



CLIMAT
AGROCLIMAT
IMPACTS
ADAPTATIONS AGRICOLES
ATTENUATIONS

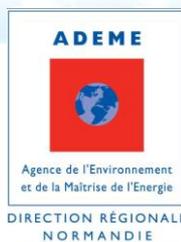


oracle

Normandie



Avec la contribution financière
du compte d'affectation spéciale
«développement agricole et rural»



Etat des lieux
sur le changement climatique
et ses incidences agricoles
en région Normandie



Edition 2020

Avec le soutien financier de :

- CRA Normandie
- Compte d'affectation spéciale "développement agricole et rural"
- ADEME Normandie

Direction éditoriale et expertise agronomique

Chambre Régionale d'Agriculture Normandie

Services climatiques

Météo France



Contributions :

Météo France
Chambre Régionale d'agriculture de Normandie
Chambres départementales d'agriculture du Calvados, de l'Eure, de la Manche, de l'Orne et de Seine-Maritime
DRAAF-FranceAgriMer
Arvalis Institut du Végétal
Terres Inovia
ITB
IFPC

Document téléchargeable sur :

www.normandie.chambres-agriculture.fr

Edition 2020

Réalisé par :

Isabelle Diomard / Emilie Chéron – Chambres d'agriculture de Normandie



Table des matières

L'analyse des données climatiques	5
Les climats de la région Normandie	6
1 CHANGEMENT CLIMATIQUE	
Température moyenne annuelle.....	8
Température moyenne saisonnière	13
Nombre de jours estivaux par an	16
Nombre de jours de gel par an.....	19
Fin de la période de gel	22
Cumul annuel des précipitations.....	25
Cumul saisonnier des précipitations	28
Cumul annuel d'EvapoTranspiration Potentielle (ETP)	31
Cumul saisonnier d'EvapoTranspiration Potentielle (ETP).....	34
2 AGRO CLIMAT	
Nombre de jours échaudants du 1 ^{er} Avril au 30 Juin	37
Nombre de jours de gel du 1 ^{er} Mars au 30 Avril.....	40
Déficit hydrique climatique du 1 ^{er} Avril au 30 Septembre	43
Pluies efficaces (= infiltration + ruissellement)	46
Episodes pluvieux intenses du 1 ^{er} Avril au 15 Novembre	49
Nombre de jours pluvieux pendant les moissons	52
Degrés-jours de croissance du maïs (semis-floraison)	55
Bilan hydrique pendant la période de sensibilité du maïs	57
Condition climatique favorable au Carpocapse	60
Faisabilité du soja	63
Faisabilité du lupin d'hiver	66
Date de mise à l'herbe.....	68
Fréquence des précipitations pendant le fanage.....	71
Développement de la pyrale du maïs.....	76
Condition climatique favorable au puceron d'automne sur blé	81
Faisabilité de la récolte précoce de l'herbe	85
Faisabilité de la récolte tardive de l'herbe en zone humide (Contrats MAEC)	89



Impact des températures sur le ralentissement de la pousse de l'herbe.....	93
Nombre de jours d'inconfort des animaux	97
Date d'arrachage du lin textile de printemps	100
3 IMPACTS AGRICOLES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE	
Rendement en blé tendre	104
Rendement en betterave industrielle	108
Rendement en maïs ensilage	111
Rendement des prairies	115
Croissance printanière de l'herbe	118
Rendement en lin textile	122
4 ADAPTATIONS	
5 ATTENUATIONS	
Stock de carbone sous les prairies	126
Part de l'atténuation due aux légumineuses à graines en grandes cultures	131
Stockage de carbone par les haies	136
Réduction des émissions de GES par les méthaniseurs	142
Lexique simplifié.....	150

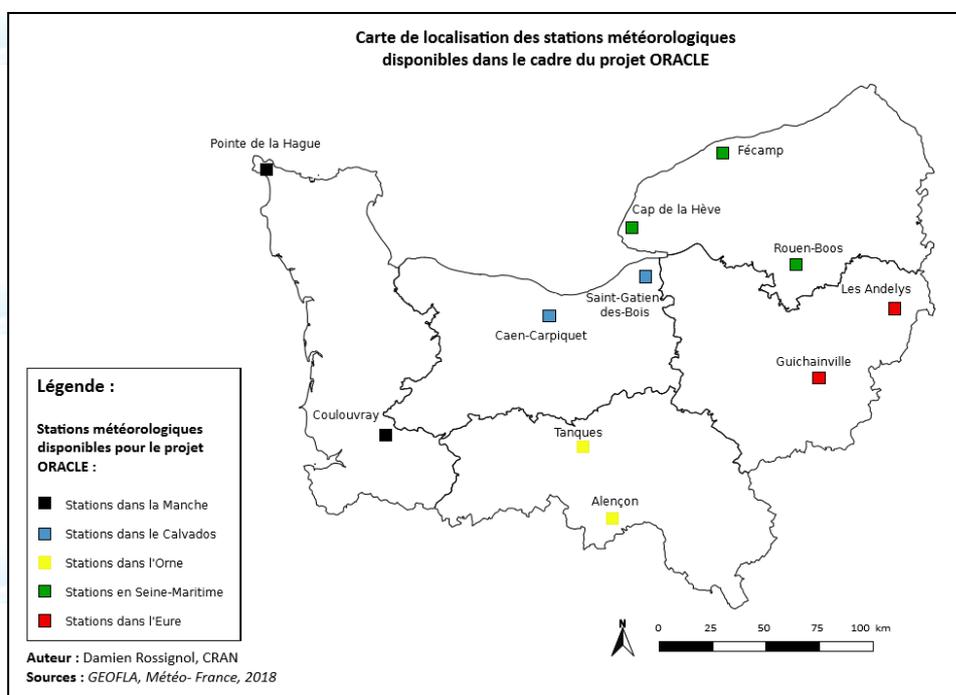


L'analyse des données climatiques

L'ensemble des observations climatiques et agroclimatiques présentées sont basées sur des données issues de stations météorologiques ou sur des réanalyses issues des chaînes de calcul de Météo France. Les stations utilisées pour le dispositif ORACLE sont cartographiées ci-dessous.

Les données homogénéisées et les séries quotidiennes sont peu nombreuses à l'échelle de la Normandie. Cette faible représentativité s'explique par le fait qu'un réseau de mesure est souvent coûteux en termes de matériel et de maintenance. Des moyens économiques importants se doivent d'être mis en place afin d'assurer la pérennité de la globalité des stations.

Cette tendance s'explique aussi par le fait qu'un réseau est rarement stable dans le temps, avec une perfectibilité forte, notamment pour les contrôles et correction des données.



Chaque information (ETP, Précipitations, Températures) est propre à une série de stations, c'est pourquoi elles ne sont pas toujours utilisées pour chaque indicateur.

Analyse statistique

L'objectif est d'affirmer avec certitude que la tendance calculée correspond à la tendance réelle et non à des variations dues au hasard. Pour cela, il faut choisir un risque d'erreur au-delà duquel, la possibilité de se tromper de conclusion étant trop importante, l'observation ne sera pas jugée significative. Les formules $P < 0,001$; $P < 0,01$; $P < 0,05$ et $P < 0,1$ représentent les différents niveaux du risque d'erreur, autrement dit des risques de se tromper respectivement inférieurs à 0,1%, 1%, 5% et 10%.

Pour résumer, lorsque la p-value est inférieure à 0,001, c'est qu'il y a 99,9% de chance minimum que l'évolution constatée par la régression linéaire soit réellement significative. Lorsque $P > 0,1$, le résultat est considéré comme non significatif car cela induit un risque d'erreur supérieur à 10%.



Les climats de la région Normandie

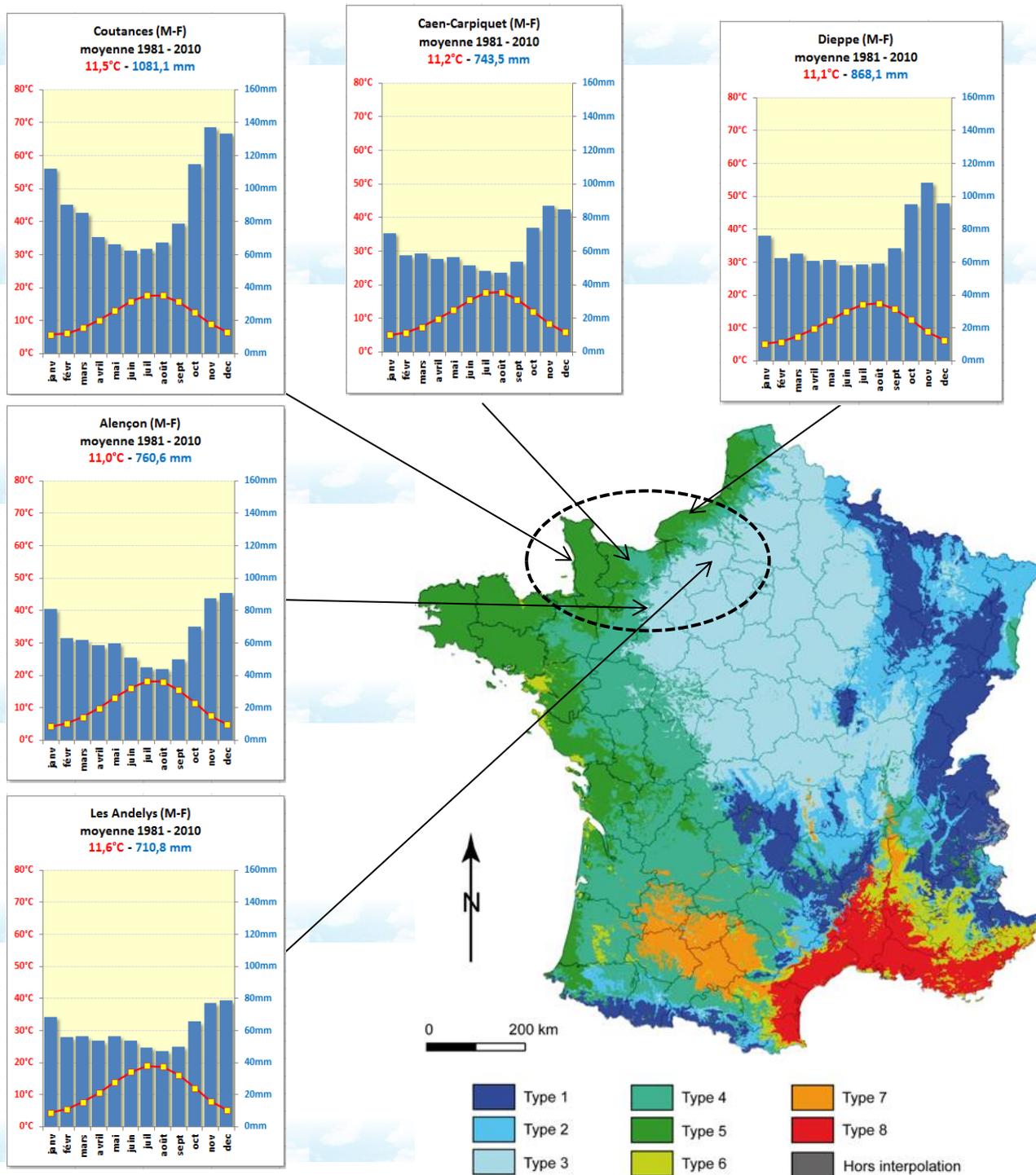


Fig 1 : Carte des climats de France et diagrammes ombrothermiques associés, cybergeo.revues.org



Les climats de la région Normandie

Le climat normand est composé de trois ensembles climatiques distincts (Figure 1) et intègre une typologie nationale qui en compte 8 selon une étude du CNRS en 2010. A l'échelle régionale, on retrouve une diversité climatique avec à l'Ouest, un climat dit « **océanique franc** ». En allant davantage vers l'intérieur des terres, on voit apparaître une entité dite de « **climat océanique altéré** ». A l'extrême Est, on parlera d'un « **climat océanique dégradé des plaines du Centre et du Nord.** »



Climat océanique franc

Ce type de climat est caractérisé par une amplitude thermique relativement faible avec des excès climatiques peu présents. Concernant les précipitations, elles sont nombreuses et fréquentes en hiver. L'été reste également concerné par des pluies régulières. Cette partie occidentale de la région est dominée par les effets climatiques de la Manche. *"La mer adoucit les températures tempérées en toutes saisons (douceur hivernale et fraîcheur estivale) et une humidité toujours bien présente (se transformant en précipitations abondantes sur les hauteurs)."* (Profil environnemental de Basse-Normandie, Le Climat, 2015).



Climat océanique altéré

Cette entité climatique est considérée comme un territoire de transition avec des conditions moins humides (743,5 mm sur la période 1981-2010 à Caen-Carpiquet) et des températures moyennes assez élevées. Le lissage climatique s'estompe progressivement en allant vers l'Est avec un contexte thermique plus variable et des températures plus chaudes l'été et froides l'hiver.



Climat océanique dégradé

Les températures y sont de l'ordre de 11°C en moyenne même si certaines localités peuvent atteindre 11,6°C (Fig 1 : Les Andelys). Le contexte pluviométrique est quant à lui plus sec que les autres types de climat avec des pluies proches des 700 mm annuellement (710,8 mm aux Andelys). La variabilité des températures est caractéristique des espaces plus continentaux avec des contrastes notables, contrairement aux précipitations qui restent assez homogènes mais plus faibles.

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

Température moyenne annuelle

🔑 Nature et source des données

Séries Homogénéisées (Cf. lexique) de 1959 à 2010 pour toutes les stations sauf Saint-Hilaire-du-Harcouët.

Séries brutes non homogénéisées de 2011 à 2014.

Données fournies par Météo France.

🕒 Indicateur 1

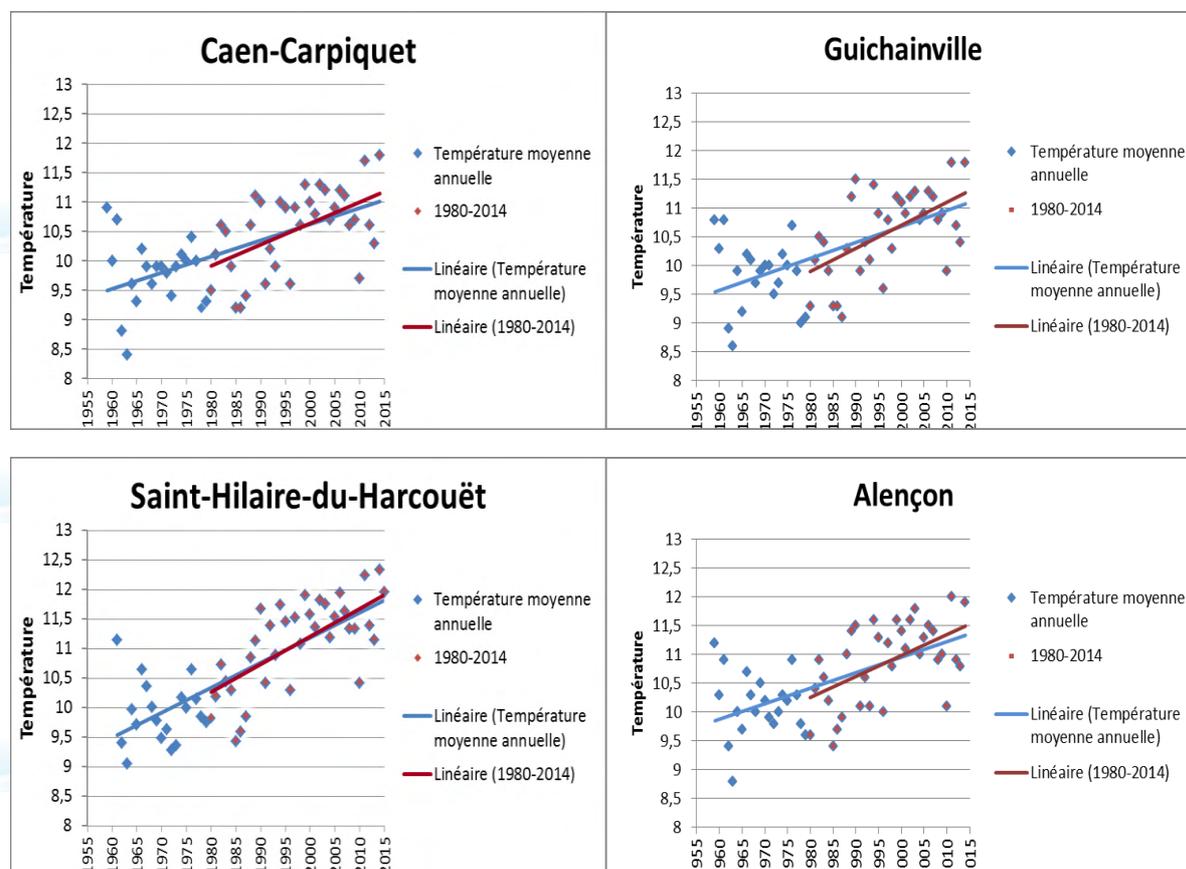
Stations : Caen-Carpiquet (14); Guichainville (27) ; Saint-Hilaire-du-Harcouët (50) ; Alençon (61) et Cap de la Hève (76).

Période observée : 1959 à 2014 sauf Saint-Hilaire-du-Harcouët (1961-2016)

📊 Calcul de l'indicateur 1

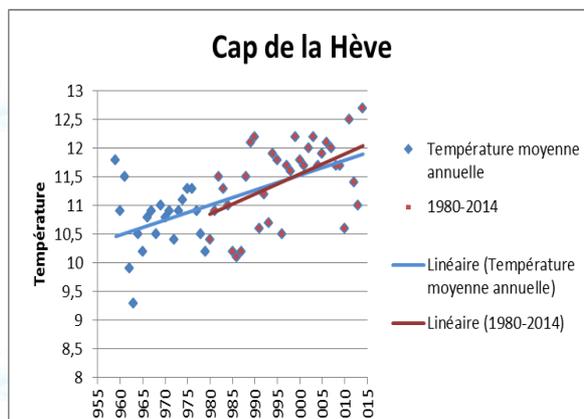
Moyenne sur l'année des températures moyennes journalières.

📈 Evolution observée





Température moyenne annuelle



Analyse

Le tableau ci-dessous présente les évolutions tendancielle (par ajustement linéaire) :

	Tendance (°C/décennie)	Certitude de la tendance
Caen-Carpiquet	+ 0,3	99,9%
Guichainville	+ 0,32	99,9%
Saint-Hilaire-du-Harcouët	+ 0,42	99,9%
Alençon	+ 0,32	99,9%
Cap de la Hève	+ 0,29	99,9%
Moyenne 5 stations	+ 0,33	

On constate une hausse de la température moyenne annuelle pour chaque station. De plus, à partir des années 1980-90, on remarque également une augmentation de ce réchauffement (linéaire 1980-2014), conforme aux derniers rapports du GIEC et études sur le climat (émissions de GES et origine anthropique).

L'évolution de la température observée en Normandie depuis le milieu du XX^e siècle est conforme à celle observée en France métropolitaine. Plusieurs points sont à souligner :

- L'augmentation tendancielle de température sur les 60 dernières années est similaire pour 4 des 5 stations observées, autour de +0,3°C par décennie, révélant la forte homogénéité intra régionale du réchauffement.
- La station de Saint-Hilaire-du-Harcouët présente une augmentation sensiblement plus forte, probablement due aux données qui ne sont pas homogénéisées, et pouvant donc faire apparaître des valeurs plus ou moins faussées.
- L'augmentation tendancielle des températures depuis 60 ans (+0,3°C par décennie) est trois fois plus forte que celle observée sur l'ensemble du XX^e siècle, illustrant ainsi l'accélération du réchauffement observée depuis le milieu du XX^e siècle et plus encore depuis les années 1970.

L'augmentation tendancielle des températures depuis 1971 illustre l'accélération du réchauffement en Normandie. Ces résultats sont conformes à l'augmentation perçue dans le Grand Ouest à partir des années 1980 après une stagnation des températures entre les années 1950 et 1960 (DUBREUIL *et al.*, 2012).



Température moyenne annuelle

Ce réchauffement est plus marqué sur ces 40 dernières années que sur l'ensemble du XXème siècle en France métropolitaine qui s'est caractérisé par une hausse d'environ +1 °C (+0,1 °C par décennie), avec 2014 comme année la plus chaude depuis 1900 (Météo France, 2015). Cette augmentation en France métropolitaine pour le siècle dernier s'explique notamment par des températures minimales qui ont montré une hausse plus importante (de 0,7 à 1,7 °C) que les maximales (de 0 à 1,3 °C) (MOISSELIN *et al.*, 2002).



Indicateur 2

Stations : Caen-Carpiquet (14); Guichainville (27) ; Auderville (50) ; Alençon (61) et Cap de la Hève (76).

Période observée : 1959 à 2016.

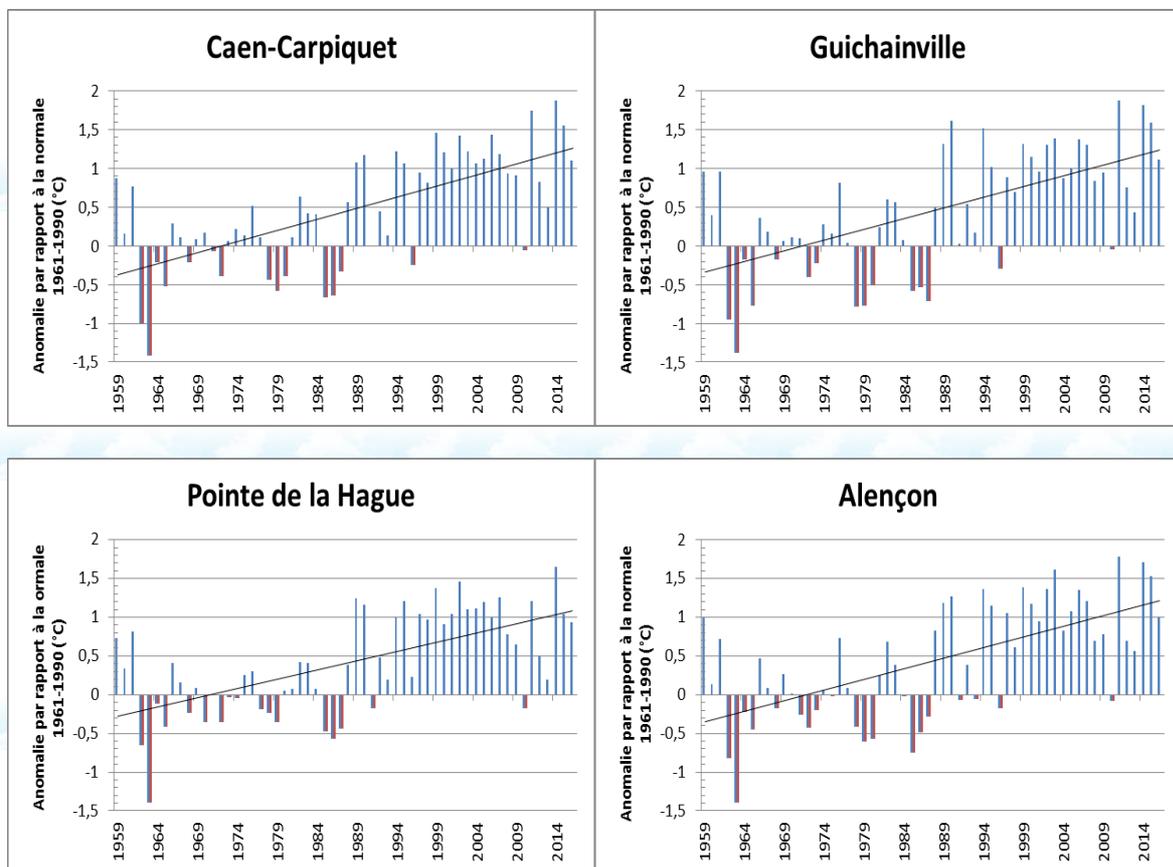


Calcul de l'indicateur 2

Moyenne sur l'année des températures moyennes journalières. Valeurs présentée sous forme « d'anomalies », c'est-à-dire d'écart par rapport à la moyenne 1961-1990.

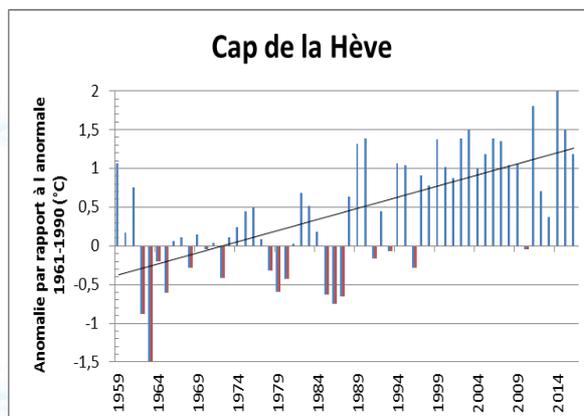


Évolution observée





Température moyenne annuelle



Analyse

Le tableau ci-dessous présente les évolutions tendancielle (par ajustement linéaire) :

	Tendance (°C/décennie)	Certitude de la tendance
Caen-Carpiquet	+ 0,29	99,9%
Guichainville	+ 0,28	99,9%
Auderville	+ 0,24	99,9%
Alençon	+ 0,27	99,9%
Cap de la Hève	+ 0,28	99,9%
Moyenne 5 stations	+ 0,27	

L'évolution observée est conforme à l'augmentation des températures moyennes annuelles et présente des anomalies positives vis-à-vis de la normale 1961-1990 de plus en plus importantes. L'écart des températures à la moyenne 1961-1990 augmente d'environ 0,27°C/décennie en Normandie, soit une augmentation des températures par rapport à la normale depuis 1990 de 0,73°C.

Ce réchauffement illustre l'augmentation constante des températures depuis 1990 vis-à-vis de la moyenne trentenaire. L'accélération du réchauffement impacte fortement l'agriculture au travers notamment du raccourcissement des calendriers culturaux, de l'augmentation de l'évapotranspiration et du dépassement des seuils thermiques. Le dernier rapport du GIEC, publié fin 2013, confirme la très forte probabilité que ce réchauffement se poursuive.

A RETENIR

Les données mettent en évidence une évolution des températures moyennes homogène en Normandie et cohérente avec l'évolution observée sur l'ensemble de la France métropolitaine.

La température moyenne annuelle Normandie a augmenté au même rythme que sur l'ensemble de la France métropolitaine, à savoir d'environ 1°C sur le XXème siècle.

Depuis les années 1980-1990, le réchauffement s'est accentué, avec une augmentation supérieure à 0,3°C par décennie.

Cet accroissement important des températures, plus rapide sur les trois dernières décennies, impose au conseil agricole de réactualiser les références climatiques utilisées (dates de semis, choix de variétés...) pour mieux anticiper les conditions thermiques des prochaines années.



Température moyenne annuelle

Pour aller plus loin : L'étude des températures saisonnières permet de connaître la répartition du réchauffement au sein des différentes saisons (Cf. « Température moyenne saisonnière »).



Pour en savoir plus

METEO France. (2015). 2014 : année record pour les températures en France et en Europe ; <http://www.meteofrance.fr/actualites/20344090-2014-annee-record-pour-les-temperatures-en-france-et-en-europe>

MOISSELIN J-M., SCHNEIDER M., CANELLAS C., MESTRE O. (2002). Les changements climatiques en France au XXème siècle : étude des longues séries homogénéisées de données de température et de précipitations. *La Météorologie*, n°38, 45-57

RIBES A., AZAÏS J-M, PLANTON S. (2010). A method for regional climate change detection using smoothtemporal patterns. *Climate Dynamics*, 35 (2-3), 391-406.

GIBELIN A-L. (2014). Evolution de la température en France depuis les années 1950. *La Météorologie*, n°87.

METEO France. Climat HD ; <http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/climathd>.



Température moyenne saisonnière

🔑 Nature et source des données

Séries Homogénéisées (Cf. lexique) pour toutes les stations sauf Saint-Hilaire-du-Harcouët. Données fournies par Météo France.

🕒 Indicateur

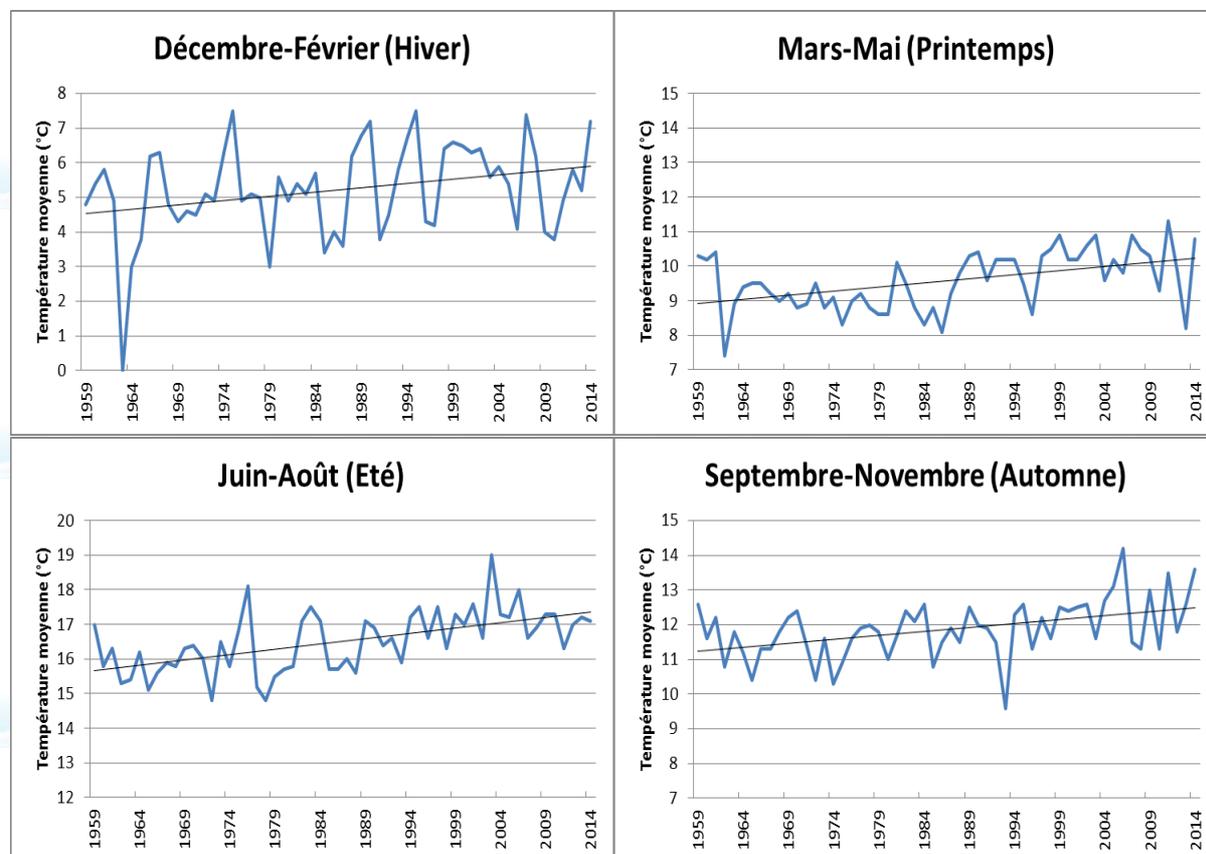
Stations : Caen-Carpiquet (14) ; Guichainville (27) ; Saint-Hilaire-du-Harcouët (50) ; Alençon (61) ; Cap de la Hève (76).
Période observée : 1959 à 2014 sauf Saint-Hilaire-du-Harcouët (1961-2016).

