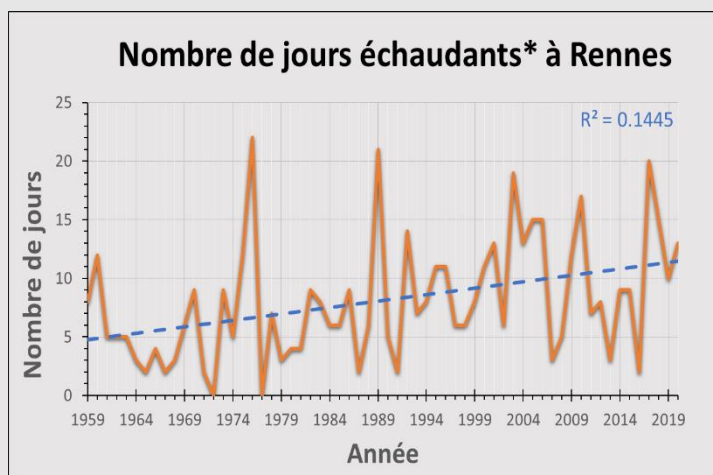


Changement climatique et culture du blé tendre d'hiver : Quelles tendances ?

A travers le projet ORACLE (Observatoire Régional de l'Agriculture et du Changement climatique), des indicateurs concernant la culture du blé à l'échelle de la Bretagne ont pu être mesurés. Cette fiche présente les principales conclusions sur l'évolution des conditions de la culture du blé depuis 1959 jusqu'à aujourd'hui en se basant sur les données MétéoFrance.

Un risque d'échaudage accru



	Moyenne de JE* 1959-1989 (j)	Moyenne de JE* 1990-2020 (j)	Nombre de JE* additionnels entre 1959 et 2020 (j)
RENNES	6,4	9,8	+6,8
ROSTRENEN	1,8	4,1	+5,2
PLEURUIT	2,0	3,7	+4,1
BREST	1,6	2,8	+3,2
LORIENT	4,1	5,8	+4,3
MOYENNE	3,2	5,2	+4,7

Tableau 1 : Evolution du nombre de jours échaudants entre 1959 et 2020 ainsi que les normales 1959-1989 et 1990-2020 sur les 5 stations

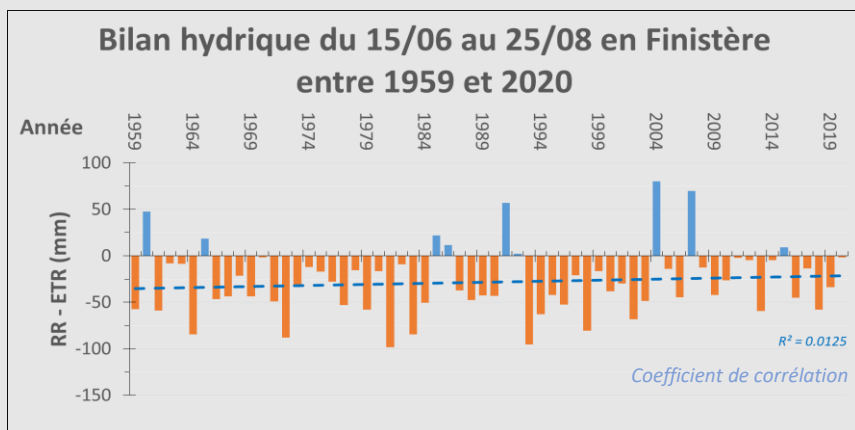
*JE : Jours échaudants (Tmax>25°C)

L'échaudage du blé est un phénomène redouté par les exploitants agricoles car il peut causer une baisse du PMG (poids de mille grain) et donc des rendements à la récolte. Celui-ci est déclenché lorsque les températures dépassent 25°C lors de la période de remplissage des grains, c'est-à-dire entre le 15 mai et le 30 juin.

Or le nombre de jours par an excédant la barre des 25°C durant cette période a augmenté sur toutes les stations et à plus forte raison à Rennes. Les moyennes de 1990-2020 ont presque doublé par rapport à celles de 1959-1989, quand bien même les variations interannuelles restent très importantes pour chaque station. Les territoires qui connaissaient déjà ce risque d'échaudage dans les années 1960 comme Rennes ou Lorient vont le voir se renforcer en particulier dans les sols plus superficiels à moindre réserve d'eau. Brest, Rostrenen et Pleurtuit qui n'étaient jadis pas des stations coutumières du fait ont quant à elles enregistré au moins un jour échaudant 9 années sur 10 lors de la période 1989-2020 (impact plus faible).

Il n'y a pas de véritables moyens de lutte contre l'échaudage si ce n'est le choix de variétés plus précoces et/ou plus résistantes aux températures élevées.

Un bilan hydrique stable



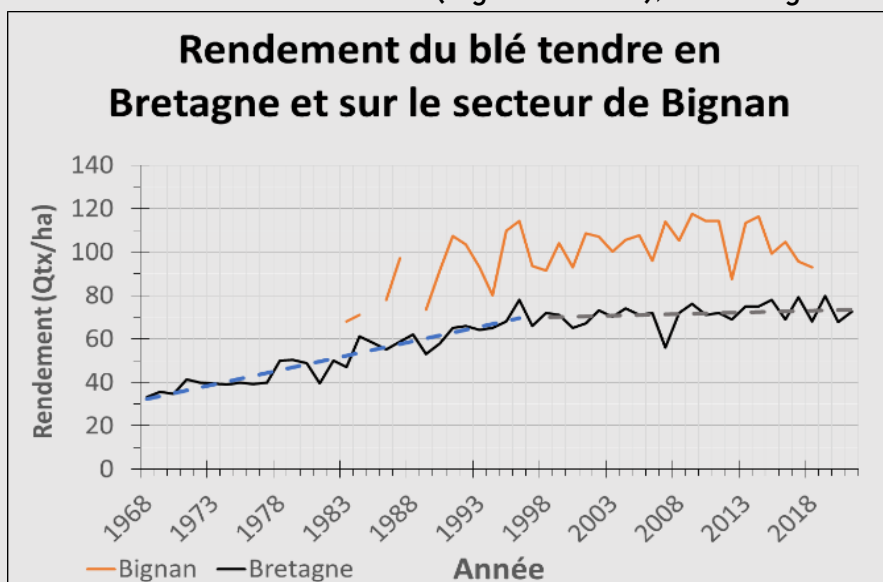
	15/06 au 25/08	mm/décennie
FINISTERE	+2,3	
COTES D'ARMOR	+0,5	
MORBIHAN	+0,4	
ILLE-ET-VILAINE	+0,1	
MOYENNE	+0,8	

Tableau 2 : Evolution du bilan hydrique du 15 juin au 25 août entre 1959 et 2020 sur les 4 départements bretons

L'étude du bilan hydrique (précipitations « RR » - évapotranspiration réelle « ETR ») montre une relative stabilité de la ressource en eau entre le 15 juin au 25 août, soit la période de sensibilité du blé au stress hydrique. Cependant, de légères évolutions sont à noter : Le Finistère a connu une amélioration de son bilan hydrique contrairement à l'Ille-et-Vilaine, aux Côtes d'Armor et au Morbihan. En revanche, dans tous les départements, la variabilité interannuelle est extrêmement importante comme le témoigne le graphique ci-dessus. En effet, le Finistère a connu son meilleur bilan hydrique en 2004 avec +80.0 mm après avoir connu un été très sec en 2006 avec -48.4 mm.

Une augmentation des rendements au ralenti

Les données fournies par Arvalis (Bignan) et Agreste (Bretagne) nous permettent d'observer les rendements en quintaux par hectare. On constate que le rendement moyen en Bretagne a fortement augmenté de 1968 jusqu'au milieu des années 1990 en passant de 30 à 70 q/ha environ soit +13q/ha par décennie du fait de la sélection variétale sur le potentiel de rendement. Depuis, celui-ci a connu un ralentissement avec un progrès de 4q/ha soit +1,6q/ha par décennie. La forte progression des rendements jusqu'en 1995 peut s'expliquer par plusieurs facteurs tels que l'amélioration variétale, l'intensification de l'agriculture ou l'accroissement de la technicité de culture (fertilisation, protection phytosanitaire, etc.). Le phénomène de plafonnement se constate dans tous les départements français. Outre la baisse de la fertilisation azotée suite à la mise en application de la Directive Nitrates et les modifications des rotations culturales (légumineuses), le changement climatique pourrait aujourd'hui être la cause prépondérante de cette stagnation notamment par la généralisation et le renforcement de l'échaudage en particulier dans l'Ille-et-Vilaine. Si le progrès génétique et l'amélioration de la technicité culturale permettent encore une légère hausse des rendements, le stress hydrique de fin de cycle dû au changement climatique pourrait inverser la tendance les années les plus chaudes.



Changement climatique et bocages : Quelles tendances ?



Figure 1 : Le bocage breton, AGRESTE-DRAAF, 2008.

Le bocage se caractérise par un maillage de haies autour de parcelles agricoles. La Bretagne fait partie des régions agricoles avec le plus de bocages. Dans cette région, il existe plus de 114 500 km de haies bocagères de type très variées en termes de strates (herbacée, arbustive et arborée), d'espèces, de présence de talus, etc.

Une élévation des températures de 1,8°C depuis 60 ans

L'une des conséquences les plus remarquables du changement climatique est l'élévation des températures. Il a été constaté, grâce à un suivi météorologique régulier (moyenne annuelle des températures journalières) entre 1960 et 2020 sur 5 stations bretonnes (Brest, Lorient, Pleurtuit, Rennes et Rostrenen), **une hausse de 1,74 à 1,85°C de la température moyenne annuelle**. Si l'on s'intéresse à l'évolution des températures moyennes saisonnières (cf Tableau 1), on remarque que le printemps et l'été, périodes de floraison et de fructification, sont davantage sujets à la hausse des températures que l'automne et l'hiver. On peut ainsi s'attendre à un avancement des stades phénologiques.

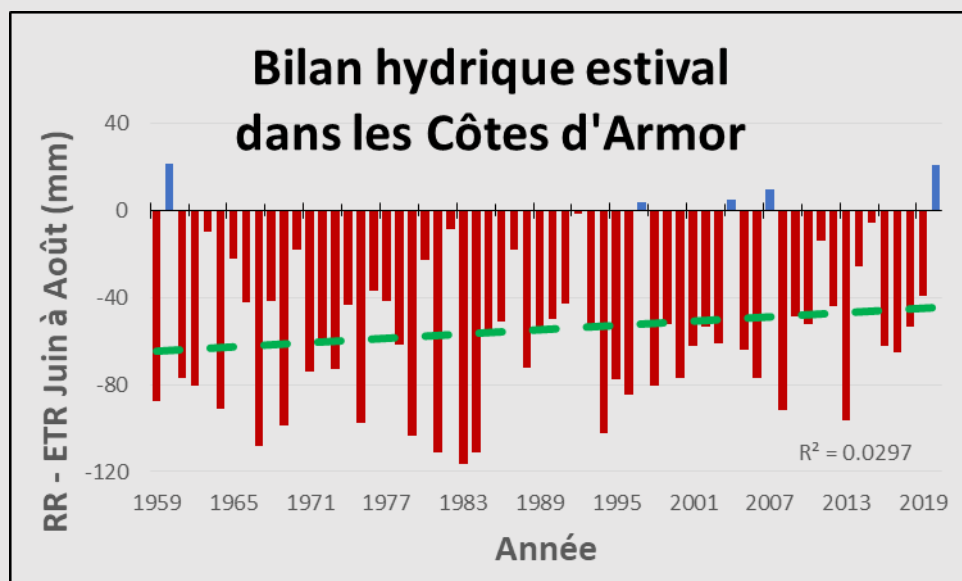
Cette hausse des températures estivales a tendance à favoriser l'émergence de certains ravageurs...

	HIVER	PRINTEMPS	ETE	AUTOMNE
RENNES	+1,62	+1,88	+2,12	+1,51
ROSTRENEEN	+1,79	+2,00	+1,91	+1,64
PLEURUIT	+1,81	+1,77	+1,93	+1,49
BREST	+1,69	+2,00	+1,73	+1,49
LORIENT	+1,66	+2,03	+1,84	+1,49
MOYENNE	+1,71	+1,94	+1,91	+1,52

Tableau 1 : Evolution des températures moyennes saisonnières (en °C) entre 1960 et 2020 sur les 5 stations étudiées

Des étés de plus en plus secs ?

