosols, pour le XXI^e siècle et au-delà ¹². Ces scénarios peuvent correspondre à des efforts plus ou moins grands de réduction des émissions de GES au niveau mondial.

Pour chacun de ces quatre « profils représentatifs », les climatologues déduisent les conditions climatiques et les impacts du changement climatique associés. En parallèle, les sociologues et les économistes travaillent sur des scénarii présentant diverses caractéristiques de développements socio-économiques et diverses stratégies d'adaptation et d'atténuation.

Les profils représentatifs d'évolution de concentration (RCP : representative concentration pathway) sont des scénarios de référence de l'évolution du forçage radiatif sur la période 2006-2300.

Nom	Forçage radiatif	Concentration de GES (ppm)	Trajectoire
RCP 8.5	>8,5Wm ² en 2100	>1370 eq-CO ₂ en 2100	croissante
RCP 6.0	~6Wm ² au niveau de stabilisation après 2100	~850 eq-CO ₂ au niveau de stabilisation après 2100	Stabilisation sans dépassement
RCP 4.5	~4,5Wm ² au niveau de stabilisation après 2100	~660 eq-CO ₂ au niveau de stabilisation après 2100	Stabilisation sans dépassement
RCP 2.6	Pic à ~3Wm ² avant 2100 puis déclin	Pic ~490 eq-CO ₂ avant 2100 puis déclin	Pic puis déclin

Tableau 1 : Caractéristiques principales des RCP (Moss et al, Nature 2010)

Le forçage radiatif, exprimé en W/m², est le changement du bilan radiatif (rayonnement descendant moins rayonnement montant) au sommet de la troposphère (10 à 16 km d'altitude), dû à un changement d'un des facteurs d'évolution du climat comme la concentration des gaz à effet de serre. La valeur pour 2011 est de 2,84 W/m²

Des simulations régionales **CNRM2014** sont possibles et peuvent être récupérées en ligne, en France, sur le site DRIAS ^{Les futurs du climat} ¹³. Il s'agit d'un climat virtuel simulé ¹⁴, calibré par rapport aux observations à maille fine SAFRAN de météo France. Le modèle à aire limitée **ALADIN-Climat** ¹⁵ qui réalise ces projections dispose d'une grille de simulation avec un points de calcul tous les 8 km, et couvre la totalité de la France métropolitaine.

9. Ce rapport est programmé pour 2022.

10. Les besoins de stockage sont estimés à 15 milliards de tonnes de CO₂ par an (1/3 des émissions), soit presque autant que ce que stockent les terres et les océans réunis. C'est considérable ! Ce niveau de stockage n'est pas encore accessible aujourd'hui d'un point de vue technologique.

11. Ces scénarii sont appelés Representative concentration pathways (RCP).

12. Ces modèles vont jusqu'en 2300.

13. SCAMPEI se trouve sur le site : <http://www.drias-climat.fr/>

14. Il ne faut pas chercher à rapprocher une date d'un modèle à une date réelle passée ou future.

15. ALADIN : Aire Limitée Adaptation dynamique Développement International.

Un scénario de référence et trois scénarii RCP sont disponibles sur des périodes continues :

- la simulation de référence sur la période 1950-2005 ;
- les scénarii RCP 2.6, RCP 4.5 et RCP 8.5, sur la période 2006-2100.

Les paramètres (ou critères) climatiques téléchargeables sont les suivants :

TN	Température minimale diurne (° C) relevée à 2 m au-dessus du sol
TX	Température maximale diurne (° C) relevée à 2 m au-dessus du sol
VM	Vent moyen (m/s), vitesse moyenne du vent à 10 m au-dessus du sol.
VX	Vent maximum (m/s), vitesse moyenne du vent à 10 m au-dessus du sol.
QQ	Humidité spécifique (g/kg), masse de vapeur d'eau par masse d'air à 2 m au-dessus du sol.
RR	Précipitations pluvieuses (mm).
ID	Rayonnement infrarouge descendant (W/m^2), quantité d'énergie émise par l'atmosphère sous forme d'ondes électromagnétiques de grande longueur d'ondes et atteignant le sol.
SD	Rayonnement solaire descendant (W/m^2), quantité d'énergie émise par le soleil sous forme d'ondes électromagnétiques de courte longueur d'onde et atteignant le sol.
SN	Précipitations neigeuses (mm), quantité d'eau solide atteignant le sol.

Ces paramètres (ou critères) climatiques serviront à la production de critères agroclimatiques qui seront utiles pour anticiper les conséquences probables du changement climatique sur l'activité agricole.

5. ClimA 21

Depuis 2015, la dynamique ClimA XXI (Climat et Agriculture au XXI^{ème} siècle) est engagée dans plusieurs Chambres départementales d'agriculture¹⁶. ClimA XXI décrit l'évolution climatique et agroclimatique attendue au cours du XXI^{ème} siècle à partir de projections climatiques issues du modèle ALADIN. Ceci permet d'analyser l'évolution future de la faisabilité de productions agricoles départementales sous influence du changement climatique.

Les simulations de ClimA XXI se basent sur le scénario 4.5 du GIEC (scénario médian avec stabilisation du forçage radiatif à $4,5 W/m^2$ et des gaz à effet de serre à 660 éq CO₂ après 2100). Ce scénario est assez proche d'une situation mondiale où la population mondiale augmente jusqu'en 2050, et où les sociétés connaissent des changements rapides dans les structures économiques vers une économie de services et d'information, et vers une économie des ressources plus efficiente.

Pour ce qui concerne le pays Vallée du Loir, le point géographique pris en compte pour le calcul des critères est Château du Loir.

Trois projections de 30 ans chacune sont réalisées, dont deux prospectives, et une rétrospective) :

Passé proche : période 1976-2005
Futur proche : période 2021 - 2050
Futur lointain : période 2071 - 20100

6 paramètres (ou critères) climatiques sont calculés :

Température moyenne annuelle
Température moyenne saisonnière
Nombre de jours de gel par an
Nombre de jours estivaux par an
Cumul saisonnier des pluies
Cumul annuel des pluies

16. Cette dynamique est pilotée par F. LEVRAULT (expert « agriculture et Changement climatique » pour le réseau des Chambres d'agriculture) en collaboration avec l'école d'ingénieurs en agriculture UniLaSalle Rouen.

Neuf critères agro-climatiques ont également été calculés :

Cumul mensuel des précipitations	Répartition des précipitations dans l'année.
Date de franchissement des 930 d/j base 0 à partir du 20/10	Date d'atteinte du stade épi 1 cm pour le blé
Date de franchissement des 800 d/j base 6 à partir du 01/05	Floraison maïs
Date de franchissement des 200 d/j base 0 à partir du 01/01	Pousse de l'herbe
Nombre de jours avec $T < -10$ °C entre le 01/12 et le 28(29)/02	Intensité du gel très fort
Nombre de jours avec $T < -5$ °C entre le 01/12 et le 28-29/02	Intensité du gel fort
Nombre de jours avec $T > 30$ °C entre le 01/05 et le 30/09	Stress thermique
Rayonnement global incident cumulé du 25/03 au 15/05	Rendement et rayonnement
Cumul des précipitations entre le 01/10 le 01/03	Drainage et lessivage de l'azote

6. Critères complémentaires

6.1. Peut-on se satisfaire d'une analyse basée sur le scénario 4.5 ?

Plusieurs éléments récents soutiennent l'idée que le scénario 4.5 pourrait être difficilement tenable.

Les informations communiquées récemment par l'Agence Internationale de l'énergie indiquent que la consommation des énergies fossiles est en constante augmentation. D'après ce rapport, les émissions de CO₂ ont augmenté de 1,9 % en 2018 et ne devraient pas redescendre avant 2040. Les faibles gains d'efficacité énergétique sont notamment en cause. Et de nombreux efforts réalisés conformément aux engagements des États sont annulés par les choix des consommateurs, pas toujours vertueux (par exemple, en matière d'automobile) ¹⁷.

Par ailleurs, les prédictions contenues dans les précédents rapports du GIEC auraient plutôt joué la carte de la prudence. Le site de vérification des faits du journal *Le Monde* a comparé les prédictions sur la hausse de la température à la surface, sur l'évolution du niveau de CO₂ et sur la fonte de l'Arctique, telles qu'elles avaient été publiées dans les rapports précédents du GIEC (1990, 1995, 2001, 2007 et 2013-2014), avec la situation actuelle. Résultat : la situation actuelle est presque toujours plus près de ce qui était alors considéré comme le scénario « pessimiste » ¹⁸.

Nous le verrons d'ailleurs plus bas, les températures moyennes annuelles reconstituées par ORACLE ¹⁹ (que nous appellerons « températures observées ») pour le Pays Vallée du Loir ²⁰ sont au-dessus des températures moyennes projetées de manière rétrospective pour le passé proche et récupérées sur le site DRIAS ^{Les futurs du climat}.