📊 Calcul de l'indicateur

Moyenne sur trois mois des températures moyennes journalières (saisons définies au sens climatologique) : Décembre à Février (Hiver), Mars à Mai (Printemps), Juin à Août (Eté) et Septembre à Novembre (Automne).

📈 Évolution observée

Les graphiques ci-dessous montrent l'évolution observée pour la station Caen-Carpiquet.





Température moyenne saisonnière

Analyse

L'évolution tendancielle correspondant à l'ajustement linéaire pour la station de Caen-Carpiquet est de :

- +0,25°C par décennie en Hiver, soit +1,36°C en 55 ans ;
- +0,24°C par décennie au Printemps, soit +1,32°C en 55 ans ;
- +0,31°C par décennie en Eté, soit +1,69°C en 55 ans ;
- +0,23°C par décennie en Automne, soit +1,25°C en 55 ans.

L'accroissement de la température moyenne au niveau de la station Caen-Carpiquet n'est pas homogène selon les saisons.

La température moyenne saisonnière observée montre que l'été présente la pente la plus marquée avec la plus forte augmentation moyenne, mais également la moindre hétérogénéité interannuelle.

Au contraire, l'automne et l'hiver semblent les saisons où le réchauffement est le plus lent au cours du temps.

L'hiver présente la variabilité thermique d'une année à l'autre la plus forte parmi les autres saisons. Donc la tendance d'évolution observée, bien que significative, ne peut se modéliser de façon fidèle à la réalité par une évolution linéaire. L'augmentation des températures en hiver est réelle mais ne se fait pas suivant une évolution constante d'année en année.

Les résultats sont fortement dépendants de la période à laquelle les données sont relevées. Ainsi, l'analyse des résultats selon la définition des saisons d'un point de vue calendaire ne présenterait pas nécessairement exactement les mêmes résultats qu'avec la définition climatologique utilisée ici.

Le tableau ci-dessous présentent l'évolution tendancielle de la température moyenne saisonnière pour 5 stations (par ajustement linéaire) :

	Décembre-Février (Hiver)		Mars-Mai (Printemps)		Juin-Août (Eté)		Septembre-Novembre (Automne)	
	Tendance (°C/décennie)	Certitude de la tendance	Tendance (°C/décennie)	Certitude de la tendance	Tendance (°C/décennie)	Certitude de la tendance	Tendance (°C/décennie)	Certitude de la tendance
Caen-Carpiquet	+ 0,25	95%	+ 0,24	99,9%	+ 0,31	99,9%	+ 0,23	99,9%
Guichainville	+ 0,24	95%	+ 0,29	99,9%	+ 0,35	99,9%	+ 0,22	99%
Saint-Hilaire-du-Harcouët	+ 0,35	99%	+ 0,44	99,9%	+ 0,46	99,9%	+ 0,44	99,9%
Alençon	+ 0,22	90%	+ 0,28	99,9%	+ 0,34	99,9%	+ 0,22	99%
Cap de la Hève	+ 0,27	95%	+ 0,29	99,9%	+ 0,24	99,9%	+ 0,23	99,9%
Moyenne 5 stations	+ 0,27		+ 0,31		+ 0,34		+ 0,27	

L'analyse des températures moyennes saisonnières des stations de Guichainville, Alençon et Cap de la Hève présentent des résultats similaires à ceux de Caen-Carpiquet. Les évolutions thermiques de Saint-Hilaire-du-Harcouët sont légèrement plus importantes (Cf. Indicateur « Température moyenne annuelle »), mais les tendances sont les mêmes que les autres stations.



Température moyenne saisonnière

Cependant l'analyse nous présente également des hétérogénéités intrarégionales, avec notamment un effet littoral, surtout marqué en été, et en hiver. En été la vitesse d'augmentation des températures des stations du bord de mer est moins importante, et en hiver cette vitesse est plus élevée, que pour les stations situées davantage dans les terres. Ceci est lié au littoral qui tamponne l'évolution des températures, ce qui limite le réchauffement en été et le refroidissement en hiver. Ces effets naturels sont amplifiés par le changement climatique (JOLY et al., 2010).

L'homogénéisation des températures par Météo France en 2010 a permis de constater que le réchauffement moyen annuel en France métropolitaine est principalement dû à l'augmentation des températures printanières et estivales, comprises entre +0,22°C et +0,58°C par décennie (GIBELIN et al., 2014). En automne et en hiver les tendances nationales ne sont pas significatives. Pour l'hiver c'est la forte amplitude de variabilité de la saison qui est en cause. Un fait qui a également été observé en Normandie avec un niveau de certitude sur cette évolution inférieur aux autres saisons bien que l'augmentation soit tout de même significative.

A RETENIR

Depuis 1959 les températures moyennes saisonnières ont subi des hausses comprises entre 1,21°C et 1,93°C, variables selon la saison et la station étudiée. Les élévations de températures les plus importantes sont en été et au printemps.

L'analyse des données en Normandie met en évidence une évolution des températures moyennes estivales et printanières conforme à celle en France métropolitaine. En revanche, les tendances automnales et hivernales sont différentes du reste de la France où celles-ci ne sont pas significatives. Cela résulte de la régionalisation des résultats, qui permet parfois d'avoir des résultats soit plus ou moins significatifs qu'à l'échelle nationale. Les analyses sont très dépendantes de la période et de la zone d'étude, ce qui peut donc donner des résultats plus ou moins variables.

L'importance du réchauffement saisonnier est hétérogène en Normandie selon le gradient littoral-intérieur des terres en lien avec un climat plus ou moins océanique.



Pour en savoir plus

METEO France.ClimatHD ; <http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/climathd>.

METEO France.Le climat en métropole ; <http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/climat-en-france/le-climat-en-metropole>

JOLY D., BROSSARD T., CARDOT H., CAVAILHES J., HILAL M. et WAVRESKY P. (2010). Les types de climats en France, une construction spatiale. *Cybergeo* : European Journal of Geography (disponible sur <http://cybergeo.revues.org/23155>).

GIBELIN A. L., DUBUISSON B., CORRE L. D., JOURDAIN S., LAVAL L., PIQUEMAL J. M., MESTRE O., DENNETIERE D., DESMITT S., TAMBURINI A. (2014). Evolution de la température en France depuis les années 1950. *Climatologie* (87), pp. 45-53.



Nombre de jours estivaux par an

🔑 Nature et source des données

Séries Quotidiennes de Références (Cf. lexique).
Données fournies par Météo France

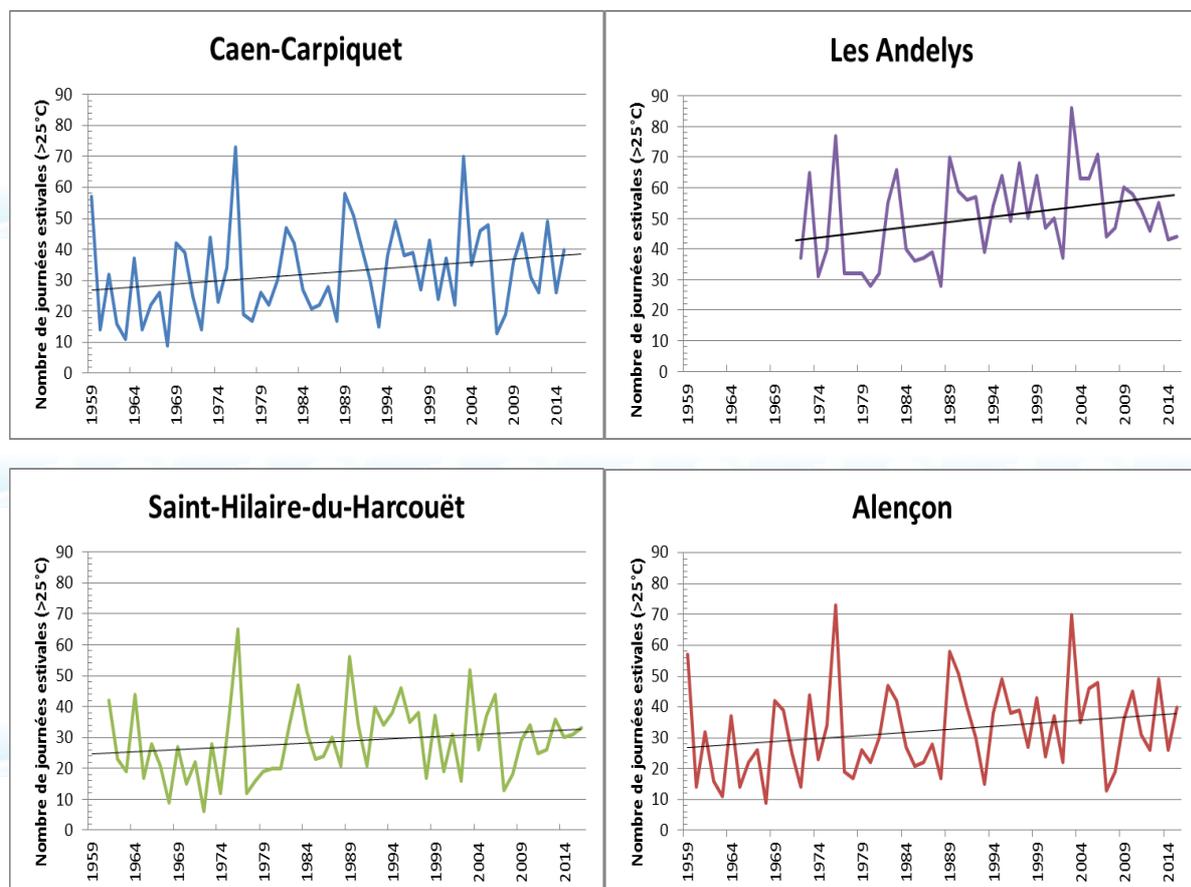
🕒 Indicateur

Stations : Caen-Carpique (14) ; Les Andelys (27) ; Saint-Hilaire-du-Harcouët (50) ; Alençon (61) ; Fécamp (76).
Période observée : 1959 à 2015 sauf Saint-Hilaire-du-Harcouët (1961-2016) et Les Andelys (1972-2015)

📊 Calcul de l'indicateur

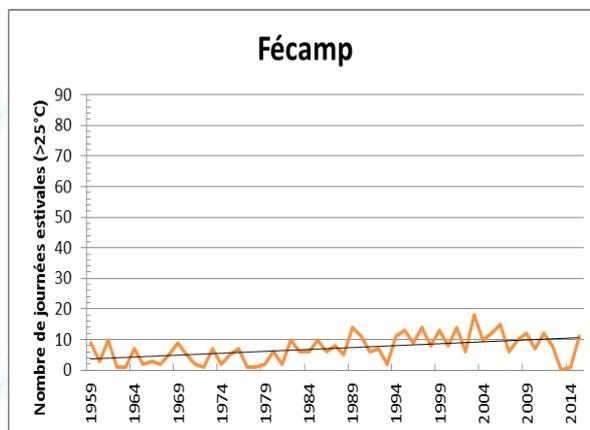
Dénombrement, entre le 1^{er} Janvier et le 31 Décembre de chaque année, des jours où la température maximale journalière est supérieure ou égale à 25°C.

📈 Évolution observée





Nombre de jours estivaux par an



Analyse

Le tableau ci-dessous présente les évolutions tendancielle sur la période observée (par ajustement linéaire) :

	Tendance (jours/décennie)	Certitude de la tendance
Caen-Carpiquet	+ 2,0	99%
Les Andelys	+ 3,4	95%
Saint-Hilaire-du-Harcouët	+ 1,4	NS
Alençon	+ 2,4	90%
Fécamp	+ 1,2	99,9%
Moyenne 5 stations	+ 2,1	

Pour les cinq stations étudiées, on observe une augmentation du nombre annuel de jours estivaux. Celle-ci est cohérente avec l'augmentation des températures moyennes annuelles (Cf. indicateur « Température moyenne annuelle »).

Ainsi, les tendances observées par ajustement linéaire sur l'ensemble de la période sont de :

- + 11,2 jours estivaux à Caen-Carpiquet en 56 ans ;
- + 14,6 jours estivaux aux Andelys en 43 ans ;
- + 7,7 jours estivaux à Saint-Hilaire-du-Harcouët en 55 ans (tendance non significative) ;
- + 13,4 jours estivaux à Alençon en 56 ans ;
- + 6,7 jours estivaux à Fécamp en 56 ans.

On constate donc que l'évolution est hétérogène avec une augmentation moins importante près des côtes (Fécamp) qu'à l'intérieur des terres (Les Andelys), ce qui est cohérent avec l'effet tampon du littoral sur les températures (JOLY et al., 2010). En Normandie, il y a donc un fort contraste « littoral-intérieur des terres » pour cet indicateur.

Les variabilités interannuelles sont fortes, bien que l'augmentation sur le long terme des journées où la température excède 25°C ne fasse aucun doute, excepté à Saint-Hilaire-du-Harcouët. Pour cette station l'évolution observée n'est pas significative, bien que cette tendance, semblable aux autres stations, soit vraisemblable.



Nombre de jours estivaux par an

Ces résultats ne permettent pas de connaître la répartition au sein de l'année des augmentations observées. Pour cela, il faudrait examiner sur des périodes plus courtes (saison, mois) l'évolution du nombre de jours estivaux afin de préciser comment la distribution intra annuelle des épisodes chauds se modifie.

Pour l'agriculture régionale, cette augmentation des jours estivaux renvoie à quatre types de conséquences, sous réserve de vérifier comment a évolué la distribution intra annuelle de ces jours estivaux :

- au printemps et en été les jours d'échaudage thermique deviennent de plus en plus nombreux, mais leur impact réel sur les cultures (céréales à paille en particulier) dépend également de l'avancement des calendriers culturels (esquive) lié à l'augmentation de la température ;
- du printemps à l'automne, des températures élevées entraînent un ralentissement, voire un arrêt de la croissance des espèces prairiales. Avec une chaleur persistante, les végétaux peuvent être endommagés par grillage (MOREAU, 2009) ;
- le nombre de jour par an à forte évapotranspiration s'accroît en raison de la relation étroite entre température et évapotranspiration potentielle.
- Le stress de chaleur chez les animaux peut les conduire à baisser leur ingestion, ce qui provoque une moindre digestibilité. En conséquence, les ruminants vont pâturer aux heures les plus fraîches, multiplier les prises alimentaires mais aussi modifier leurs choix alimentaires et donc la composition de la ration ingérée. Cet état prolongé peut notamment causer des pathologies (MORAND-FEHR et al., 2001).

A RETENIR

Le nombre de jours estivaux annuel a augmenté en Normandie de 1,2 à 3,4 jours par décennie depuis 50 ans. Cette augmentation est plus marquée à l'intérieur des terres que sur le littoral.

Les incidences de ces jours estivaux sur l'agriculture régionale sont multiples mais nécessitent un examen détaillé de la répartition intra annuelle des augmentations observées.

Pour aller plus loin : L'analyse au pas de temps annuel ne permet pas de connaître la répartition au sein de l'année des augmentations constatées. La distribution de ces journées chaudes nécessite d'être explicitée par période d'intérêt (Cf. « Nombre de jours échaudant du 1^{er} Avril au 30 Juin »).



Pour en savoir plus

JOLY D., BROSSARD T., CARDOT H., CAVAILHES J., HILAL M. et WAVRESKY P. (2010). Les types de climats en France, une construction spatiale. *Cybergeo : European Journal of Geography* (Disponible sur <http://cybergeo.revues.org/23155>). Consulté le 7 juillet 2017.

MOREAU J-C. (2009). Prospective à l'échelle des systèmes d'élevage herbivores, adaptations et pistes de réflexion. Colloque « Changement climatique, conséquences et enseignements pour les grandes cultures et l'élevage herbivore », 22 octobre 2009, Paris, 146p. 113-122.

MORAND-FEHR P., DOREAU M. (2001). Ingestion et digestion chez les ruminants soumis à un stress de chaleur. *INRA Prod. Anim.*, 14p., 15-27.



Nombre de jours de gel par an

🔑 Nature et source des données

Série Quotidienne de Référence (Cf. lexique).
Données fournies par Météo France.

🕒 Indicateur

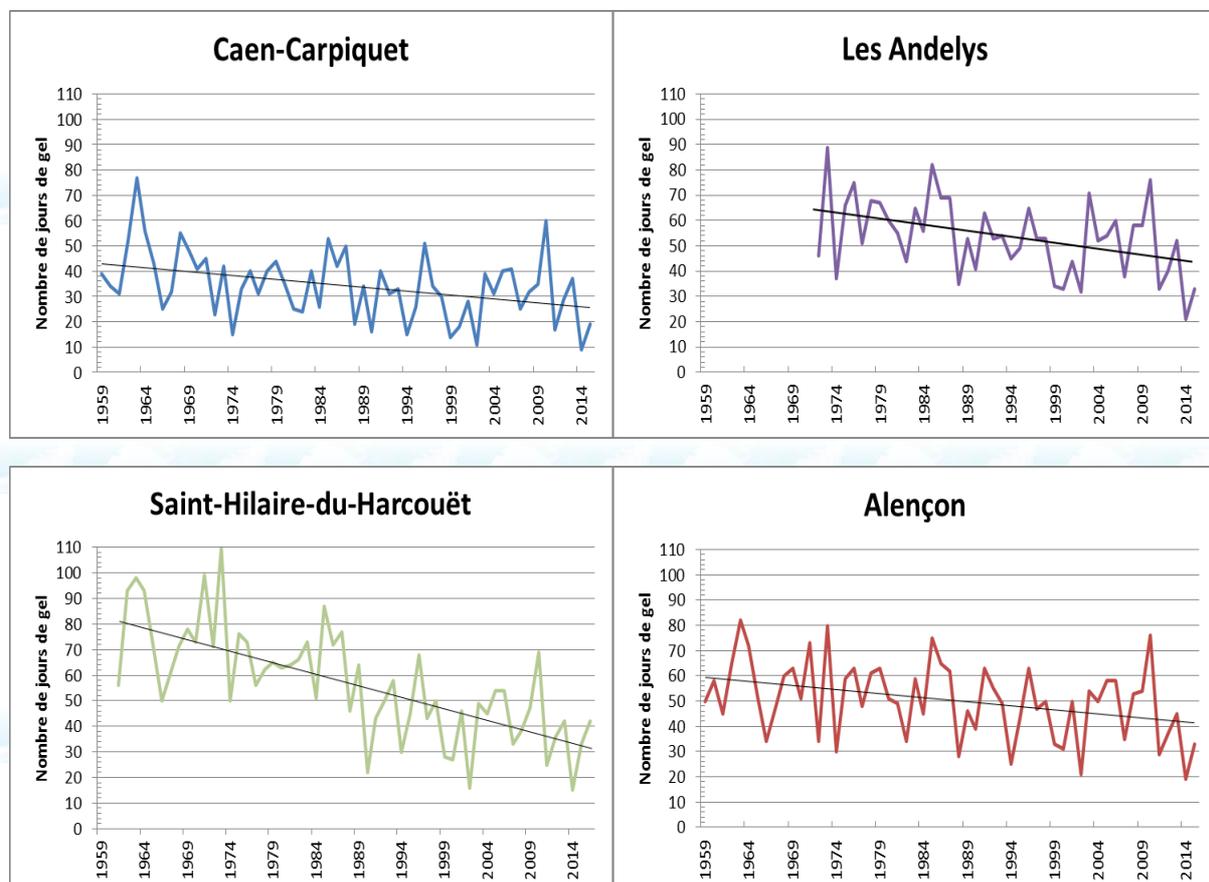
Stations : Caen-Carpiquet (14) ; Les Andelys (27) ; Saint-Hilaire-du-Harcouët (50) ; Alençon (61) ; Fécamp (76).

Période observée : 1959 à 2015 sauf Saint-Hilaire-du-Harcouët (1961-2016) et Les Andelys (1972-2015)

📊 Calcul de l'indicateur

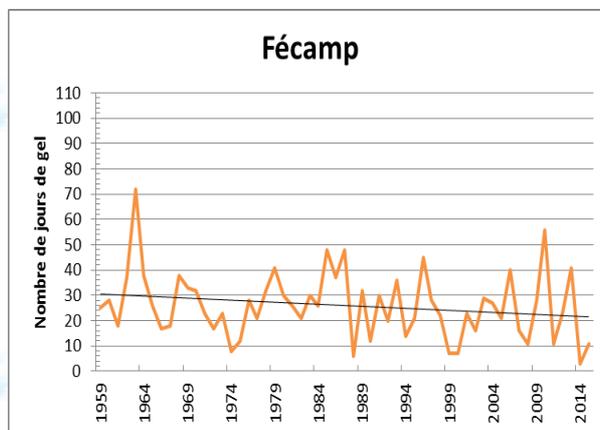
Dénombrement, entre le 1^{er} Janvier et le 31 Décembre de chaque année, des jours où la température minimale journalière est inférieure ou égale à 0°C.

📈 Évolution observée





Nombre de jours de gel par an



Analyse

Le tableau ci-dessous présente les évolutions tendancielle sur la période observée (par ajustement linéaire) :

	Tendance (jours/décennie)	Certitude de la tendance
Caen-Carpiquet	- 3	99%
Les Andelys	- 4,8	99%
Saint-Hilaire-du-Harcouët	- 9,2	99,9%
Alençon	- 3,3	99%
Fécamp	- 1,6	NS
Moyenne 5 stations	- 4,4	

Pour les cinq stations étudiées on observe une diminution du nombre annuel de jours de gel, malgré d'importantes variabilités interannuelles, ce qui est cohérent avec l'augmentation des températures moyennes annuelles (Cf. indicateur « Température moyenne annuelle »).

Ainsi, les tendances observées par ajustement linéaire sur l'ensemble de la période sont de :

- - 16,8 jours de gel à Caen-Carpiquet en 56 ans ;
- - 20,6 jours de gel aux Andelys en 43 ans ;
- - 50,6 jours de gel à Saint-Hilaire-du-Harcouët en 55 ans (série non homogénéisée) ;
- - 18,5 jours de gel à Alençon en 56 ans ;
- - 9 jours de gel à Fécamp en 56 ans (tendance non significative).

L'analyse des données révèle que plus un territoire a de journées gélives, plus celui-ci semble subir une diminution importante du nombre de jours de gel, et inversement. L'évolution de ces journées est donc hétérogène en Normandie, et est dépendante des caractéristiques climatiques locales (axes Nord-Sud/Ouest-Est et effet littoral notamment) et topographiques.

L'élévation des températures en hiver est moins marquée que durant les autres saisons. On peut donc supposer que la réduction du nombre de journées gélives se manifeste davantage au printemps ou en automne qu'en hiver. Une étude saisonnière de ces évolutions est nécessaire pour confirmer cette hypothèse.



Nombre de jours de gel par an

Le froid a des effets directs sur la croissance et le développement des végétaux. Ainsi, la diminution du nombre annuel de jours de gel a des répercussions sur les cycles de reproduction et de croissance de certains parasites, mais aussi sur de multiples processus de la production végétale comme par exemple sur la durée de la levée de dormance, la durée et la qualité de la floraison chez les espèces fruitières (MATHIEU, 2013), le développement végétatif automnal chez le colza...

Les conséquences de cette diminution du nombre de jours froids sur les productions agricoles régionales doivent être examinées au cas par cas : espèces et stades sensibles concernés, mécanismes d'action du froid sur la production végétale, décalages phénologiques des cultures liés à l'élévation tendancielle de la température, ...

A RETENIR

Le nombre de jours de gel annuel a significativement diminué en Normandie, de 3 à 9,2 jours par décennie au cours de ces 50 dernières années. Le niveau de cette évolution est dépendant du climat local, et elle est d'autant plus importante que le nombre de journées gélives d'un territoire est élevé.

Les impacts de ces changements sur les productions agricoles doivent être étudiés au cas par cas pour cibler les périodes sensibles.

Cet indicateur ne permet pas de mesurer l'intensité du gel. Une quantification des températures minimales des gelées par périodes permettrait de rendre compte des risques réels encourus par les cultures et de connaître les moments les plus à risques pour la floraison des arbres fruitiers notamment.

Pour aller plus loin : Ces données ne permettent pas de connaître précisément la période de réduction de ce nombre de jours de gel, et donc quels impacts concrets auront lieu sur les cultures. Un dénombrement saisonnier voire mensuel pourrait permettre d'identifier les périodes sensibles pour les cultures (Cf. « Nombre de jours de gel du 1^{er} Mars au 30 Avril »).



Pour en savoir plus

BRISSON N., LEVRAULT F. (2010). Changement climatique, agriculture et forêt en France : simulations d'impacts sur les principales espèces. Le Livre Vert du projet CLIMATOR (2007-2010). ADEME, 334 p.

MATHIEU V. (2011). Cycle de développement du pommier. L'influence des conditions climatiques. *Infos CTIFL*, 277 p., 34- 44.



Fin de la période de gel

🔑 Nature et source des données

SQR : série quotidienne de référence (Cf. lexique).
Données fournies par Météo France.

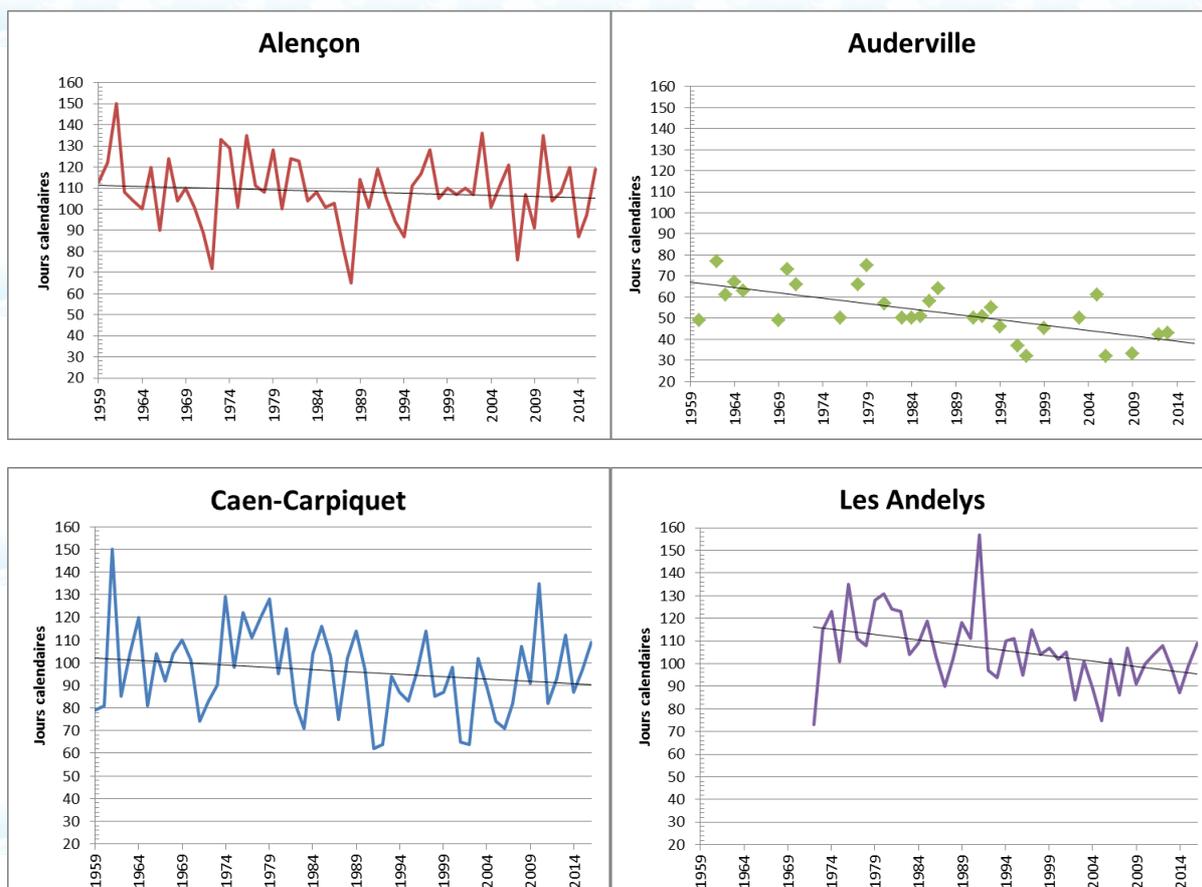
🕒 Indicateur

Stations : Caen-Carpiquet (14) ; Les Andelys (27) ; Auderville (50) ; Alençon (61) ; Fécamp (76).
Période observée : 1959 à 2016 sauf Les Andelys (1972-2016)

📊 Calcul de l'indicateur

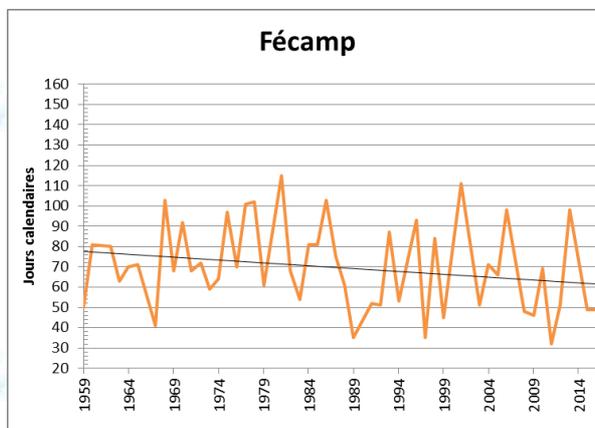
Identification du dernier jour de l'année, entre le 1^{er} février et le 30 juin de chaque année, où la température minimale journalière est inférieure ou égale à 0°C.

📈 Évolution observée





Fin de la période de gel



Analyse

Le tableau ci-dessous présente les évolutions tendancielle sur la période observée (par ajustement linéaire) :

	Tendance (jours/décennie)	Certitude de la tendance
Caen-Carpiquet	- 2	NS
Les Andelys	- 5	99%
Auderville	- 5	99,9%
Alençon	- 1	NS
Fécamp	- 3	NS
Moyenne 5 stations	- 3,2	

Pour les cinq stations étudiées la fin de la période de gel intervient de plus en plus tôt malgré d'importantes variabilités interannuelles qui rendent certaines tendances non significatives statistiquement. Cela concorde avec la diminution du nombre de jours de gel annuel (Cf. indicateur « Nombre de jours de gel par an »).