La hausse des températures a un impact important sur la strate arborée mais ce n'est pas le facteur le plus aggravant. En effet, **le stress hydrique est le facteur généralement le plus limitant pour la croissance des arbres** durant la période estivale (bien qu'il soit en partie lié aux températures).



	Juin	Juillet	Août	Total	mm/décennie
Côtes d'Armor	+2.47	+0.31	+0.53	+3.32	
Finistère	+2.19	+2.20	+0.94	+5.33	
Ille-et-Vilaine	+3.04	+0.66	+0.10	+3.80	
Morbihan	+2.21	+0.94	-0.05	+3.10	
Moyenne	+2.48	+1.03	+0.38	+3.89	

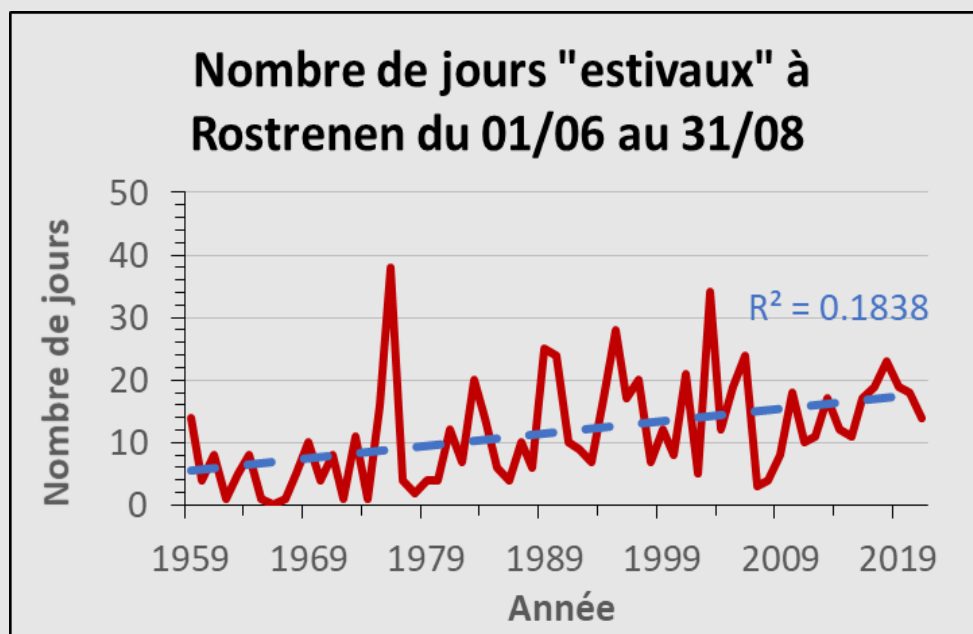
Tableau 2 – Évolution des bilans hydriques mensuels entre 1959 et 2020 sur les 4 départements bretons (en mm par décennie)

Le chêne pédonculé est l'essence d'arbre la plus commune dans les bocages bretons. Il est aussi présent sur une grande partie de l'Europe. Cependant, le chêne pédonculé est sensible aux sécheresses estivales, même avec un système racinaire pivotant, et donc laisse progressivement sa place au chêne pubescent dans le sud de l'Europe, qui lui tolère mieux la sécheresse et les canicules.

En Bretagne, il est observé des tendances non significatives à l'augmentation des précipitations estivales, mais aussi de l'évapotranspiration potentielle estivale, significative elles. Ainsi, ce bilan hydrique permet d'observer les tendances d'évolution de la ressource en eau pour les bocages l'été. Ce bilan hydrique montre que **la ressource en eau durant l'été augmente en tendancier de façon non significative** pour chacun des départements bretons. Cette légère augmentation a surtout lieu durant la première quinzaine de juin (cf. Tableau III). Le chêne pédonculé ne semble donc pas subir de plus en plus les sécheresses estivales, au contraire. Mais il peut subir des sécheresses sur des pas de temps plus court intra-saison en cas de moins bonne répartition des pluies sur la période. De plus, **la variabilité interannuelle étant extrêmement importante**, il peut y avoir des alternances entre des étés très secs et des étés très humides. Mais cette dernière reste constante entre les périodes 1959-1989 et 1990-2020.

Des chaleurs estivales de plus en plus fréquentes

Il y a présence d'une strate arborée dans plus de 60 % des bocages bretons. Les arbres les plus répandus sont le chêne pédonculé, le hêtre, le frêne et le châtaignier. **Ces essences se plaisent dans un climat tempéré et humide où la température moyenne annuelle se situe autour des 10°C.** Cependant, ces derniers subissent aujourd'hui le réchauffement climatique.



	Moyenne de JE* 1959-1989 (j)	Moyenne de JE* 1990-2020 (j)	Nombre de JE* additionnels entre 1959 et 2020 (j)
RENNES	23,0	33,0	+18,0
ROSTRENEN	8,5	14,6	+12,1
PLEURTUIT	8,5	13,0	+8,8
BREST	6,0	8,3	+5,2
LORIENT	14,1	17,4	+6,9
MOYENNE	12,0	16,3	+10,2

Tableau 3 : Evolution du nombre de jours estivaux du 1^{er} juin au 31 août entre 1959 et 2020 ainsi que les normales 1959-1989 et 1990-2020 sur les 5 stations.

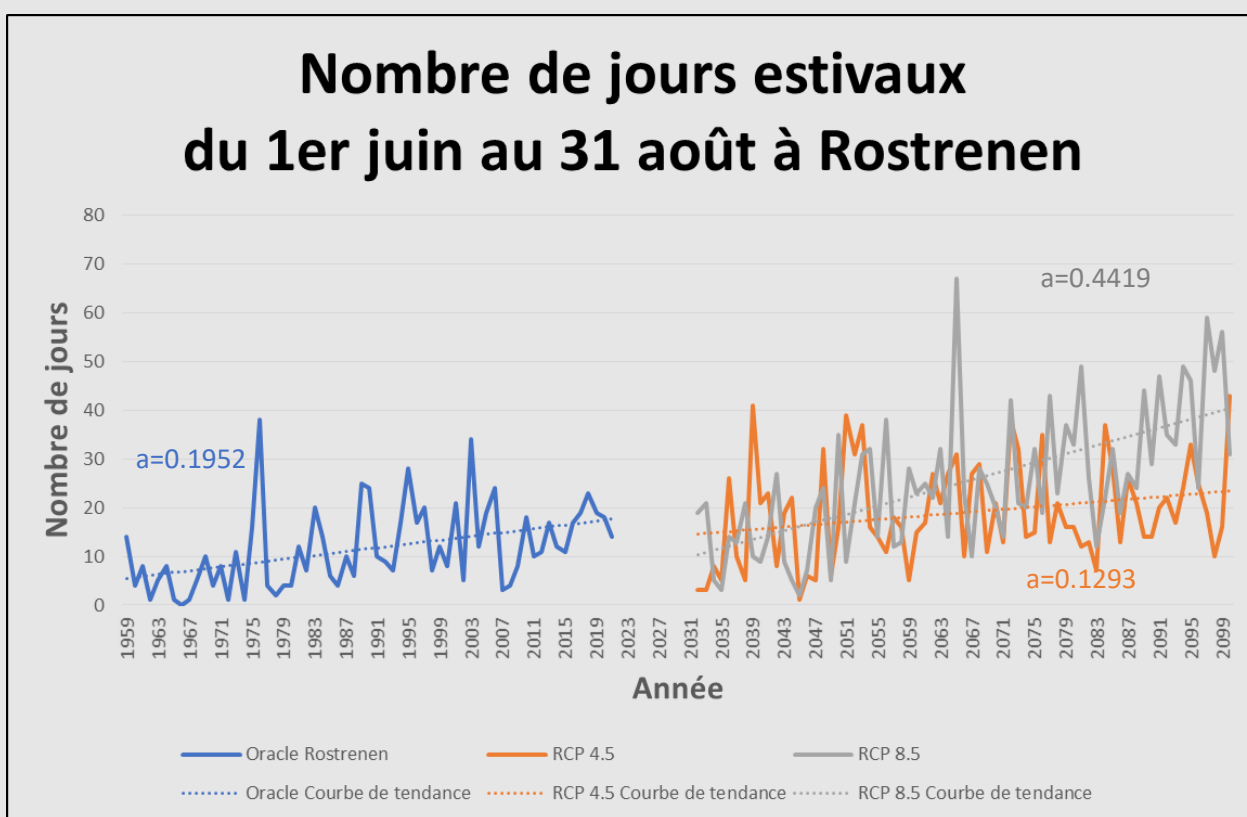
*JE (Jours Estivaux) = Jour où Tmax > 25°C

Le hêtre est particulièrement sensible aux chaleurs estivales. Au-delà de 20°C, ses mécanismes physiologiques sont modifiés et **au-delà de 25°C, des symptômes visibles apparaissent**. Cela peut être une perte de surface photosynthétique (chute, flétrissement ou changement de couleurs des feuilles) mais dans des cas plus graves, elles se traduisent par des nécroses du cambium ou des fissurations de l'écorce (qui est fine chez le hêtre).

Ces symptômes sont pour le moment passagers et n'engendrent pas de dégâts les années suivantes ni de mortalité. Mais à la vue de l'augmentation du nombre de jours estivaux (cf. Tableau 2), **les dégâts devraient être plus importants à l'avenir**. Les plus grandes augmentations se situent dans les terres, à Rennes et Rostrenen. **Le risque varie de façon très importante d'une année à l'autre**. En outre, cet indicateur peut être utilisé pour d'autres essences qui sont sensibles à la chaleur comme c'est le cas aussi du chêne pédonculé.

Des projections inquiétantes

L'augmentation très importante des fortes chaleurs durant l'été entre 1959 et 2021 semble préoccupante à l'avenir. C'est pour cela que l'on a décidé de prolonger l'indicateur du nombre de jours estivaux du 1^{er} juin au 31 août à l'aide des projections futures du modèle CNRM-Aladin de 2020. Deux scénarios ont été communément sélectionnés : le RCP 4.5 (scénario avec prise de conscience tardive du changement climatique) et le RCP 8.5 (scénario sans prise en compte du changement climatique dans les décisions politiques). Les projections atteignent l'horizon 2100. Les données brutes du modèle ont été ajustées par comparaison de moyenne avec les données observées dans Oracle sur la période 1959-2005. Le biais est ensuite appliqué aux projections futures. Le biais était ici inférieur à un jour et a donc été considéré comme négligeable. Les projections des deux scénarios n'ont alors pas subi de modification après ajustement.



Selon les projections ci-dessus, d'ici la fin du siècle, le nombre de jours chaud l'été sera en tendanciel aux alentours de 25 jours pour le RCP 4.5 soit presque un mois pendant toute la période estivale. Si l'on se dirige vers un scénario sans aucune prise de conscience du changement climatique, il y aurait 40 jours estivaux pendant l'été soit quasiment un jour sur deux. Dans les deux cas, l'augmentation du nombre de jours estivaux l'été serait significative.

La variabilité interannuelle restera très importante, voire augmentera selon les modèles. Ainsi, si l'on suit les tendances du RCP 8.5, il est possible d'avoir des étés avec plus de 60 jours (deux jours sur trois) dépassant 25°C d'ici la fin du siècle.

De nombreuses essences présentes dans les bocages actuellement ne supporteraient pas des étés avec de telles chaleurs, y compris le hêtre. De plus, l'ensemble des écosystèmes bocagers serait modifié.

L'avenir du bocage breton se joue aujourd'hui



L'impact du changement climatique sur les bocages est une problématique à prendre très au sérieux car, contrairement aux cultures annuelles, **le type d'essence et des différentes caractéristiques des nouvelles essences bocagères sont des paramètres que l'on fixe pour des décennies voire des siècles**. Les linéaires bocagers apportent de nombreux services environnementaux et sont pris en compte dans le calcul des aides PAC. Il est essentiel d'avoir une réflexion poussée sur le choix des essences et les différentes caractéristiques du bocage (espacement, orientation, gestion, valorisation, etc).

Nous avons très peu de connaissances sur l'impact des sécheresses et chaleurs estivales à l'heure actuelle. De nombreuses études initiées par différents instituts de recherches scientifiques sont en cours pour y remédier. D'autres études comme CarboCage cherchent à quantifier le carbone stocké par les bocages. En parallèle, les projets de plantation de bocages prennent de l'ampleur, en particulier les programmes Breizh Bocage.