Aussi, il nous est apparu utile d'associer aux valeurs calculées pour le scénario 4.5 du GIEC de mobiliser deux bases de données supplémentaires :

(1) Les données ORACLE : l'Observatoire Régional du Changement Climatique a pour objectif de mettre en place des agro-indicateurs permettant de rendre concrète la connaissance actuelle de l'évolution du climat et d'élaborer des stratégies d'adaptation. Il s'agit d'un référentiel de données calculées sur la base de l'observé, et la situation climatique d'un jour donné est la même dans la réalité que pour la valeur calculée.

Les données ORACLE récupérées pour ce travail permettent un regard sur la situation climatique en 1975 et 2018 (44 années du passé proche et du passé récent).

(2) Le scénario 8.5 du GIEC du modèle ALADIN : ce scénario correspond à un monde qui se concentre sur son développement traditionnel et sur le développement rapide des pays en voie de développement, monde fondé sur une forte consommation d'énergie et des technologies émettrices de carbone. La hausse du niveau de vie permettrait d'augmenter la capacité d'adaptation, notamment grâce au recul de l'extrême pauvreté.

Les données du scénario 8.5 récupérées concernent les périodes 1976-2005 (rétrospective), 2021-2050 (prospective), et 2071-2100 (prospective).

17. IEA : World energy outlook. Summary. 2019, november.

18. Voir : <https://www.lemonde.fr/les-decodeurs/>

19. ORACLE : Observatoire régional sur l'agriculture et le changement climatique en Pays de la Loire

20. Pour ORACLE, calculs réalisés pour la commune de Marçon (pas Château du Loir).

6.2. Critères complémentaires

Vingt-et-un critères sont calculés pour chacune des périodes (1976-2005, 2021-2050 et 2071-2100), et pour chaque modèle (ORACLE, ADALDIN 4.5, et ALADIN 8.5).

T moyenne mensuelle
T minimale moyenne mensuelle
Températures de nuit, l'été
Moyenne des températures, l'hiver
Durée de la période gélive, l'hiver
Cumul saisonnier des pluies
Conditions hivernales (anomalies de température) : jours doux + jours de gel + jours de gel fort
Pluviométrie d'avril à août
Pluviométrie de septembre à mars
Cumul des pluies (pluies fortes et modérées)
Pluviométrie mensuelle
ETP mensuelle moyenne
Bilan hydrique mensuel moyen
Stades culturaux (pour le maïs)
Indices WINKLER et HUGLIN (pour la vigne)
Indice de fraîcheur des nuits (pour la vigne)
Risque de gel printanier
Pression fongique
Risque sécheresse fin d'été
Stress estival prairies
Opportunité développement cultures hiver

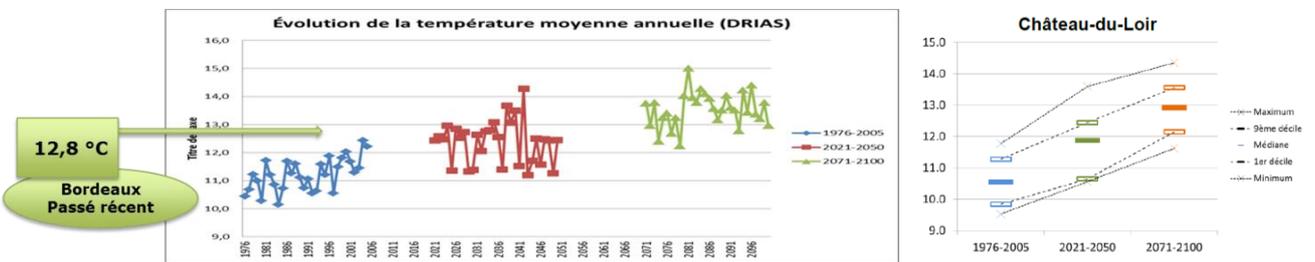
Une partie de ces critères sont le résultat du croisement de deux critères agro-climatiques. C'est le cas par exemple du risque de gel printanier, qui croise la date calculée du débourrement de la vigne avec la date du dernier gel.

7. Évolution des températures

7.2. Augmentation des températures moyennes annuelles et de leur variabilité interannuelle

7.2.1. Entre 1975 et 2018, sur le territoire du pays Vallée du Loir, la température moyenne annuelle a augmenté de 1,6 °C²¹.

Cette augmentation va se poursuivre. **Le scénario 4.5 du GIEC indique une augmentation de la température moyenne annuelle²² sur la période 2021-2050 de + 1.3 °C (comparé à 1976-2005).** Cette température moyenne annuelle augmenterait à nouveau de + 1 °C sur la période 2070-2100 (comparé à 2021-2050)²³.



Températures moyennes annuelles à Château du Loir et variabilités interannuelles

La moyenne des températures entre 2021 et 2050 pourrait atteindre 12,8 °C : c'est la température moyenne à Bordeaux dans le passé proche.

21. Source : ORACLE

22. Le calcul porte sur la médiane des températures moyennes annuelles de la période considérée.

23. Le scénario 8.5. induirait à une tendance analogue pour la première période (+ 1,2 °C) ; la moyenne sur 30 ans 2070 – 2100 augmenterait par contre plus fortement : + 3°C.

7.2.2. La variabilité interannuelle des températures augmente très fortement, surtout dans le futur proche.

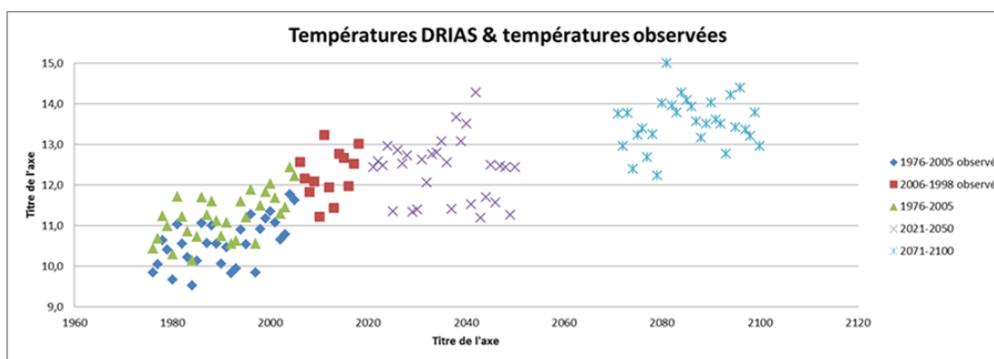
Cette variabilité interannuelle est une caractéristique forte de l'évolution du climat. Entre 2021 et 2050, la température moyenne annuelle oscillera entre des températures moyennes annuelles plus basses (qui se situent dans la moyenne du passé proche), et des températures moyennes plus élevées (qui se situent dans la moyenne du futur lointain ²⁴).

Entre les deux, le territoire connaîtrait des températures moyennes annuelles un peu supérieures aux températures moyennes annuelles les plus hautes des 22 dernières années ²⁵ (passé récent)

La période 2021-2050 commence dans un an. Pour cette période, on peut se faire une idée des années les moins chaudes et partiellement des années médianes, mais on n'a jamais connu 1/3 des températures moyennes des 30 années qui viennent ²⁶.

7.3. L'augmentation des températures du résultats du scénario 4.5 pourrait être sous-estimée

Le tableau ci-dessous confronte les données ORACLE (triangle vert et carré rouge) aux données RCP 4.5 (losange bleu = passé proche, croix violette = futur proche, et croix bleu claire = futur lointain).



Températures moyennes annuelles observées (ORACLE : triangle vert et carré violet) et températures moyennes annuelles calculées (carré bleu ciel, croix violettes et croix bleu ciel) dans le Pays vallée du Loir

Les températures DRIAS recalculées pour 1996-2005 sont inférieures aux températures observées (ORACLE). Ceci nous oblige à une certaine prudence dans l'interprétation.

Nous retiendrons les propositions suivantes :

- la variabilité inter-annuelle a déjà commencé à augmenter entre 2006 et 2018 ;
- sur les 5 dernières années (2019 non comprise), 4 années ont des températures moyennes annuelles proches de la médiane des températures moyennes pour la période 2021-2050 ;
- dans le futur proche ²⁷, 3 °C pourraient séparer les températures moyennes des années les plus chaudes des températures moyennes des années les moins chaudes ;
- la variabilité interannuelle des températures et l'instabilité du climat seront la principale caractéristique des trente prochaines années : alterneront des situations connaissant des niveaux de température déjà observés dans le passé proche (11,5 °C ²⁸ : 1/3 des situations), avec des situations connaissant des températures proche de celles connues ces dernières années (12,5 °C ²⁹ : 1/3 des situations), et un dernier tiers de situations connaissant des températures moyennes annuelles plus élevées (13,5 °C³⁰) jamais observées dans le passé (et qui préfigurent peut-être la situation médiane des années 2070 – 2100).