L'évolution tendancielle correspondant à l'ajustement linéaire montre que la date de la fin de la période de gel est passée du :

- 11 avril au 30 mars en 57 ans à Caen-Carpiquet (tendance non significative) ;
- 25 avril au 4 avril en 44 ans aux Andelys ;
- 7 mars au 17 février en 57 ans à Auderville ;
- 20 avril au 14 avril en 57 ans à Alençon (tendance non significative) ;
- 18 mars au 2 mars en 57 ans à Fécamp (tendance non significative).

Selon les localités la fin de la période de gel est plus ou moins modifiée : cela dépend des caractéristiques climatiques locales (axes Nord-Sud/Ouest-Est et effet littoral notamment), et topographiques.

Le projet CLIMATOR, indique que nous nous dirigeons vers un réchauffement des saisons printanières, estivales et automnales (BRISSON & LEVRAULT, 2010). On peut émettre l'hypothèse que le changement climatique entraîne une diminution des petites gelées présentes en début et en fin de période de gel, amenant une réduction de la période de gel qui se recentre sur l'hiver.



Fin de la période de gel

La variabilité inter annuelle restant forte, des gelées tardives peuvent intervenir. Les plantes ayant un développement plus précoce, de par le réchauffement des saisons printanières se trouveront donc toujours sujettes au risque de gel printanier (DUBREUIL et al., 2012).

Les conséquences de la réduction de la période de fin de gel sur les productions agricoles régionales doivent être examinées au cas par cas : action du froid sur la production végétale, décalages phénologiques des cultures liées à l'élévation tendancielle de la température...

A RETENIR

La fin de la période de gel annuel a diminuée en Normandie de 1 à 5 jours par décennie au cours de ces 50 dernières années. Le niveau de cette évolution est dépendant du climat local.

Les impacts de ces changements sur les productions agricoles doivent être étudiés au cas par cas pour cibler les périodes sensibles.

Cet indicateur ne permet pas de mesurer l'intensité du gel. Une quantification des températures minimales sur la période de fin de gel permettrait de rendre compte des risques réels encourus par les cultures.

Pour aller plus loin : En connaissant la période de début de gel, la durée de gel pourrait être calculée. Elle permettrait notamment de faire des analyses sur la vernalisation (dormance). En connaissant l'intensité du gel en fin de période, cela permettrait de rendre compte des risques réels encourus par les cultures.



Pour en savoir plus

BRISSON N., LEVRAULT F. (2010). Changement climatique, agriculture et forêt en France : simulations d'impacts sur les principales espèces. Le Livre Vert du projet CLIMATOR (2007-2010). ADEME, 334 p.

DUBREUIL V., BONNARDOT V., QUÉNOL H., BIGOT S., HUARD F., DEQUE M. ; 2012 : Le climat de la France de l'Ouest au XXIème siècle : que disent les modèles ? In MÉROT Ph., DUBREUIL V., DELAHAYE D., DESNOS Ph.: Changement climatique dans l'Ouest, Presses Universitaires de Rennes, chap. 4, 57-72.



Cumul annuel des précipitations

🔑 Nature et source des données

Séries Homogénéisées (Cf. lexique)
Données fournies par Météo France.



Indicateur

Stations : Caen-Carpiquet (14), Les Andelys (27), Auderville (50), Alençon (61), Fécamp (76).
Période observée : 1959 à 2015

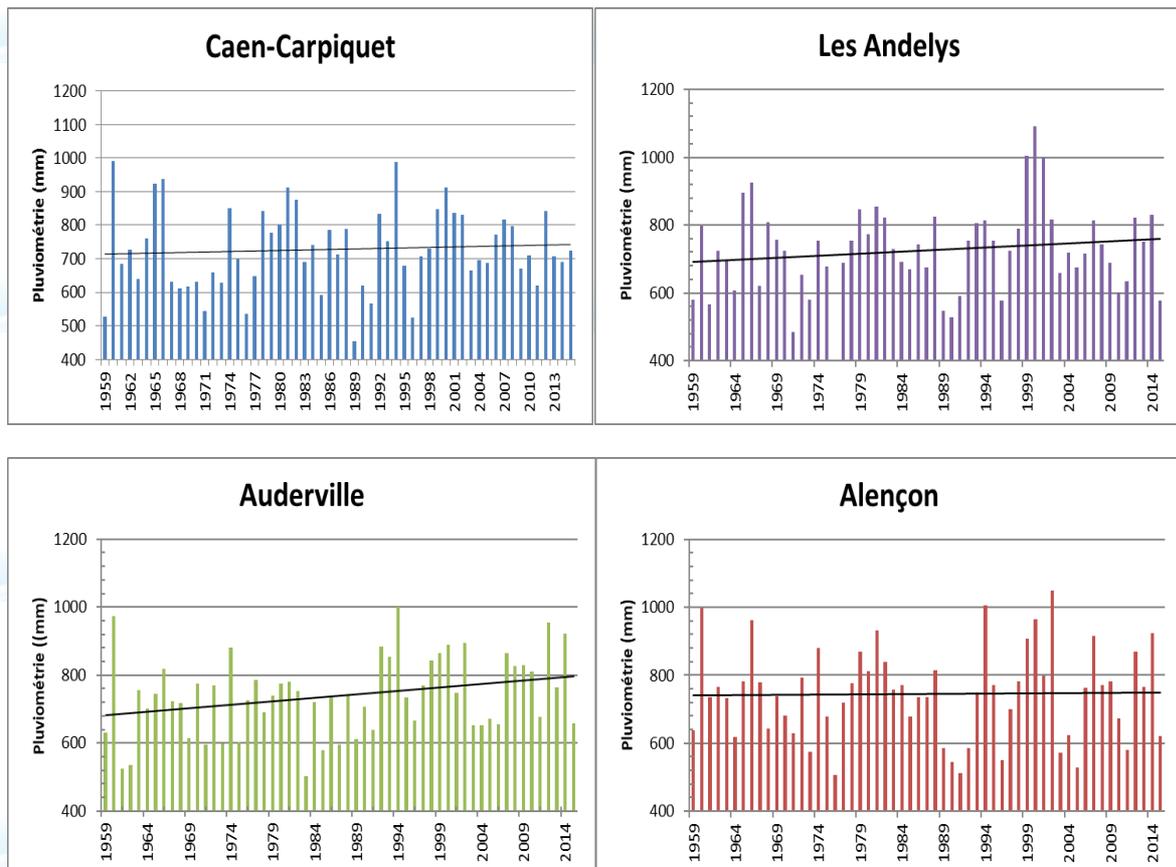


Calcul de l'indicateur

Cumul sur l'année des précipitations journalières.

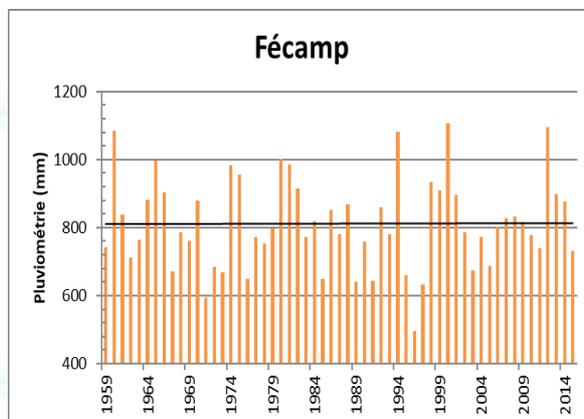


Évolution observée





Cumul annuel des précipitations



Analyse

Le tableau ci-dessous présente les évolutions tendancielle pour les stations observées (par ajustement linéaire) :

	Tendance (mm/décennie)	Certitude de la tendance
Caen-Carpiquet	+ 5,1	NS
Les Andelys	+ 12,4	NS
Auderville	+ 20,5	95%
Alençon	+ 1,3	NS
Fécamp	+ 0,4	NS
Moyenne 5 stations	+7,9	

Il ressort que quatre des cinq séries analysées ne présentent pas d'évolution significative du cumul annuel des précipitations. Seule la station d'Auderville (+114,8 mm en tendance en 56 ans) montre un accroissement significatif. Ces évolutions illustrent à la fois l'absence de tendance générale à l'accroissement en Normandie et l'hétérogénéité spatiale pour cet indicateur.

Cette absence de tendance significative s'explique en partie par les très fortes disparités saisonnières, mensuelles et interannuelles (DUBREUIL et al., 2012). En raison d'une forte variabilité inter décennale, des tendances différentes peuvent être discernées sur des périodes plus courtes, ou même seulement légèrement différentes, car elles sont fortement dépendantes de la période à laquelle elles sont calculées (GIBELIN, 2015).

Cette situation se distingue de celle observée pour les températures, dont les tendances sont à la hausse et nettement plus homogènes spatialement.

A l'échelle de la France, la tendance depuis 1960 pour le cumul annuel des précipitations est :

- à la baisse sur le pourtour méditerranéen et dans quelques zones du Sud-Ouest (MOISSELIN, 2002) ;
- à la hausse dans une partie de la moitié Nord (MOISSELIN, 2002) ;
- stable ailleurs, la Normandie étant globalement dans ce cas de figure (GIBELIN, 2015).



Cumul annuel des précipitations

A RETENIR

Hormis la station d'Auderville qui présente une hausse significative, aucune autre tendance ne peut être dégagée. Cela illustre une absence de tendance générale en Normandie et une hétérogénéité spatiale pour cet indicateur (contrairement aux températures).

Cette non significativité s'explique par des fortes variabilités mensuelles et saisonnières, c'est pourquoi il est nécessaire d'étudier également l'évolution des précipitations saisonnières. De plus, des tendances différentes sur des périodes plus courtes voire diverses peuvent apparaître en raison de la variabilité inter décennale.

Pour aller plus loin : Les résultats ne renseignent pas sur les disparités saisonnières (Cf. indicateur « Cumul saisonnier des précipitations »). D'autres indicateurs peuvent être également rendre compte de l'évolution des périodes à risques (ennoisement, sécheresse) et à besoins pour les cultures (Cf. indicateurs « Episodes pluvieux intenses », « Nombre de jours potentiellement disponibles pour la récolte des céréales » et « Nombre de jours potentiellement disponibles pour le fanage »).



Pour en savoir plus

DUBREUIL V., BONNARDOT V., QUÉNOL H., BIGOT S., HUARD F., DEQUE M. (2012). Le climat de la France de l'Ouest au XXIème siècle : que disent les modèles ? In MÉROT Ph., DUBREUIL V., DELAHAYE D., DESNOS Ph.: Changement climatique dans l'Ouest, Presses Universitaires de Rennes, chap. 4, 57-72.

DUBREUIL, V., PLANCHON, O., LAMY, C., BONNARDOT, V., QUÉNOL, H. (2012). Le changement climatique dans la France de l'Ouest : observations et tendances. In MÉROT, Ph., DUBREUIL, V., DELAHAYE, D., DESNOS, Ph.: Changement climatique dans l'Ouest, Presses Universitaires de Rennes, chap. 1, 19-30.

GIBELIN A-L. (2015). Evolution du climat passé en France métropolitaine depuis les années 50. METEO FRANCE.

MOISSELIN J-M., SCHNEIDER M., CANELLAS C., MESTRE O. (2002). Les changements climatiques en France au XXème siècle : étude des longues séries homogénéisées de données de température et de précipitations. La Météorologie, n°38, 45-57.

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

OUZEAU G. et al (2014) Le climat de la France au XXIème siècle. Volume 4, Scénarios régionalisés : édition 2014 pour la métropole et les régions d'outre-mer. MEDE, 62 p.



Cumul saisonnier des précipitations

🔑 Nature et source des données

Séries Homogénéisées (Cf. lexique).
Données fournies par Météo France

🕒 Indicateur

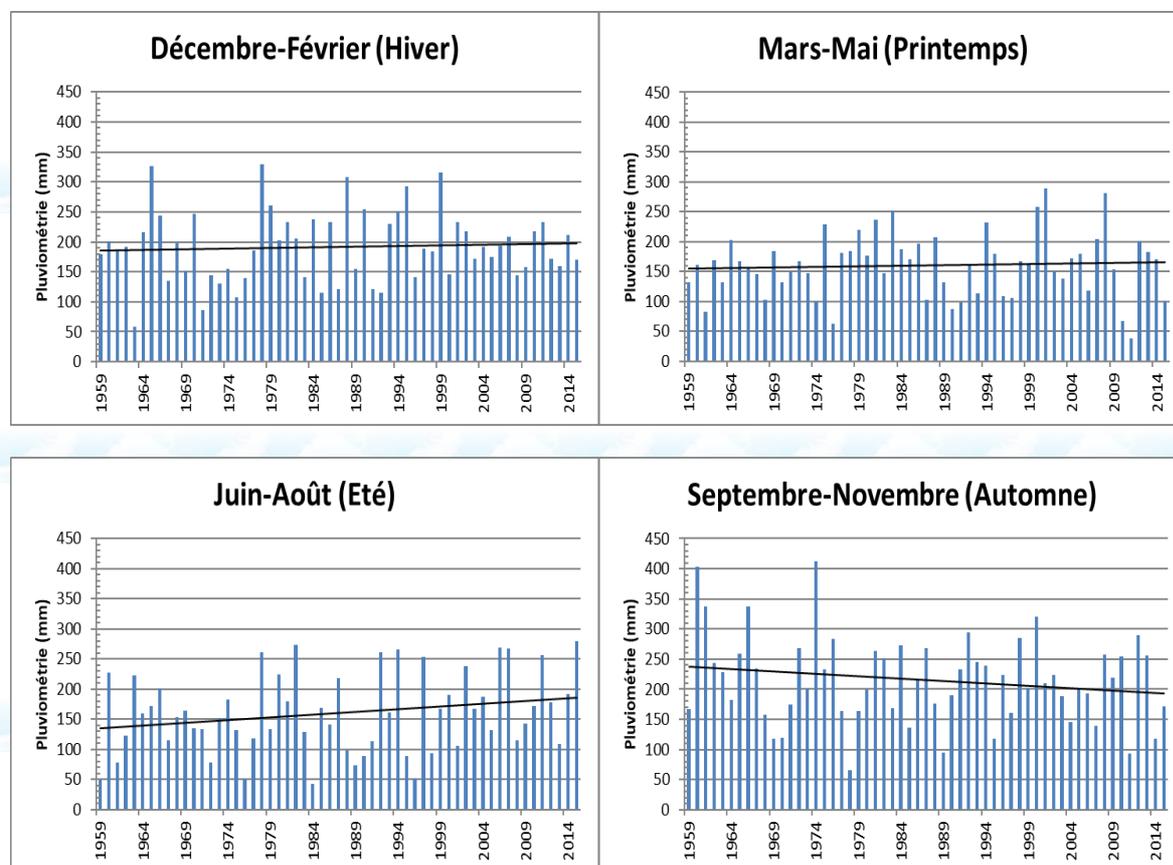
Stations : Caen-Carpiquet (14), Les Andelys (27), Auderville (50), Alençon (61), Fécamp (76).
Période observée : 1959 à 2015

📊 Calcul de l'indicateur

Cumul sur trois mois des précipitations journalières (saisons définies au sens climatologique) :
Décembre à Février (Hiver), Mars à Mai (Printemps), Juin à Août (Eté) et Septembre à Novembre (Automne).

📈 Évolution observée

Les graphiques ci-dessous montrent l'évolution observée pour la station de Caen-Carpiquet.





Cumul saisonnier des précipitations

Analyse

L'évolution tendancielle correspondant à l'ajustement linéaire pour la station de Caen-Carpique est de :

- +2,3 mm par décennie en Hiver, soit +12,9 mm en 56 ans (non significatif) ;
- +1,8 mm par décennie au Printemps, soit +10 mm en 56 ans (non significatif) ;
- +9,2 mm par décennie en Été, soit +51,5 mm en 56 ans ;
- -8,2 mm par décennie en Automne, soit -45,9 mm en 56 ans (non significatif).

Seule la hausse du cumul des précipitations en été est significative pendant la période considérée (1959-2015). Cette hétérogénéité temporelle reflète les variabilités observées pour le cumul annuel des précipitations (Cf. Indicateur « Cumul annuel des précipitations »).

Le tableau ci-dessous présente l'évolution tendancielle du cumul saisonnier des précipitations pour 5 stations (par ajustement linéaire) :

	Décembre-Février (Hiver)		Mars-Mai (Printemps)		Juin-Août (Été)		Septembre-Novembre (Automne)	
	Tendance (mm/décennie)	Certitude de la tendance	Tendance (mm/décennie)	Certitude de la tendance	Tendance (mm/décennie)	Certitude de la tendance	Tendance (mm/décennie)	Certitude de la tendance
Caen-Carpique	+ 2,3	NS	+ 1,8	NS	+ 9,2	90%	- 8,2	NS
Les Andelys	+ 6,3	NS	+ 1,3	NS	+ 5,7	NS	- 0,9	NS
Auderville	+ 12,0	95%	- 1,2	NS	+ 6,2	NS	+ 3,4	NS
Alençon	+ 1,9	NS	- 0,4	NS	+ 7,6	NS	- 7,9	NS
Fécamp	+ 4,4	NS	- 1,9	NS	+ 3,7	NS	- 5,8	NS
Moyenne Normandie	+ 5,4		- 0,08		+ 6,48		- 3,88	

Le cumul des précipitations saisonnières des stations des Andelys, Auderville, Alençon et Fécamp présente des tendances différentes de Caen-Carpique.

En effet, sur les vingt cas de figure analysés, soit 5 stations pour chacune des 4 saisons, 18 résultats non significatifs sont obtenus. Dans l'ensemble, il n'y a donc pas d'évolution significative des précipitations saisonnières pour les 5 stations normandes étudiées.

Mais les stations de Caen-Carpique en été et d'Auderville en hiver présentent des augmentations statistiquement significatives, ce qui montre la relative hétérogénéité spatiale de l'évolution du cumul annuel des pluies. Trois stations sont donc marquées par l'absence d'évolution significative.

L'évolution non significative constatée du cumul annuel des précipitations (Cf. indicateur « Cumul annuel des précipitations ») est donc la résultante d'évolutions non significatives sur l'ensemble des quatre saisons (Les Andelys, Alençon, Fécamp) ou de saisons à tendances inverses qui se compensent (Caen-Carpique).

En France métropolitaine, il semblerait que l'hiver soit la saison la plus marquée par l'augmentation des pluies, mais avec seulement un tiers des stations qui soient significatives. C'est la variabilité interannuelle forte qui empêche de conclure de façon tranchée sur l'évolution des précipitations saisonnières (MOISSELIN et al., 2002). La tendance est similaire pour le Grand Ouest (DUBREUIL et al, 2012.).



Cumul saisonnier des précipitations

Compte-tenu des incertitudes actuelles sur l'évolution du cumul des précipitations, il est difficile d'établir des projections climatiques fiables pouvant anticiper quels seraient le volume et la répartition des précipitations. Par exemple le projet CLIMATOR prévoit, pour la seconde moitié du XXIème siècle, une baisse des précipitations printanières et estivales, ce qui est l'opposé des constatations actuelles. L'absence de tendances fiables sur ce paramètre climatique ne permet pas d'anticiper les conditions hydriques futures et donc le besoin en eau des cultures tout au long de leur cycle. Dans le cas d'une baisse du volume de pluies au printemps et en été, les besoins en irrigation se trouveraient accrus, ce qui pourrait amener à une réflexion plus large sur la capacité des ressources en eau à satisfaire tous les usages de façon suffisante et notamment l'irrigation (BRISSON & LEVRAULT, 2010).

A RETENIR

Depuis 1959 il n'y a globalement pas d'évolution significative des précipitations saisonnières dans les cinq stations étudiées.

Seules les hausses du cumul des précipitations estivales à Caen-Carpiquet et hivernales à Auderville sont significatives, sinon aucune tendance n'est observée. Cela montre la forte hétérogénéité spatiale et temporelle de ce paramètre climatique.

La tendance non significative du cumul annuel des pluies est due à l'absence d'évolution significative pour toutes les saisons, ou à des tendances inverses se compensant.

Pour aller plus loin : Il s'agit ici de cumuls trimestriels de précipitations, qui ne décrivent pas de façon complète les « modalités » de ces précipitations tels que le nombre d'épisodes pluvieux, pluies intenses, nombre de jours consécutifs sans pluie... (Cf. indicateurs « Episodes pluvieux intenses », « Nombre de jours potentiellement disponibles pour la récolte des céréales » et « Nombre de jours potentiellement disponibles pour le fanage »).



Pour en savoir plus

MOISSELIN J-M., SCHNEIDER M., CANELLAS C., MESTRE O. (2002) Les changements climatiques en France au XXème siècle : étude des longues séries homogénéisées de données de température et de précipitations. La Météorologie, n°38, 45-57.

DUBREUIL, V., PLANCHON, O., LAMY, C., BONNARDOT, V., QUÉNOL, H. (2012). Le changement climatique dans la France de l'Ouest : observations et tendances. In MÉROT, Ph., DUBREUIL, V., DELAHAYE, D., DESNOS, Ph.: Changement climatique dans l'Ouest, Presses Universitaires de Rennes, chap. 1, 19-30.

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



Cumul annuel d'Evapotranspiration Potentielle (ETP)

🔑 Nature et source des données

Chaîne de calcul SIM (Safran – Isba – Modcou) (Cf. lexique).
Données fournies par Météo France.

🕒 Indicateur

Echelle départementale : Calvados ; Eure ; Manche ; Orne ; Seine-Maritime
Période observée : 1959 à 2015

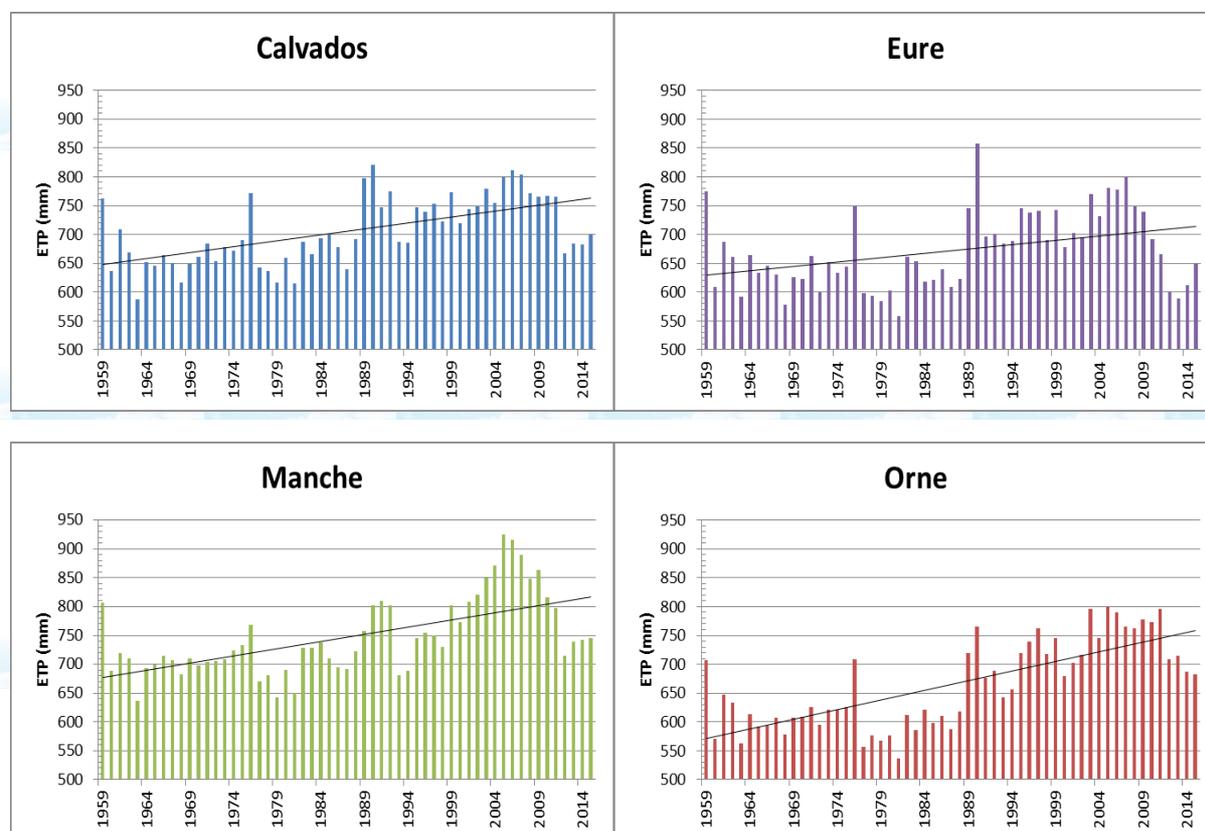
📊 Calcul de l'indicateur

Cumul sur l'année des évapotranspirations potentielles (ETP) journalières. Moyenne des résultats obtenus sur la totalité des points de grille SIM à l'intérieur de chaque département.

L'ETP est une valeur de référence qui représente la demande climatique. C'est la quantité maximale d'eau susceptible d'être évaporée par un couvert végétal bas, continu et homogène (gazon ras), bien alimenté en eau et sans limitation d'ordre nutritionnel, physiologique ou pathologique. Elle est la somme de l'évaporation du sol et de la transpiration de la végétation.

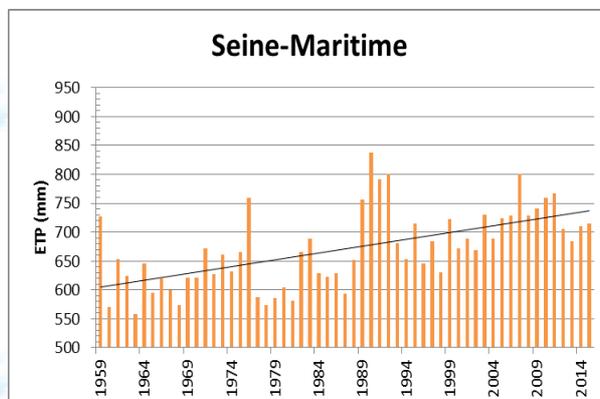
Vent, humidité de l'air, température et rayonnement sont donc pris en compte pour le calcul de l'ETP.

📈 Évolution observée





Cumul annuel d'Evapotranspiration Potentielle (ETP)



Analyse

Le tableau ci-dessous présente l'évolution tendancielle (par ajustement linéaire) du cumul annuel d'évapotranspiration pour les cinq départements normands :

	Tendance (mm/décennie)	Certitude de la tendance
Calvados	+ 20,5	99,9%
Eure	+ 14,8	99%
Manche	+ 21,6	99,9%
Orne	+ 33,2	99,9%
Seine-Maritime	+ 23,7	99,9%
En moyenne en Normandie	+ 22,7	

Sur la période étudiée, le cumul annuel d'ETP est en augmentation marquée sur l'ensemble de la région, ce qui résulte de l'augmentation des températures observées pour la même période (Cf. indicateur « Température moyenne annuelle »). En tendance, cet accroissement est compris entre 83 mm dans l'Eure et 185 mm dans l'Orne depuis 56 ans, mais ne renseigne pas sur la répartition de cette évolution à l'année.

L'ETP étant fortement liée au climat, et plus particulièrement aux températures, les départements maritimes Calvados, Manche et Seine-Maritime ont des tendances proches (+22 mm/décennie en moyenne), alors que l'Eure présente l'évolution la plus faible et l'Orne la hausse la plus importante de par sa position la plus continentale. Mais ces différences entre départements sont négligeables comparées au cumul annuel d'ETP (750 mm en moyenne de nos jours).

Pour l'ensemble des départements on peut noter que cette hausse est plus marquée à partir des années 1980-1990. Elle est à mettre en lien avec l'augmentation plus rapide des températures moyennes annuelles pendant la même période (Cf. indicateur « Température moyenne annuelle »).

Les résultats sont similaires à ceux du projet CLIMATOR qui indiquent une augmentation sensible de l'ETP dans un futur proche du même ordre de grandeur que l'évolution constatée via ORACLE (BRISSON & LEVRAULT, 2010).



Cumul annuel d'Évapotranspiration Potentielle (ETP)

L'accroissement constaté pourrait conduire à des conditions hydriques plus contraignantes pour la végétation, dans la mesure où le cumul annuel des précipitations n'évolue pas de manière significative. Ainsi le déficit hydrique climatique pourrait être plus important, et le confort hydrique, davantage compromis. La caractérisation de l'évolution de l'état hydrique des cultures des 50 dernières années nécessiterait le calcul de l'évapotranspiration réelle (quantité d'eau perdue par un couvert végétal sur un sol où l'eau peut être limitante) des plantes pendant leurs cycles culturaux.

A RETENIR

Entre 1959 et 2015, tous les départements normands présentent une hausse de leur évapotranspiration potentielle, bien que les variabilités spatiales et interannuelles existent.

L'augmentation plus marquée de l'évapotranspiration dans les années 1980-1990 est liée à l'évolution plus rapide de la température sur la même période.

Sans évolution des précipitations, ceci traduit un durcissement des conditions hydriques pour la végétation.

Pour aller plus loin : Cet indicateur ne renseigne pas des disparités saisonnières, qui font l'objet d'un indicateur spécifique (Cf. indicateur « Cumul saisonnier d'ETP »).

Pour caractériser plus précisément l'évolution de l'état hydrique des cultures, le calcul de l'évapotranspiration réelle des cultures pendant leur cycle pourrait être réalisé.



Pour en savoir plus

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



Cumul saisonnier d'Evapotranspiration Potentielle (ETP)

🔑 Nature et source des données

Chaîne de calcul SIM (Safran – Isba – Modcou) (Cf. lexique).
Données fournies par Météo France.

🕒 Indicateur

Echelle départementale : Calvados ; Eure ; Manche ; Orne ; Seine-Maritime
Période observée : 1959 à 2015

📊 Calcul de l'indicateur

Cumul sur trois mois des évapotranspirations (ETP) journalières (calendrier des climatologues) : Décembre à Février (Hiver), Mars à Mai (Printemps), Juin à Août (Été), Septembre à Novembre (Automne).