Il est important de prendre du recul sur les données présentées ci-dessus. Ces dernières sont soit mesurées en un point, soit modélisées. L'exposition, le positionnement dans le versant, la profondeur et les caractéristiques du sol, le vent, les rayonnements sont autant de paramètres constituant l'environnement proche des haies qui ne peuvent être pris en compte dans notre cas et donc constituent un biais non négligeable à l'analyse. Cependant, ce type d'analyse permet d'obtenir les premières tendances et montre qu'il est nécessaire de prendre en compte le réchauffement climatique pour les futurs choix d'essences et de la filière bois en général.

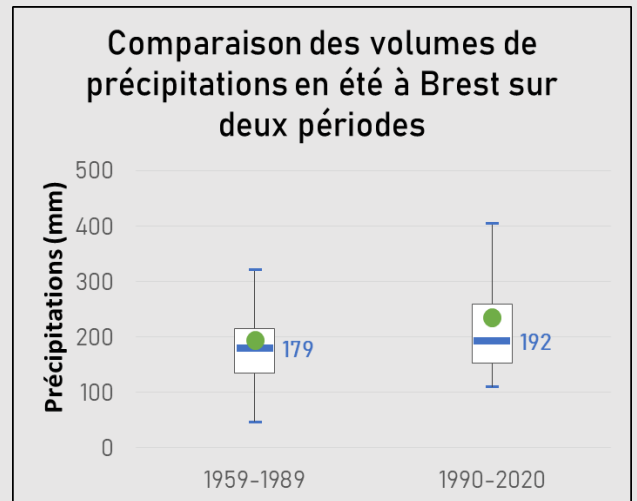
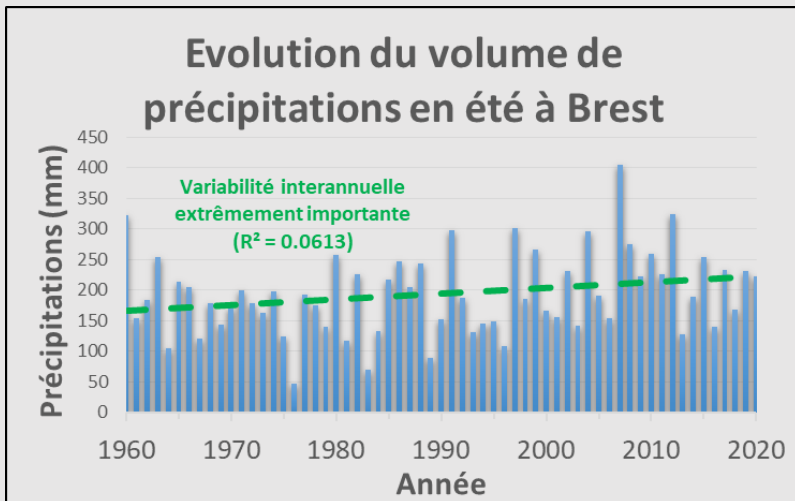
Contacts :

Responsable projet ORACLE Bretagne : Laurence LIGNEAU – laurence.ligneau@bretagne.chambagri.fr
Etude menée en 2021 par Paul LARDOUX – paul.lardoux@bretagne.chambagri.fr

Changement climatique et ressource en eau : Quelles tendances ?

A travers le projet ORACLE (Observatoire Régional de l'Agriculture et du Changement climatique), des indicateurs de la ressource en eau à l'échelle de la Bretagne ont pu être mesurés. Cette fiche présente les principales conclusions sur l'évolution de la ressource en eau depuis 1959 jusqu'à aujourd'hui en se basant sur les données MétéoFrance.

Des volumes de précipitations relativement stables



L'évolution des précipitations dans un contexte de changement climatique est un des paramètres les plus compliqués à anticiper. En ce qui concerne la période 1959 – 2020, le volume de précipitations ne semble pas avoir été significativement impacté en Bretagne (cf. Tableau 1). L'évolution maximale observée est une augmentation de 9 mm par décennie en été à Brest avec une variabilité interannuelle très grande.

Aux regards des deux graphiques ci-dessus, nous ne pouvons pas conclure d'un impact du changement climatique sur les volumes saisonniers de précipitations à Brest (comme pour les autres stations). En effet, la tendance observée n'est pas significative au regard de la variabilité. De plus, en observant le second graphique, nous constatons que la période 1990 – 2020 est à peine plus pluvieuse que la période 1959 – 1989 (7 % en moyenne) avec une variabilité légèrement accrue. Un éventuel impact sur la fréquence et l'intensité des épisodes pluvieux ou sans pluie serait à étudier à l'avenir dans le projet ORACLE.

	HIVER	PRINTEMPS	ETE	AUTOMNE	TOTAL ANNEE	
RENNES	+5,2	+1,9	+4,3	+1,4	+12,8	mm/décennie
ROSTRENNEN	+4,7	-5,2	+5,8	-5,6	-0,3	
PLEURTUIT	+3,4	-1,5	+8,1	+1,6	+11,6	
BREST	+2,6	-5,8	+9,3	+0,2	+6,3	
LORIENT	+8,9	+2,3	+5,3	+2,5	+19	

Tableau 1 : Evolution des cumuls saisonniers et annuels de précipitations (en mm par décennie) entre 1959 et 2020 sur les 5 stations étudiées

Comment lire un bloxplot (boite à moustaches) :

- Maximum
- 3^e quartile
- Médiane (avec sa valeur)
- Moyenne
- 1^{er} quartile
- Minimum

Une évapotranspiration potentielle croissante

L'évapotranspiration potentielle est calculée sur l'ensemble de la Bretagne en tous les points d'une grille composée de mailles de 8 km de côté et une moyenne départementale est alors dégagée. Ce calcul prend en compte différents paramètres climatiques tels que le vent, l'humidité de l'air, la température et le rayonnement.

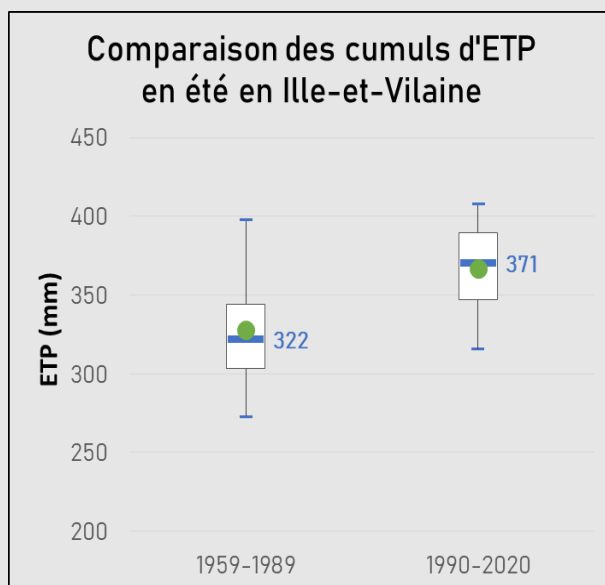
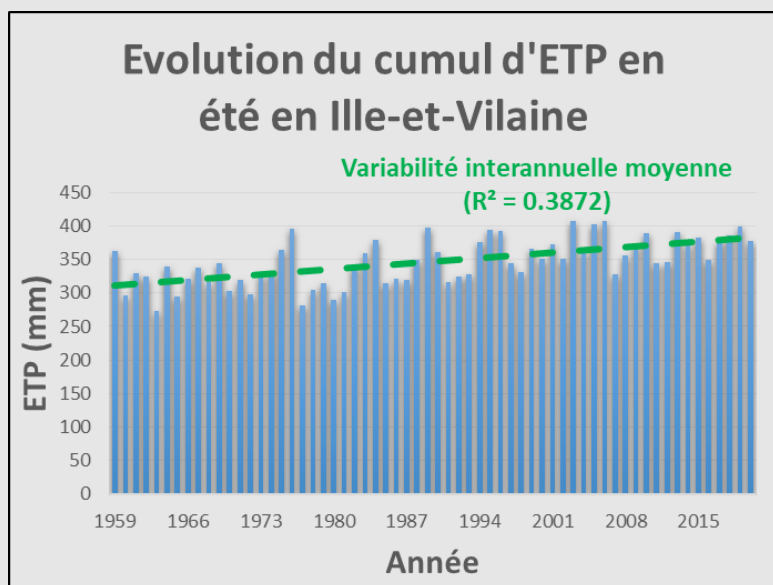
Une augmentation significative a pu être constatée entre 1959 et 2020 dans tous les départements bretons (cf. Tableau 2). Cette hausse annuelle de l'ETP est due à l'augmentation de l'ETP en été et au printemps, suivant celle des températures sur la même période. La saison hivernale, au contraire, connaît une baisse significative d'ETP, alors qu'aucune tendance ne se précise à l'automne. La plus forte progression (en valeur absolue) a été constatée en Ille-et-Vilaine en été avec une augmentation de 12,7 mm par décennie, soit 76 mm en 60 ans.

	HIVER	PRINTEMPS	ETE	AUTOMNE	TOTAL ANNEE	mm/décennie
FINISTERE	-2,1 (-3,4%)	+9,2 (+4,8%)	+10,2 (+3,4%)	+0,1 (+0,0%)	+17,4 (+2,6%)	
COTES D'ARMOR	-1,2 (-2,3%)	+8,0 (+4,2%)	+9,1 (+2,9%)	+1,8 (+1,6%)	+17,8 (+2,7%)	
MORBIHAN	-3,6 (-6,0%)	+7,3 (+3,6%)	+8,1 (+2,4%)	-1,7 (-1,3%)	+10,2 (+1,4%)	
ILLE-ET-VILAINE	-2,4 (-4,4%)	+9,5 (+4,9%)	+12,7 (+4,1%)	+1,1 (+0,8%)	+21,0 (+3,1%)	
MOYENNE	-2,3	+8,5	+10,0	+0,3	+16,6	

Tableau 2 : Evolution des cumuls saisonniers et annuels d'ETP (en mm par décennie) entre 1959 et 2020 sur les 4 départements bretons

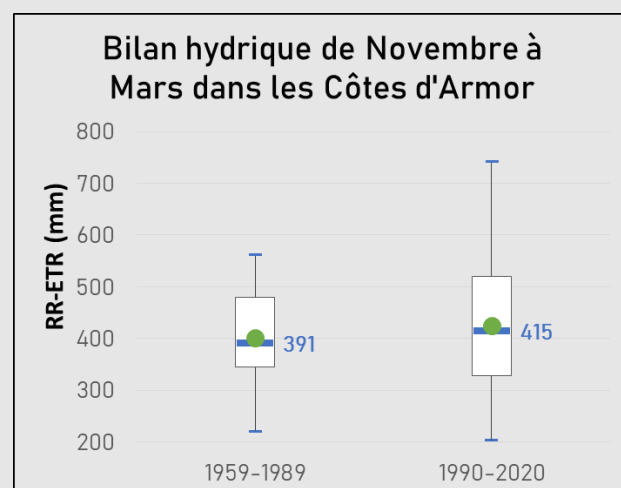
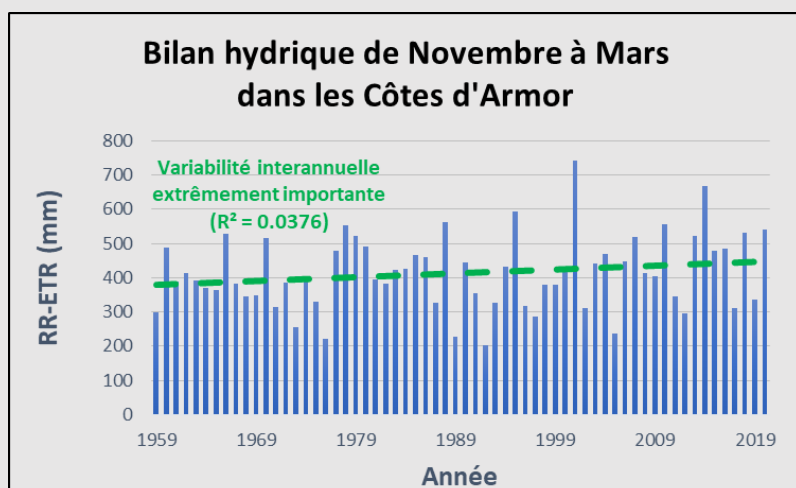
L'été en Ille-et-Vilaine, en comparaison avec la période 1959 – 1989, la période 1990 – 2020 a été marquée par une ETP en moyenne 11 % supérieure (cf. graphique ci-dessous). Alors que la première compte 10 % de ses années avec une ETP supérieure à 365 mm (3), la seconde période en compte 53 % au-delà de 365 mm (16).