24. Ce sont des températures que le territoire n'a jamais connues

25. Il s'agit de records de températures moyennes annuelles.

26. Cette approche est très simplifiée. A la variabilité des températures moyennes annuelles s'ajoutera la variabilité des précipitations, et la variabilité de la répartition des températures dans l'année. En matière de climat, nous entrons en terre inconnue.

27. 2021-2050 commence dans moins de deux ans.

28. Valeur médiane.

29. Valeur médiane.

30. Valeur médiane.

7.4. Toutes les saisons sont concernées

Selon le scénario RCP 4.5, les températures augmentent pour toutes les saisons. Cette augmentation est surtout marquée l'été (+ 1,2 °C dans le futur proche comparé au passé proche, et + 1,8 °C supplémentaires dans le futur lointain). Cette augmentation est moins marquée l'hiver dans le futur proche (tout de même + 0,9 °C), et les hivers 2071-2100 seront chauds (+ 1,4 °C supplémentaires) !

DREAS 4.5 - température moyenne 2021 - 2050			
D J F	M A M	J J A	S O N
4,6	10,9	19	12,1
Évolution par rapport à 1976 - 2005			
D J F	M A M	J J A	S O N
0,9	1,2	1,2	1,2

DREAS 4.5 - température moyenne 2071 - 2100			
D J F	M A M	J J A	S O N
5,9	11,7	20,8	13,1
Évolution par rapport à 2021 - 2050			
D J F	M A M	J J A	S O N
1,4	0,8	1,8	1

Moyenne des températures moyennes annuelles, par saison (futur proche et futur lointain) – RCP 4.5

De même que pour les données annuelles, la variabilité interannuelle augmente pour toutes les saisons, surtout en hiver.

7.5. La période estivale³¹ sera plus longue

L'allongement de la période estivale se produit surtout au printemps. La période estivale recule peu en automne.

Dans le passé proche, la période estivale (T MAX > 25 °C) commençait le 5 mai (valeur médiane). Dans l'avenir, elle commencera :

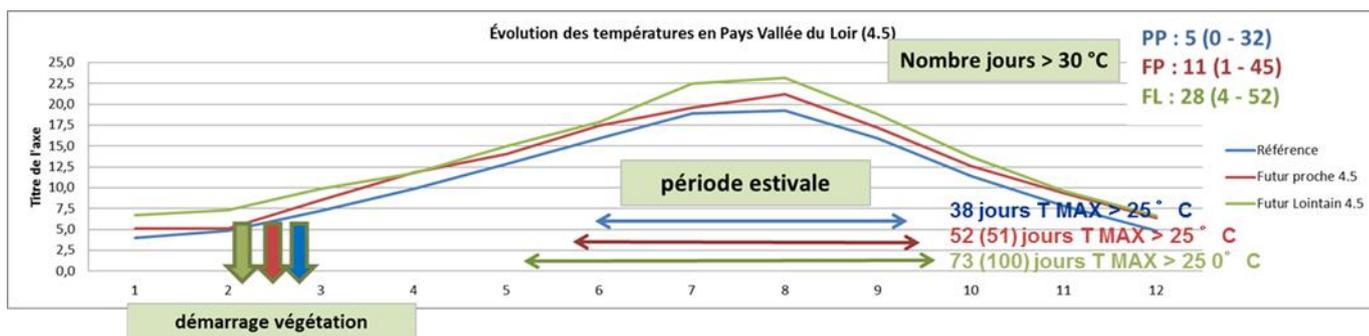
- 12 jours plus tôt (23 avril) dans le futur proche 4.5 ;
- encore 12 jours plus tôt (11 avril) dans le futur lointain 4.5.

La période estivale durera plus longtemps :

- dans le futur proche, elle dépassera 50 jours (quel que soit le scénario) ;
- dans le futur lointain, elle pourrait durer entre 70 jours (RCP 4.5) et 100 jours (RCP 8.5).

Le nombre de jours très chauds (T MAX > 30°C) augmentera également :

- il doublera entre 2021-2050 (11 jours, variabilité = entre 1 et 45 jours) et 1976-2005 (5 jours, variabilité entre 0 et 32 jours) ;
- il sera multiplié par 2,5 entre 2071-2100 (28 jours, variabilité = entre 4 et 52 jours) et 2021-2050 (11 jours, variabilité = entre 1 et 45 jours) ;
- le scénario 8.5 suggère 48 jours très chauds (variabilité = entre 11 et 73 jours) dans un futur lointain.



Dans le même temps, la végétation démarrera plus tôt³² :

- 20 février (1976 – 2005) ;
- 12 février (2021 – 2050) ;
- 4 février (2071 – 2100).

31. La période estivale est la période entre la première journée et la dernière journée de l'année dont la température maximale est de 25 °C.

32. Date à laquelle les 200°C jours base 0 sont atteints.

7.6. Risque de stress thermique pendant la période estivale et de sécheresse de fin d'été

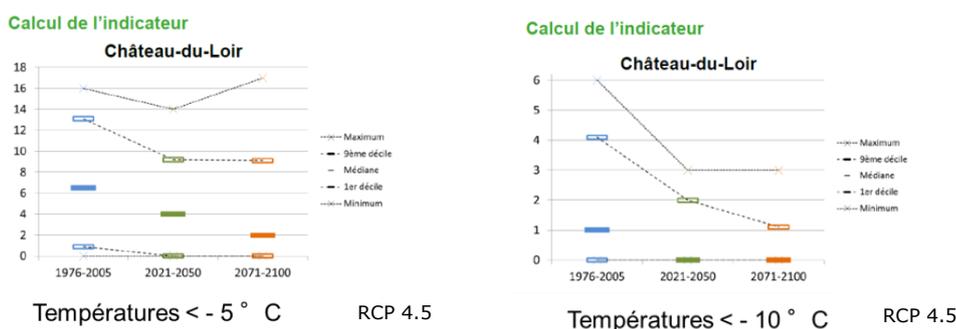
7.6.1. Les jours dont la température maximale dépasse 30 °C engendreront des **stress thermiques** : le **scénario 4.5 dénombre plus 20 jours avec une température maximale à plus de 30 °C**.

Cette situation n'est pas nouvelle : la région a déjà connu cette situation à plusieurs reprises, entre 1990 et 1996 (3 années), entre 2002 et 2005 (3 années), et entre 2014 et 2018 (2 années, sachant qu'il faudra ajouter 2019). Les risques de ces périodes de stress thermique (ex : arrêt de la pousse des prairies, échaudage sur céréales d'hiver, moindre fertilisation des maïs, moindre remplissage des grains) sont donc déjà connus et des adaptations (à recenser et à approfondir) sont peut-être déjà en cours.

7.7. Le risque de gel des cultures sortie d'hiver devrait diminuer

Le nombre de jours de gels forts diminuera.

7.7.1. Entre 2021 et 2050, le nombre de jours dont la température minimale est inférieure à - 5 °C aura baissé de 33 % (- 2 jours, en valeur médiane). La variabilité est importante : entre 0 et 14 jours, avec un nombre non négligeable de situations entre 10 et 14 jours de gel fort.

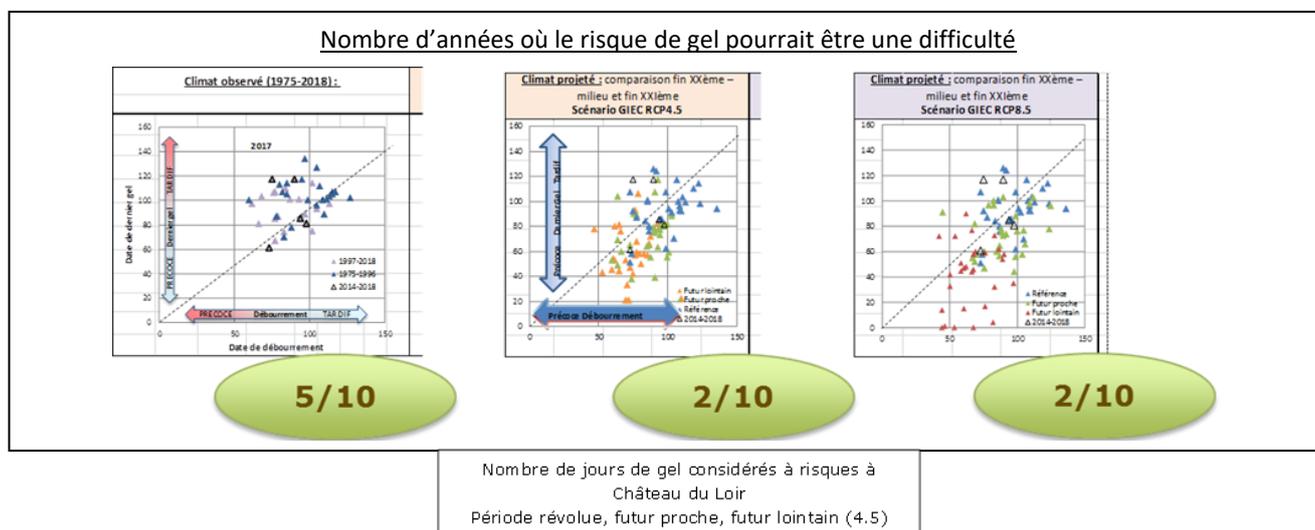


7.7.2. La diminution du nombre de jours de gel et le réchauffement d'hiver pourront interroger sur **les conditions de vernalisation des plantes cultivées**, pérennes ou annuelles. D'autre part, du fait du démarrage plus rapide de la végétation (fins d'hiver plus doux que dans le passé proche), **les éventuels gels tardifs sont considérés comme un risque**.