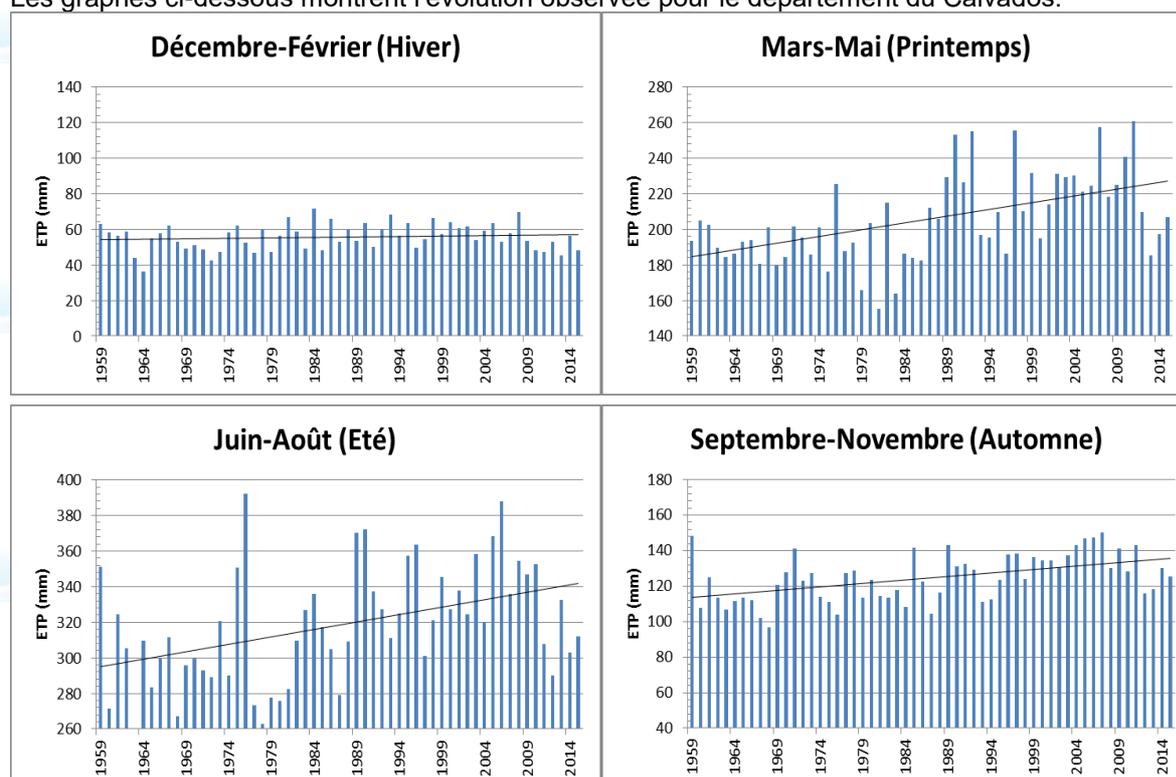
Moyenne des résultats obtenus sur la totalité des points de grille SIM à l'intérieur de chaque département.

L'ETP est une valeur de référence qui représente la demande climatique. C'est la quantité maximale d'eau susceptible d'être évaporée par un couvert végétal bas, continu et homogène (gazon ras), bien alimenté en eau et sans limitation d'ordre nutritionnel, physiologique ou pathologique. Elle est la somme de l'évaporation du sol et de la transpiration de la végétation.

Vent, humidité de l'air, température et rayonnement sont donc pris en compte pour le calcul de l'ETP.

📈 Évolution observée

Les graphes ci-dessous montrent l'évolution observée pour le département du Calvados.





Cumul saisonnier d'Évapotranspiration Potentielle (ETP)

Analyse

L'évolution tendancielle correspondant à l'ajustement linéaire pour le Calvados est de :

- +0,5 mm par décennie en Hiver, soit +2,8 mm en 56 ans (non significatif);
- +7,6 mm par décennie au Printemps, soit +42,6 mm en 56 ans ;
- +8,3 mm par décennie en Été, soit +46,5 mm en 56 ans ;
- +4 mm par décennie en Automne, soit +22,4 mm en 56 ans.

Pour le Calvados, le cumul d'évapotranspiration potentielle saisonnier augmente en tendance pendant la période considérée (1959-2015), mais de façon distincte selon la saison. Cette évolution a pour conséquence l'augmentation du cumul d'ETP annuel (Cf. indicateur « Cumul annuel d'évapotranspiration potentielle »).

L'évolution constatée est surtout marquée en été et au printemps, alors que l'augmentation du cumul d'ETP en hiver est très faible, voire non significative. Cette hétérogénéité est du même ordre que celle caractérisant les différences saisonnières d'augmentation des températures. À précipitations globalement inchangées, cela implique des conditions hydriques printanières et estivales devenant plus dures.

Le tableau ci-dessous présente l'évolution tendancielle du cumul de l'évapotranspiration potentielle saisonnière pour les cinq départements, en mm/décennie :

	Décembre-Février (Hiver)		Mars-Mai (Printemps)		Juin-Août (Été)		Septembre-Novembre (Automne)	
	Tendance (mm/décennie)	Certitude de la tendance	Tendance (mm/décennie)	Certitude de la tendance	Tendance (mm/décennie)	Certitude de la tendance	Tendance (mm/décennie)	Certitude de la tendance
Calvados	+ 0,5	NS	+ 7,6	99,9%	+ 8,3	99,9%	+ 4	99,9%
Eure	+ 1,4	95%	+ 5	99%	+ 5	90%	+ 3,2	99%
Manche	- 0,9	NS	+ 10,3	99,9%	+ 11,3	99,9%	+ 4	99%
Orne	+ 1,9	99,9%	+ 11,2	99,9%	+ 13	99,9%	+ 6,9	99,9%
Seine- Maritime	+ 2,8	99,9%	+ 7,9	99,9%	+ 7,4	99%	+ 5,5	99,9%
Moyenne Normandie	+ 1,1		+ 8,4		+ 9		+ 4,7	

L'analyse des cumuls saisonniers de l'ETP de l'Eure, de la Manche, de l'Orne et de la Seine-Maritime présente des résultats semblables à ceux observés dans le Calvados.

On peut noter des disparités interdépartementales avec des évolutions contrastées, qui expliquent les différences et tendances observées à l'année pour chaque département. Par exemple l'Eure est la région avec la hausse la plus lente au printemps, en été et en automne, alors que pendant les mêmes saisons, c'est l'Orne qui présente les évolutions les plus rapides (Cf. indicateur « Cumul annuel d'évapotranspiration potentielle »).

Les deux seules évolutions non significatives s'observent en hiver dans la Manche (baisse) et dans le Calvados (hausse), les 18 autres situations étant caractérisées par des augmentations significatives de l'ETP saisonnière.



Cumul saisonnier d'Evapotranspiration Potentielle (ETP)

A RETENIR

Depuis 1959, le cumul saisonnier d'ETP est en hausse pour toutes les saisons, l'été et le printemps affichant les augmentations saisonnières les plus marquées.

Compte tenu de la relative stabilité des précipitations, ces évolutions se traduisent par un durcissement des conditions hydriques printanières et estivales.

Pour aller plus loin : L'ETP représente une valeur maximale de référence servant à représenter la demande climatique mais qui ne tient pas compte du type de culture. Un indicateur basé sur l'évapotranspiration réelle (ETR) permettrait de caractériser plus précisément l'évolution de l'état hydrique des cultures au fur et à mesure des saisons.



Nombre de jours échaudants du 1^{er} Avril au 30 Juin

🔑 Nature et source des données

Séries Quotidiennes de Référence (Cf. lexique).

Données fournies par Météo France.

🕒 Indicateur

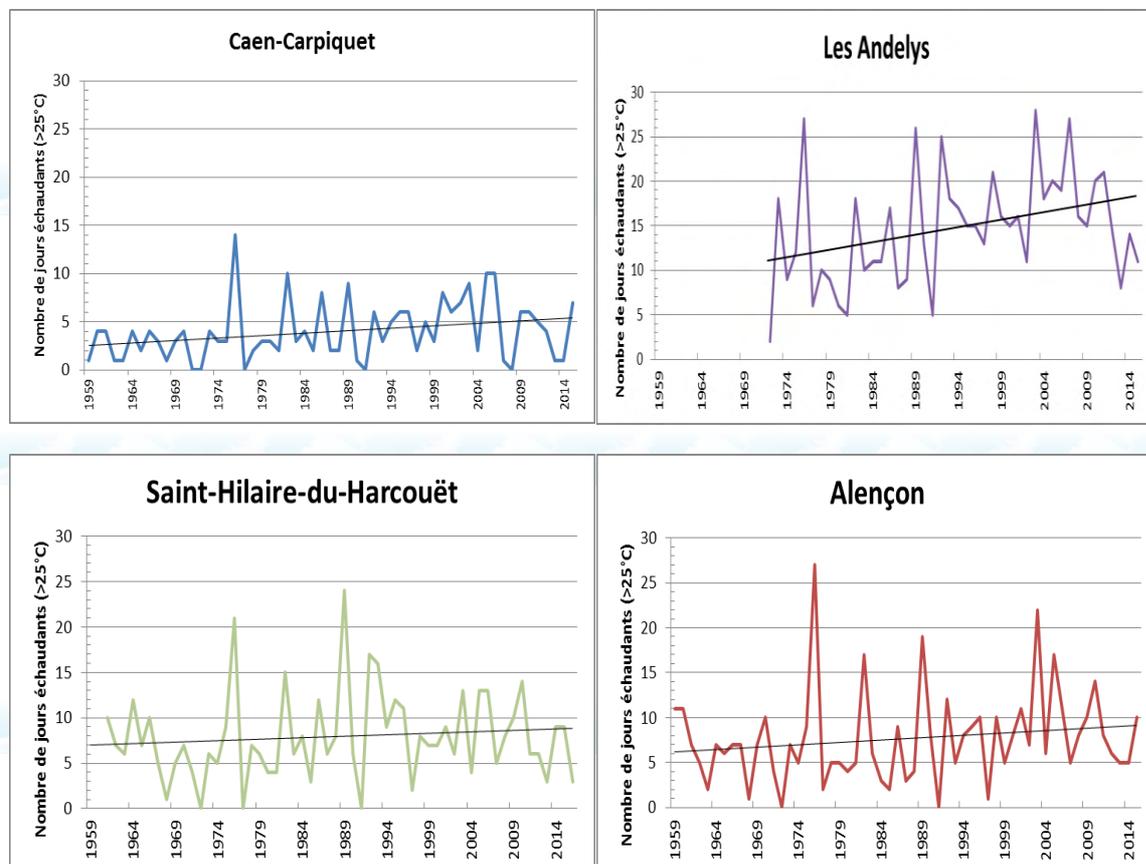
Stations : Caen-Carpique (14) ; Les Andelys (27) ; Saint-Hilaire-du-Harcouët (50) ; Alençon (61) ; Fécamp (76).

Période observée : 1959 à 2015 sauf Saint-Hilaire-du-Harcouët (1961-2016) et Les Andelys (1972-2015)

📊 Calcul de l'indicateur

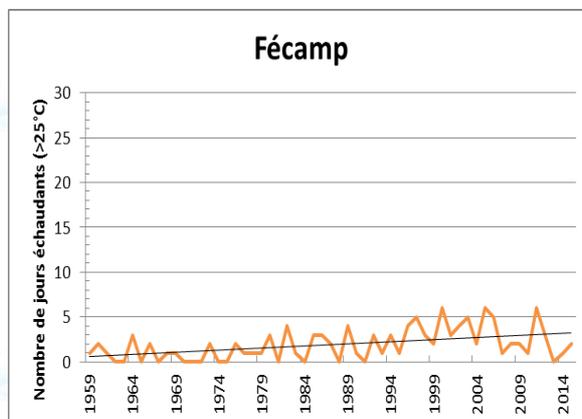
Dénombrement du nombre de jours où la température maximale journalière est supérieure ou égale à 25°C entre le 1^{er} Avril et le 30 Juin.

📈 Évolution observée





Nombre de jours échaudants du 1er Avril au 30 Juin



Analyse

Le tableau ci-dessous présente les évolutions tendancielle sur la période observée (par ajustement linéaire)

	Tendance (jours/décennie)	Certitude de la tendance
Caen-Carpiquet	+ 0,6	95%
Les Andelys	+ 1,7	99,9%
Saint-Hilaire-du-Harcouët	+ 0,3	NS
Alençon	+ 0,5	NS
Fécamp	+ 0,5	99,9%
Moyenne 5 stations	+ 0,7	

Seules trois des cinq stations présentent un accroissement du nombre de jours échaudant entre le 1^{er} avril et le 30 juin, ce qui montre l'hétérogénéité spatiale de l'indicateur. On observe de fortes variabilités interannuelles pour les stations de Saint-Hilaire-du-Harcouët et d'Alençon, ce qui peut expliquer que leurs évolutions ne soient pas statistiquement significatives.

Les hausses sont comparables à celles de l'indicateur climatique « Nombre de jours estivaux par an », bien que les évolutions soient plus faibles ici, ce qui laisse présager une augmentation des journées estivales plus importante en été, voire en automne, qu'au printemps.

Les céréales à paille (blé notamment) sont sensibles au phénomène "d'échaudage" thermique, accident de croissance des grains dû aux températures élevées. Il est admis que l'échaudage se manifeste à partir d'une température de 25°C (GATE, 1995). La température d'échaudage thermique pour le blé tendre est la même que celle des journées estivales (Cf. indicateur « Nombre de jours estivaux »). Malgré une variabilité interannuelle élevée, une tendance en hausse des jours échaudants au printemps s'affiche en Normandie, en accord avec les estimations du projet CLIMATOR qui annoncent une augmentation des ces jours entre Avril et Juin sur la France (BRISSEON *et al.*, 2010).

L'augmentation relative du nombre de jours échaudants a également un impact négatif sur la pousse de l'herbe. En effet, au-delà du seuil de 20°C, la pousse de l'herbe est ralentie. Cet effet peut entraîner des problèmes au niveau du pâturage par exemple.



Nombre de jours échaudants du 1^{er} Avril au 30 Juin

Les céréales à paille subissent plus de jours à risque en phase de remplissage des grains et devront certainement faire face à une hausse de ces jours avec le réchauffement annoncé. Pour pallier à ces changements, une stratégie d'esquive semble appropriée avec une réflexion autour des choix variétaux (notion de bouquet variétal) et des dates de semis. Néanmoins, des semis plus tôt en automne, pour éviter les risques de fin de cycle, peuvent être risqués en raison de gels tardifs printaniers, destructeurs au stade épi 1cm.

A RETENIR

Le nombre de jours échaudants augmente sur trois stations. Les tendances alertent tout de même sur les risques en phase de remplissage des grains notamment pour le blé, surtout à la vue des augmentations à venir.

Des adaptations telles que le choix variétal et des dates de semis plus précoces pourraient être envisagés après analyse des autres risques possibles au cours de la croissance et du développement (exemple du risque de gel au stade épi 1 cm).

L'effet climat joue beaucoup sur la significativité de la tendance en raison du climat océanique de la région (effet tampon sur la hausse des températures).



Pour en savoir plus

GATE P. ; 1995. Ecophysiologie du blé de la plante à la culture. Editions Lavoisier et ITCF. 429 pages.

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



Nombre de jours de gel du 1^{er} Mars au 30 Avril

🔑 Nature et source des données

Séries Quotidiennes de Référence (Cf. lexique).

Données fournies par Météo France.

🕒 Indicateur

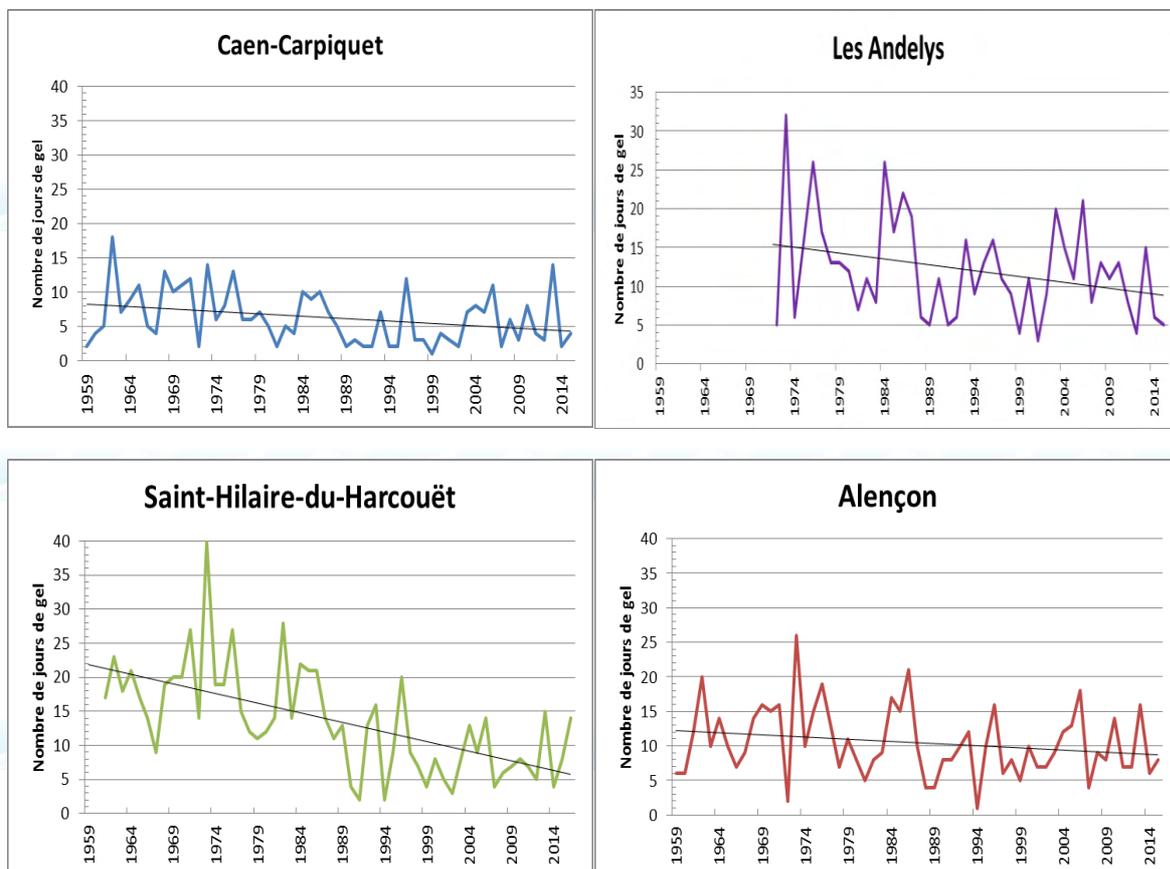
Stations : Caen-Carpiquet (14) ; Les Andelys (27) ; Saint-Hilaire-du-Harcouët (50) ; Alençon (61) ; Fécamp (76).

Période observée : 1959 à 2015 sauf Saint-Hilaire-du-Harcouët (1961-2016) et Les Andelys (1972-2015)

📊 Calcul de l'indicateur

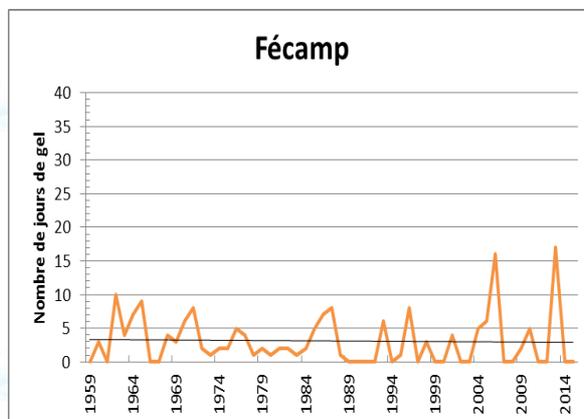
Dénombrement, du 1^e Mars au 30 Avril, des jours où la température minimale journalière est inférieure ou égale à 0°C.

📈 Évolution observée





Nombre de jours de gel du 1^{er} Mars au 30 Avril



Analyse

Le tableau ci-dessous présente les évolutions tendancielle (par ajustement linéaire) :

	Tendance (jours/décennie)	Certitude de la tendance
Caen-Carpiquet	- 0,7	95%
Les Andelys	- 1,5	95%
Saint-Hilaire-du-Harcouët	- 2,8	99,9%
Alençon	- 0,6	NS
Fécamp	0	NS
Moyenne 5 stations	- 1,1	

On observe une diminution significative du nombre de jours de gel entre le 1^{er} mars et le 30 avril pour 3 stations sur 5 : Caen-Carpiquet, Les Andelys et Saint-Hilaire-du-Harcouët, ce qui est cohérent avec l'augmentation des températures moyennes printanières (Cf. Indicateur « Température moyenne saisonnière ») et la diminution du nombre de jours de gel annuel (Cf. Indicateur « Nombre de jours de gel par an »).

Les évolutions constatées aux stations d'Alençon et de Fécamp ne sont pas statistiquement significatives.

Ainsi, les tendances observées par ajustement linéaire sur l'ensemble de la période sont de :

- - 3,9 jours de gel à Caen-Carpiquet en 56 ans ;
- - 6,5 jours de gel aux Andelys en 43 ans ;
- - 15,4 jours de gel à Saint-Hilaire-du-Harcouët en 55 ans ;
- - 3,4 jours de gel à Alençon en 56 ans (tendance non significative) ;
- stabilité du nombre de jours de gel à Fécamp en 56 ans (tendance non significative).

On retrouve l'effet tampon du littoral avec des diminutions du nombre de jours de gel de plus en plus importantes à mesure de l'avancée dans les terres. La tendance observée à Saint-Hilaire-du-Harcouët est à relativiser car il ne s'agit pas de données homogénéisées donc les valeurs brutes peuvent être plus ou moins exactes. En revanche une tendance à la baisse est effectivement visible.



Nombre de jours de gel du 1^{er} Mars au 30 Avril

Malgré la raréfaction du nombre de jours de gel de mars à avril, la variation interannuelle de ce facteur fait que cette période de l'année reste sujette à des risques de gel.

La période du 1^{er} mars au 30 avril correspond à la période de réveil de la végétation de plusieurs cultures arboricoles et de la plantation des cultures de printemps. C'est une phase où les végétaux développent des organes plus sensibles aux froides températures. Cela correspond par exemple à la période de débourrement et de début de floraison des pommiers (Cf. indicateur « Date de début de floraison du pommier ») (Mathieu, 2011). Le gel est également une problématique pour la culture du maïs qui est une plante sensible aux basses températures, de par son origine tropicale (Arvalis, 2016).

Les plantes ayant un développement plus précoce en raison du réchauffement global du climat se trouveront alors davantage sujettes au risque de gel printanier, malgré la diminution du nombre de jours à risque (Dubreuil et al., 2012).

A RETENIR

Le nombre de jours de gel du 1^{er} mars au 30 avril a diminué, ce qui cohérent avec l'augmentation constatée des températures (Cf. Indicateur « Température moyenne annuelle ») et la diminution du nombre annuel de jours de gel (Cf. Indicateur « Nombre de jours de gel par an »).

Malgré tout, l'avancée des stades phénologiques des cultures et les variabilités interannuelles importantes accentuent la problématique du gel pour les cultures de printemps et l'arboriculture.



POUR EN SAVOIR PLUS

MATHIEU V. (2011). Cycle de développement du pommier. L'influence des conditions climatiques. *Infos CTIFL* (277), 34- 44.

ARVALIS. (2016). Gel, de la levée à 8-10 feuilles. Les fiches accidents Maïs. (Disponible sur http://www.fiches.arvalis-infos.fr/fiche_accident/fiches_accidents.php?mode=fa&type_cul=3&type_acc=5&id_acc=154).

DUBREUIL V., BONNARDOT V., QUÉNOL H., BIGOT S., HUARD F., DEQUE M. ; 2012 : Le climat de la France de l'Ouest au XXI^{ème} siècle : que disent les modèles ? In MÉROT Ph., DUBREUIL V., DELAHAYE D., DESNOS Ph.: *Changement climatique dans l'Ouest*, Presses Universitaires de Rennes, chap. 4, 57-72.



Déficit hydrique climatique du 1^{er} Avril au 30 Septembre

🔑 Nature et source des données

Séries Quotidiennes de Référence (Cf. lexique).
Données fournies par Météo France.

🕒 Indicateur

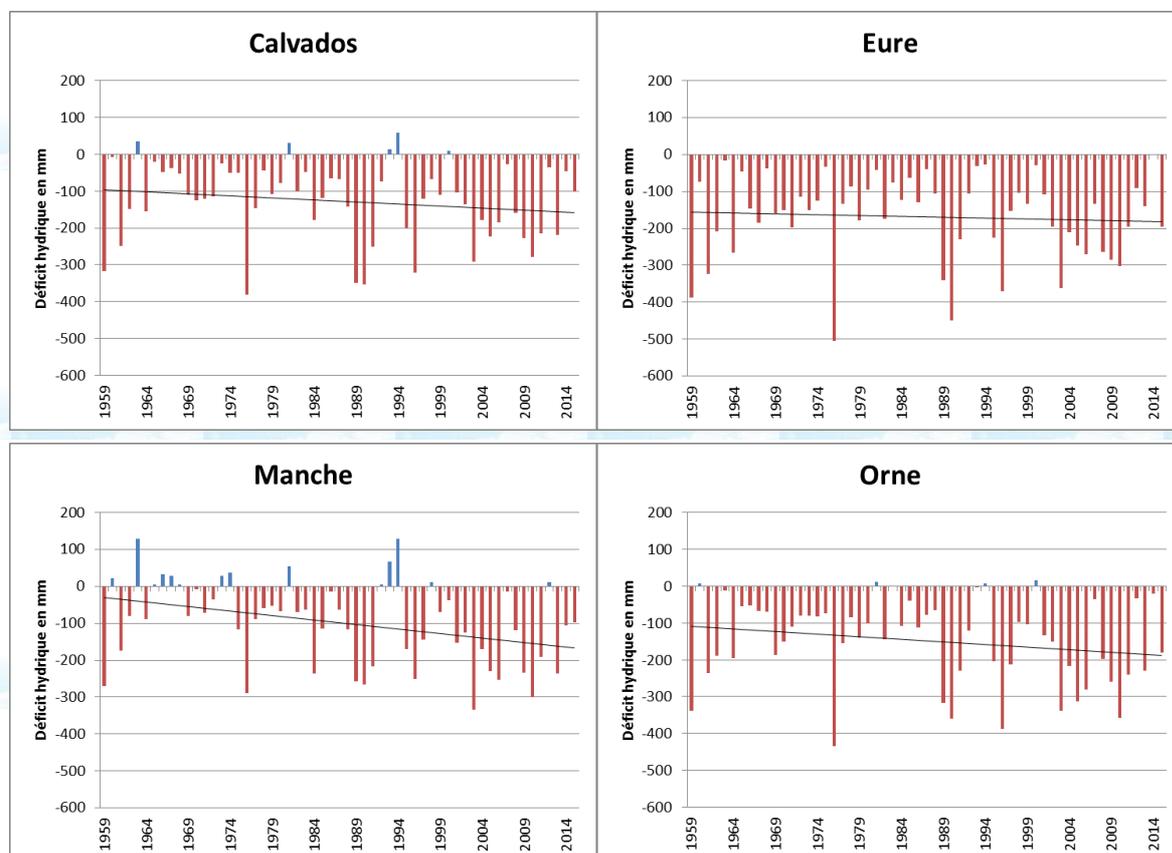
Echelle départementale : Calvados ; Eure ; Manche ; Orne ; Seine-Maritime
Période observée : 1959 à 2016.

📊 Calcul de l'indicateur

Cumul journalier de (Pluies - EvapoTranspiration Potentielle) du 1^{er} Avril au 30 Septembre.

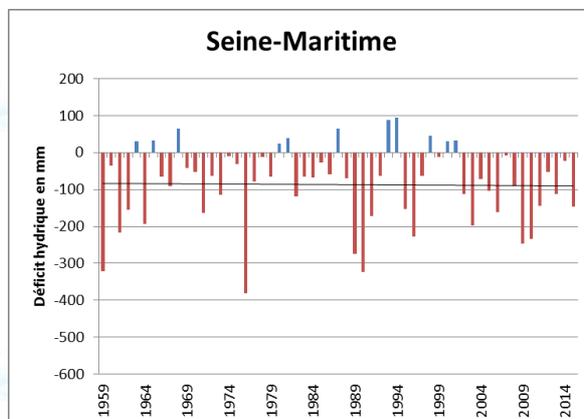
La différence entre les précipitations et l'évapotranspiration potentielle constitue une appréciation du degré d'aridité du climat. La transpiration étant le moteur du transport de l'eau dans les végétaux, si l'évapotranspiration de la plante est supérieure à la ressource en eau au niveau des racines, alors la plante est en manque d'eau. Le déficit hydrique représente le bilan hydrique théorique d'une plante, mais ne retranscrit que les conditions hydriques atmosphériques et ne tient pas compte des spécificités du sol et des caractéristiques physiologiques de la plante (Durand, 2007).

📈 Évolution observée





Déficit hydrique climatique du 1^{er} Avril au 30 Septembre



Analyse

Le tableau ci-dessous présente les évolutions tendancielle sur la période observée (par ajustement linéaire) :

	Tendance (mm/décennie)	Certitude de la tendance
Calvados	- 11 mm	NS
Eure	- 4,6 mm	NS
Manche	- 24,5 mm	99%
Orne	- 14,1 mm	NS
Seine Maritime	- 1,5 mm	NS
En moyenne en Normandie	- 11,1 mm	

Ainsi, les tendances observées par ajustement linéaire sur l'ensemble de la période sont de :

- -62,3 mm dans le Calvados en 57 ans (tendance non significative) ;
- -26 mm dans l'Eure en 57 ans (tendance non significative) ;
- -139,4 mm dans la Manche en 57 ans ;
- -80,5 mm dans l'Orne en 57 ans (tendance non significative) ;
- - 8,3 mm en Seine-Maritime en 57 ans (tendance non significative).

Les résultats montrent que quatre des cinq séries analysées ne présentent pas d'évolution significative du déficit hydrique entre le 1^{er} avril et le 30 septembre. Seul le département de la Manche subit un net accroissement du déficit hydrique pendant cette période, ce qui montre un durcissement des conditions hydriques pendant la période de croissance des cultures. L'observation des données montre tout de même une tendance à la hausse plus marquée en ex Basse-Normandie et une situation plus stable en ex Haute-Normandie sur la période. La variabilité interannuelle est très marquée, ce qui masque plus ou moins la tendance d'évolution, mais révèle des périodes de croissance végétative très variées sur le plan hydrique. Ceci est à mettre en lien avec les fortes hétérogénéités observées pour le cumul des précipitations.

Cette tendance n'est donc pas marquée pour toutes les stations, bien qu'elle soit en accord avec l'augmentation de l'évapotranspiration potentielle observée pour l'ensemble des départements (Cf. Indicateur « Cumul saisonnier d'évapotranspiration potentielle ») et la faible évolution du cumul des précipitations (Cf. Indicateur « Cumul saisonnier des précipitations »).



Déficit hydrique climatique du 1^{er} Avril au 30 Septembre

Ainsi on peut présager que l'augmentation du déficit hydrique est essentiellement due à la hausse de l'évapotranspiration potentielle, liée à l'augmentation des températures, et à la relative stabilité des précipitations (tendance non significative). Cette hypothèse est identique aux évolutions envisagées d'ici 2050 par les modélisations (BRISSON & LEVRAULT, 2010).