Dans la perspective du climat futur, les tendances actuelles ainsi que les résultats du projet CLIMATOR¹ laissent à penser que l'ETP devrait continuer à croître.



1: BRISSON N., LEVRAULT F. ; 2010. Changement climatique, agriculture et forêt en France : simulations d'impact sur les principales espèces. Le Livre Vert du projet CLIMATOR (2007 – 2010). ADEME.

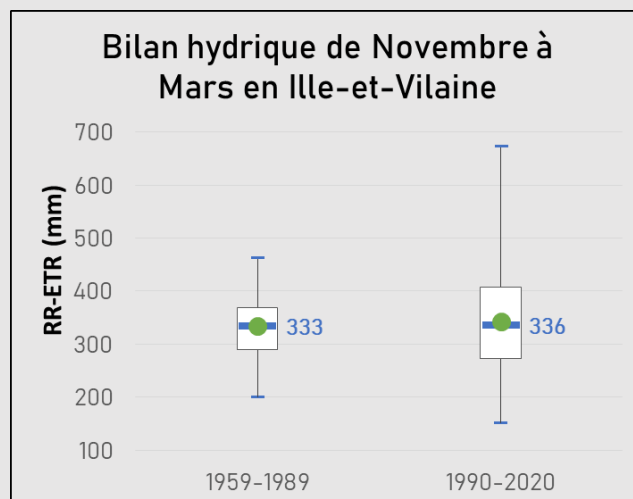
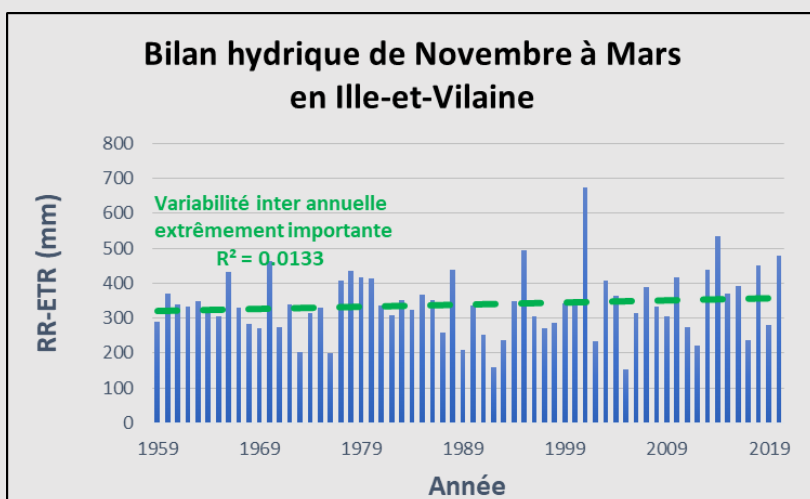
Des bilans hydriques aux évolutions incertaines



Le bilan hydrique simplifié étudié dans le projet ORACLE est défini par les précipitations (RR) auxquelles on soustrait l'évapotranspiration réelle (ETR). L'ETR est calculé à partir de la chaîne d'analyse spatiale du bilan hydrique : SAFRAN-ISBA-MODCOU (SIM). A partir de celle-ci, nous obtenons un bilan hydrique en chaque point de la grille composée de mailles de 8km de côté, qui est ensuite moyenné par département.

Deux périodes ont été analysées : une période hivernale élargie de novembre à mars et une seconde du 15 juin au 25 août. La première permet d'évaluer l'évolution de la recharge des nappes, la deuxième correspond à la période de sensibilité au stress hydrique du blé, du maïs, du ray grass (prairies), etc.

Pour ce qui est de la période hivernale, les tendances ne sont pas significatives. L'évolution la plus marquée est celle du bilan hydrique des Côtes d'Armor (*cf.* graphiques ci-dessus) avec une augmentation d'environ 11,5 mm par décennie, soit 69 mm en 60 ans. On remarquera que la variabilité a légèrement augmentée sur la période 1990 - 2020 par rapport à 1959 - 1989. En Ile-et-Vilaine, la tendance est bien en deçà avec la plus faible progression de la région soit 5,8 mm par décennie ou 35 mm en 60 ans. En revanche, si le département a connu un bilan hydrique moyen similaire sur les périodes 1959 - 1989 et 1990 - 2020, la variabilité interannuelle, elle, a énormément augmentée (*cf.* bloxpot ci-dessous). De manière générale, tous les départements connaissent un renforcement de la variabilité de leurs bilans hydriques d'une année à l'autre.



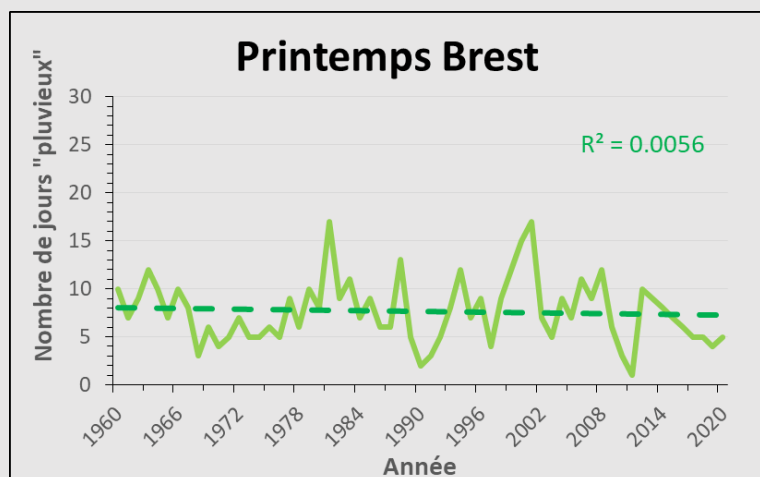
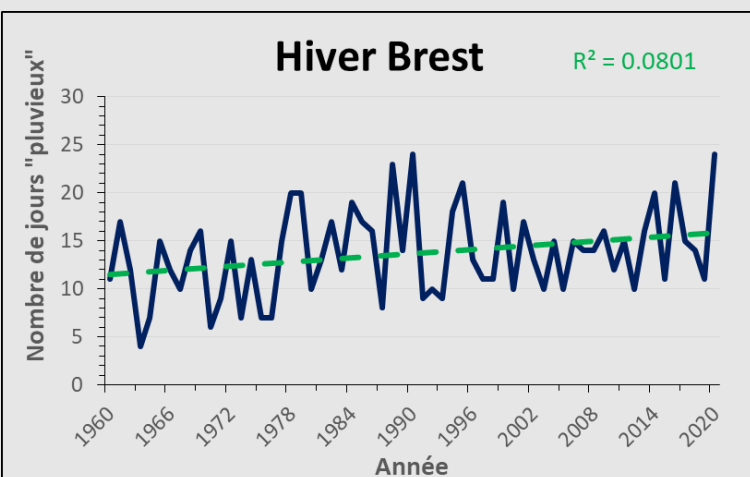
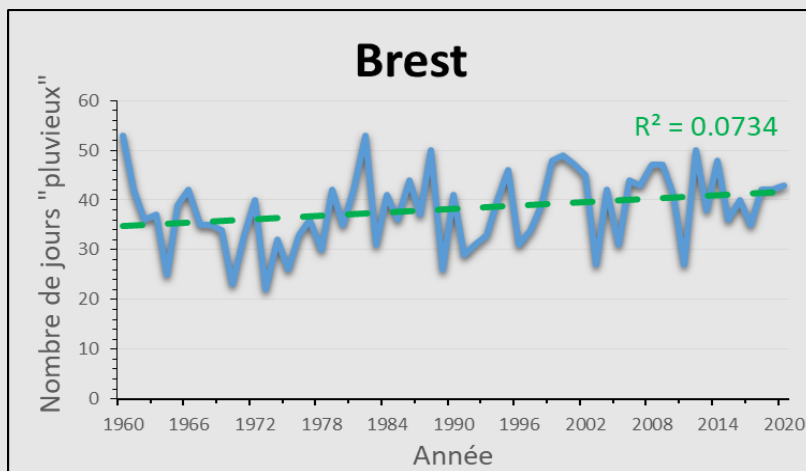
	NOVEMBRE	DECEMBRE	JANVIER	FEVRIER	MARS	TOTAL NOV à MARS	15/06 au 25/08*	mm/décennie
FINISTERE	+4,0	+0,3	+1,4	+5,5	-2,7	+8,5	+1,5	
COTES D'ARMOR	+2,3	+3,5	+1,7	+4,3	-0,3	+11,5	+0,4	
MORBIHAN	+2,9	+3,1	+3,3	+3,4	-1,2	+11,5	-0,9	
ILLE-ET- VILAINE	+0,7	+2,8	+1,5	+1,5	-0,6	+5,9	-1,9	
MOYENNE	+2,5	+2,4	+2,0	+3,7	-1,2	+9,3	-0,2	

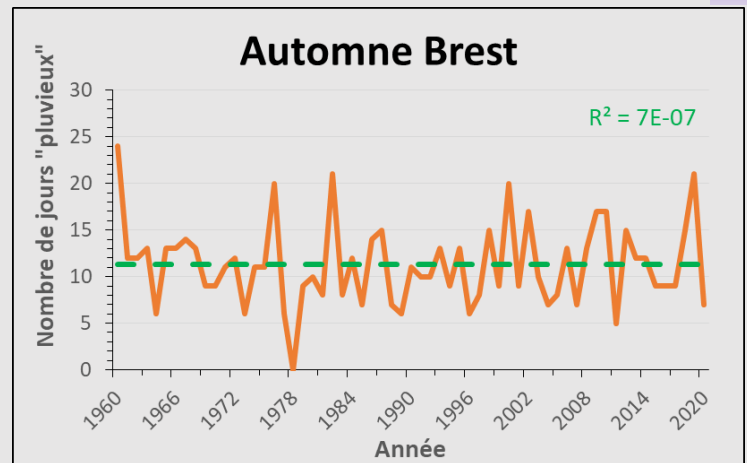
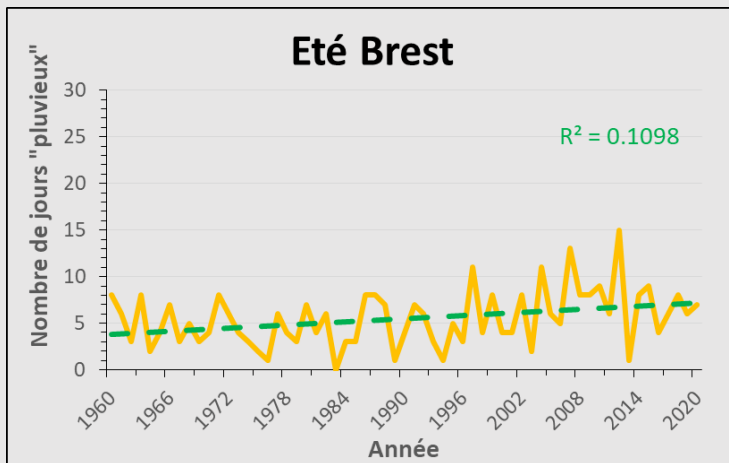
Tableau 3 : Evolution des bilans hydriques (RR-ETR) (en mm par décennie) entre 1959 et 2020 (*2017 pour le bilan estival) sur les 4 départements bretons.

La période de sensibilité au stress hydrique (15/06 au 25/08) n'a connu que de très légères hausses du bilan hydrique en Finistère et Côtes d'Armor et baisses en Morbihan et Ille-et-Vilaine (cf. Tableau 3). Seulement, les tendances ne sont pas significatives et la variabilité interannuelle reste importante. **On ne peut conclure à une aggravation ou à une atténuation du stress hydrique en cette période estivale sans prendre en compte la répartition des pluies.**

Les phénomènes de pluies intenses s'intensifient

Afin de mieux appréhender la modification de la répartition des pluies durant l'année pour savoir si ces dernières sont plus intenses ou à l'inverse plus étalées au cours du temps, le nombre de jours avec une pluviométrie supérieure à 10 mm pour chaque station a été étudié dans ORACLE. La tendance est à l'augmentation - de façon non-significative - comme le montre le graphique ci-contre à Brest. Cependant, il existe des disparités de jours pluvieux entre les saisons.