Cette dernière question sur les gels tardifs concerne la vigne, l'arboriculture, le maraîchage et des cultures de printemps dont la date de semis pourront avoir été avancées du fait du réchauffement climatique.

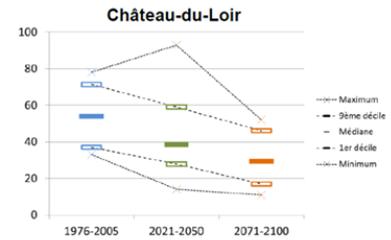
Ce risque de gel n'est pas nouveau : ces 30 dernières années, le gel (sur vignes) représentait un risque une année sur deux.

Les tableaux ci-dessous proposent de **qualifier le risque lié au gel des vignes après la période de débournement**. La droite en pointillés présente une limite (date de dernier gel ultérieure à la date de débournement). Les tableaux ci-dessous quantifient le nombre de situations possibles, et indiquent que le nombre d'années avec risque de gel des vignes pourrait passer de 5 années sur 10 (passé proche) à 2 années sur 10 (futurs proche et lointain). Le risque diminue.



Ceci observé, les graphiques ci-dessus ne renseignent pas sur le nombre de gels post-débourrement ni sur la vigueur du gel.

Si ce nombre d'années à risque diminue fortement, dans le futur proche, des années extraordinaires avec beaucoup de journées de gels peuvent se présenter. En effet, si le nombre de jours de gel diminuera (-16 jours en valeur médiane), certaines années pourraient avoir plus de jours de gel que la période passée.



Nombre de jours de gels par an en Pays Vallée du Loir (DRIAS 4.5.)

7.7.3. Autres conséquences des périodes froides pouvant intervenir après le démarrage de la végétation

L'occurrence de températures assez basses après le démarrage de la végétation pourrait aussi devenir une contrainte pour les éleveurs. En effet, pour profiter d'une végétation prairiale avancée, les éleveurs seront tentés de sortir leurs animaux plus tôt. En cas de coups de froids imprévus et répétés ultérieurs à la mise à l'herbe (et d'arrêt de la pousse de l'herbe), l'éleveur devra se réorganiser pour l'affouragement de son troupeau.

L'alternance de températures encore froides et de températures douces pourra aussi créer des conditions favorables à la dissémination de certaines maladies chez les animaux.

8. Évolution des précipitations :

Le climat observé entre 1975 et 2018 montre une tendance (faible mais réelle) à la diminution des précipitations annuelles³³. Les projections DREAS suggèrent un retournement de tendance pour la période 2021-2050, puis une nouvelle baisse en 2071-2100³⁴.

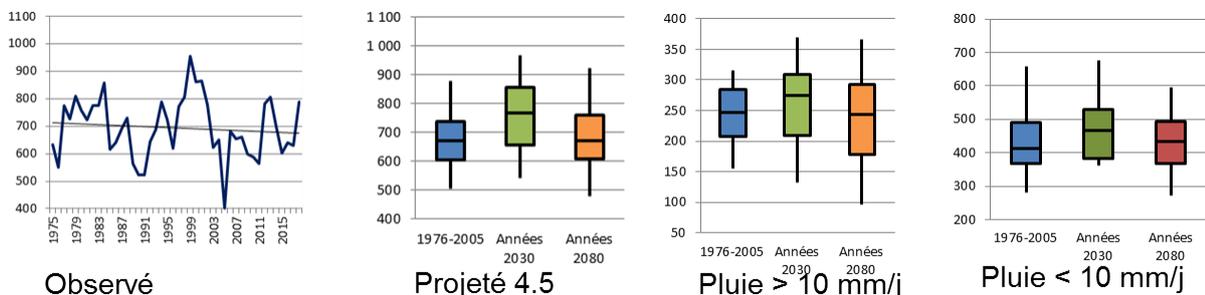
8.1. Pas beaucoup plus de pluie, mais une variabilité des cumuls annuels de pluie qui augmente

8.1.1. Le cumul annuel des précipitations (en valeur médiane) pourrait augmenter de 10 % dans un futur proche (ce qui représente seulement 75 mm), pour retrouver pendant la période 2070 - 2100 (futur lointain) une valeur médiane assez proche de celle observée ces 44 dernières années.

On assisterait donc dans le futur proche à un retournement de tendance de l'évolution des pluviométries annuelles observée ces 44 dernières années. Par contre, **la variabilité interannuelle pourrait être très forte**, surtout pour la période 2021-2050. Le tableau ci-dessous indique **une variabilité allant entre 670 mm et 850 mm**. La moyenne s'établirait autour de 751 mm.

Pluviométrie totale			
(moyenne sur la période)			
1975-1996	688	+/-	96 mm
1997-2018	700	+/-	125 mm
		+	12 mm
		4.5	8.5
Référence	676		mm
Futur proche	751	751	mm
Futur lointain	687	687	mm

Pluviométrie annuelle en Pays Vallée du Loir : évolution (DRIAS 4.5)



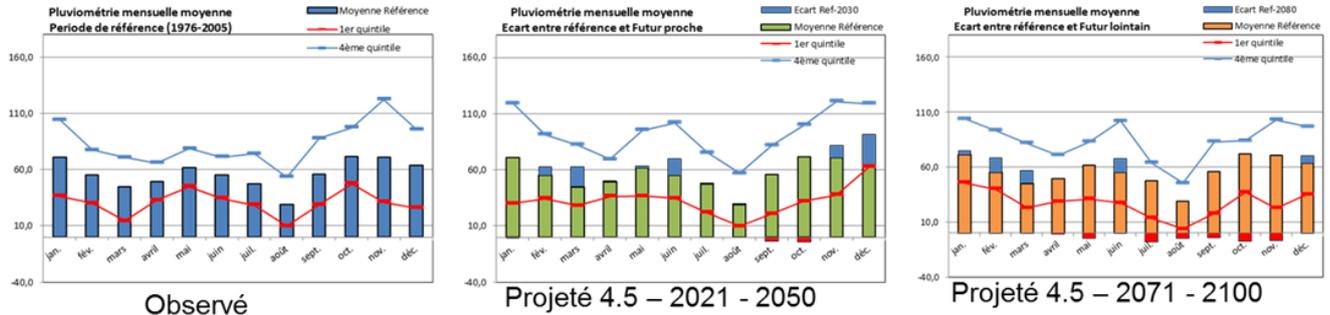
Pluviométrie annuelle en Pays Vallée du Loir : évolution (DRIAS 4.5.)

33. Cette baisse constatée de la pluviométrie n'est pas observée sur d'autres points sarthois ou sur Angers, ce qui fait de la baisse des pluies au printemps, et plus particulièrement des pluies fortes, une caractéristique du territoire d'étude.

34. Du point de vue des climatologues, les projections pluviométriques sont généralement moins fiables que celles sur les températures. Aussi, il faudra analyser les indicateurs avec prudence.

Dans le futur proche, l'augmentation des précipitations sera partagée entre trois saisons :

- **augmentation modérée au printemps, notamment en juin ;**
- baisse modérée en été, notamment en septembre pour le futur proche ;
- **augmentation de 40 mm l'hiver, notamment en février et mars ;**
- baisse très modérée en début d'automne, et **augmentation en novembre et décembre.**



Évolution de la pluviométrie mensuelle (DRIS RCP 4.5)

Concernant le futur lointain, la baisse des précipitations touchera pratiquement toutes les saisons, avec un déficit qui se creusera pendant la période estivale.

Cette évolution nous interroge sur les risques estivaux et les possibilités de recharge des réserves utiles des sols pendant l'hiver.