Du fait de la grande sensibilité des plantes au déficit hydrique, son augmentation constitue un réel frein au processus de production, surtout dans la mesure où la morphogénèse des feuilles et des tiges, l'absorption et la fixation symbiotique de l'azote sont les processus les plus sensibles des végétaux. En plus d'avoir des incidences sur la quantité de production, la qualité de celle-ci est également affectée, de façon positive (hausse de la teneur en sucres solubles) ou négative (chute de la teneur en azote). Mais les conséquences sur les végétaux restent variées selon les espèces et leurs capacités d'adaptation aux conditions sèches (DURAND, 2007).

Par exemple, les besoins en eau du pommier sont de 600 à 700 mm du débourrement à la chute des feuilles (BRETAUDEAU, 1978) et les plus forts besoins ont lieu entre juillet et août. Selon Nathalie CORROYER, conseillère cidricole à la Chambre d'agriculture, les vergers plantés en Normandie depuis quinze ans sont tous équipés d'un système d'irrigation. Face à cette augmentation du déficit hydrique, les besoins en irrigation vont augmenter, ces besoins dépendront des caractéristiques du sol (Réserve Utile).

Cette pression hydrique, surtout si elle est maintenue tout au long du cycle de croissance, pose de réelles contraintes de production pour l'avenir. L'irrigation peut donc être vue comme une solution tamponnant les effets du durcissement des conditions hydriques. La problématique des ressources en eau disponibles pour l'irrigation devrait faire l'objet d'une étude.

A RETENIR

Le déficit hydrique est tendanciellement en augmentation du 1^{er} avril au 30 septembre, mais de façon significative uniquement dans la Manche, en raison des fortes variabilités interannuelles des autres départements.

Cette augmentation est due à la hausse de l'ETP, (les précipitations n'évoluant pas) induisant un durcissement des conditions hydriques pendant la période de croissance des cultures.

Pour aller plus loin :

Pour connaître l'évolution réelle de l'état hydrique des plantes, il faudrait compléter cette analyse par des indicateurs représentant la ressource en eau du sol.



Pour en savoir plus

DURAND J. L. (2007). Les effets déficit hydrique sur la plante : aspects physiologiques. *Fourrages*(190). 181-195

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

BRETAUDEAU J., FAURE Y. (1978). Atlas d'arboriculture fruitière: Vol.2: Les arbres fruitiers à pépins, Tec & Doc. 207p.



Pluies efficaces (= infiltration + ruissellement)

🔑 Nature et source des données

Chaîne de calcul SIM (Safran – Isba – Modcou) (Cf. lexique).
Données fournies par Météo France.

🕒 Indicateur

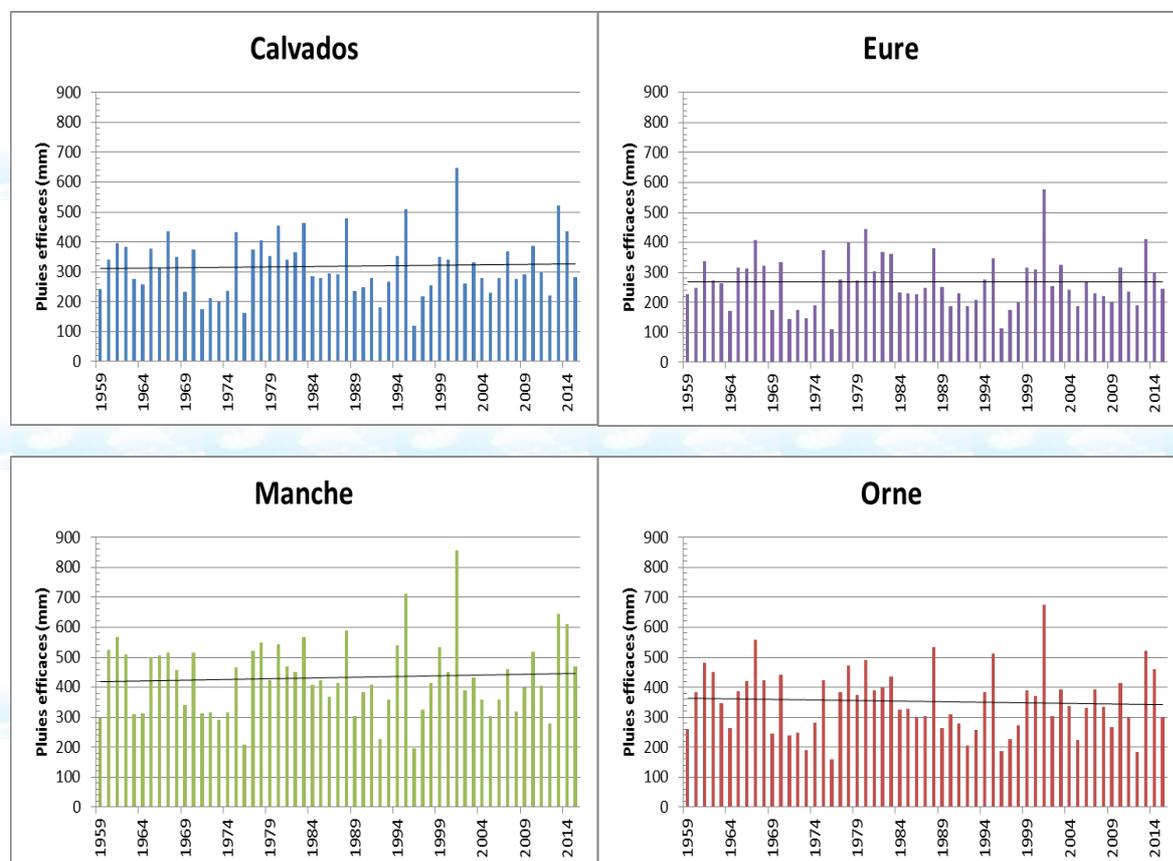
Echelle départementale : Calvados ; Eure ; Manche ; Orne ; Seine-Maritime
Période observée : 1959 à 2015

📊 Calcul de l'indicateur

Pluies efficaces (=infiltration + ruissellement) cumulées du 1^{er} Octobre au 31 Mars calculées par la chaîne SIM (Cf. lexique).

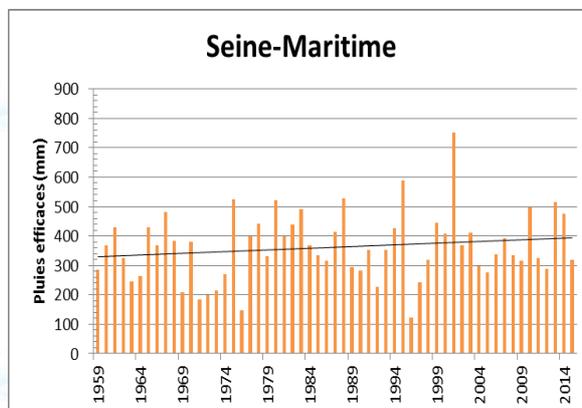
Les pluies efficaces représentent la fraction des précipitations entrant dans le système hydrique par l'infiltration vers les nappes souterraines et le ruissellement au sol. La période du 1^{er} octobre au 31 mars correspond à la phase de recharge des eaux souterraines, en raison des pluies plus abondantes et des évapotranspirations réelles plus faibles.

📈 Évolution observée





Pluies efficaces (= infiltration + ruissellement)



Analyse

Le tableau ci-dessous présente les évolutions tendancielle sur la période observée (par ajustement linéaire) :

	Tendance (mm/décennie)	Certitude de la tendance
Calvados	+ 2,9	NS
Eure	- 0,2	NS
Manche	+ 5,3	NS
Orne	- 3,8	NS
Seine-Maritime	+ 11,4	NS
En moyenne en Normandie	+ 3,1	

L'évolution tendancielle par ajustement linéaire sur l'ensemble de la période est de :

- +16,2 mm dans le Calvados en 56 ans (tendance non significative) ;
- -1 mm dans l'Eure en 56 ans (tendance non significative) ;
- +29,6 mm dans la Manche en 56 ans (tendance non significative) ;
- -21,3 mm dans l'Orne en 56 ans (tendance non significative) ;
- +63,9 en Seine-Maritime en 56 ans (tendance non significative).

La variabilité interannuelle, très marquée pour cet indicateur masque les évolutions et ainsi, aucune tendance significative ne peut être dégagée ni par département, ni pour la région. D'un point de vue climatique, l'étude des pluies efficaces montre la grande hétérogénéité spatiale régionale.

Théoriquement, l'augmentation d'ETP (Cf. Indicateur « Cumul saisonnier d'EvapoTranspiration Potentielle »), liée à la tendance (non significative) à la baisse des précipitations en automne (Cf. Indicateur « Cumul saisonnier des précipitations »), peut expliquer la diminution du volume des pluies efficaces. Au contraire, l'augmentation (non significative) des précipitations en hiver (Cf. Indicateur « Cumul saisonnier des précipitations ») pourrait expliquer l'augmentation du volume des pluies efficaces.



Pluies efficaces (= infiltration + ruissellement)

Mais toutes ces variabilités tendancielle ne permettent pas d'observer d'évolution régionale homogène, ni de conclure quant à l'origine de ces diverses évolutions. Elles traduisent surtout la grande hétérogénéité des précipitations, l'augmentation de l'ETP étant prouvée et favorisant la baisse des pluies efficaces.

A RETENIR

Les pluies efficaces calculées durant la période de recharge des aquifères (1^{er} octobre-31 mars) ne permettent pas de traduire de tendance régionale, compte tenu des fortes hétérogénéités d'évolution du cumul des précipitations.

Pour aller plus loin : Pour compléter cet indicateur, l'évolution de la recharge hivernale des nappes par la mesure du niveau piézométrique, via un indicateur sur la recharge hivernale des aquifères pourrait être élaboré.

Selon la tendance qui sera réellement mise en évidence à l'avenir, la question de la capacité des aquifères régionaux à subvenir aux différents besoins en eau nécessitera d'être abordée.



Episodes pluvieux intenses du 1^{er} Avril au 15 Novembre

🔑 Nature et source des données

Séries Quotidiennes de Référence (Cf. lexique).

Données fournies par Météo France.

🕒 Indicateurs

Echelle départementale : Calvados ; Eure ; Manche ; Orne ; Seine-Maritime

Période observée : 1959 à 2015

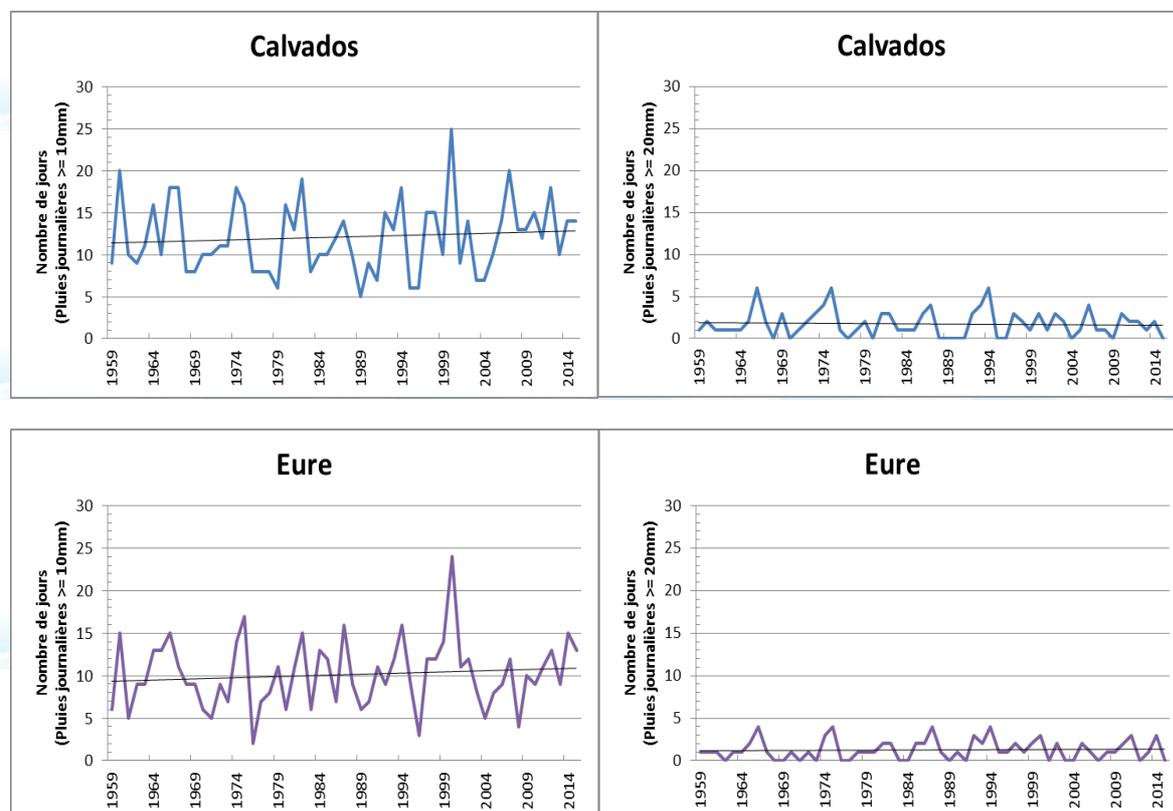
📊 Calcul des indicateurs

Nombre de jours où le cumul journalier des précipitations est supérieur ou égal à 10 mm du 1^{er} Avril au 15 Novembre.

Nombre de jours où le cumul journalier des précipitations est supérieur ou égal à 20 mm du 1^{er} Avril au 15 Novembre.

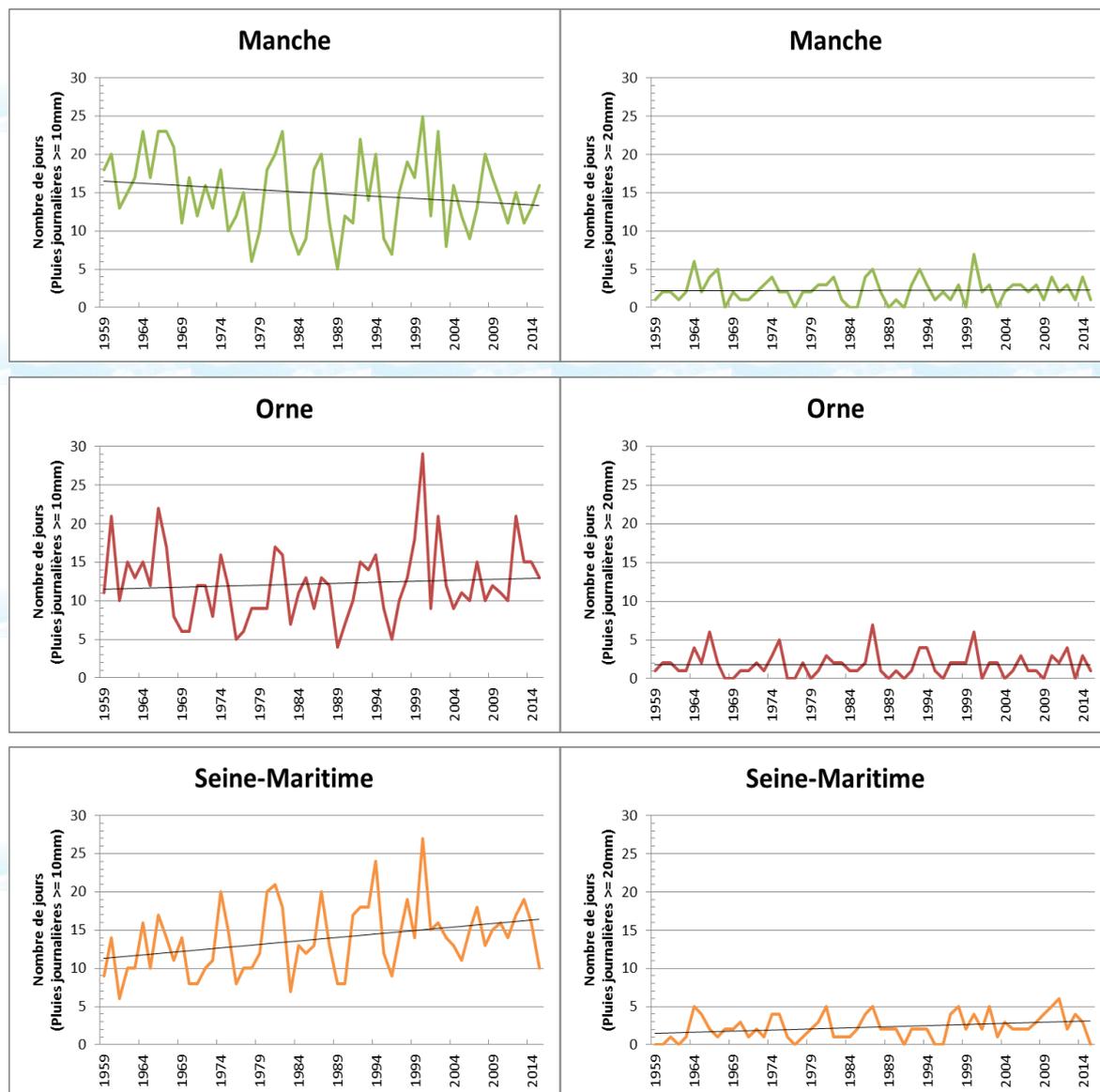
Cet indicateur ne permet pas en revanche de connaître l'intensité de ces précipitations journalières. Ainsi, un cumul journalier de 20 mm pourra être tombé en une heure, ou en quatre séquences de 5 mm séparées de plusieurs heures.

📈 Évolution observée





Episodes pluvieux intenses du 1^{er} Avril au 15 Novembre



Analyse

Le tableau ci-dessous présente les évolutions tendancielle (par ajustement linéaire) :

	Pluies >= 10 mm		Pluies >= 20 mm	
	Tendance (jour/décennie)	Certitude de la tendance	Tendance (jour/décennie)	Certitude de la tendance
Calvados	+ 0,3	NS	- 0,1	NS
Eure	+0,3	NS	+ 0,1	NS
Manche	- 0,6	NS	0	NS
Orne	+ 0,3	NS	0	NS
Seine-Maritime	+ 0,9	99%	+ 0,3	95%
En moyenne en Normandie	+ 0,2		+ 0,1	



Episodes pluvieux intenses du 1^{er} Avril au 15 Novembre

Pour les 10 cas de figure présentés, soit les 5 départements pour deux seuils de pluies, 8 résultats ne sont pas statistiquement significatifs. Donc dans l'ensemble, il n'y a pas d'évolution significative du nombre d'épisodes pluvieux intenses du 1^{er} avril au 15 novembre à l'échelle régionale, en raison des nombreuses variabilités interannuelles.

En revanche, quel que soit le seuil étudié, le nombre d'épisodes pluvieux intenses est significativement en augmentation pendant cette période en Seine-Maritime, ce qui montre l'hétérogénéité spatiale de cet indicateur. Dans ce département, la hausse du nombre de jour où les pluies dépassent 10 mm est trois fois plus élevée que pour des pluies supérieures à 20 mm.

Cette absence de tendance globale recoupe les informations données par les autres indicateurs traitant des précipitations, qui présentent peu d'évolutions significatives. L'évolution du nombre d'épisodes pluvieux intenses est donc hétérogène à l'échelle de la Normandie, ne permettant pas de déceler une tendance pour la période du 1^{er} avril au 15 novembre.

Des précipitations intenses peuvent être dommageables à l'agriculture,

- de façon directe : dégrader les semis, accentuer la verse des cultures annuelles, dégrader la structure des plantes,...
- de façon indirecte : augmenter l'érosion, créer une pression mécanique par le gel avec stagnation de l'eau, compliquer et repousser dans la durée les interventions culturales.

Il n'existe pas de seuil défini à partir duquel les précipitations sont problématiques pour l'agriculture. Les seuils de 10 mm/jour et de 20 mm/jour ont été sélectionnés en raison de leurs fréquences d'apparition plutôt faibles, et pouvant donc possiblement être nuisibles pour les cultures lorsqu'ils sont atteints.

A RETENIR

Aucune tendance générale pour la Normandie n'est démontrée concernant le nombre de jours où les pluies dépassent 10 ou 20 mm du 1^{er} avril au 15 novembre.

Seule la hausse constatée en Seine-Maritime est notable, elle est plus importante pour des pluies supérieures à 10 mm. Les risques liés aux fortes pluies sont donc de plus en plus importants dans ce département, déjà fortement touché par le phénomène d'érosion.

Pour aller plus loin : Cet indicateur ne donne aucune information sur l'intensité des pluies, qui cause pourtant des conséquences diverses sur les cultures. L'intensité mériterait d'être prise en compte dans un indicateur complémentaire afin d'établir des conclusions plus précises de l'impact de ces épisodes pluvieux intenses sur les végétaux. D'ailleurs, d'autres événements météorologiques violents préjudiciables tels que les vents forts et la grêle pourraient être analysés afin de préciser l'évolution de ces risques climatiques.



Nombre de jours pluvieux pendant les moissons

🔑 Nature et source des données

Séries Quotidiennes de Référence (Cf. lexique).
Données fournies par Météo France.

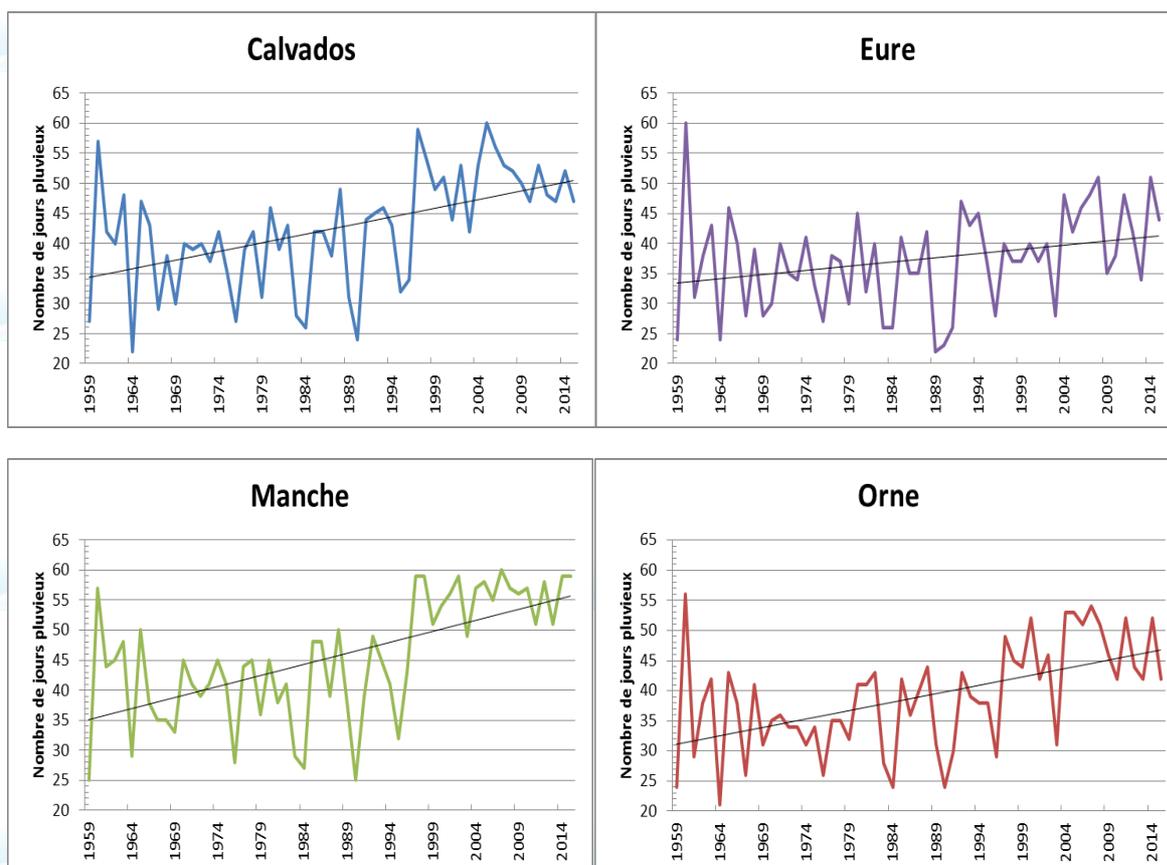
🕒 Indicateur

Echelle départementale : Calvados ; Eure ; Manche ; Orne ; Seine-Maritime
Période observée : 1959 à 2015

📊 Calcul de l'indicateur

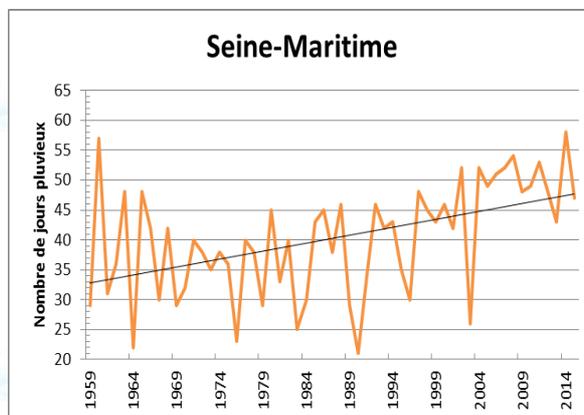
Nombre de jours où le cumul journalier des précipitations est supérieur à 0 mm du 1^{er} Juillet au 31 Août.

📈 Évolution observée





Nombre de jours pluvieux pendant les moissons



Analyse

Le tableau ci-dessous présente les évolutions tendancielle (par ajustement linéaire) :

	Tendance (jours/décennie)	Certitude de la tendance
Calvados	+ 2,9	99,9%
Eure	+ 1,4	95%
Manche	+ 3,7	99,9%
Orne	+ 2,8	99,9%
Seine-Maritime	+ 2,6	99,9%
En moyenne en Normandie	+ 2,7	

Ainsi, les tendances observées par ajustement linéaire sur l'ensemble de la période sont de :

- + 16,2 jours de pluies dans le Calvados en 56 ans ;
- + 7,8 jours de pluies dans l'Eure en 56 ans ;
- + 20,7 jours de pluies dans la Manche en 56 ans ;
- + 15,7 jours de pluies dans l'Orne en 56 ans ;
- + 14,6 jours de pluies en Seine-Maritime en 56 ans.

Les cinq départements normands montrent une hausse significative du nombre de jours pluvieux du 1^{er} juillet au 31 août. L'augmentation est la plus importante est dans la Manche, département qui bénéficie d'un climat océanique, responsable de pluies déjà fréquentes, et dans l'ensemble plus importantes que pour les autres départements. Mais il faut noter la forte variabilité interannuelle qui peut freiner l'anticipation concrète de la situation d'une année sur l'autre, même si l'évolution est prouvée.

Bien que le cumul estival des précipitations n'évolue pas de façon significative (Cf. Cumul saisonnier des précipitations), le nombre de jours pluvieux quant à lui s'est accru depuis plus de 50 ans. Donc à volume globalement inchangé pendant une période équivalente, la répartition des pluies s'est modifiée et s'est davantage étalée dans le temps. Ainsi, on peut émettre l'hypothèse que le cumul moyen journalier des précipitations a diminué au profit d'une répartition journalière plus importante.



Nombre de jours pluvieux pendant les moissons

La problématique hydrique pendant les moissons remet en question l'organisation des récoltes. Les pluies auront pour conséquences de retarder les récoltes en affectant le degré d'humidité des céréales, mais également, selon le niveau de pluies, en rendant impossible l'accessibilité aux champs par les engins agricoles, et donc la possibilité de réaliser les moissons.

Les pluies étant davantage étalées dans le temps, chaque créneau sans pluie envisageable pour les récoltes sera donc à prendre en considération, les moissons devant alors être réalisées le plus rapidement possible avant la pluie suivante.

A RETENIR

Le nombre de jours pluvieux est en augmentation entre le 1^{er} juillet et le 31 août depuis plus de 50 ans pour tous les départements de la Normandie.

A volume de pluies inchangé, la répartition des pluies étant plus étalée dans le temps, le cumul moyen journalier a sans doute diminué.

Le nombre de jours possibles pour les travaux céréaliers se réduit au cours du temps, ce qui est notamment problématique pour la programmation des moissons.

Pour aller plus loin : Un tel indicateur ne tient pas compte de l'hygrométrie, de la portance du sol, de la répartition et du volume des pluies dans la journée considérée, ce qui ne permet pas d'avoir de façon réaliste le nombre de jours concrètement envisageable pour les récoltes, mais plutôt une tendance théorique. Une étude plus poussée serait alors utile pour connaître plus précisément les conditions climatiques de la période de moisson.



Degrés-jours de croissance du maïs (semis-floraison)

🔑 Nature et source des données

Séries Quotidiennes de Référence (Cf. lexique).
Données fournies par Météo France.

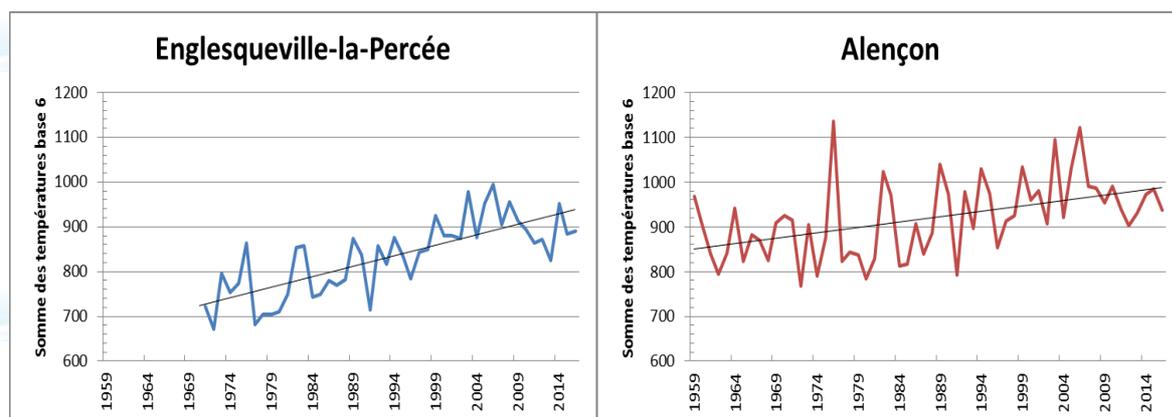
🕒 Indicateur

Stations : Englesqueville-la-Percée (14) ; Alençon (61)
Période observée : 1959 à 2016 pour Alençon et 1971 à 2016 pour Englesqueville-la-Percée

📊 Calcul de l'indicateur

Somme des températures moyennes journalières en base 6 (zéro de végétation du maïs) du semis à la floraison femelle, soit du 25 Avril au 31 Juillet.