La tendance à l'augmentation annuelle du nombre de jours pluvieux sur les 5 stations cache des divergences entre les saisons. Les tendances saisonnières chiffrées ci-dessus sont en corrélation avec les tendances du cumul des précipitations saisonnières. En effet, le nombre de jours pluvieux a tendance à augmenter en hiver et été sur les cinq stations bretonnes, mais seulement à Brest de façon significative.

	HIVER	PRINTEMPS	ETE	AUTOMNE	TOTAL ANNEE	
RENNES	+1.8	+1.6	+0.6	+0.7	+4.7	Jours de 1960 à 2020
ROSTRENEN	+3.3	-0.2	+1.9	+0.0	+5.0	
PLEURTUIT	+0.9	-0.9	+1.3	+0.7	+2.0	
BREST	+4.4	-0.8	+3.4	+0.0	+7.0	
LORIENT	+0.9	-0.6	+0.8	+0.5	+1.6	

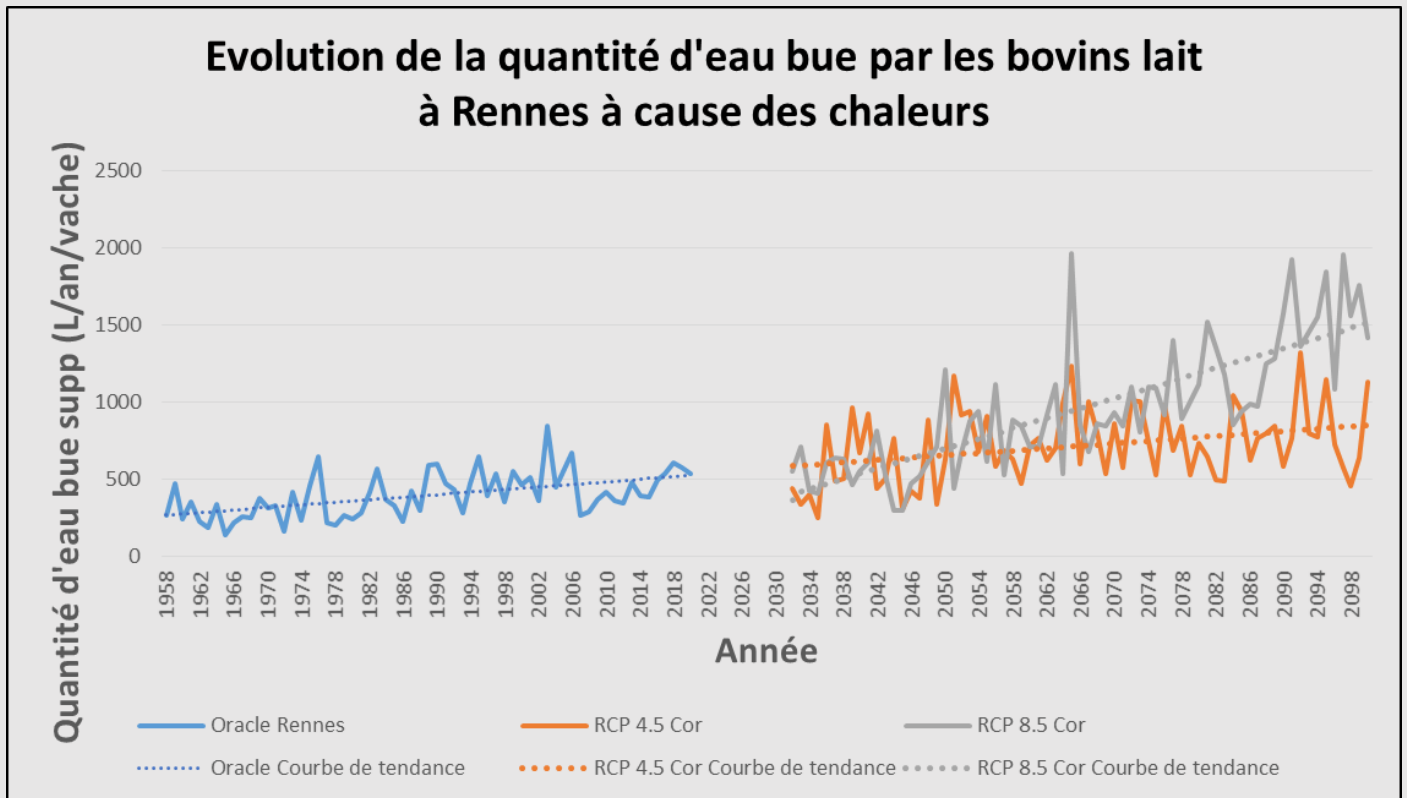
Tableau 4 : Evolution du nombre de jours avec une pluviométrie supérieure à 10 mm de 1960 à 2020 sur les 5 stations étudiées.

A l'inverse, une stagnation du nombre de jours pluvieux est observée à l'automne et une diminution au printemps (Rennes faisant exception). Si les évolutions semblent très peu importantes, il faut les mettre en parallèle avec la quantité de jours pluvieux sur certaines saisons comme l'été. Par exemple, en évolution tendancielle, il y a moins de 4 jours pluvieux l'été à Brest en 1960 mais plus de 7 jours pluvieux l'été à Brest en 2020 soit quasiment le double.

La variabilité interannuelle est extrêmement importante. Cependant, si les tendances se confirment dans les années à venir, cela pourrait être une bonne nouvelle pour les agriculteurs. En effet, les travaux aux champs au printemps seront peut-être plus facilement réalisables.

En résumé, depuis les années 1960, nous avons observé une augmentation des précipitations annuelles, essentiellement concentrées en hiver et en été et des tendances différentes selon les stations au printemps et à l'automne. Le nombre de jours pluvieux (>10 mm) suit les mêmes tendances. Dans le même temps, l'évapotranspiration potentielle a progressé dans tous les départements au printemps et à l'été, a baissé en hiver et stagne à l'automne. Le bilan hydrique a quant à lui été en hausse de novembre à février dans la totalité des départements. Le mois de mars semble être légèrement plus sec. Enfin, la ressource en eau semble s'appauvrir légèrement pendant la période la plus chaude de l'été (15 juin au 25 août) dans le sud et l'est du département lorsque le nord et l'ouest ressortent gagnants. Il reste à savoir si ces tendances seront confirmées ou infirmées à l'avenir

L'abreuvement des troupeaux : Quelle évolution ?



*Calcul journalier de l'indicateur pour les jours avec $T_m > 15^\circ\text{C}$: Quantité eau bue supplémentaire (L/vache/jour) = $((85.2 * \text{EXP}((T_m - 24.9)/8)) + 2.25 * \text{EXP}((T_m - 12)/6.8)) - 28.2 * 0.14 * \text{PV}^{0.57 * 86.4} / 2500$ avec Poids vif = 650kg

Entre 1958 et 2020, la quantité d'eau bue supplémentaire par les vaches laitières due à la chaleur a augmenté de manière significative pour les 5 stations bretonnes, entre +80% (à Lorient) et +170% (à Rostrenen) de 1958 à 2020. A Rennes, la quantité d'eau bue a quasiment doublé, passant de 270 à 525 L par an par vache en tendanciel.

Avec le scénario RCP 4.5 de la projection CNRM-Aladin2020, la quantité d'eau bue serait de 900 L/an/vache à la fin du siècle. Avec le scénario le plus pessimiste (RCP 8.5) de la même projection, la quantité d'eau atteindrait plus de 1500L par an et par vache en tendanciel avec des pics de 2000L certaines années. Si la préoccupation à ce sujet n'est pas majeure pour l'instant, elle va s'agrandir d'année en année car les quantités d'eau annoncées deviennent très importantes comptabilisées à l'échelle d'un territoire. La diminution du cheptel des ruminants devrait partiellement éviter cette problématique. Cependant, les besoins en eau à l'échelle d'un territoire continueront d'augmenter alors que la ressource diminuera lors des périodes où les besoins seront les plus importants. La ressource en eau devra donc être gérée, contrôlée et priorisée de manière cohérente.

Contacts :

Responsable projet ORACLE Bretagne : Laurence LIGNEAU – laurence.ligneau@bretagne.chambagri.fr
 Etude menée en 2020 par Jean MARQUET et en 2021 par Paul LARDOUX – paul.lardoux@bretagne.chambagri.fr

Changement climatique et irrigation des légumes : Quelles tendances ?

A travers le projet ORACLE (Observatoire Régional de l'Agriculture et du Changement cLimatiquE), des indicateurs en lien avec l'irrigation des légumes destinés à la transformation à l'échelle de la Bretagne ont pu être mesurés. Cette fiche présente des données de 1959 à aujourd'hui et des informations importantes sur l'évolution des températures et de la ressource en eau en Bretagne. La surface dédiée aux légumes à destination industrielle en Bretagne est d'environ 20 000 ha dont 40 % sont irrigables.

Une élévation des températures de 1,8°C depuis 60 ans

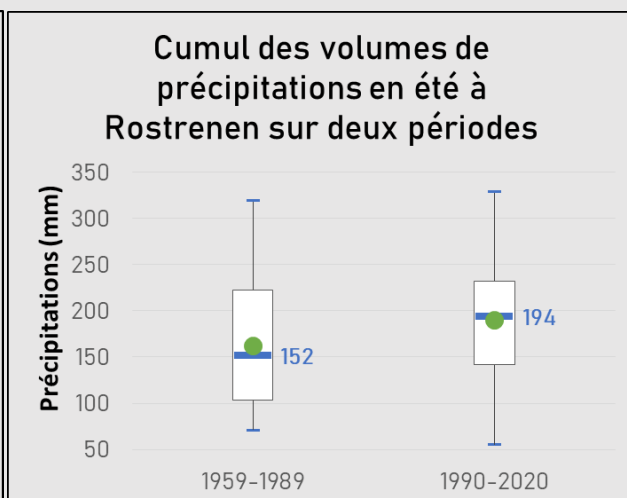
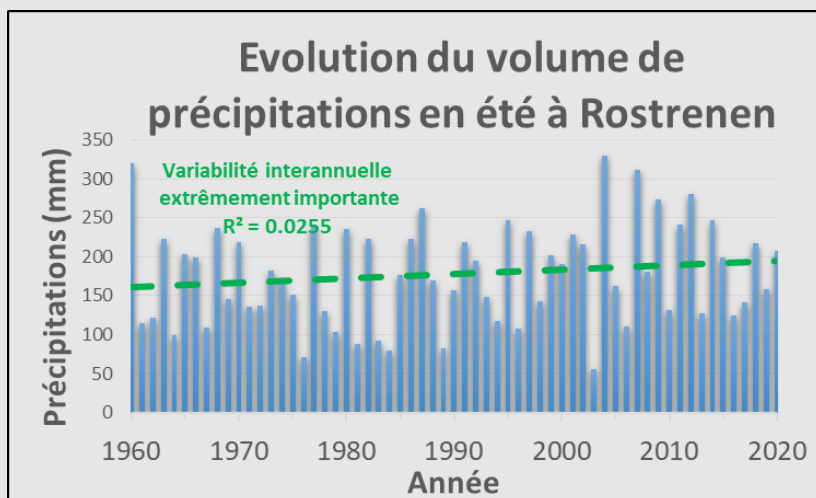
L'une des conséquences les plus remarquables du changement climatique est l'élévation des températures. Il a été constaté, grâce à un suivi météorologique régulier entre 1960 et 2020 sur 5 stations bretonnes (Brest, Lorient, Pleurtuit, Rennes et Rostrenen), **une hausse de 1,74 à 1,85°C de la température moyenne annuelle**. Si l'on s'intéresse à l'évolution des températures moyennes saisonnières (cf. Tableau 1), on remarque que le printemps et l'été, périodes d'irrigation, sont davantage sujets à la hausse des températures que l'automne et l'hiver. On peut ainsi s'attendre à un raccourcissement des cycles de développement des légumes par une augmentation des ETP.

Cette hausse des températures estivales a aussi tendance à favoriser l'émergence de certains ravageurs mais aussi de certaines adventices inféodées jusqu'alors au sud de la Loire.

	HIVER	PRINTEMPS	ETE	AUTOMNE
RENNES	+1,62	+1,88	+2,12	+1,51
ROSTRENNEN	+1,79	+2,00	+1,91	+1,64
PLEURTUIT	+1,81	+1,77	+1,93	+1,49
BREST	+1,69	+2,00	+1,73	+1,49
LORIENT	+1,66	+2,03	+1,84	+1,49
MOYENNE	+1,71	+1,94	+1,91	+1,52

Tableau 1 : Evolution des températures moyennes saisonnières (en °C) entre 1960 et 2020 sur les 5 stations étudiées

Des volumes de précipitations relativement stables



L'évolution des précipitations dans un contexte de changement climatique est un des paramètres les plus compliqués à anticiper. En ce qui concerne la période 1959 – 2020, le volume de précipitations ne semble pas avoir été significativement impacté en Bretagne (cf. Tableau 2). La variation maximale observée est une augmentation de 6 mm par décennie en été à Brest avec une variabilité interannuelle très importante.