8.2. *Risque de sécheresse estivale*

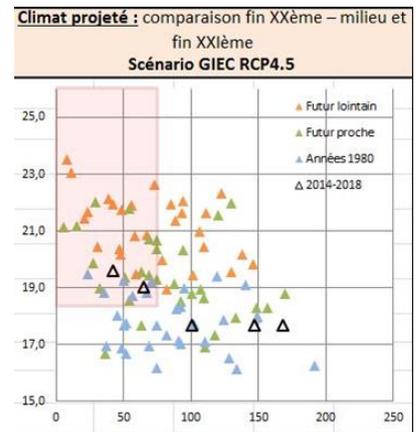
Le risque de sécheresse en fin d'été augmente. Pour comptabiliser les années à risques, ont été considérées les années pour lesquelles les mois d'août et septembre connaissent à la fois des températures moyennes supérieures à 18,5°C et des pluviométries inférieures à 60 mm.

Les années 1975 - 2018 n'ont connu que 6 années à risque, dont deux parmi les 5 dernières années (triangles vides sur le tableau ci-contre).

Le nombre de situations présentant un risque de sécheresse de fin d'été doublera dans un futur proche. Dans un futur lointain (2071-2100), nous pourrions constater une sécheresse de fin d'été une année sur deux.

Le tableau ci-dessous présente le **nombre d'années à risque** pour les passés proche et récent et les futurs proche et lointain des scénarii 4.5 et 8.5 :

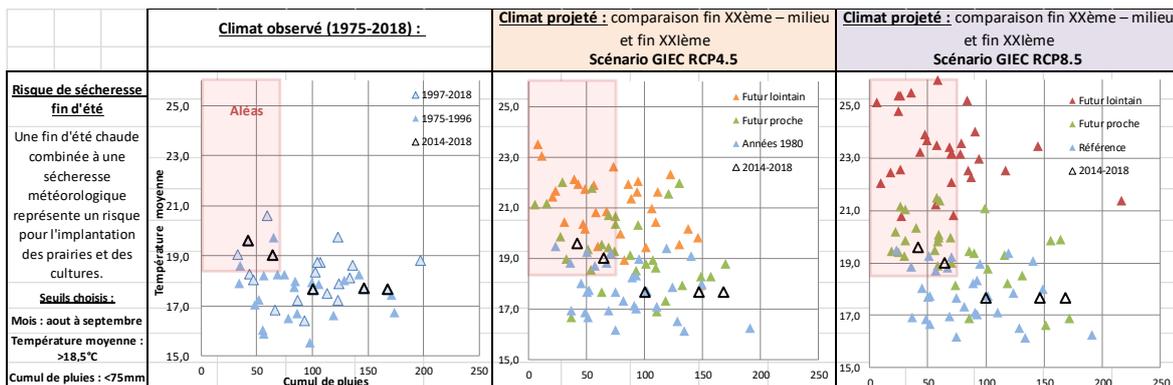
- une année sur dix entre 1975 et 1996 ;
- deux années sur dix entre 1997 et 2018 ;
- 4 années sur 10 entre 2021 et 2050 avec le scénario RCP 4.5 (6 années sur 10 avec le scénario RCP 8.5) ;
- 5 années sur 10 entre 2071 et 2100 avec le scénario RCP 4.5 (7 années avec le scénario 8.5)



Risque sécheresse fin d'été
Période révolue, futur proche, futur lointain (4.5)

	Référence	Futur proche	Futur lointain
Pluies	4/10	5/10	5/10
Temp. Moy.	3/10	7/10	1
risque aléas	2/10	4/10	5/10

Risque sécheresse fin d'été : nombre de journées à risque
Période révolue, futur proche, futur lointain (4.5)



8.3. Besoins en eau des cultures

L'augmentation des températures impliquera une plus forte évapotranspiration des plantes et donc une augmentation des besoins en eau pour une journée considérée.

Les besoins en eau d'une culture dépendent de la durée de présence sur la parcelle, de sa situation végétative³⁵, de la température extérieure, et de l'efficacité avec laquelle la plante cultivée valorise l'eau qu'elle consomme³⁶.

Ci-dessous, les besoins en eau comparés³⁷ du blé, du maïs et du soja montrent des besoins très différents, mais répartis à des moments différents de l'année.

	Blé	Maïs ensilage	Maïs grain	Soja
besoins en eau (mm)	531	321	363	270
Rendement (t)	9,0	13,5	8,0	3,0
besoins en eau (moyenne par t)	59	24	45	90
Durée de culture (j)	270	130	180	160
besoins en eau (moyenne par jour)	2,0	2,5	2,0	1,7

Besoins en eau de quelques cultures annuelles : estimations faites par le rédacteur

Les ressources en eau sont de 750 mm (2 mm par jour en moyenne). La pluviométrie est répartie sur tous les mois de l'année avec deux mois plus bas (juillet et août) et quatre mois plus haut (novembre à janvier).

Pendant les périodes moins pluvieuses, le système cultivé ne peut compter que sur deux possibilités :

- la réserve en eau du sol, directement liée à la matière organique du sol et son complexe argilo humique³⁸ et,
- en cas d'irrigation, les réserves extérieures (nappes, rivières, éventuelles retenues collinaires).

Le changement climatique pourrait avoir deux conséquences :

- diminution des débits du Loir (-43,8 % à l'été) et du niveau des nappes (-31,9 %) ³⁹;
- dégradation du bilan hydrique en période estivale.

Le tableau ci-dessous calcule l'évolution du critère (P – ETP)⁴⁰ pendant deux périodes (avril + mai + juin → printemps et juillet + août + septembre → été) pour tous les scénarii envisagés, et distingue le 1/3 des années médianes du 1/3 des années à plus fort déficit et du 1/3 des années à moins fort déficit.

AVRIL MAI JUIN						JUILLET - AOÛT - SEPTEMBRE					
2019	Référence	Scénario 4.5		Scénario 8,5		2019	Référence	Scénario 4.5		Scénario 8,5	
-169,6	Passé récent	Futur proche	Futur lointain	Futur proche	Futur lointain	-217,2	Passé récent	Futur proche	Futur lointain	Futur proche	Futur lointain
1/3 années les moins déficitaires	-20	4	-16	16	-42	1/3 années les moins déficitaires	-95	-130	-174	-122	-228
1/3 médiane	-98	-78	-118	-69	-156	1/3 médiane	-188	-209	-301	-240	-342
1/3 années les plus déficitaires	-165	-206	-209	-178	-244	1/3 années les plus déficitaires	-265	-303	-364	-303	-435

P-ETP période estivale : évolution attendue (mm)

P-ETP période estivale : évolution attendue (mm)

35. Plus la plante est développée (et couvre le sol), plus les besoins de la culture sur un hectare sont élevés.

36. Les plantes en C4 (maïs, sorgho) valorisent l'eau avec une plus grande efficacité que les plantes en C3 (blé).

37. En fonction des rendements attendus.

38. La réserve utile peut être calculée à partir de la texture des sols. A titre indicatif, elle est de :

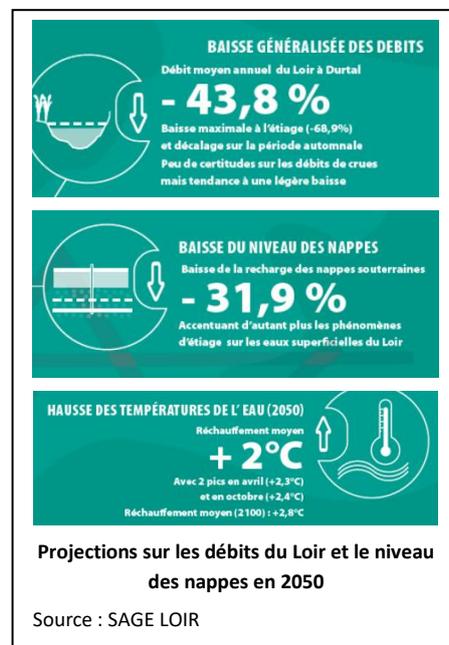
- 0.9 à 1.2mm/cm de sol pour un sable
- 1.3 à 1.6 mm/cm de sol pour un limon argileux
- 1.8 à 2 mm/cm de sol pour un sol argileux, argilo limoneux, argilo sableux

39. Voir Synthèse des impacts du changement climatique - SAGE Loir, <https://sage-loir.fr/?p=2737>

40. (P – ETP) = Pluies – évapotranspiration potentielle.

Ce critère n'exprime pas les réels besoins en eau de la culture, car ne tient pas compte de son stade végétatif, mais il prend en compte la température extérieure, de l'humidité de l'air, de la vitesse du vent, etc..

Pour exprimer les réels besoins, il faudrait calculer l'ETR (évapotranspiration réelle, qui prend en compte le stade de la culture, mais oblige à une approche par culture et de fixer la date de semis, etc.).