📈 Évolution observée



📈 Analyse

Le tableau ci-dessous présente l'évolution tendancielle de la somme des températures en base 6 entre le 25 avril et le 31 juillet, par ajustement linéaire :

	Tendance (°C base 6/décennie)	Certitude de la tendance
Englesqueville-la-Percée	+46,7	99,9%
Alençon	+ 23,8	99,9%
Moyenne 2 stations	+ 35,2	



Degrés-jours de croissance du maïs (semis-floraison)

Les tendances observées par ajustement linéaire sur l'ensemble de la période sont de :

- + 210,2 degrés jours à Englesqueville-la-Percée en 45 ans ;
- + 135,7 degrés-jours à Alençon en 57 ans ;

L'augmentation apparaît plus forte à Englesqueville-la-Percée située plus au nord (littoral du Calvados), sans doute à la faveur d'un franchissement plus fréquent de la température minimale de 6°C.

Le cumul des températures est en constante augmentation, induisant un raccourcissement du passage entre le stade du semis et de la floraison femelle. L'analyse des sommes de températures entre la floraison et la récolte pourrait confirmer l'avancée probable des récoltes. L'anticipation marquée du maïs est due à l'absence de besoin en froid et un cycle centré sur les températures élevées pour cette culture d'origine tropicale.

Ce décalage du cycle présente des avantages pour la culture du maïs en Normandie, en particulier une meilleure croissance et maturité du maïs dans les secteurs « frais » (nord de la région, collines, littoral...) où les températures s'avéraient insuffisantes certaines années passées. Autres avantages, la possibilité de récolte plus précoce à l'automne dans de meilleures conditions de portance ou de choisir des variétés plus tardives, lesquelles présentent un potentiel de rendement plus élevé.

Attention cependant car un avancement trop important des stades pourrait conduire à un décalage des stades sensibles vers les périodes les plus chaudes et sèches, ce qui pourrait impacter les rendements surtout si la réserve en eau du sol est modeste (Cf. indicateur « Bilan hydrique pendant la période de sensibilité du maïs »).

A RETENIR

Le cumul des températures est en constante augmentation induisant un raccourcissement du délai entre le semis et le stade de la floraison femelle du maïs.

Cela présente des avantages pour la culture du maïs en zone « fraîche » : meilleure croissance du maïs et conditions de récolte (car plus précoce à l'automne), possibilité de cultiver des variétés plus tardives.

Attention au décalage des stades sensibles vers les périodes à risque de sécheresse, avec un impact sur les rendements surtout en sol à modeste réserve en eau.

Le nombre de jours possibles pour les travaux céréaliers se réduit au cours du temps, ce qui est notamment problématique pour la programmation des moissons.



Bilan hydrique pendant la période de sensibilité du maïs

🔑 Nature et source des données

Chaîne de calcul SIM (Safran – Isba – Modcou) (Cf. lexique).
Données fournies par Météo France.

🕒 Indicateur

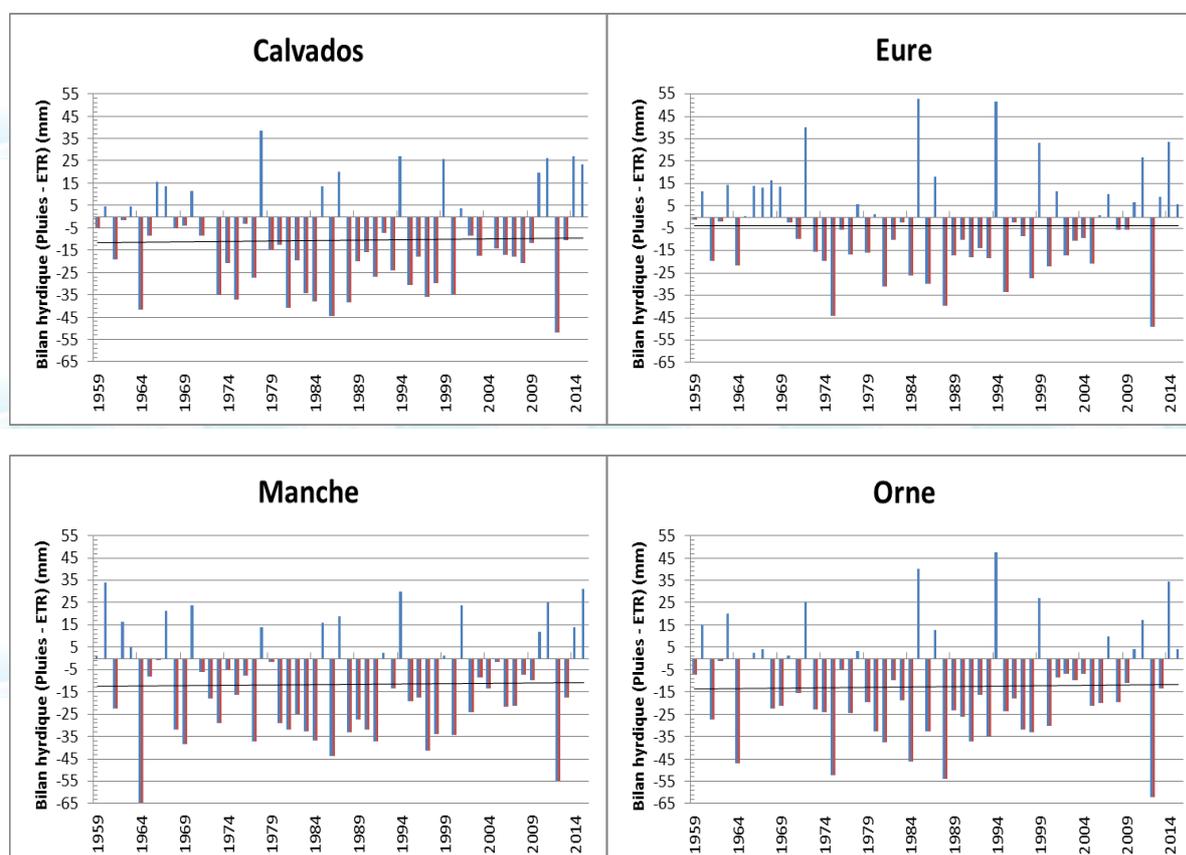
Echelle départementale : Calvados ; Eure ; Manche ; Orne ; Seine-Maritime
Période observée : 1959 à 2015

📊 Calcul de l'indicateur

Cumul journalier de (Pluies – Evapotranspiration réelle) du 15 Juillet au 15 Août.

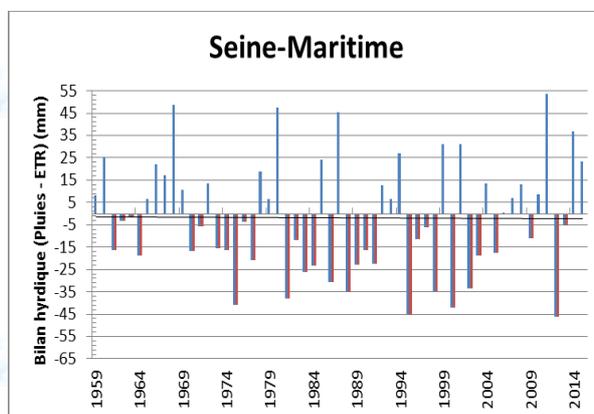
On considère que la phase de plus grande sensibilité du maïs au stress hydrique est la période encadrant la floraison femelle. Soit quelques jours avant la floraison mâle jusqu'au stade limite d'avortement des grains. En terme de cumul de températures en base 6, cette phase critique correspond à 250°CJ avant et 250°CJ après la floraison femelle (Arvalis). La date de floraison femelle considérée est la même que dans l'indicateur précédent, soit le 31 juillet, d'où le choix du 15 Juillet au 15 Août comme période encadrante.

📈 Évolution observée





Bilan hydrique pendant la période de sensibilité du maïs



Analyse

Le tableau ci-dessous présente les évolutions tendancielle (par ajustement linéaire) :

	Tendance (jours/décennie)	Certitude de la tendance
Calvados	+ 0,4	NS
Eure	- 0,04	NS
Manche	+ 0,2	NS
Orne	+ 0,4	NS
Seine-Maritime	- 0,1	NS
En moyenne en Normandie	+ 0,2	

D'après les observations, aucune évolution significative du bilan hydrique du maïs durant la période s'étalant du 15 Juillet au 15 Août n'est décelée pour l'ensemble des départements.

Le bilan hydrique est la comparaison entre les apports, via les précipitations, et les pertes d'eau, via l'évapotranspiration. L'évapotranspiration réelle est propre à une culture donnée (ici le maïs) et est dépendante de la température. Les températures estivales sont en hausse et le cumul de précipitations, très variable d'une année sur l'autre, n'évolue pas sur la période considérée. Ce sont notamment ces dernières qui provoquent une absence de tendance marquée du bilan hydrique du maïs du 15 juillet au 15 août.

Il est donc difficile d'imaginer la situation hydrique future du maïs pendant sa période de sensibilité même si on peut noter que le bilan est plus souvent négatif que positif, hormis peut-être en Seine-Maritime. Même sans évolution notable, cette variabilité amène à réfléchir à des solutions telles que l'irrigation ou l'esquive. Car même si le bilan hydrique est parfois positif, l'incertitude de l'état hydrique d'une année à l'autre doit amener à faire des choix d'anticipation pouvant parer toute éventualité.

Les projections du projet CLIMATOR indiquent un maintien voire une augmentation des rendements en maïs, sous réserve d'un changement de variétés et une avancée des semis, (stratégie d'esquive). Mais cette évolution suppose un accroissement important des apports en eau par irrigation, variable selon le sol, en raison des besoins hydriques croissants (BRISSEON & LEVRAULT, 2010).



Bilan hydrique pendant la période de sensibilité du maïs

A RETENIR

En période grande sensibilité hydrique du maïs, c'est-à-dire pendant la période encadrant la floraison femelle, le bilan hydrique ne montre pas d'évolution dans les cinq départements normands.

Cette absence de changements est probablement due aux fortes variabilités du cumul des précipitations pendant cette même période. Ces fortes variabilités, qui transparaissent dans l'étude du bilan hydrique.

Les incertitudes hydriques doivent inciter à mettre en place des solutions permettant de faire face aux années sèches pouvant survenir de façon aléatoire.



POUR EN SAVOIR PLUS

BRISSON N., LEVRAULT F. (2010). Changement climatique, agriculture et forêt en France : simulations d'impacts sur les principales espèces. Le Livre Vert du projet CLIMATOR (2007-2010). ADEME, 334 p.



Condition climatique favorable au Carpocapse

🔑 Nature et source des données

Série Quotidienne de Référence (Cf. lexique).
Données fournies par Météo France.

🕒 Indicateur

Stations : Caen-Carpiquet (14) ; Alençon (61) ; Rouen-Boos (76).
Période observée : 1959 à 2016

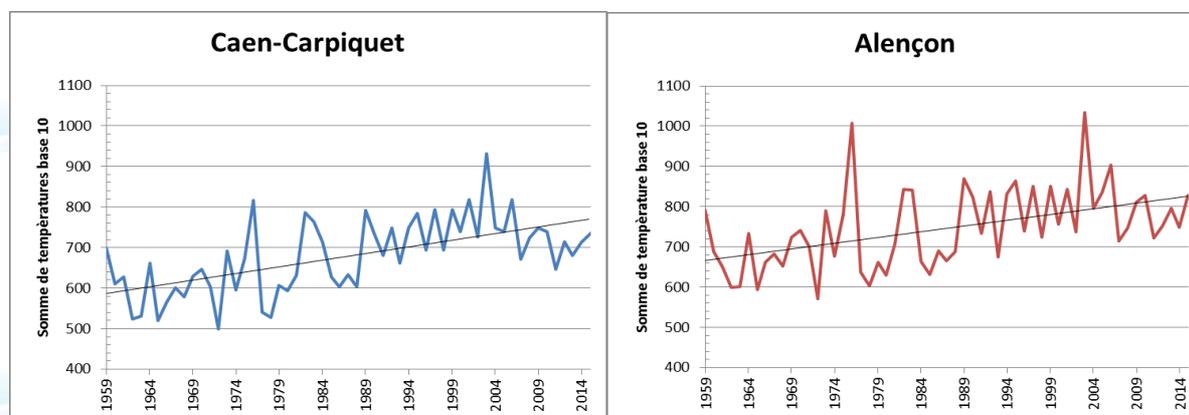
📊 Calcul de l'indicateur

Somme des températures moyennes journalières en base 10 du 15 Mai au 1^{er} Septembre.

Les arthropodes (insectes) sont des organismes poïkilothermes, c'est-à-dire que leur température interne varie en fonction de la température extérieure. La température extérieure a donc un effet direct sur leurs caractéristiques biologiques. Une élévation de la température (dans la limite de leur température maximale de développement) peut entraîner une augmentation de leur vitesse de développement, favorisant une apparition plus précoce, une augmentation du nombre de cycles par an, une modification des aires de répartition des arthropodes et une perturbation de leur fécondité (de manière positive ou négative suivant l'espèce et la température). Ces effets sont valables pour les ravageurs des cultures, ainsi que pour leurs prédateurs (BRISSON&LEVRAULT, 2010).

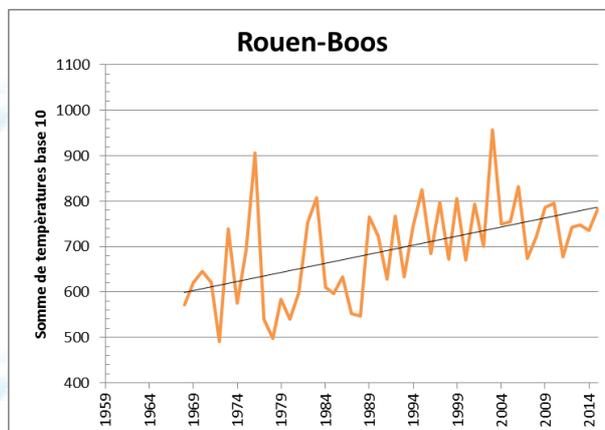
Pour le Carpocapse (ver de la pomme), une étude conduite par l'IFPCa montré que lorsque le cumul de 90 degrés-jours exprimé en base 10 était atteint à partir du premier vol de Carpocapse, 50% d'une population d'œuf de carpocapse donne des larves (Cahier technique de l'IFPC, N°22, juillet 2009). La Normandie est actuellement touchée par une génération de Carpocapse. La hausse des températures pourrait amener à l'arrivée d'une seconde génération de carpocapse.

📈 Évolution observée





Condition climatique favorable au Carpocapse



Analyse

Le tableau ci-dessous présente les évolutions tendancielle (par ajustement linéaire) :

	Tendance (°C base 10/décennie)	Certitude de la tendance
Caen-Carpiquet	+ 33	99,9 %
Alençon	+ 28.4	99,9%
Rouen-Boos	+ 40	99,9%
Moyenne 3 stations	+ 33.8	

On constate sur l'ensemble des stations étudiées que la quantité de chaleur disponible pour le Carpocapse augmente de façon significative malgré une variabilité interannuelle forte.

L'évolution tendancielle correspondant à l'ajustement linéaire montre que la somme de température base 10°C du 15 mai au 1er septembre a augmenté de :

- 188 °CJ en 57 ans à Caen-Carpiquet ;
- 162 °CJ en 57 ans à Alençon ;
- 196 °CJ en 49 ans à Rouen-Boos.

Le risque d'une deuxième génération de Carpocapse augmente donc avec la hausse des températures.

A RETENIR

La somme des températures augmente en moyenne de 34°CJ par décennie sur l'ensemble des trois stations étudiées entre le 15 mai et le 1^{er} septembre.

Cette augmentation des températures est favorable à l'arrivée d'une seconde génération de Carpocapse.



Condition climatique favorable au Carpocapse



POUR EN SAVOIR PLUS

BRISSON N., LEVRAULT F. (2010). Changement climatique, agriculture et forêt en France : simulations d'impacts sur les principales espèces. Le Livre Vert du projet CLIMATOR (2007-2010). ADEME, 334 p.



Faisabilité du soja

🔑 Nature et source des données

Série Quotidienne de Référence (Cf. lexique).

Données fournies par Météo France.

🕒 Indicateur

Stations : Caen-Carpiquet (14) ; Alençon (61) ; Rouen-Boos (76).

Période observée : 1959 à 2016 sauf pour Rouen-Boos (1968-2016)

📊 Calcul de l'indicateur

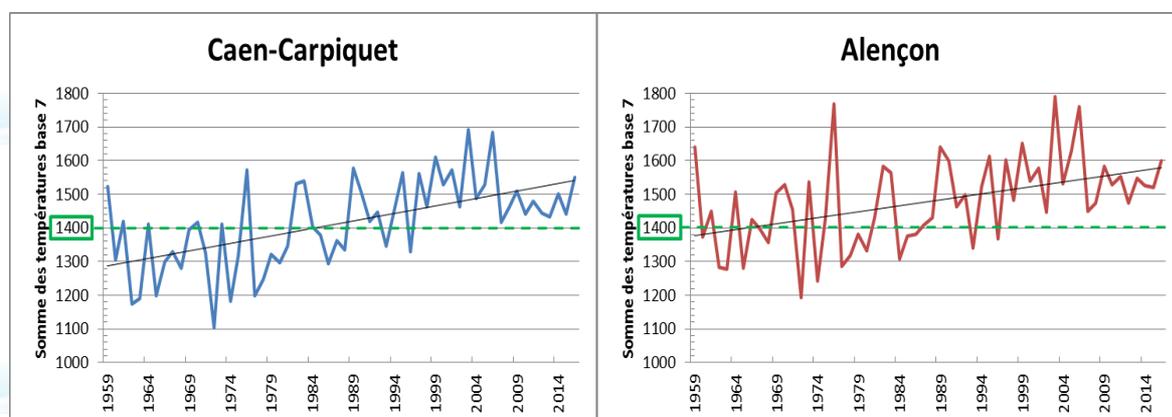
Somme des températures moyennes journalières en base 7 du 1er Mai au 15 Octobre.

Pour calculer, via la quantité de chaleur, la possibilité de cultiver du soja, les hypothèses suivantes sont posées :

- Il s'agit de la variété 000, très précoce, adaptée aux conditions climatiques locales ;
- Le 1^{er} mai est la date de semis ;
- La récolte a lieu mi-octobre au plus tard pour éviter les problèmes liées à l'humidité de l'air et à la fréquence accrue des pluies qui pourraient altérer la qualité des graines (Terres Inovia, 2014) ;
- Les besoins thermiques pour atteindre la maturité sont de 1400°CJ base 7 (Terres Inovia, 2014).

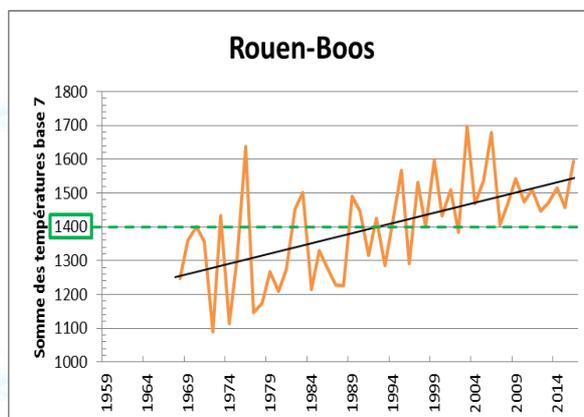
On somme donc les températures moyennes journalières base 7°C (zéro de végétation du soja) du 1er Mai au 15 Octobre.

📈 Évolution observée





Faisabilité du soja



Analyse

Le tableau ci-dessous présente les évolutions tendancielle (par ajustement linéaire) :

	Tendance (°C base 7/décennie)	Certitude de la tendance
Caen-Carpiquet	+ 44,5	99,9%
Alençon	+ 35,4	99,9%
Rouen-Boos	+ 61	99,9%
Moyenne 3 stations	+ 47	

Sur l'ensemble de la période étudiée on constate que la quantité de chaleur disponible pour la culture du soja, autrement dit la disponibilité thermique, présente une tendance à l'augmentation significative statistiquement, quel que soit la station d'étude, et malgré une grande variabilité interannuelle.

Ainsi, les tendances observées par ajustement linéaire sur l'ensemble de la période sont de :

- + 254 degrés jours à Caen-Carpiquet en 57 ans ;
- + 202 degrés-jours à Alençon en 57 ans ;
- + 293 degrés-jours à Rouen-Boos en 48 ans ;

Plus une station avait il y a 50 ans un cumul des températures moyennes journalières faible comparativement aux autres, et plus la hausse est rapide et importante, de sorte qu'aujourd'hui, toutes les stations présentent des cumuls du même ordre de grandeur. Si les écarts thermiques étaient relativement importants auparavant avec une différence tendancielle de 155°CJ entre les extrêmes en 1968, ils ne sont dorénavant que de 40°CJ.

Pendant les périodes observées, le franchissement du seuil des 1400°CJ permettant d'atteindre la maturité, a eu lieu dans 59% des cas à Rouen-Boos, 60% à Caen-Carpiquet et 71% à Alençon. La variabilité interannuelle présente auparavant ne permettait pas toujours de combler le besoin thermique du soja. Désormais depuis 15 ans les sommes de températures, bien que variables selon les années, restent toujours au-dessus des 1400°CJ nécessaires à la maturité du soja.

Les cumuls de températures n'étaient au départ pas du même ordre de grandeur dans les trois stations d'étude. De ce fait, malgré l'évolution différenciée, plus la station se situe dans le sud et plus la disponibilité thermique est suffisante tous les ans depuis longtemps. L'année de basculement vers une faisabilité quasi systématique chaque année suit le gradient thermique Nord-Sud.



Faisabilité du soja

En revanche, en observant les graphes on peut constater, sans tenir compte de la tendance calculée, que c'est à partir des années 80-90 que le soja est quasiment faisable chaque année. Cette période coïncide avec le moment où les températures se sont mises à croître de façon plus rapide.

La date exacte à partir de laquelle les besoins thermiques permettent chaque année la culture du soja varie selon la station mais 1989 est une date à partir de laquelle la fréquence d'atteinte du seuil thermique augmente considérablement, comme cela est visible dans le tableau ci-dessous.

	Fréquence d'atteinte du seuil thermique (avant 1988)	Fréquence d'atteinte du seuil thermique (après 1989)
Caen-Carpiquet	42,9 %	92,9 %
Alençon	71,4 %	92,9 %
Rouen-Boos	23,8 %	85,7 %
Moyenne 3 stations	46 %	90,5 %

L'analyse de l'évolution de la disponibilité thermique depuis 50 ans nous montre que la culture du soja est fortement envisageable en Normandie aujourd'hui. En considérant un accroissement des températures constant du même ordre de grandeur que celui observé depuis les années 60, les résultats précédents donnent une idée des horizons à partir desquels la probabilité de réussite du soja avoisine les 100% dans chaque station, mais peut également amener à une réflexion plus poussée sur le choix des variétés bien que pour le moment, seule la plus précoce soit envisageable.

A RETENIR

Depuis 50 ans la disponibilité thermique a augmenté entre le 1^{er} Mai et le 15 Octobre, et elle est donc suffisante depuis plus d'une vingtaine d'années pour permettre thermiquement la culture du soja (variété précoce 000) 9 années sur 10.

La hausse du cumul des températures pendant la période étudiée est d'autant plus rapide que la station se situe au Nord de la région, et qu'elle possédait donc des températures plus faibles.

Pour aller plus loin : Cet indicateur permet d'avoir une idée théorique du contexte thermique dans lequel le soja peut être cultivé, mais ne tient pas compte des besoins hydriques de la culture qui sont importants. Un indicateur permettant de savoir si les besoins hydriques de la plante sont satisfaits et/ou de quelle façon les satisfaire mériterait d'être étudié.

Il serait également intéressant d'étudier la disponibilité thermique avec une date de récolte plus précoce car le 15 octobre est la date maximale théorique mais dans les faits, l'humidité atmosphérique et du sol peuvent influencer la qualité de la récolte et l'accessibilité aux parcelles.



POUR EN SAVOIR PLUS

TERRES INOVIA. (2014). Soja : récolte et stockage. Fiches cultures. (Disponible sur <http://www.terresinovia.fr/soja/cultiver-du-soja/recolte-et-stockage/recolte/>).

TERRES INOVIA. (2014). Faisabilité du soja en culture principale pour les variétés précoces 000. Les enseignements d'une étude climatique spatialisée.



Faisabilité du lupin d'hiver

🔑 Nature et source des données

Série Quotidienne de Référence (Cf. lexique).
Données fournies par Météo France.

🕒 Indicateur

Stations : Caen-Carpiquet (14) ; Alençon (61) ; Rouen-Boos (76).
Période observée : 1959 à 2016 sauf pour Rouen-Boos (1969-2016)

📊 Calcul de l'indicateur

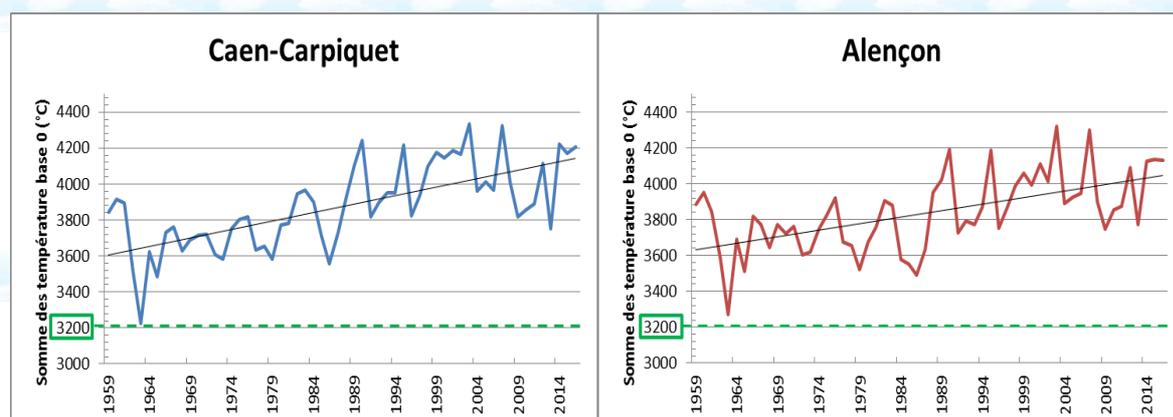
Somme des températures moyennes journalières en base 0 du 10 Septembre au 31 Août.

Pour calculer, via la quantité de chaleur, la possibilité de cultiver du lupin d'hiver, les hypothèses suivantes sont posées :

- Il s'agit du lupin blanc d'hiver, plus précoce que le lupin de printemps et qui présente moins de risque de récolte tardive après un été frais
- Date de semis fixée au 10 septembre et de récolte au 31 août de l'année suivante, il s'agit de dates moyennes pour la Normandie

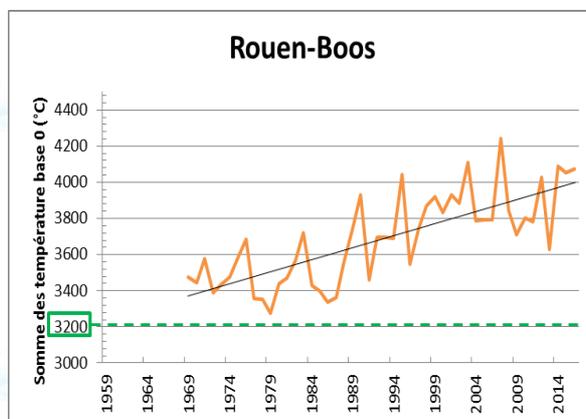
La somme des températures moyennes journalières base 0°C et écrêtées à 25°C nécessaire à la maturité du lupin est fixée à 3200°C.

📈 Évolution observée





Faisabilité du lupin d'hiver



Analyse

Le tableau ci-dessous présente les évolutions tendancielle sur la période observée (par ajustement linéaire) :

	Tendance (°C base 0/décennie)	Certitude de la tendance
Caen-Carpiquet	+ 94,2	99,9%
Alençon	+ 72,6	99,9%
Rouen-Boos	+ 133,4	99,9%
Moyenne 3 stations	+ 100	

Sur l'ensemble de la période étudiée on constate que la quantité de chaleur disponible pour la culture du lupin d'hiver, autrement dit la disponibilité thermique, présente une tendance à l'augmentation significative statistiquement, pour les 3 stations d'étude.

Ainsi, les tendances observées par ajustement linéaire sur l'ensemble de la période sont de :

- + 537 degrés-jours à Caen-Carpiquet en 57 ans ;
- + 414 degrés-jours à Alençon en 57 ans ;
- + 627 degrés-jours à Rouen-Boos en 47 ans ;

La disponibilité thermique augmente davantage au nord (Caen et Rouen) qu'au sud (Alençon).

La disponibilité thermique apparaît suffisante chaque année pour la récolte du lupin d'hiver avant fin août, pour les 3 stations étudiées. La culture est donc possible en bénéficiant de suffisamment de marge pour rencontrer des conditions optimales de moisson : les récoltes de fin d'été peuvent être lourdement pénalisées par de mauvaises conditions atmosphériques.

A RETENIR

La disponibilité thermique pour la culture du lupin blanc d'hiver augmente nettement, la hausse des cumuls de température est plus marquée au nord qu'au sud.

La culture est réalisable chaque année pour une récolte suffisamment précoce (juillet-août) afin de bénéficier des bonnes conditions météorologiques nécessaires.



Date de mise à l'herbe

🔑 Nature et source des données

Série Quotidienne de Référence (Cf. lexique).
Données fournies par Météo France.

🕒 Indicateur

Stations : Caen-Carpiquet (14) ; Les Andelys (27) ; Auderville (50) ; Alençon (61) ; Fécamp (76).
Période observée : 1959 à 2016 sauf pour Les Andelys (1972 à 2016).

📊 Calcul de l'indicateur

Date de franchissement de la somme de température base 0°C de 300°CJ, à compter du 1^{er} Février.