Aux regards des deux graphiques ci-dessus, **nous ne pouvons pas conclure sur l'impact du changement climatique sur les volumes saisonniers de précipitations à Rostrenen** (comme pour les autres stations). En effet, la tendance observée n'est pas significative au regard de la variabilité. De plus, en observant le second graphique, nous constatons que la période 1990 – 2020 est à peine plus pluvieuse que la période 1959 – 1989 (+7 % en moyenne) avec une variabilité légèrement accrue.

Ces données sont des cumuls saisonniers et peuvent donc **cacher une évolution de la répartition des pluies intra-saisonnières**. La légère augmentation des précipitations est seulement due à une augmentation des pluies en juin. Il existe peu d'indicateurs actuellement pouvant montrer l'évolution de la fréquence et de l'intensité des pluies estivales. Le nombre de jours avec une pluviométrie supérieure à 10 mm durant l'été donne une première indication partielle. **Sur les 5 stations bretonnes, le nombre de jours durant l'été à plus de 10 mm augmente en tendanciel entre 1960 et 2020**. Ce chiffre a même presque doublé à Brest passant de 4 à 7 jours très pluvieux entre juin et août.

L'hétérogénéité de la répartition des précipitations montre que des épisodes de sécheresses estivales peuvent être de plus en plus fréquents l'été en Bretagne. D'autant plus que l'ETP augmente de 2 à 5 % l'été par décennie. Cela correspond à **une augmentation d'ETP l'été de 60 mm (!)** entre 1960 et 2020 en Bretagne.

	HIVER	PRINTEMPS	ETE	AUTOMNE	TOTAL ANNEE	
RENNES	+5,2	+1,9	+4,3	+1,4	+12,8	mm/décennie
ROSTRENNEN	+4,7	-5,2	+5,8	-5,6	-0,3	
PLEURTUIT	+3,4	-1,5	+8,1	+1,6	+11,6	
BREST	+2,6	-5,8	+9,3	+0,2	+6,3	
LORIENT	+8,9	+2,3	+5,3	+2,5	+19	

Tableau 2 : Evolution des cumuls saisonniers et annuels de précipitations (en mm par décennie) entre 1959 et 2020 sur les 5 stations étudiées

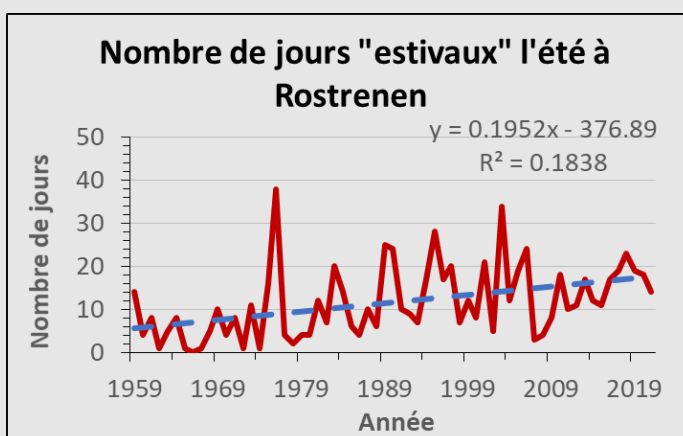
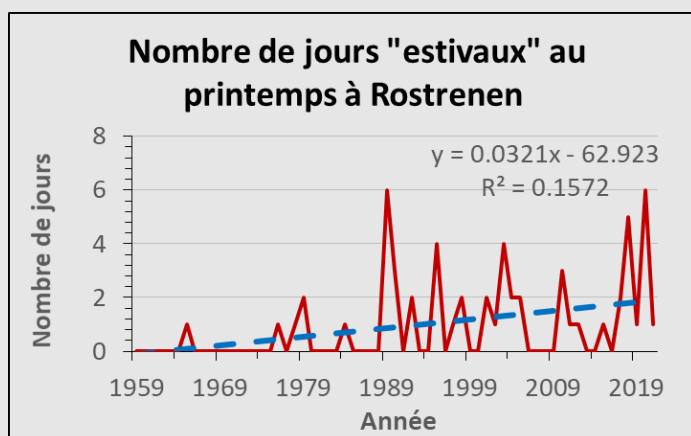
Comment lire un bloxplot (boite à moustaches) :

- Maximum
- 3^e quartile
- Médiane (avec sa valeur)
- Moyenne
- 1^{er} quartile
- Minimum

Des chaleurs redoutées

Le cycle des haricots, qui dure 2 mois à 2 mois et demi, a tendance à se raccourcir avec l'élévation des températures durant la période. Les épisodes de sécheresses auraient alors un impact plus important sur la culture. C'est aussi le cas des épisodes caniculaires. En effet, les haricots, comme beaucoup de légumes récoltés immatures, sont sensibles aux chaleurs estivales, notamment sur la qualité.

Le moyen majeur qu'ont les producteurs pour limiter l'impact des pics de chaleurs est d'arroser davantage les haricots. Compte tenu de l'évolution des jours estivaux au printemps et en été, **l'irrigation légumière – ici du haricot – a de grandes chances de commencer plus tôt dans la saison et d'augmenter en quantité.**



Par exemple, **le nombre de jours estivaux a triplé** en 60 ans passant de 6 à 18 jours en tendanciel à Rostrenen. Au printemps aussi, le nombre de jours estivaux commence à ne plus être négligeable. Cependant, **la variété interannuelle est toujours très importante** et donc l'irrigation pourrait être très importante une année et inutilisée l'année suivante.

La ressource en eau restera un facteur limitant l'été et les besoins en eau ne cessent d'augmenter pour tous les usages. Des arbitrages seront nécessaires pour les prélèvements en période d'étiage, et **l'irrigation des légumes pourrait se retrouver contrainte**. Ainsi, il est nécessaire de trouver des leviers à cette problématique. **Les retenues collinaires**, dominantes en Bretagne, sont un moyen de limiter les prélèvements en période d'étiage et de sécuriser les volumes, mais il y a de plus en plus de restrictions et de débats autour de leur déploiement. **Le levier variétal** pourrait permettre d'avoir des haricots plus résistants aux chaleurs et à la sécheresse mais **il faudra évaluer l'impact sur d'autres paramètres agronomiques** (Longévité des nouvelles variétés ? Résistances aux autres stress biotiques et abiotiques ? Rendement ? Qualité ?). Les solutions agronomiques visant à augmenter la part d'eau stockée dans les sols (Matière organique, travail du sol, ...) sont à valider et vulgariser dans l'objectif de gagner quelques mm de Réserve Utile. L'ensemble de ces leviers sont à actionner sans hiérarchisation pour sécuriser une production de légumes déjà risquée en 2021.

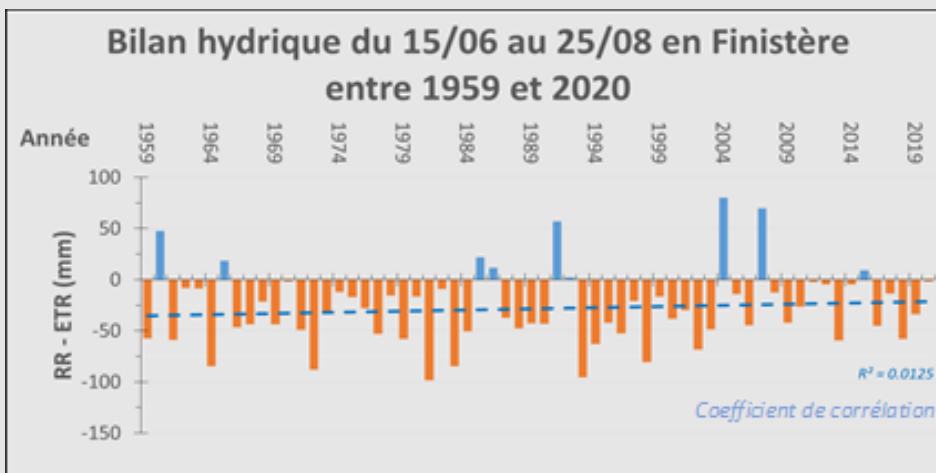
Contacts :

Responsable projet ORACLE Bretagne : Laurence LIGNEAU – laurence.ligneau@bretagne.chambagri.fr
Etude menée en 2021 par Paul LARDOUX – paul.lardoux@bretagne.chambagri.fr

Changement climatique et culture du maïs : Quelles tendances ?

A travers le projet ORACLE (Observatoire Régional de l'Agriculture et du Changement climatique), des indicateurs concernant la culture du maïs à l'échelle de la Bretagne ont pu être mesurés. Cette fiche présente les principales conclusions de l'impact de l'évolution des conditions climatiques sur la culture du maïs depuis 1959 jusqu'à aujourd'hui.

Un bilan hydrique stable



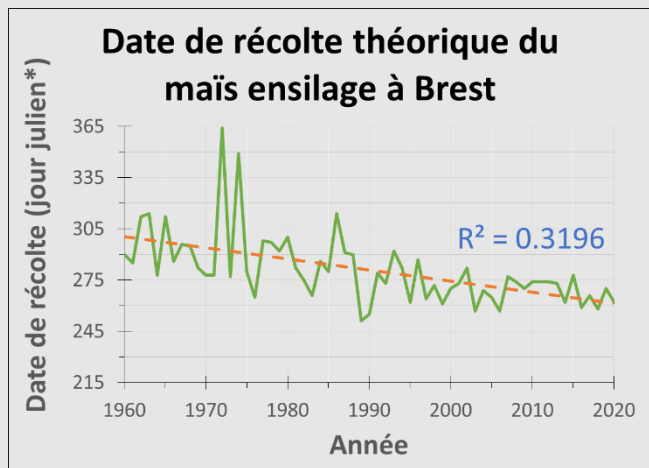
	15/06 au 25/08	mm/décennie
FINISTÈRE	+2,3	
COTES D'ARMOR	+0,5	
MORBIHAN	+0,4	
ILLE-ET-VILAINE	+0,1	
MOYENNE	-0,8	

Tableau 1 : Evolution du bilan hydrique du 15 juin au 25 août entre 1959 et 2020 sur les 4 départements bretons

L'étude du bilan hydrique (précipitations « RR » - évapotranspiration réelle « ETR ») montre une relative stabilité de la ressource en eau entre le 15 juin au 25 août, soit la période de sensibilité du blé au stress hydrique. Cependant, de légères évolutions sont à noter : Le Finistère a connu une amélioration de son bilan hydrique contrairement à l'Ille-et-Vilaine, aux Côtes d'Armor et au Morbihan. En revanche, dans tous les départements, la variabilité interannuelle est extrêmement importante comme le témoigne le graphique ci-dessus. En effet, le Finistère a connu son meilleur bilan hydrique en 2004 avec +80.0 mm après avoir connu un été sec en 2003 avec -48.4 mm.

Le stress hydrique estival peut avoir de lourdes conséquences sur le maïs autour du stade de floraison. Le manque d'eau peut entraîner une dégradation du remplissage des grains et réduire leur nombre par épis. Comme nous l'avons vu, ce risque est relativement stable depuis les années 1960 du fait d'une faible modification du bilan hydrique dans tous les départements, même si d'une année à l'autre, l'impact peut-être plus ou moins important selon la profondeur de sol et leur réserve utile en eau, ainsi que selon la texture (sols sableux plus sensibles au déficit hydrique).