8.3.1. Situation hydrique au printemps (avril + mai + juin)

Ainsi, pour ce qui concerne le scénario RCP 4.5 :

- dans le futur proche, la situation hydrique du printemps évoluera peu, sauf pour le tiers des années les plus déficitaires (dégradation = - 40 mm) ;
- dans le futur lointain, la dégradation gagnerait le tiers des années médianes (- 20 mm).

Le scénario RCP 8.5 :

- n'apporte pas de dégradation supplémentaire dans un futur proche ;
- le futur lointain devrait être fortement dégradé : - 40 mm les années les moins déficitaires, - 60 mm les années médianes, et - 80 mm les années les plus déficitaires.

8.3.2. Situation hydrique l'été (juillet + août + septembre)

Pour ce qui concerne le scénario RCP 4.5 :

- dans le futur proche, les trois situations sont dégradées : - 40 mm sur la série la moins déficitaire, - 20 mm sur la série médiane, et - 30 sur la série la plus déficitaire ;
- dans le futur lointain, ces mêmes séries présentent des dégradations très fortes : - 80 mm, - 110 mm et - 100 mm sur les différentes séries (comparé au passé proche).

Le scénario RCP 8.5 :

- présente pour le futur proche une dégradation des déficits : - 40 mm en moyenne pour l'ensemble des séries ;
- augmente très fortement le déficit dans le futur lointain : -130 mm pour la période la moins déficitaire et - 170 mm pour la période la plus déficitaire !

8.3.3. Comparaison avec l'année 2019 (année de sécheresse estivale)

Le **déficit de printemps** de l'année 2019 (- 170 mm) correspond :

- à celui du tiers des années les plus déficitaires dans le passé proche ;
- à celui des années médianes du futur lointain.

Son **déficit d'été (- 217 mm) :**

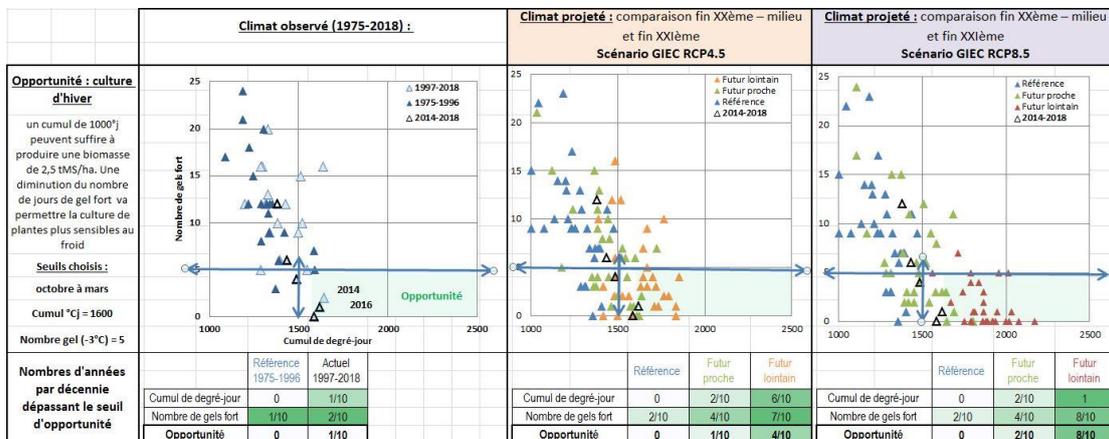
- est à la frontière entre les années médianes et les années les plus déficitaires observées ces 44 dernières années ;
- reste assez éloigné de la situation calculée pour le tiers des années les plus déficitaires du futur proche (80 mm d'écart).

Les conditions de printemps de 2019, le pays les connaîtra une année sur trois dans un futur proche.

40 % des étés du futur proche devraient connaître des déficits hydriques supérieurs à ceux de 2019 ⁴¹.

8.4. L'automne et l'hiver seront plus humides et plus doux

Les pluies d'hiver augmentent relativement peu : elles ne devraient pas modifier fortement la portance des sols. Aussi, nous pourrions imaginer profiter de la douceur de l'hiver pour compenser la perte de production l'été.



Nombre d'années où la somme des températures > 1500 °C et peu de gel l'hiver

41. Le mois d'août sera très certainement le mois le plus critique.

Le tableau de la page précédente part de l’hypothèse que un cumul de 1600 °Cj sur 6 mois hivernaux non perturbé par plus de 5 jours de gel à - 3 °C pourrait contribuer à rendre intéressante l’exploitation hivernale des sols (avec récolte fin d’hiver et culture de printemps en succession). Il serait alors possible de produire 4 t MS de biomasse 4 années sur 10, pendant cette période de 6 mois, tout en libérant le sol fin mars, pour une culture en succession pendant le mois d’avril.

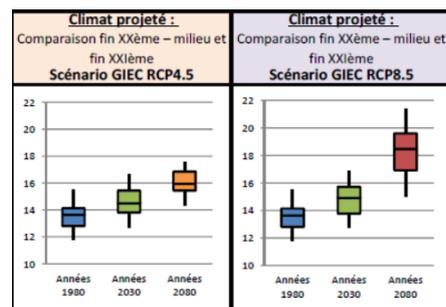
Ce seuil de 4 t MS est intéressant pour la production de fourrages, qui ont une valeur économique élevée sur le marché.

Ce seuil est probablement insuffisant pour d’autres marchés ⁴² (ex : énergie) qui ne demandent pas une valeur fourragère, mais suffisamment de rendement pour rendre intéressant la production d’un végétal qui serait valorisé sur le marché à un prix inférieur. Toutefois, la culture en succession peut laisser un peu de marge de manœuvre et être semée un peu plus tard, ce qui permet de produire un peu plus en culture d’hiver en valorisant les températures de début avril.

9. Le climat du futur proche :

Les caractéristiques du climat de 2021 – 2050 dans le pays Vallée du Loir vont changer :

- le cumul annuel des pluies devrait se situer au niveau de 750 mm, avec moins de pluies l’été ;
- les hivers seront plus doux (4 jours < - 5 °C en valeur médiane) et les étés plus longs et plus chauds ;
- certaines années pourraient connaître jusqu’à 14 jours avec des températures minimales inférieures à -5 °C.



Évolution des températures (Pays Vallée du Loir)

La tendance se poursuit après 2050. Sur la période 2071–2100 :

- le nombre de jours de gel hivernal pourrait être réduit de moitié ;
- le nombre de jours avec une température minimale inférieure à -5 °C sera fortement réduit (deux jours en valeur médiane) mais certaines années on pourrait en compter jusqu’à 15 ;
- et le pays Vallée du Loir pourrait connaître une sécheresse d’été une année sur 2 ⁴³.

La forte variabilité des critères agroclimatiques de 2021-2050 pourra inquiéter les producteurs agricoles. En effet, les années 2021–2050 pourraient se comporter comme une période de transition, avec des années très chaudes et des années beaucoup plus fraîches, des années très sèches et des années assez humides, toutes les combinaisons étant *a priori* imaginables. Difficile dans ces conditions de trouver une stratégie d’adaptation unique. Aussi, il faudra préparer 2071-2100 (agroforesterie, gestion de l’eau), en ayant étant capable de passer les fortes variations climatiques de la période précédente.

10. Adaptation de l’agriculture au changement climatique :

Beaucoup de scientifiques s’interrogent aujourd’hui sur les chances d’atteindre les objectifs de l’accord de Paris (contenir le réchauffement climatique à + 2 °C). S’il ne faut pas baisser la garde sur l’atténuation des émissions de gaz à effet de serre, il devient de plus en plus indispensable de travailler sur les façons de s’adapter à ce réchauffement.

Les épisodes climatiques du passé récent ont conduit une partie d’entre eux à mettre en place des solutions d’anticipation ⁴⁴. Il sera certainement utile, pour travailler sur l’adaptation, de recenser des événements climatiques nouveaux ou extrêmes déjà observés, et de connaître les façons dont les agriculteurs ont déjà fait évoluer leurs systèmes.

42. Le mois d’avril serait alors suffisant pour dépasser 5 t MS de production, avec de bonnes perspectives de rentabilité.

43. Une année sur deux = 4 années sur 10 (RCP 4.5.) ou 6 années sur 10 (RCP 8.5.).

44. C’est le cas en production viticole et en arboriculture, avec la mise en place par exemple de tours à hélices antigel. C’est aussi le cas en production fourragère, après la sécheresse de 2011 : de nombreux agriculteurs ont testé de nouvelles associations fourragères pour la période d’été.

Dans ce rapport, nous présentons quelques évolutions probables. Sans être exhaustives, elles reflètent une partie des évolutions qui interrogent actuellement les producteurs agricoles du Pays Vallée de Loir.

10.1. Polyculture - élevage

10.1.1. **Céréales d'hiver**

L'augmentation de la concentration du CO₂ dans l'atmosphère est à l'origine du réchauffement. La photosynthèse consomme du CO₂. Lorsque les conditions de température et les conditions hydriques ne sont pas limitantes, cette augmentation de la concentration en CO₂ est plutôt favorable à la production végétale, notamment pour les céréales d'hiver ⁴⁵.