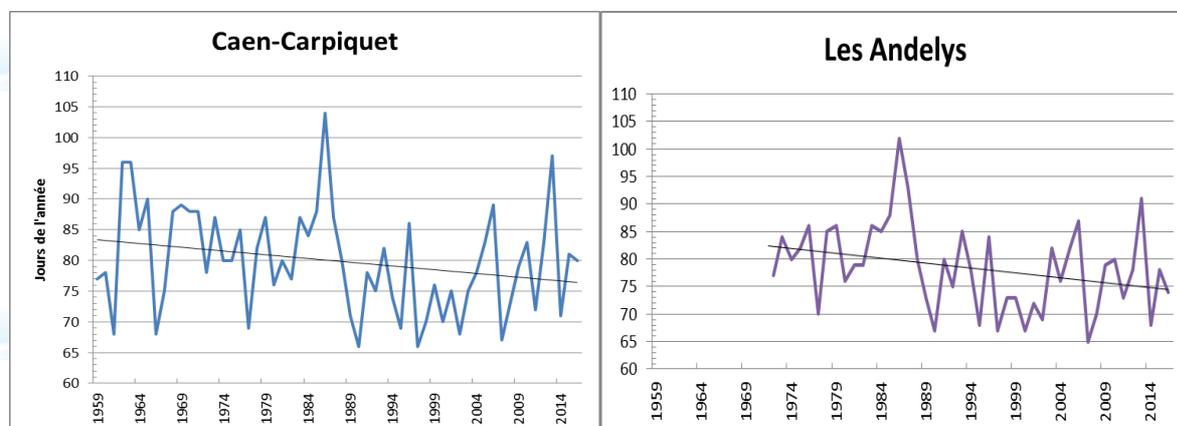
Les températures de sortie d'hiver déterminent la reprise de croissance de la prairie puis la possibilité de pâturer (portance des sols, non prise en compte ici). Le réchauffement climatique impactant les températures d'hiver et de printemps, cela entraîne l'avancement des dates de mise à l'herbe.

Pour la date de mise à l'herbe, une étude conduite par Arvalis en 1962 sur une quinzaine d'espèces prairiales a montré que la détection précoce des entre-nœuds pour les principales graminées varie entre le 15 janvier et fin février. Des travaux complémentaires (FITTER, 1995 ; JEANGROS, 2005 ; THEAU, 2008) ont conforté la validation du 1^{er} février comme date d'initialisation pour le calcul de la date de mise à l'herbe.

On cumule donc les températures moyennes journalières base 0°C (zéro de végétation des graminées) à partir du 1er février pour la date de mise à l'herbe, puis on note la date de dépassement du seuil de 300°CJ.

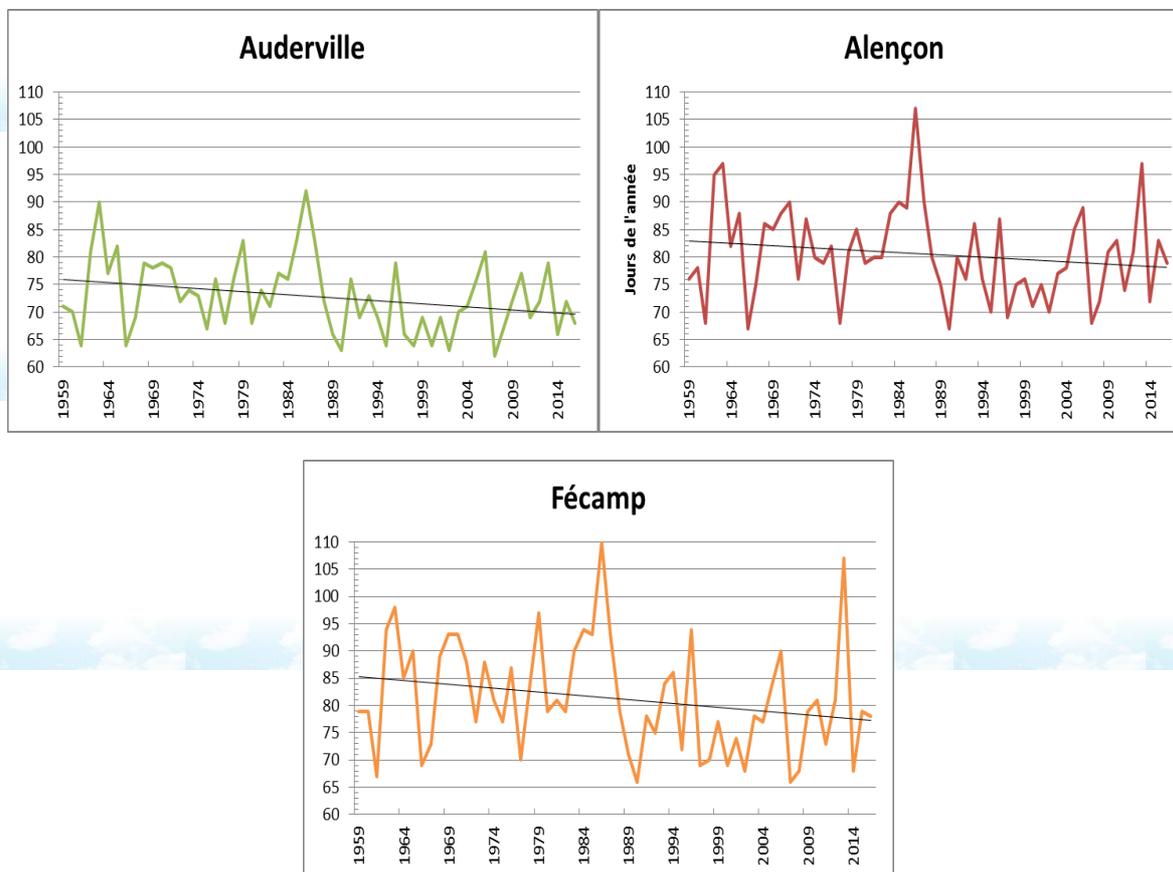
On rappelle que la température moyenne journalière base 0°C est calculée sans tenir compte des températures négatives, et est plafonnée à 20°C.

📈 Évolution observée





Date de mise à l'herbe



Analyse

Le tableau ci-dessous présente les évolutions tendancielle (par ajustement linéaire) :

	Tendance (jours/décennie)	Certitude de la tendance
Caen-Carpique	- 1,3	90%
Les Andelys	- 1,8	95%
Auderville	- 1,2	95%
Alençon	- 1	NS
Fécamp	- 1,4	90%
Moyenne 5 stations	- 1,3	

On constate une situation quasi-homogène en Normandie avec une légère avancée de la date de mise à l'herbe pour quatre des cinq stations d'étude. Les tendances sont très proches et sont comprises entre -1 et -2 jours par décennie, mais les variabilités interannuelles sont très fortes. Seule Alençon ne présente pas de tendance significative.

Cet avancement constaté est cohérent avec l'évolution des températures et du nombre de jours estivaux par an (Cf. Indicateurs « Température moyenne mensuelle » et « Nombre de jours estivaux par an »).



Date de mise à l'herbe

L'évolution tendancielle correspondant à l'ajustement linéaire montre que la date théorique de mise à l'herbe est passée du :

- 25 mars au 18 mars en 56 ans à Caen-Carpiquet ;
- 22 mars au 15 mars en 44 ans aux Andelys ;
- 17 mars au 10 mars en 56 ans à Auderville ;
- 24 mars au 19 mars en 56 ans à Alençon (non significatif) ;
- 26 mars au 18 mars en 56 ans à Fécamp.

Cet avancement assez faible d'un jour par décennie environ apparaît donc comme un levier limité d'adaptation (esquive) vis-à-vis des stress hydriques estivaux.

A RETENIR

On remarque une avancée très modeste de la date théorique de mise à l'herbe. Cet avancement est similaire sur l'ensemble des sites étudiés, ce qui montre l'homogénéité de la région concernant cet indicateur.

Cet avancement est cohérent avec l'augmentation des températures constatée.

Pour aller plus loin : Un examen plus complet de cet indicateur devra être fait en intégrant la question de la portance des sols (liée à leur humidité) ; facteur indispensable pour exploiter l'herbe précoce.



Fréquence des précipitations pendant le fanage

🔑 Nature et source des données

Séries Quotidiennes de Référence (Cf. lexique).
Données fournies par Météo France.

🕒 Indicateur 1

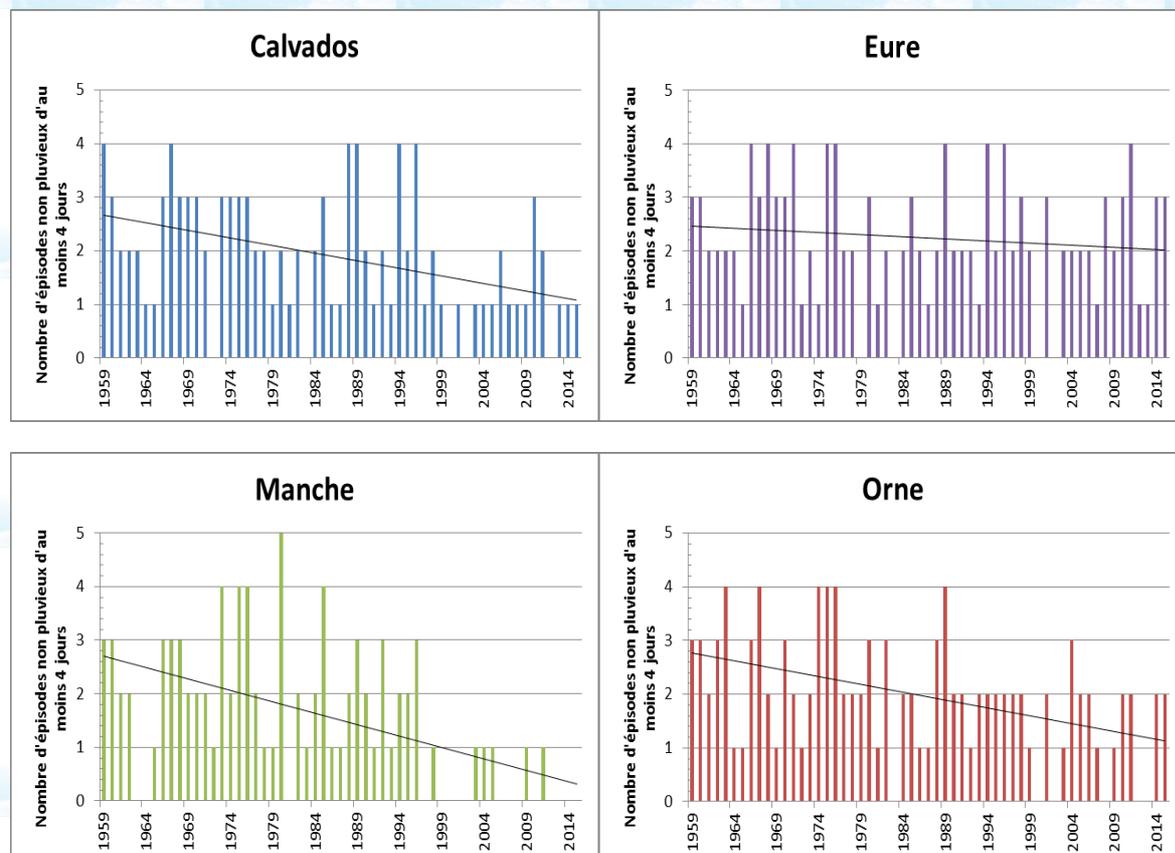
Echelle départementale Calvados ; Eure ; Manche ; Orne ; Seine-Maritime
Période observée : 1959 à 2015

📊 Calcul de l'indicateur 1

Dénombrement, du 15 Avril au 15 Juin, des épisodes sans pluies d'au moins 4 jours.

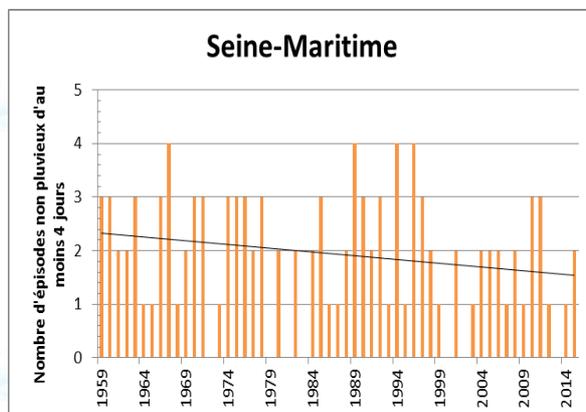
On considère en moyenne qu'il faut 4 jours sans pluie pour le fanage du foin, et que la période présentant un pic de production du foin se situe entre le 15 Avril et le 15 Juin.

📈 Évolution observée





Fréquence des précipitations pendant le fanage



Analyse

Le tableau ci-dessous présente les évolutions tendancielle (par ajustement linéaire) :

	Tendance (périodes/décennie)	Certitude de la tendance
Calvados	- 0,3	99%
Eure	- 0,1	NS
Manche	- 0,4	99,9%
Orne	- 0,3	99,9%
Seine-Maritime	- 0,1	NS
En moyenne en Normandie	- 0,2	

Parmi les cinq départements étudiés, seuls trois présentent des évolutions significatives à la baisse. L'Eure et la Seine-Maritime ne présentent pas de changements significatifs du nombre d'épisodes d'au moins quatre jours sans pluie depuis plus de 50 ans.

La baisse observée est similaire dans les trois départements de Basse-Normandie avec une tendance par ajustement linéaire de :

- - 1,7 période d'au moins 4 jours sans pluie dans le Calvados en 56 ans ;
- - 2,2 périodes d'au moins 4 jours sans pluie dans la Manche en 56 ans;
- - 1,7 période d'au moins 4 jours sans pluie dans l'Orne en 56 ans.

Dans ces départements le nombre de créneaux disponibles pour le fanage est donc en nette diminution, c'est-à-dire que la pluie est présente de façon si régulière qu'il devient difficile de réaliser un fanage de qualité dans de bonnes conditions.

La baisse la plus marquée est dans la Manche car l'observation graphique, ayant davantage de sens ici compte tenu de la nature de l'indicateur, nous montre que depuis 1997, seule une année sur trois permettait théoriquement de faire du foin durant cette période, et ce, à chaque fois via un unique créneau d'au moins quatre jours.

La rareté de ces créneaux aptes au fanage pourrait inciter à faire du foin de plus en plus précocement, dès qu'il est prêt à être fauché, et aussitôt qu'un créneau sans pluie semble se profiler, afin de garantir un rendement et une qualité satisfaisante pour les animaux.



Fréquence des précipitations pendant le fannage

Mais cet indicateur ne renseigne pas sur la durée exacte des épisodes non pluvieux. Ainsi, un épisode non pluvieux d'une durée de 4 jours ou de 30 jours sera comptabilisé sans aucune distinction comme un unique épisode, alors qu'une période longue sans pluie permet de réaliser du foin à plusieurs reprises. C'est dans cette optique que l'indicateur suivant a été étudié, afin de compléter les informations pluviométriques pendant la période de fannage.

Indicateur 2

Echelle départementale : Calvados ; Eure ; Manche ; Orne ; Seine-Maritime
Période observée : 1959 à 2015

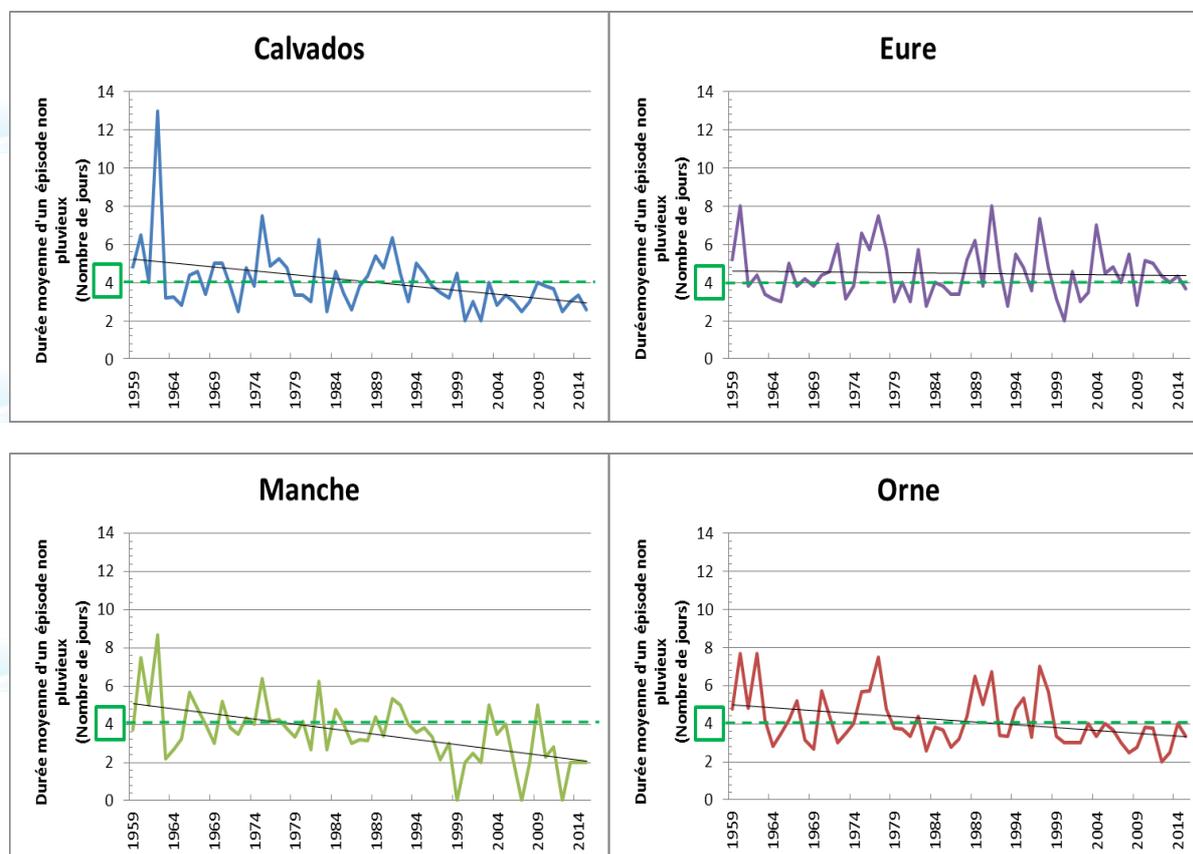
Calcul de l'indicateur 2

Moyenne du nombre de jours consécutifs où la pluie est égale à 0 mm du 15 Avril au 15 Juin.

On comptabilise la durée (en jours) de chaque épisode non pluvieux, c'est-à-dire composés d'au moins 2 jours consécutifs de pluies nulles, du 15 Avril au 15 Juin.

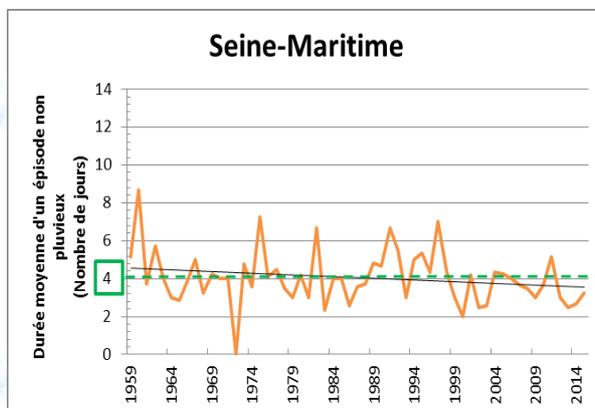
En faisant la moyenne de ces données on obtient la durée moyenne des épisodes non pluvieux pendant la période considérée. Les journées de pluies isolées ne sont donc pas prises en compte dans le calcul de la moyenne.

Évolution observée





Fréquence des précipitations pendant le fanage



Analyse

Le tableau ci-dessous présente les évolutions tendancielle (par ajustement linéaire) :

	Tendance (jours/décennie)	Certitude de la tendance
Calvados	- 0,4	99%
Eure	- 0,1	NS
Manche	- 0,5	99,9%
Orne	- 0,3	99%
Seine-Maritime	- 0,2	NS
En moyenne en Normandie	- 0,3	

La durée moyenne des épisodes non pluvieux du 15 avril au 15 juin est en diminution en ex Basse-Normandie, tandis qu'aucune tendance significative n'est décelée en ex Haute-Normandie.

La baisse observée est similaire dans la Calvados, la Manche et l'Orne. La durée moyenne des épisodes non pluvieux a diminué de :

- 2,2 jours dans le Calvados en 56 ans ;
- 2,8 jours dans la Manche en 56 ans ;
- 1,7 jours dans l'Orne en 56 ans.

Ainsi, on remarque qu'en moyenne les épisodes non pluvieux durent de moins en moins longtemps, et surtout moins de quatre jours. La tendance observée précédemment se confirme ici et la faisabilité du foin devient de plus en plus compromise en raison des pluies de plus en plus fréquentes.

Mais il est important de noter qu'il s'agit ici d'une moyenne, ce qui n'est donc pas réellement révélateur des créneaux sans pluies utilisables par les agriculteurs pour faire leur foin. En effet, la moyenne peut masquer de longues périodes sans pluies alternées avec des périodes nettement plus courtes.

En tendance, l'augmentation de la fréquence des pluies est marquée et nécessite donc d'être prise en compte dans les stratégies d'entreprise. Faire du foin de bonne qualité, en lui laissant le temps de faner à l'air libre, devient davantage problématique.



Fréquence des précipitations pendant le fanage

Les pluies semblent donc être de plus en plus fréquentes pendant cette période de l'année. Cependant, l'absence d'évolution significative du cumul de précipitations pendant cette même période (Cf. Indicateur « Cumul saisonnier des précipitations ») incite à penser que le volume de chaque pluie devient donc de moins en moins important.

A RETENIR

Le nombre de périodes sans pluies d'au moins 4 jours, et donc disponibles pour le fanage du foin, entre le 15 Avril et le 15 Juin, se réduit dans les départements de l'ex Basse-Normandie, région marquée par l'élevage bovin.

De plus, la durée moyenne des épisodes non pluvieux est en baisse, ce qui accentue la difficulté de réaliser du foin avec un séchage à l'air libre d'une durée suffisante pour garantir sa qualité.

A cumul de pluies inchangé, une fréquence de pluies plus importante montre qu'un même volume de pluies est réparti sur davantage de jours qu'auparavant.

Réaliser du foin va devenir problématique dans ces trois départements en raison de la contrainte pluviométrique changeante. La stratégie d'entreprise devra donc être réfléchie en tenant compte de ce nouveau paramètre.

Pour aller plus loin : Afin de savoir si les tendances constatées incitent réellement les agriculteurs à s'orienter davantage sur les ensilages que sur le foin, il serait complémentaire de s'intéresser à la proportion de réalisation de foin par rapport à l'ensilage. L'indicateur pourrait aussi être calculé pour une période après le 15 juin, les foins se récoltant plus tardivement en zone de marais ou en situations voire années fraîches, du fait d'un démarrage retardé ou d'une croissance plus lente de la végétation.



Développement de la pyrale du maïs

🔑 Nature et source des données

Série Quotidienne de Référence (Cf. lexique)

Données fournies par Météo-France.

🕒 Indicateur

Alençon (61) : 1959 – 2017

Rouen-Boos (76) : 1968 – 2017

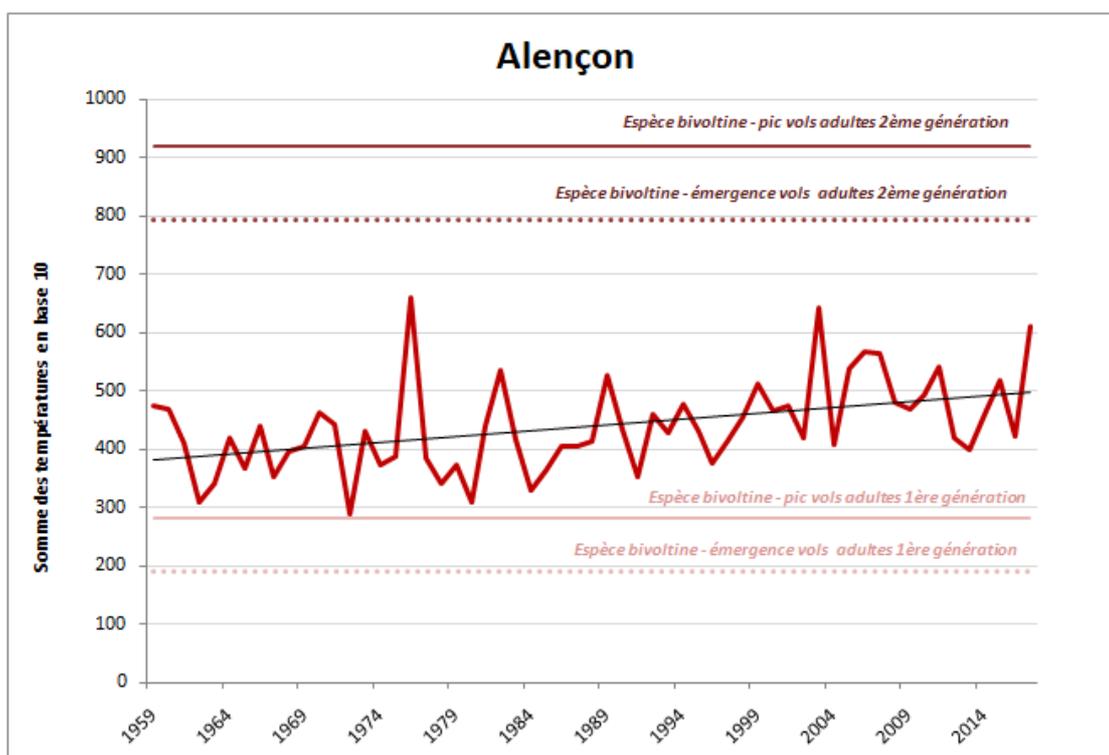
Caen-Carpiquet (14) : 1987 - 2017

🧮 Calcul de l'indicateur

Somme des températures moyennes journalières en base 10 écrêtées à 35°C du 1^{er} Mars au 15 Juillet.

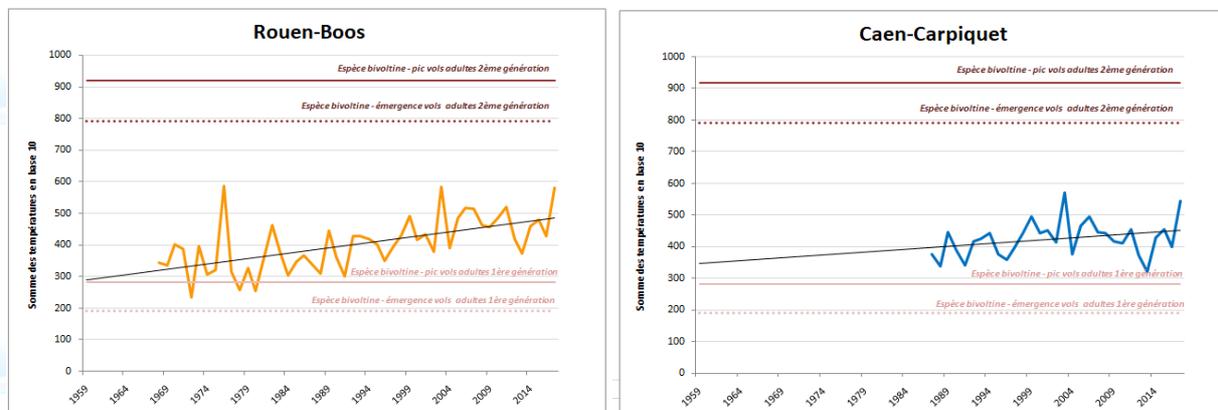
Bien que les conditions de développement du ravageur soient multifactorielles, les températures influencent davantage son évolution. En effet, au fur et à mesure que les jours rallongent et que les températures moyennes s'élèvent à plus de 10°C le jour, les larves amorcent leur pupaison. (OMAFRA). Au-delà de 35°C, le ravageur ne résiste pas et finit par disparaître.

📈 Évolution observée





Développement de la pyrale du maïs



Analyse

Le tableau ci-dessous présente les évolutions tendancielle sur la période observée (par ajustement linéaire) :

	Tendance (°C base 10/décennie)	Certitude de la tendance
Caen-Carpiquet	+ 18	NS
Alençon	+ 20,4	99,9%
Rouen-Boos	+ 34,2	99,9%
Moyenne 3 stations	+ 24,2	

On constate que l'évolution du cumul des degrés-jours de mars à mi-juillet augmente de manière significative pour les stations d'Alençon et de Rouen-Boos. La station de Caen-Carpiquet est également impactée par une hausse, mais de façon non significative (88,6%). Cette non certitude de la tendance peut s'expliquer par la faible quantité de données pour ce secteur. La quantité de chaleur disponible pour la pyrale du maïs augmente de façon significative malgré une variabilité interannuelle forte.

L'évolution tendancielle correspondant à l'ajustement linéaire montre que la somme de température base 10°C du 1^{er} mars au 15 juillet a augmenté de :

- 55,8 °CJ (degrés-jours) en 31 ans à Caen-Carpiquet ;
- 120,5 °CJ en 59 ans à Alençon ;
- 171 °CJ en 50 ans à Rouen-Boos.

On observe une situation assez homogène en Normandie avec des cumuls thermiques du même ordre de grandeur avec presque 600°CJ en 2017, pour les trois stations.

Le risque d'apparition d'une deuxième génération de pyrale augmente donc avec la hausse des températures avérée, même si le seuil d'émergence de vols adultes de 2^e génération n'est pas encore atteint mi-juillet en Normandie.

L'élévation des degrés-jours dans le temps est cohérente avec l'évolution des températures annuelles et le nombre de jours estivaux par an (Cf. Indicateurs « Nombre de jours estivaux par an » et « Température moyenne annuelle »).



Développement de la pyrale du maïs

En Normandie, si la pyrale apparaît essentiellement au sud de la région, celle-ci pourrait à l'avenir s'étendre si la hausse de la température se poursuit. Il faut savoir qu'une élévation de la température (dans la limite de leur température maximale de développement) peut entraîner une augmentation de leur vitesse de développement, favorisant une apparition plus précoce, une augmentation du nombre de cycles par an, une modification des aires de répartition des arthropodes et une perturbation de leur fécondité (de manière positive ou négative suivant l'espèce et la température). Ces effets sont valables pour les ravageurs des cultures, ainsi que pour leurs prédateurs (BRISSON&LEVRAULT, 2010).

La pyrale du maïs ou *Ostrinia nubilalis* passe l'hiver sous forme de larve en diapause, puis au printemps, lorsque les températures atteignent les 10°C, se nymphose, c'est-à-dire qu'elle va passer à un stade intermédiaire entre une larve et l'imago. Une fois cette phase observée, la sortie des adultes peut être constatée de la mi-mai à la mi-juillet. L'évolution du ravageur dans le temps s'échelonne ainsi du 1^{er} Mars au 15 Juillet pour la première génération dite *monovoltine*. Dans le sud-ouest et sud-est de la France, les premières générations peuvent former une seconde descendance avec un vol s'échelonnant de la mi-juillet à la mi-août, appelées *plurivoltine*. En Normandie, un nombre variable d'individus de 1^{ère} génération est susceptible de donner naissance à une 2^{ème} génération suivant les conditions climatiques du printemps et de l'été (Arvalis, Les Fiches Accidents).

Le cycle de vie de la pyrale est fortement dépendant des températures. Cette relation a notamment été exprimée par le Centre de recherche et de développement en horticulture (CRDH) du Canada. L'objectif de ce modèle est de prédire les degrés-jours accumulés pour chaque seuil de développement du ravageur. Pour information, ce modèle se base sur des données recueillies dans des secteurs situés au sud du Québec.