Des récoltes de plus en plus précoces



	Date théorique moyenne de récolte 1959-1989	Date théorique moyenne de récolte 1990-2020	Evolution de la date théorique de récolte entre 1959 et 2020 (j)
RENNES	14/09	31/08	-26,3
ROSTRENNEN*	-	28/09	-31,7**
PLEURTUIT	02/10	15/09	-32,0
BREST	17/10	26/09	-40,4
LORIENT	26/09	11/09	-26,2
MOYENNE	30/09	16/09	-31,3

Tableau 2 : Evolution de la date de récolte entre 1959 et 2020 ainsi que les normales 1959-1989 et 1990-2020 sur les 5 stations bretonnes

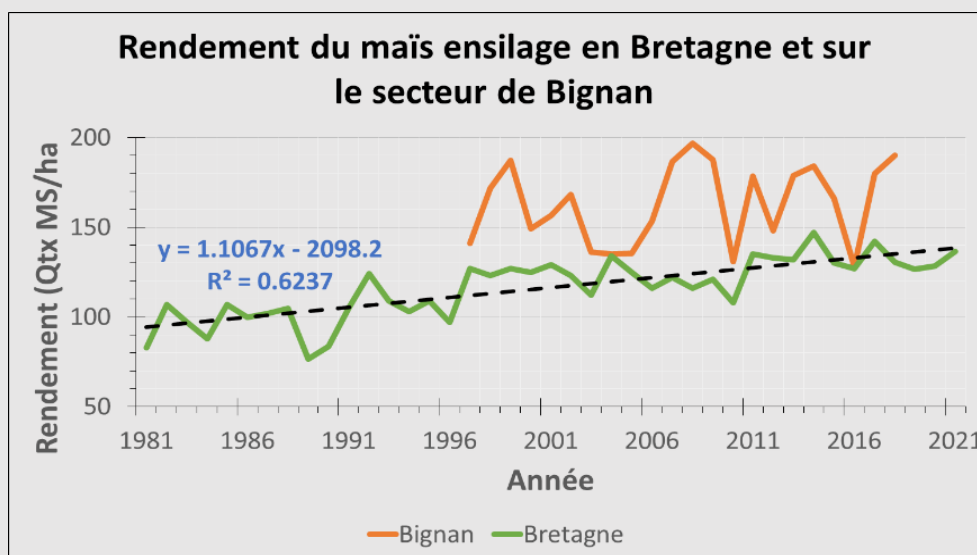
* Système de datation comptant le nombre de jours écoulés depuis le 1^{er} janvier d'une année.

** Pour Rostrenen, seule la période 1981-2020 est prise en compte.

La date de récolte du maïs ensilage dépend de multiples facteurs mais nous pouvons tenter de la résumer par le franchissement d'une certaine somme de températures selon la précocité variétale. En observant les résultats obtenus (cf. graphique d'illustration et tableau ci-dessus), nous pouvons constater une très nette avancée de la date de récolte théorique depuis 1959. Avec l'augmentation des températures due au changement climatique et donc le raccourcissement des cycles du maïs, celle-ci intervient en moyenne un mois plus tôt en 2020 qu'en 1959, avec un record d'avancée de date de récolte de 40 jours à Brest. On peut malgré tout observer des écarts interannuels de 15 jours ces dernières années.

Des rendements en constante progression

Les données fournies par Arvalis (Bignan) et Agreste (Bretagne) nous permettent d'observer les rendements de maïs ensilage en Tonne de MS par hectare. On constate que le rendement moyen en Bretagne a fortement augmenté de 1981 jusqu'à aujourd'hui avec 4,5 Tonnes MS/ha supplémentaires soit une hausse de près de 50 %. En plus du progrès génétique au niveau variétal, le changement climatique sur la culture de maïs peut expliquer pour partie cette augmentation du rendement. Les dates de semis plus précoces et l'utilisation de variétés plus tardives, à plus fort potentiel de rendement, sont en effet permises par la hausse des températures. Cependant, le choix de variétés trop tardives pourrait amener la période de remplissage des grains vers les périodes les plus chaudes et ainsi occasionner des pertes de rendement au final. L'évolution du stress thermique, bien que pour l'instant peu perceptible, est également un facteur à surveiller pour le développement du maïs.



Changement climatique et pomiculture : Quelles tendances ?



La Bretagne est la première région française en termes de production de pommes à cidre. En effet, les 2 500 hectares consacrés à cette culture produisent environ 50 000 tonnes de pommes par an soit 40 % de la production française.

La France est le 3^e producteur européen de pommes (pommes à cidre et pommes à couteau confondues) en 2020 (FranceAgriMer).

Une élévation des températures de 1,8°C depuis 60 ans

L'une des conséquences les plus remarquables du changement climatique est l'élévation des températures. Il a été constaté, grâce à un suivi météorologique régulier entre 1960 et 2020 sur 5 stations bretonnes (Brest, Lorient, Pleurtuit, Rennes et Rostrenen), **une hausse de 1,74 à 1,85°C de la température moyenne annuelle**. Si l'on s'intéresse à l'évolution des températures moyennes saisonnières (cf Tableau 1), on remarque que le printemps et l'été, périodes de floraison et de fructification, sont davantage sujets à la hausse des températures que l'automne et l'hiver. On peut ainsi s'attendre à un avancement des stades phénologiques.

Cette hausse des températures estivales a tendance à favoriser l'émergence de certains ravageurs...

	HIVER	PRINTEMPS	ETE	AUTOMNE
RENNES	+1,62	+1,88	+2,12	+1,51
ROSTRENE	+1,79	+2,00	+1,91	+1,64
PLEURTUIT	+1,81	+1,77	+1,93	+1,49
BREST	+1,69	+2,00	+1,73	+1,49
LORIENT	+1,66	+2,03	+1,84	+1,49
MOYENNE	+1,71	+1,94	+1,91	+1,52

Tableau 1 : Evolution des températures moyennes saisonnières (en °C) entre 1960 et 2020 sur les 5 stations étudiées

Des conditions plus favorables au carpocapse

Le carpocapse, *Cydia pomonella*, est un insecte s'attaquant aux fruits à pépins comme la pomme, la poire ou encore le coing.

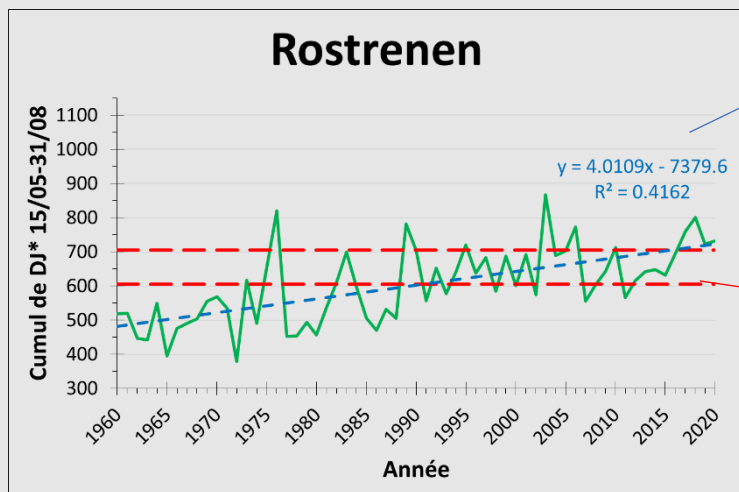
Durant le premier stade larvaire, les cocons se retrouvent sur les troncs des pommiers ou au pied de l'arbre. Les premiers adultes apparaissent alors au moment de la floraison et le pic d'envols des adultes de la 1^{re} génération a lieu 4 à 5 jours après. S'en suit l'accouplement et la ponte des œufs sur les feuilles et fruits des pommiers, puis les œufs éclosent et les larves se réfugient dans le fruit pour poursuivre leur développement.



Figure 1 : *Cydia pomonella* (source : obsindre.fr)

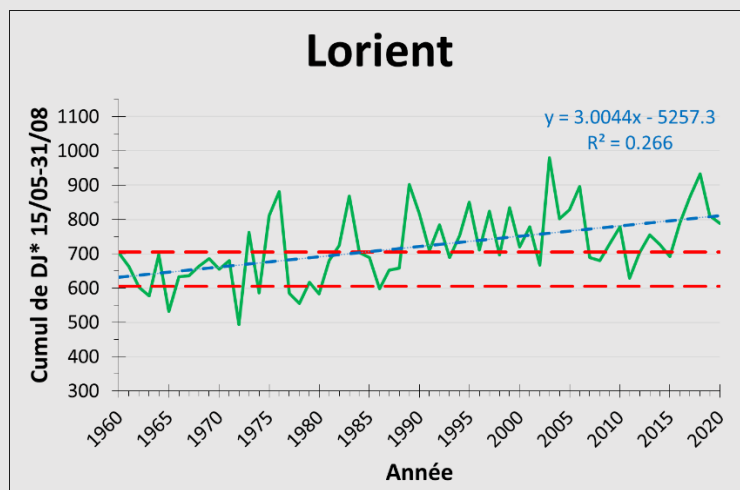
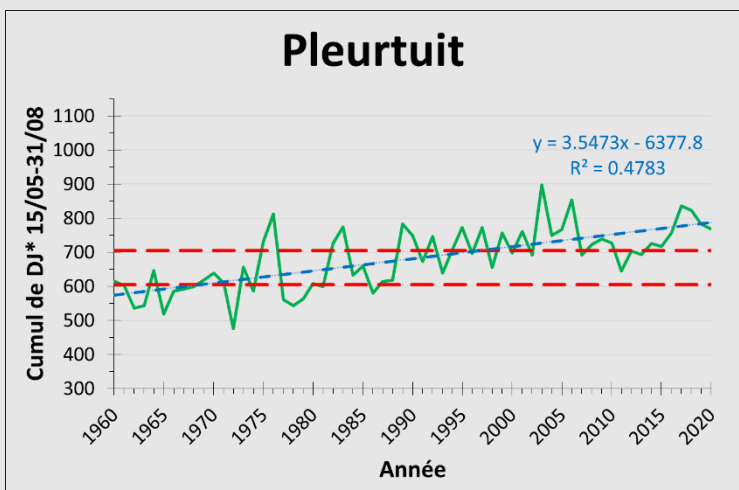
Tous ces stades dépendent en grande partie des températures. La hausse observée tend à avancer les stades phénologiques du carpocapse et à favoriser l'émergence d'une seconde génération comme cela est déjà le cas dans les régions plus chaudes, renforçant ainsi la pression parasitaire.

Pour estimer ce potentiel de développement du carpocapse en fonction de la température, nous pouvons calculer le nombre de « degrés-jours », base 10°C à partir du premier cycle de ponte jusqu'au début de l'automne (mi-mai à fin août). Les degrés-jours sont l'accumulation des températures moyennes journalières, supérieures à 10°C, sur la période étudiée.

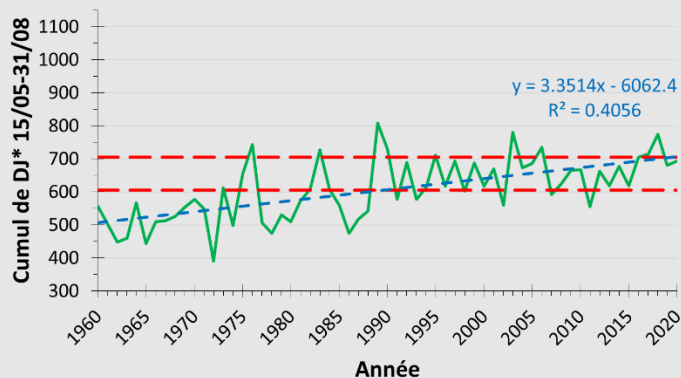


Le « R² » renseigne sur la variabilité interannuelle. Plus la somme des écarts entre les valeurs annuelles (courbe verte) et la régression linéaire (droite bleue) est grande, plus la valeur de R² est petite et plus la variabilité interannuelle est grande.

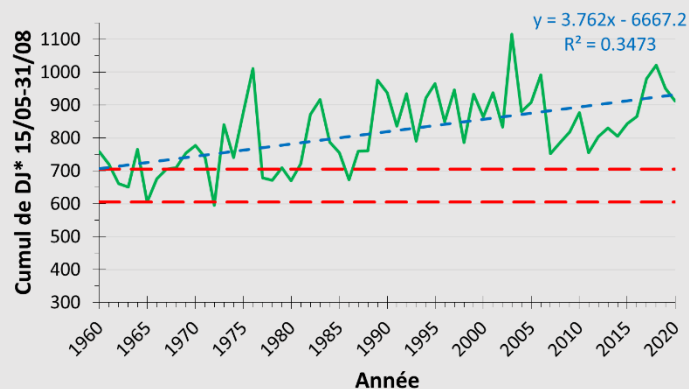
Les droites rouges représentent les seuils (605 DJ et 705 DJ) à partir desquels une seconde (première droite rouge) ou une troisième (deuxième droite rouge) génération de carpocapse est envisageable.