Les conditions climatiques douces en sortie d'hiver seront également favorables à la minéralisation et à l'assimilation de l'azote.

De même, la pression maladies devrait baisser, ce qui est favorable aux blés non traités.

En céréales, la stratégie d'adaptation devrait concerner essentiellement des solutions variétales et des techniques visant à esquiver les risques d'échaudage thermique de fin de cycle (températures > 28 °C) et de diminution de croissance des grains (températures > 25 °C).

10.1.2. **Colza**

En tant que plante en C3, le colza valorisera bien l'augmentation de la teneur en CO₂ de l'atmosphère.

Par contre, les difficultés d'implantation du colza en fin d'été peuvent conduire à un décalage des semis (ce qui est pénalisant pour la culture). Aussi, malgré ses bonnes capacités à absorber l'azote, le colza pourrait laisser un sol fortement pourvu en azote minéral à l'automne ⁴⁶.

Les années où les conditions d'implantation seront réunies, la diminution du nombre de gels hivernaux devrait contribuer à soutenir une augmentation des rendements ⁴⁷.

10.1.3. **Prairies**

Les prairies démarreront plus tôt. La mise à l'herbe devrait gagner 8 jours entre la période 2021 - 2050 et la période 1976 - 2005. Les températures d'automne seront favorables à la production de regains ⁴⁸.

En revanche, l'allongement de la période estivale augmentera le nombre de jours dans l'année pendant lesquels la prairie ne pousse pas. Il en résultera des modifications de court terme des périodes de pâturage et dans la réalisation des stocks.

Face aux contrastes climatiques, l'association de plusieurs espèces permettra de renforcer la résilience des prairies et de mieux faire face aux aléas :

- après la sécheresse de 2011, en Sarthe, des éleveurs ont testé des associations adaptées aux conditions sèches estivales et ont intégré de nouvelles espèces cultivées (la chicorée fourragère, le sainfoin, le sorgho fourrager).
- d'autre part, la mise en place d'associations en semis d'automne pour une récolte au printemps permettent de récolter des fourrages avant la période de sécheresse



Lucerne



Chicorée fourragère

45. Un stress hydrique dans la deuxième quinzaine de juin posera par contre quelques problèmes.

46. Ceci pourra être un inconvénient si cette faible consommation d'azote se traduit par une augmentation de la pollution diffuse.

47. Le rapport CLIMATOR estime possible une augmentation des rendements de colza de 2,5 % dès la période 2021 – 2050.

48. Les alternances de chaud et de froid en sortie d'hiver pourraient aussi fragiliser les troupeaux déjà au pâturage.

(ex : méteil) et de réduire le déficit protéique de la production fourragère (lorsque des céréales sont associées avec des légumineuses).

10.1.4. Maïs et sorgho

Le maïs et le sorgho sont deux plantes dont le cycle de production est entièrement piloté par la température. Pour une variété donnée, le réchauffement induit un raccourcissement de la durée végétative ⁴⁹. Le sorgho a un système racinaire plus développé que celui du maïs et il peut mieux résister à la sécheresse. Mais il n'a pas la même antériorité en matière d'amélioration variétale, et est moins productif.

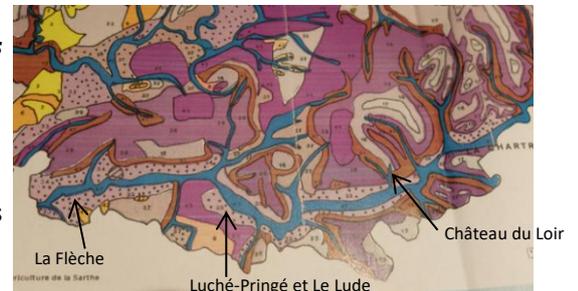
Les producteurs de maïs peuvent s'adapter de plusieurs façons :

- (1) en avançant un peu les semis et en profitant de l'augmentation des températures, sans changer de variété, les agriculteurs pourront espérer diminuer les besoins en eau et esquiver les périodes les plus sèches ⁵⁰. Cette stratégie sera probablement privilégiée dans les sols à plus faible réserve utile ;
- (2) une autre stratégie consiste à semer des maïs plus tardifs ⁵¹, visant ainsi une augmentation de la production. La variété est changée (besoins de température plus élevés et période végétative plus longue). La culture profite d'une somme de températures plus élevée. Cette stratégie pourrait concerner les sols à plus forte réserve utile ⁵² ;
- (3) dans une troisième stratégie, le sorgho remplace le maïs ;
- (4) les systèmes d'irrigation peuvent être perfectionnés pour être plus économes en eau. De nombreuses solutions existent ;
- (5) stocker l'eau excédentaire en hiver permet d'en disposer pendant la période estivale, permettant ainsi de compléter la fourniture par les nappes aquifères, à condition évidemment de ne pas contribuer à la diminution du niveau de ces nappes ;
- (6) en production fourragère, une autre stratégie visera à compter un peu moins sur le maïs et à innover en matière de production fourragère.

10.1.6. En sols sableux, ça pourrait devenir très compliqué !

Les sols du pays vallée du Loir sont très variés. Nous trouvons :

- des sols hydromorphes souvent très argileux ;
- des sols bruns sableux à sablo-limoneux sur terrasses alluviales ;
- des sols sablo-limoneux sur argiles sableuses ;
- quelques sols limono-sableux sur limons épais.



Carte des sols sud est de la Sarthe -> sols sableux :

Ces sols se différencient notamment par leur réserve utile (RU). L'été, un sol sableux à moins de 40 mm de RU et avec une couverture totale de végétation ne supportera pas beaucoup plus d'une dizaine de jours sans pluie.

L'augmentation du risque de sécheresse, l'été, interroge les différents acteurs de la gestion de l'eau :

- les nappes souterraines sont classées ZRE (insuffisance par rapport aux besoins) : l'irrigation pourra devoir exiger des nouvelles règles dans la gestion de la ressource en eau d'une part, et des systèmes d'irrigation plus adaptés et plus performants d'autre part ;

49. Une température moyenne de 1,2 °C pendant 4 mois représente 150 °J cumulés. Pour un maïs qui a besoin de 1450 °J entre le semis et la date d'ensilage, à date de semis constante, la durée du cycle cultural diminue de 10 %.

50. A partir d'une certaine limite, cette stratégie aura un impact négatif sur les rendements.

51. Les maïs plus tardifs ont besoin de plus de degrés jours base 6 que les maïs précoces.

52. Cette stratégie a toutefois un inconvénient : si le maïs plus tardif est assolé une année finalement moins chaude, il aura plus de difficultés à arriver à maturité.

- vers l'aval du Loir, sur les communes de Bazouges, la Flèche, Savigné-sous-le-Lude, Luché-Pringé, etc., où les sols sableux sont nombreux, c'est peut-être même l'avenir d'une partie de l'agriculture (et notamment de la filière maïs semence) qui est en question.

10.1.5. Couverts estivaux

Le risque de sécheresse de fin d'été est élevé. Les années où la sécheresse est effective, les agriculteurs rencontreront des difficultés à réussir la levée des couverts d'été ⁵³.

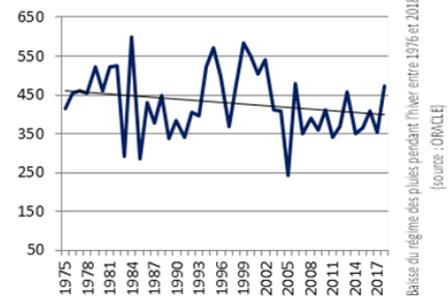
Le semis sous couvert de CIPAN ou autres cultures intermédiaires d'été est une des pistes d'adaptations.

10.2. Arbres et forêts

10.2.1. Le climat de 2071 - 2100 sera très différent de celui de 1976 - 2005. Du fait du changement climatique, les espèces qui seront présentes en 2100 (et qui sont à planter aujourd'hui) ne seront pas les mêmes que celles qui sont présentes aujourd'hui.

Entre 2021 et 2100, le territoire connaîtra probablement des fins d'été de plus en plus chauds et de plus en plus secs, et les arbres craignent les sécheresses édaphiques :

- les arbres à cuticule faible ne seront pas en situation de confort. Pendant toute la période 2021-2100, la surveillance des arbres à fort ETP (ex : le hêtre) devient une nécessité et leur maintien pourra éventuellement nécessiter une moindre densité de plants ;
- il faudra certainement bâtir, pour 2100, une sylviculture économe en eau, et bien connaître les possibilités des sols avant de choisir les essences à planter.