Brest



Rennes



Les données de températures relevées dans les cinq stations météorologiques montrent une évolution significative du nombre de degrés-jours, base 10°C, accumulés durant la période du 15 mai au 31 août depuis 1960 jusqu'à 2020. La variabilité interannuelle est néanmoins importante à Lorient et moyenne dans les autres stations. Le seuil des 605 DJ, représenté sur les graphiques par la droite rouge en pointillé, est régulièrement dépassé dans toutes les stations, voire systématiquement à Rennes depuis 1972 et à Lorient et Pleurtuit depuis 1986.

L'atteinte de ce seuil signifie que **les conditions climatiques permettent l'apparition d'une seconde génération de carpocapse** en fin de saison culturale. Ce seuil est donc plus souvent atteint à Brest et Rostrenen, et de plus en plus tôt à Rennes, Lorient et Pleurtuit, laissant plus de temps à la deuxième génération de provoquer des dégâts sur les cultures.

Le seuil théorique des 705 DJ, représenté par la droite rouge supérieure, marque l'apparition de la 1^{re} chenille de 3^e génération. Ainsi le seuil n'a que très rarement été atteint à Brest et Rostrenen, au contraire de Pleurtuit où le seuil est régulièrement dépassé, davantage à Lorient, tandis que les températures à Rennes dépasse ce seuil tous les ans depuis 1986. A la lecture de ces résultats et des tendances, **il est donc probable que l'apparition d'une 3^e génération de carpocapse se généralise**, à l'image de la situation rennaise.

Attention aux conclusions hâtives :

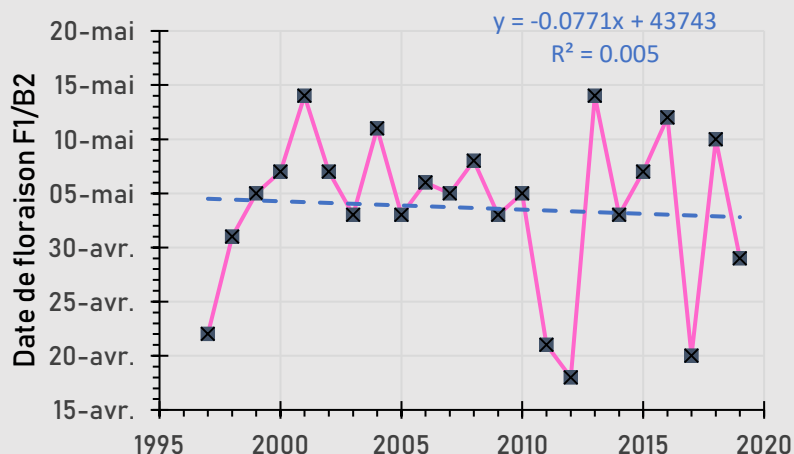
L'indicateur de somme des températures est une approche simplifiée des conditions climatiques nécessaires au développement du carpocapse. De nombreux facteurs peuvent faire apparaître des différences entre ces graphiques et l'observation sur le terrain.

De plus, le J0 (« jour zéro ») à partir duquel est comptabilisée la somme des températures a été fixé au 15 mai (pour des raisons techniques), ce qui correspond à un climat intermédiaire (ex : Rennes, Dinan). Pour les zones au climat plus précoce (ex : sud-est du Morbihan), ce J0 pourrait être avancé d'une semaine aux alentours du 8 mai. A l'inverse dans les zones tardives (ex : Rostrenen), ce J0 pourrait être reporté jusqu'à une semaine aux alentours du 23 mai.

Cette différence de point de départ du calcul de la somme de températures, qui n'a pu être travaillée dans la présente étude, est à prendre en compte pour la lecture des résultats observés.

Une précocité des stades phénologiques

Date de floraison pommier *Douce Coët Ligne* Pleslin



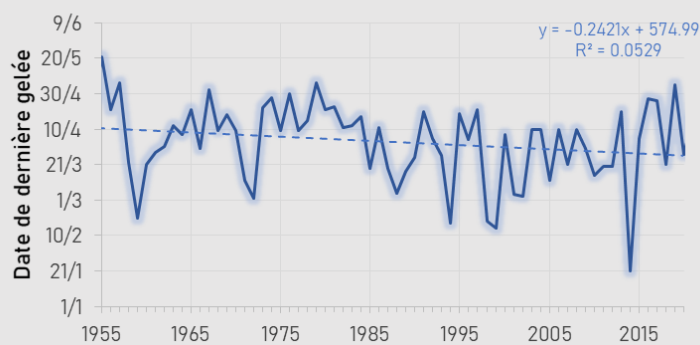
Les stades phénologiques sont en grande partie déterminés par la température. Lorsque celle-ci augmente, les stades ont tendance à être atteints plus tôt. Par exemple, l'observation de la date de floraison du pommier *Douce Coët Ligne* à Pleslin depuis 1997 montre un léger avancement de celle-ci. La tendance, exprimée par la droite bleue sur le graphique ci-dessus, montre un avancement de la date de floraison de 1,8 jours en 22 ans. L'augmentation des températures des premiers mois de l'année (cf Tableau 1) tend à raccourcir la durée de croissance florale, et donc à avancer la floraison.

Un risque de gel élevé

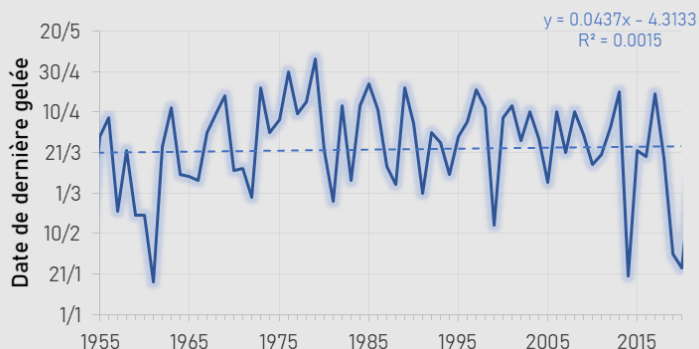
Pour les indicateurs sur les gelées, seules trois stations ont été retenues : Rennes, Dinard et Rostrenen. L'influence marine sur les stations de Brest et Lorient est trop importante pour que les données de ces stations soient fiables à plus grande échelle territoriale.

Malgré la diminution du nombre de jours de gel par an, la date de dernière gelée au printemps ne connaît pas de tendance significative. Cette dernière, couplée à la très forte variabilité interannuelle, amène à penser que **le risque de gel tardif ne diminue pas au cours du temps**. De plus, la date de floraison des pommiers étant, elle-aussi, très variable d'une année à l'autre, il est impossible de prévoir l'impact du gel d'une année à l'autre et très difficile de quantifier les dégâts en amont.

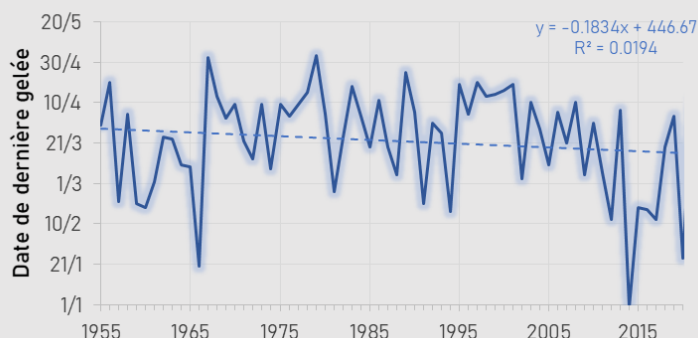
Rennes



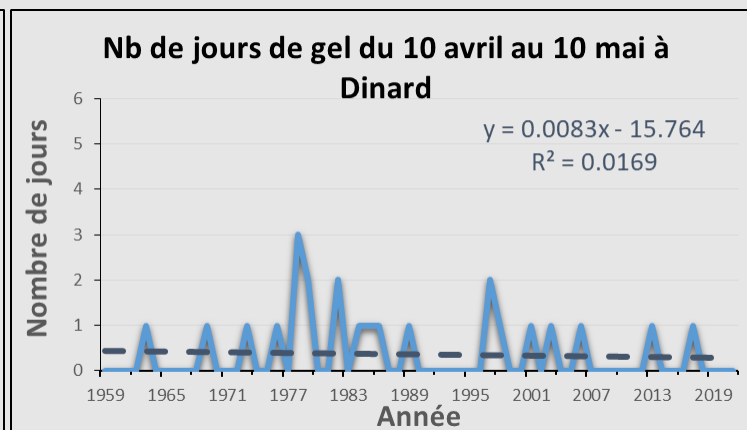
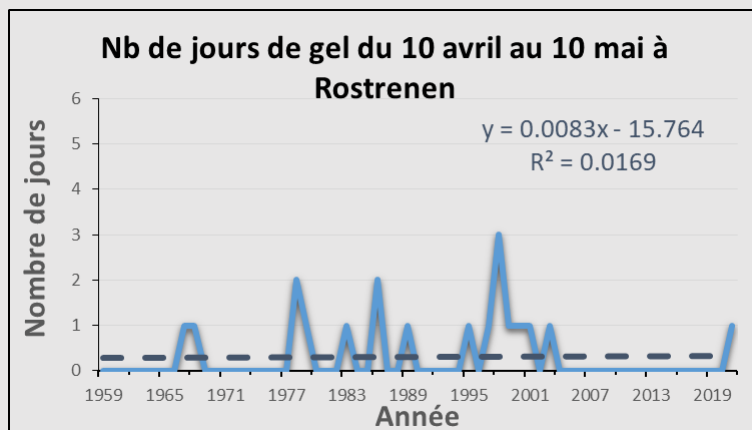
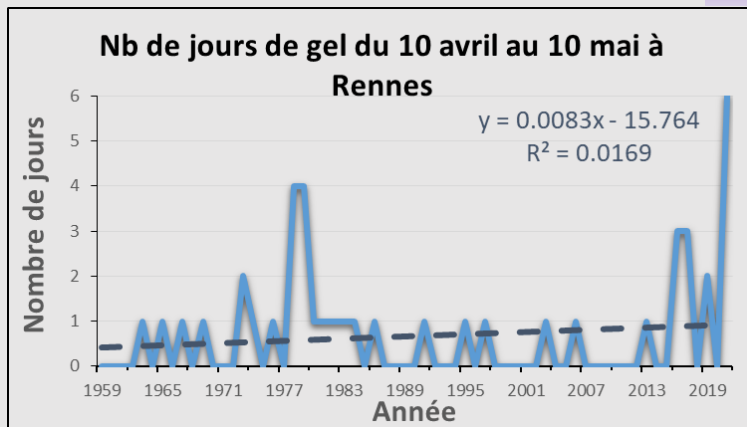
Dinard



Rostrenen



Les pommiers sont sensibles au gel entre le stade « bouton rose » et le stade fruit 12 mm. Cette période d'environ 2-3 jours peut avoir lieu entre le 10 avril et le 10 mai en fonction du lieu, de la variété et de l'environnement proche du pommier. Ainsi, pour appuyer les propos ci-dessus, les graphiques suivants montrent le nombre de jours de gel du 10 avril au 10 mai à Rennes, Rostrenen et Dinard.



Pour l'ensemble des stations, **il n'y a pas eu de gel sur plus de la moitié des années sur la période 1959-2021**, (60 % d'années sans gel à Rennes, 71 % à Dinard et 76 % à Rostrenen. Le nombre très réduit de données non nulles ne permet pas d'effectuer des analyses statistiques quantitatives robustes mais seulement une analyse descriptive. Il n'y a pas non plus de différences significatives d'années avec ou sans gel entre les périodes 1960-1990 et 1991-2021.

La variabilité interannuelle est extrêmement importante et les tendances loin d'être significatives. Les nombreuses gelées tardives au printemps de 2019 et 2021 ont inquiété les arboriculteurs sur le risque d'augmentation du nombre de gelée à cette période. A ce jour, ces événements sont trop récents et trop peu répétés pour qu'une tendance soit dessinée. Il est donc tout à fait possible que les gelées tardives de ces dernières années ne soient qu'un événement climatique isolé, comme ce fut le cas en 1978-1979. Cette idée peut être confortée par le relatif avancement de la date de dernière gelée. Toutefois, le risque de gelée sur la période 10 avril - 10 mai n'a pas diminué ces dernières années.

Contacts :

Responsable projet ORACLE Bretagne : Laurence LIGNEAU – laurence.ligneau@bretagne.chambagri.fr
Etude menée en 2020 par Jean MARQUET et en 2021 par Paul LARDOUX –
paul.lardoux@bretagne.chambagri.fr