10.2.2. Depuis plusieurs années, il est plus difficile de réaliser des plantations en février et mars. L'origine de cette difficulté semble encore insuffisamment comprise. La baisse du régime hydrique constaté depuis 44 ans est suspectée, mais ce n'est peut-être pas la principale raison.

Depuis 44 ans, la pluviométrie hivernale diminue, faiblement, mais de manière régulière. Il faudra analyser de plus près le potentiel de recharge d'hiver. La baisse de la fréquence des crues et celle du niveau général des mares observées ces dernières années témoignent de cette problématique de recharge ⁵⁴.

Aussi, les plants, souvent (et de plus en plus) conditionnés pour reprendre en situation de confort hydrique, et donc avec des besoins élevés dès le premier jour de la reprise végétative, supporteraient mal des situations avec des sols dont la réserve utile ne serait pas complètement reconstituée en fin d'hiver.

10.2.3. Avec la diminution du nombre de jours de gel, des prédateurs sensibles au gel seront moins bien régulés (c'est déjà le cas, par exemple, pour la chenille processionnaire du chêne). Avec le réchauffement des températures, de nouveaux prédateurs en provenance de régions plus chaudes pourront migrer sur le territoire. La pression des prédateurs des arbres devrait augmenter dans les futurs proche et lointain.

10.2.4. Que faire des boisements menacés par les prédateurs ou par le stress climatique ?

Deux questions se poseront certainement, du fait des prédateurs et du stress climatique ⁵⁵ : le remplacement des végétations boisées très affectées par le changement climatique, et l'utilisation de la ressource abattue à cause de ces remplacements.

53. En zone vulnérable, les couverts sont une obligation réglementaire.

54. Toutefois, les pluies hivernales devraient augmenter dès le futur proche et pourraient se maintenir (sur 6 mois) dans un futur lointain (au moins en valeur médiane).

55. Ce sera vraisemblablement le cas des châtaigneraies qui, dans le Sud Sarthe, couvrent 15 000 ha !

10.2.4. Les arbres protègent de la canicule. Un certain nombre de mesures de températures réalisées dans le département de la Sarthe pendant l'été 2019 l'attestent : la différence de température maximale entre une situation arborée et une situation non arborée peut atteindre en moyenne, en plein été, 6 à 7 °C ⁵⁶.

L'agroforesterie (en association avec les parcours et pâturages en élevage, ou en association avec les plantes annuelles cultivées) fait partie des solutions d'adaptation au changement climatique.

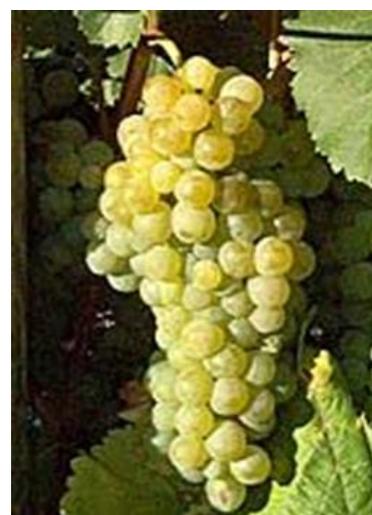


Aménagements boisés autour d'un parcours de poulets label

10.3. Autres production agricoles (vigne, fruits) ⁵⁷

10.3.1. En viticulture, le chenin ⁵⁸ est un cépage à débourrage précoce. **Le risque de gel** est une menace. En arboriculture également. Les viticulteurs et les arboriculteurs sont donc vigilants et, pour une partie d'entre eux, investissent dans des systèmes de ventilation (exemple : tours antigel à hélice) ou d'arrosage ⁵⁹ (arboriculture). D'après les producteurs consultés, ces aménagements visant à protéger les plantations du froid mais aussi de la grêle (filets), de la sécheresse, etc., doublent le coût d'investissement dans un verger ou dans une parcelle de vigne.

10.3.2. Les **températures maximales dépassant 30 °C**, plus nombreuses, dans le futur proche et dans le futur lointain, seront sources de stress hydrique. Les viticulteurs seront amenés à aménager les parcelles et à les conduire autrement : le matériel végétal (nouvelles plantation) devra être adapté aux nouvelles conditions ; les portes-greffe ⁶⁰ seront différents, plus résilients ; des solutions seront recherchées pour retenir l'eau dans le sol ; les techniques de conduite des vignes (ex : taille) et de vinification évolueront.



10.3.3. En viticulture, l'augmentation des températures estivales conduit à vendanger plus tôt, à une **augmentation du degré d'alcool** et à une **baisse de l'acidité** ⁶¹. Des adaptations techniques existent, pour permettre à la vigne de mûrir plus tardivement et de développer son profil aromatique.

10.3.4. Les nouvelles conditions climatiques vont permettre de faire mûrir en 2021 – 2050 des cépages aujourd'hui cultivés plus au Sud (ex : Grenache blanc, Syrah). **Le vignoble pourrait se diversifier.**

10.3.5. La **lutte contre les ravageurs** est devenue une source de préoccupation. Les viticulteurs et les arboriculteurs s'engagent de plus en plus dans des modes de production évitant les traitements contre les insectes. Beaucoup d'attentes concernent le succès de la lutte biologique, avec un formidable champ d'investigation à occuper (ravageurs, prédateurs, biodiversité, etc.).

56. Les jours de forte canicule, la différence a même été de plus de 15 °C !

57. Le maraîchage, production importante du territoire, n'a pas été traité. Il sera pris en compte dans des ateliers de travail ultérieurs.

58. Chenin : cépage du Jasnières.

59. L'eau qui est autour du bourgeon gèle, et protège le bourgeon.

60. Des portes-greffe plus résilients peuvent contribuer à mieux résister au stress hydrique.

61. La fraîcheur et une pointe d'acidité font partie des caractéristiques du Jasnières sec.

11. Conclusions

Le climat du Pays Vallée du Loir va changer. A long terme (futur lointain), il évoluera vers un climat plus chaud (13,5 °C en valeur médiane) et plus sec l'été (350 mm sur six mois), et un climat plus doux et peu pluvieux l'hiver (450 mm sur six mois). Le climat du futur proche est une phase de transition vers un climat encore plus sec l'été et encore plus chaud (2071-2100), et sera caractérisé par une variabilité très forte des critères agro-climatiques.

Cette variabilité de l'évolution du climat rend plus complexe la mise en oeuvre d'une stratégie d'adaptation. En effet, pendant cette période de transition 2021 - 2050, il faudra travailler dans des conditions qui, d'une année sur l'autre, peuvent correspondre soit au climat du passé proche, soit à des situations se rapprochant de 2018 et 2019, soit à des situations à températures moyennes encore plus élevées et que le pays Vallée du Loir n'a pas encore connues.

L'agriculture et l'agroforesterie du pays Vallée du Loir sont déjà confrontés à des questions nouvelles :

- quels arbres faut-il planter, aujourd'hui, pour qu'ils soient en bonne santé et adaptés, adultes, au climat de 2071-2100, après avoir traversé en 2021-2050 des contextes climatiques variés et aléatoires ?
- quelles variétés annuelles ou pérennes implanter face à une probable forte variabilité (en quantité et en répartition) des températures et de la pluviométrie ?
- le risque de gel diminue-t-il au point de devenir un évènement secondaire, ou le gel sera-t-il un évènement moins fréquent mais avec des conséquences plus graves que dans les passés proche et récent ?
- comment s'adapter à la sécheresse de fin d'été, peut-être l'évènement le plus probable du futur proche ?

Ces 15 dernières années, de nombreuses probables facettes du climat médian du futur proche ont conduit les agriculteurs à anticiper des adaptations. Il nous apparaît utile de repérer ces adaptations, de les décrire pour en connaître les fondements techniques, et de les partager entre agriculteurs.

Au-delà de ces aspects techniques, apparaissent des problématiques pouvant conduire à des projets de territoire. Les pages précédentes nous en suggèrent quelques unes, par exemple :

- quel avenir pour l'agriculture des zones sableuses ?
- comment renforcer les réserves utiles de l'ensemble des sols ?
- les ressources fourragères des prairies de bordures de rivières sont-elles une opportunité les années les plus sèches ?
- que faire des boisements dégradés du fait du changement climatique ?
- faut-il parier à court terme sur la possibilité de produire des fourrages (ou d'autres types de biomasse avec d'autres destinations) pendant l'hiver ?
- quelle est la faisabilité des retenues collinaires ?
- quelle place attribuer à l'arbre dans les systèmes cultivés, sachant qu'il sera également protecteur des cultures et des animaux, et qu'il atténuera les conséquences du stress hydrique estival ?

Ces deux pistes de travail, la première directement liée aux techniques et aux pratiques agricoles, la deuxième organisée en problématiques plus transversales sur un territoire, pourraient contribuer à orienter et à structurer la fiche action sur le changement climatique dans le pays Vallée du Loir.