Ce modèle, centré sur le cumul des températures journalières base 10 à partir du 1^{er} avril nous prédit que :

L'apparition des adultes de 1^{ère} génération a lieu à 190°CJ ;

Le pic de vol des adultes de 1^{ère} génération a lieu à 281°CJ ;

L'apparition des adultes de 2^{ème} génération a lieu à 792°CJ ;

Le pic de vol des adultes de 2^{ème} génération a lieu à 919°CJ.

D'après ces seuils et les graphiques associés, on constate que l'évolution des degrés-jours permet de réaliser un cycle complet pour la première génération de pyrale en Normandie. Avec la hausse du gradient thermique, il est fortement probable que les seuils de la seconde génération soient atteints en Normandie dans le futur, engendrant des dommages plus importants sur le maïs.

Même si ces seuils sont issus d'une étude fiable, il convient de préciser que ce modèle a créé des seuils pour le sud du Québec. En l'état, aucun modèle français n'a développé ce genre de démarche.

Les dégâts causés par ce ravageur peuvent entraîner une fragilisation de la plante voire sa destruction. En effet, les pyrales forent les tiges et les épis de maïs en provoquant des pertes de rendements. Dans le Nord de la France, la nuisibilité de la pyrale est généralement plus importante car les larves font des dégâts pendant la floraison du maïs, période au cours de laquelle tout stress est fortement préjudiciable. Par ailleurs, ces attaques augmentent le risque de dégradation de la qualité sanitaire (THIBORD J-B. ; 2009). Les blessures causées provoquent ainsi une multiplication de la fusariose des épis.



Développement de la pyrale du maïs

Face aux dommages causés par la pyrale et l'apparition de conditions thermiques plus favorables, il la lutte devient nécessaire en Normandie. Selon une étude réalisée à l'Université Cornell, jusqu'à 62% des œufs de pyrales du maïs sont consommés par des prédateurs naturels. On pense alors aux différentes espèces de coccinelles ou aux punaises anthocorides. La méthode des trichogrammes est également répandue (En France, les trichogrammes ont progressé de 22%, alors que les insecticides ont baissé (cultivar.fr)). Ces minuscules guêpes (moins de 1mm) parasitent les œufs de la pyrale du maïs, en pondant à l'intérieur de ces derniers (E.Grignon, 2017). Enfin, la technique du piégeage (avec de la phéromone) permet pour sa part de mieux évaluer les populations pour agir au bon moment. En anticipant de cette manière, il est alors plus aisé de contrôler ce ravageur en ayant une meilleure connaissance sur sa période d'arrivée ou d'activité. Toutefois, ces méthodes devront être appliquées en gardant à l'esprit que de fortes variations interannuelles sont présentes, rendant ce travail plus difficile à mettre en œuvre.

A RETENIR

La somme des températures base 10 augmente en moyenne de 24,2°CJ par décennie sur l'ensemble des trois stations étudiées entre le 1^{er} mars et le 15 juillet.

De mars à juillet, les températures sont suffisantes à la pyrale de 1^{ère} génération pour réaliser un cycle complet.

Cette augmentation des températures laisse à penser que le contexte thermique deviendra de plus en plus propice au développement d'une seconde génération avec pour conséquence une pression plus importante sur la culture de maïs.

Ce risque est d'autant plus perceptible à Rouen (+34,2°CJ/décennie) et Alençon (+20,4°CJ/décennie), qui connaissent actuellement une augmentation plus prononcée des températures.



POUR EN SAVOIR PLUS

ARVALIS. Les Fiches Accidents Maïs. (Disponible sur : http://www.fiches.arvalis-infos.fr/fiche_accident/fiches_accidents.php?type_cul=3&type_acc=3&id_acc=126)

BRISSON N. et LEVRAULT F. 2010 – Changement climatique, agriculture et forêt en France : simulations d'impacts sur les principales espèces. Livre vert du projet CLIMATOR (2007-2010). ADEME, 336 p.

CULTIVAR. Mai 2018. De l'innovation sur les trichogrammes contre la pyrale du maïs. (Disponible sur : <https://www.cultivar.fr/technique/de-linnovation-sur-les-trichogrammes-contre-la-pyrale-du-mais>)

ELZBIETA Czembor, Institut d'Amélioration et d'Acclimatation de la Plante (IHAR), Pologne - Prévention de la fusariose des épis de maïs et de l'accumulation de mycotoxines dues aux Fusarium spp. (Disponible sur : <https://docplayer.fr/105938-Prevention-de-la-fusariose-des-epis-de-mais-et-de-l-accumulation-de-mycotoxines-dues-aux-fusarium-spp.html>).



Développement de la pyrale du maïs

OMAFRA. PYRALE DU MAIS. (Disponible sur : <http://www.omafra.gov.on.ca/IPM/french/sweet-corn/insects/european-corn-borer.html>)

PLOUFFE D., BOURGEOIS G., BEAUDRY N., CHOUINARD G., CHOQUETTE D., 2014. CIPRA – Centre Informatique de Prédiction des Ravageurs en Agriculture. Guide des cultures. [en ligne]. Disponible sur : http://www.agrometeo.org/help/guide_cultures.pdf (136) 57-61.

THIBORD J-B. ; 2009. Ravageurs du maïs, les foreurs sous haute surveillance. Perspectives agricoles n°361, p 61-65.



Condition climatique favorable au puceron d'automne sur blé

🔑 Nature et source des données

Série Quotidienne de Référence (Cf. lexique)
Données fournies par Météo-France.

🕒 Indicateur

Alençon (61) : 1959 – 2017

Rouen-Boos (76) : 1968 – 2017

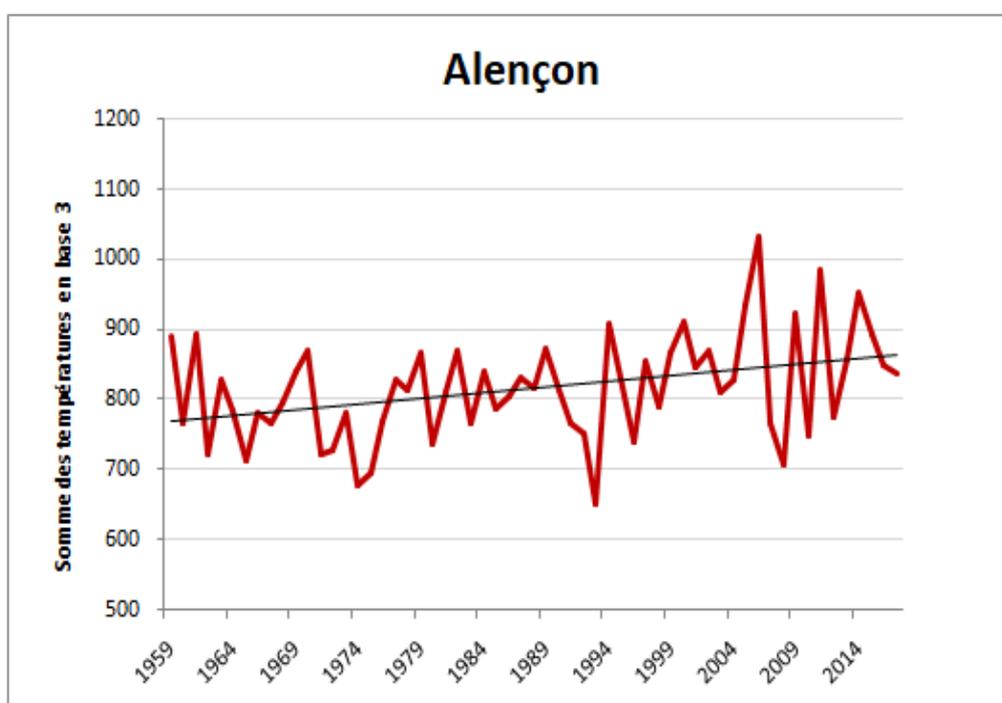
Caen-Carpiquet (14) : 1987 - 2017

📊 Calcul de l'indicateur

Somme des températures moyennes journalières en base 3°C écartées à 25°C du 1^{er} Septembre au 15 Décembre.

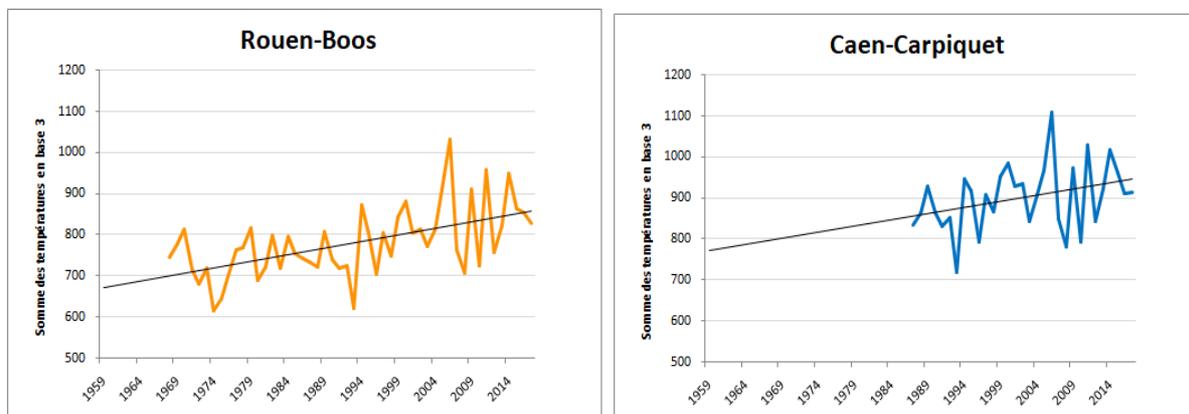
L'intérêt est porté sur l'évolution des conditions favorables au développement du puceron d'automne sur blé en Normandie. Le gradient thermique allant de 3°C à 25°C exprime la zone de confort du ravageur à un stade où le blé est sensible.

📈 Évolution observée





Condition climatique favorable au puceron d'automne sur blé



Analyse

Le tableau ci-dessous présente les évolutions tendanciennes sur la période observée (par ajustement linéaire) :

	Tendance (°C base 3/décennie)	Certitude de la tendance
Caen-Carpique	+ 29,8	93,3%
Alençon	+ 16,1	99,6%
Rouen-Boos	+ 32,1	99,9%
Moyenne 3 stations	+ 26	

On constate que l'évolution du cumul des degrés-jours de début septembre à la mi-décembre augmente de manière significative pour l'ensemble des stations de l'étude. La quantité de chaleur disponible pour le puceron d'automne sur blé augmente de façon significative malgré une variabilité interannuelle forte.

L'évolution tendancielle correspondant à l'ajustement linéaire montre que la somme de température base 3°C du 1^{er} septembre au 15 décembre a augmenté de :

- 92,2 °CJ en 31 ans à Caen-Carpique ;
- 95 °CJ en 59 ans à Alençon ;
- 160,4 °CJ en 50 ans à Rouen-Boos.

On observe une situation assez similaire entre les stations de Caen-Carpique et de Rouen-Boos. Alençon est concernée par une hausse des sommes de températures, mais de manière moins prononcée comparativement aux deux autres secteurs.

L'élévation des degrés-jours dans le temps est cohérente avec l'évolution des températures et le nombre de jours de gel par an (Cf. Indicateurs « Nombre de jours de gel par an » et « Température moyenne annuelle »).



Condition climatique favorable au puceron d'automne sur blé

Le puceron d'automne sur blé ou *Rhopalosiphum padi* est un insecte de type phytophage composé de pièces buccales piqueuses-suceuses et présentant plusieurs générations par cycle. Dans le détail, un cycle complet représente une douzaine de générations parthénogénétiques et une génération sexuée formée à l'automne (Arvalis, 2012). Il se développe dans un premier temps sur le merisier à grappes, considéré comme l'hôte primaire, puis se dirige vers les graminées et notamment le blé. Le puceron présent dès juin sur les graminées se multiplie davantage à l'automne lorsque les conditions climatiques deviennent plus défavorables au développement des mycoses et des insectes aphidiphages (INRA).

Concernant la contamination de la culture, celle-ci s'opère en deux phases distinctes. Lorsque les températures dépassent les 10°C à 12°C, les vols des ailés virulifères (porteurs de virus des plantes) sont possibles et ont un rôle de dissémination. Cette première étape commence généralement au début du mois de septembre. Dans un second temps, leur descendance non ailée ou pucerons aptères se disséminent dans la parcelle grâce à leur importante fécondité. Cette prolifération est d'autant plus grande lorsque la température est élevée. Une étude a été réalisée sur trois ravageurs afin d'apporter des précisions sur l'effet de la température sur leur métabolisme. On y apprend que les taux de développement ont augmentés avec la température jusqu'à un maximum de 20°C pour *Metopolophium dirhodum*, 22,5°C pour *Macrosiphum avenae* et 25°C pour *Rhopalosiphum padi*, diminuant par la suite à zéro à 30°C lorsque toutes les nymphes sont mortes. (Bulletin of Entomological Research, Cambridge).

Les températures basses peuvent également perturber son développement. En effet, lorsque les nuits d'automne sont plus fraîches, et atteignent voire descendent en dessous de 3°C, l'activité du puceron est arrêtée.

Même si d'autres paramètres influencent l'apparition de ce ravageur sur le blé tel que la durée d'ensoleillement ou le vent, le contexte thermique reste primordial et contrôle le métabolisme du *Rhopalosiphum padi*. Une étude menée par Arvalis en 2012 a montré l'importance du rôle de la température en évoquant des seuils précis :

- Seuil d'activité : 3°C
- Seuil d'envol : 11°C - 12°C
- Seuil de mortalité : environ -4°C
- Durée de vie d'un ailé : 5 à 7 jours maxi (labo : 15j à 15°C)

Si le contexte thermique le permet, l'apparition de dégâts sera perceptible sur les cultures. Ces dommages sont causés par la transmission de la JNO ou Jaunisse Nanisante de l'Orge. L'infection se fait en deux étapes, avec d'une part l'infection primaire, dépendante de l'effectif de pucerons ailés et d'autre part, la dissémination secondaire permettant d'étendre les dommages sur le blé. En chiffres, les dégâts peuvent osciller entre quelques quintaux et 40q/ha touchés pour le blé (Arvalis, 2012). Le risque de JNO est donc dépendant du nombre de pucerons ailés, et en parallèle des températures, du pouvoir virulifère et du temps de présence des aptères.

A l'avenir, si les températures ne cessent d'augmenter, le risque qu'il y ait une reproduction parthénogénétique va croître. Ainsi, on risque de voir disparaître la reproduction sexuée et également le stade œuf. Les automnes doux vont sélectionner les populations à reproduction asexuée avec une multiplication plus rapide du ravageur. Ces périodes plus chaudes pourront également participer à l'apparition d'un profil génétique plus adapté, peut-être plus résistant aux insecticides.

Afin de parer à ces attaques, il faut mettre en place des pratiques culturales adaptées comme éviter les semis trop précoces. L'intervention consiste en un traitement en végétation, uniquement en présence avérée de pucerons (ARVALIS, 2013). Le traitement préventif des semences n'est plus autorisé.



Condition climatique favorable au puceron d'automne sur blé

N'ayant pas de référence à proprement parler en termes de degrés-jours sur le puceron d'automne sur blé, il est difficile d'évoquer un seuil précis de sommes de températures à partir duquel ce ravageur se développe aisément. Toutefois, la tendance à la hausse des degrés-jours calculée à partir de son seuil d'activité minimum et maximum permet d'établir l'évolution de la confortabilité du ravageur. En définitive, cette analyse illustre les zones les plus propices à son apparition.

A RETENIR

La somme des températures augmente en moyenne de 26°CJ par décennie sur l'ensemble des trois stations étudiées entre le 1^{er} septembre et le 15 décembre.

De septembre à décembre, les températures douces offrent une confortabilité au puceron d'automne sur blé en Normandie.

Cette hausse des températures laisse à penser que le contexte thermique deviendra de plus en plus propice à une reproduction parthénogénétique, avec une multiplication plus marquée du *Rhopalosiphum Padi* et donc un risque potentiel de JNO accru.



POUR EN SAVOIR PLUS

ARVALIS. (2012). Pucerons vecteurs de viroses, Jaunisse Nanisante de l'Orge, Barley, Yellow Dwarf Virus.

ARVALIS. (2013). Ravageurs d'automne : pucerons, la lutte s'organise. Disponible sur : <https://www.arvalis-infos.fr/ravageurs-d-automne-pucerons-la-lutte-s-organise-@/view-13999-arvarticle.html>

ARVALIS. (2014). Ne pas baisser la garde contre les pucerons. Disponible sur : <https://www.arvalis-infos.fr/ne-pas-baisser-la-garde-contre-les-pucerons-@/14339/view.jspz?obj=arvarticle&id=14339&syndtype=null&hasRedirected=true>

CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS. (Juillet 2009). Bulletin of Entomological Research, p401-409. Disponible sur : <https://www.cambridge.org/core/journals/bulletin-of-entomological-research/article/effect-of-temperature-on-the-cereal-aphids-metopolophium-dirhodum-wlk-rhopalosiphum-padi-l-and-macrosiphum-avenue-f-hem-aphididae/1A9B07499A7A8F774D964ADAF0723318>

INRA, HYPPZ Zoologie. Puceron du merisier à grappes. Disponible sur : <http://www7.inra.fr/hyppz/RAVAGEUR/3rhopad.htm>



Faisabilité de la récolte précoce de l'herbe

Nature et source des données

Série Quotidienne de Référence (Cf. lexique)

Données fournies par Météo-France.

Indicateur

Alençon (61) : 1959 – 2017

Rouen-Boos (76) : 1969 – 2017

Caen-Carpiquet (14) : 1987 - 2017

Calcul de l'indicateur

Date de franchissement de la somme des T°C base 0 de 700°CJ à compter du 1^{er} février.

La date du 1^{er} Février est prise en compte car elle correspond au résultat d'une étude menée sur une quinzaine d'espèces prairiales ayant montré que la détection précoce des entre-nœuds varie entre le 15 Janvier et la fin Février (Arvalis, 1962).

A partir de cette date, on prend en compte la somme des températures moyennes journalières comprises entre 0°C, correspondant au zéro de végétation des graminées, et 20°C comme température maximale limitante.

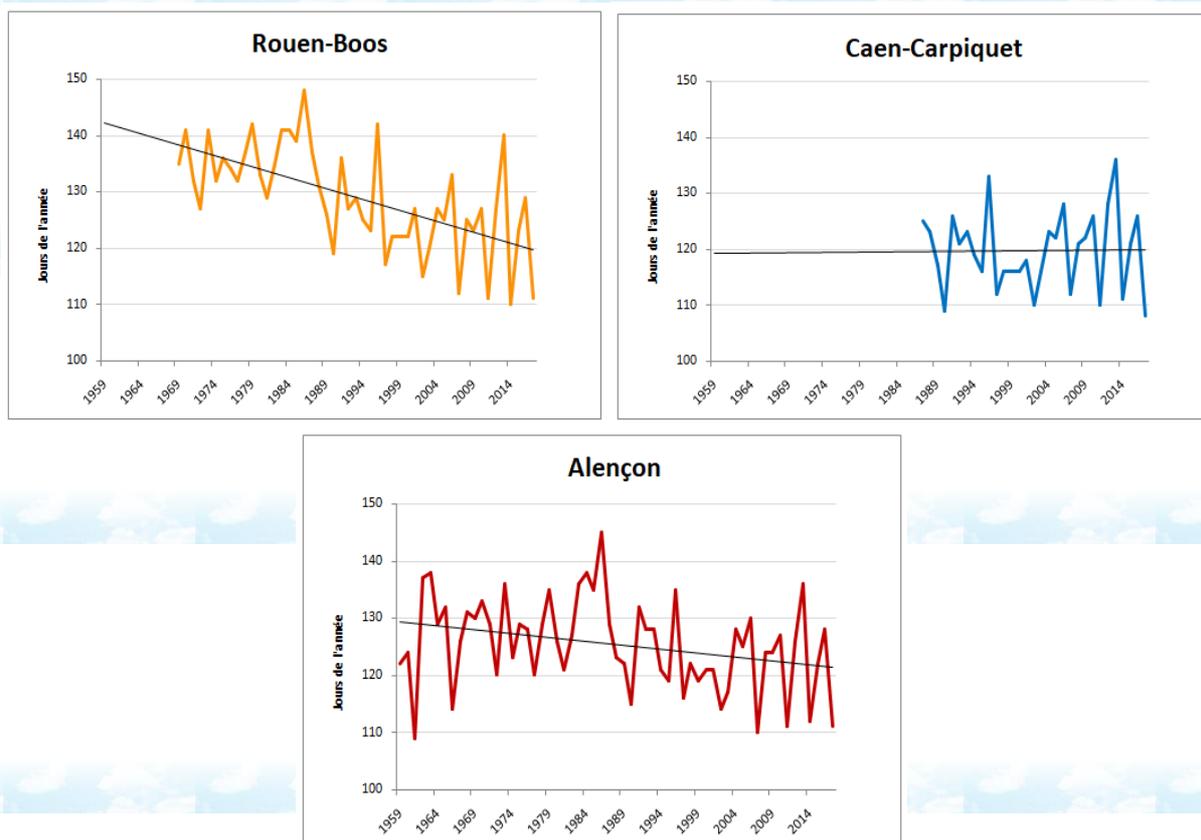
L'intérêt est ensuite de voir à quelle période de l'année on atteindra les 700°CJ, relatifs au début de l'épiaison sur des prairies de type fertiles précoces (ray-grass) ainsi qu'au démarrage de l'ensilage. (Typologie INRA). Ce stade végétal correspond à la période optimale de fauche, au-delà de laquelle, la qualité du fourrage décroît rapidement.

Malgré la baisse de la Surface Toujours en Herbe (STH, Cf : indicateur Part des surfaces en prairie) au sein des exploitations normandes, la présence de la prairie est encore élevée et représente actuellement 1/3 de la SAU totale. Son développement est dicté par plusieurs facteurs tout au long de son cycle cultural. En hiver et au début du printemps ce sont les températures trop basses qui limitent la croissance de l'herbe, puis c'est le rayonnement disponible, le déficit hydrique et parfois les températures excessives responsables du « creux » estival. (AGROPARISTECH).



Faisabilité de la récolte précoce de l'herbe

Évolution observée



Analyse

Le tableau ci-dessous présente les évolutions tendancielles sur la période observée (par ajustement linéaire) :

	Tendance (jours/décennie)	Certitude de la tendance
Caen-Carpiquet	+ 0,12	NS
Alençon	-1,4	97,8%
Rouen-Boos	-3,9	99,9%
Moyenne 3 stations	-1,7	

On constate une situation assez hétérogène en Normandie avec une légère avancée de la date de récolte de l'herbe pour deux des trois stations d'étude. Les tendances sont assez proches pour Alençon et Rouen-Boos et varient de -4 jours et -1 jour par décennie, avec une stagnation pour la station de Caen-Carpiquet. A noter qu'une variabilité interannuelle forte est présente pour les trois stations. Concernant la certitude de la tendance, seule Caen-Carpiquet ne présente pas d'évolution significative. Avec une série de données plus courte (31 ans) l'évolution est fortement masquée.



Faisabilité de la récolte précoce de l'herbe

L'évolution tendancielle correspondant à l'ajustement linéaire montre que la date théorique de la période optimale de fauche est passée du :

- 9 mai au 1er mai (- 8 jours) en 59 ans à Alençon ;
- 23 mai au 4 mai (- 19 jours) en 49 ans à Rouen-Boos ;
- Situation particulière à Caen avec une date inchangée (30 avril).

La situation de Caen-Carpiquet est singulière, et s'explique principalement par une courte série de données. L'influence maritime sur ce secteur peut également favoriser ce type de résultat. Alençon est le secteur où la récoltabilité de l'herbe est possible très tôt (1er mai). Cette précocité est également notable à Rouen-Boos (4 mai). Cette station est celle qui accuse l'avancée la plus prononcée avec presque 20 jours d'avance en 49 ans.

Cette précocité constatée est cohérente avec l'évolution des températures et du nombre de jours estivaux par an (Cf. Indicateurs « Température moyenne mensuelle » et « Nombre de jours estivaux par an »).

En pratique, la date d'ensilage est un compromis entre rendement, qualité, météorologie et organisation du chantier. Pour faire un ensilage d'herbe de valeur alimentaire élevée, il faut ensiler tôt. Mais plus la récolte est précoce, moins le rendement sera élevé.

Cette technique consiste à faucher une herbe « jeune » et à la conserver dans un silo. L'ensilage met en œuvre des fermentations où les bactéries lactiques transforment, en milieu humide et en l'absence d'oxygène, des glucides solubles en acide lactique. L'abaissement du pH empêche l'activité néfaste d'autres micro-organismes, tant que l'anaérobiose est maintenue. Le silo stabilisé peut ainsi se conserver plus d'un an (Récolte et conservation de l'herbe - Comment ça marche ? - Avril 2011, p3).

Même si la récoltabilité précoce de l'herbe est dépendante de plusieurs paramètres climatiques, et d'un choix personnel de l'agriculteur, il convient de rappeler que les sommes de températures ont une importance capitale en permettant de repérer les stades essentiels de la pousse de l'herbe (Cf Indicateurs « Date de mise à l'herbe »). A chaque stade va correspondre une pratique de l'éleveur. Ainsi, dans l'idéal, le départ en végétation devrait correspondre à la mise à l'herbe des animaux, le stade épi 5 cm à la fin du déprimage et à la fin du 1^{er} tour de pâturage, le début de l'épiaison aux premières coupes précoces et notamment l'ensilage (Chambre Agriculture Midi-Pyrénées, Fiches thématiques prairies, les sommes de températures, Avril 2016).

L'utilisation de ces températures est donc bénéfique aux exploitants, et permet de les alerter sur les dates importantes de gestion de l'herbe. L'intérêt de cette méthode est que, au lieu de se baser de façon systématique sur des dates figées, on peut s'adapter aux différentes années (précoces ou tardives), sous condition néanmoins de portance des parcelles.

En tant que culture pérenne, la croissance de la prairie se poursuit tout au long de l'année. Or, lorsque le principal facteur limitant la croissance est la température, le réchauffement climatique devrait permettre un allongement de la période de production et donc une exploitation (fauche ou pâturage) plus tôt au printemps et plus tard en fin d'année, à condition que les parcelles soient praticables (BRISSEON et LEVRAULT, 2010).



Faisabilité de la récolte précoce de l'herbe

A RETENIR

Une avancée très modeste de la date de franchissement des 700°CJ est observable en Normandie, sauf à Rouen-Boos avec -19 jours en 49 ans. Cet avancement est similaire pour deux des trois stations concernées par l'étude. Caen-Carpiquet est à l'écart de ce recul pouvant s'expliquer par la plus courte série de données (31 ans).

Cet avancement est en adéquation avec la hausse des températures constatée durant cette période.

La tendance actuelle, bien que modeste, montre que la récolte d'herbe précoce pourra être une option envisageable dans les années à venir.

Toutefois, la variabilité interannuelle forte laisse entrevoir des situations changeantes d'une année à l'autre.



POUR EN SAVOIR PLUS

AVENIR-CONSEIL-ELEVAGE. (2017). Pousse de l'herbe : La somme des températures pour piloter le pâturage. Disponible sur : <http://www.avenir-conseil-elevage.fr/NotreActualite/Article/1151>

AGROPARISTECH. (2003). Les prairies. Disponible sur : <https://tice.agroparistech.fr/coursenligne/courses/PHYTOTECHNIE/document/phytotechnie/pdf/prairies.pdf>

INRA. (Décembre 2017). Les prairies françaises : Production, exportation d'azote et lessivage. Disponible sur : <http://institut.inra.fr/Missions/Eclairer-les-decisions/Etudes/Toutes-les-actualites/Etudes-prairies-et-azote>

INRA. (Décembre 2014). Une méthode et un appui de l'INRA dès l'origine... ;

Disponible sur :

<file:///R:/40-EDT/44-Environnement/009%20Climat/Projet/ORACLE/2018/Bibliographie/Cultures/Fourrages/Prairies/Colloque - JP Theau 4 .pdf>

BRISSON N., LEVRAULT F. (2010). Changement climatique, agriculture et forêt en France : simulations d'impacts sur les principales espèces. Le Livre Vert du projet CLIMATOR (2007-2010). ADEME, 334 p.



Faisabilité de la récolte tardive de l'herbe en zone humide (Contrats MAEC)

Nature et source des données

Série Quotidienne de Référence (Cf. lexique)

Données fournies par Météo-France.

Indicateur

Alençon (61) : 1959 – 2017

Rouen-Boos (76) : 1969 – 2017

Caen-Carpiquet (14) : 1987 - 2017

Calcul de l'indicateur

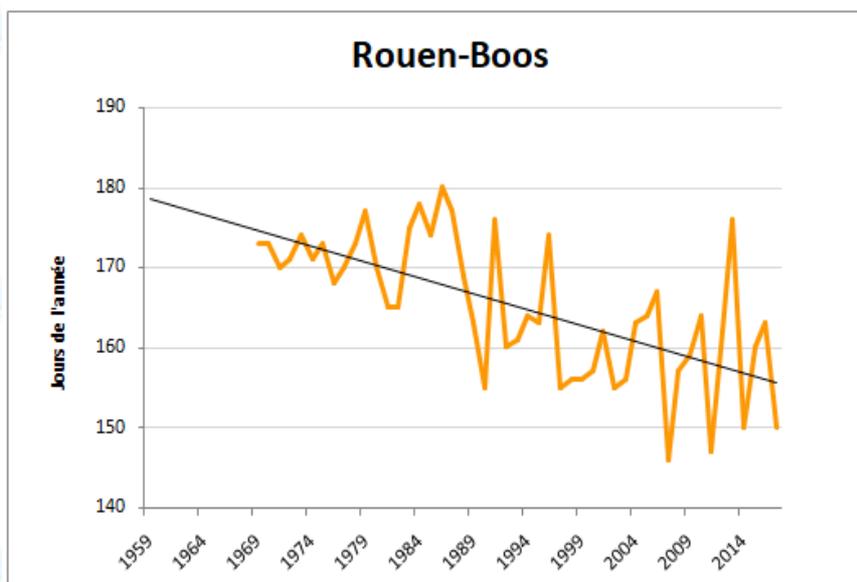
Date de franchissement de la somme des T°C base 0 de 1200°CJ à compter du 1^{er} février.

La date du 1^{er} Février est prise en compte car elle correspond au résultat d'une étude menée sur une quinzaine d'espèces prairiales ayant montrée que la détection précoce des entre-nœuds varie entre le 15 Janvier et la fin Février (Arvalis, 1962).

A partir de cette date, on prend en compte la somme des températures moyennes journalières comprises entre 0°C, correspondant au zéro de végétation des graminées, et 20°C comme température maximale limitante.

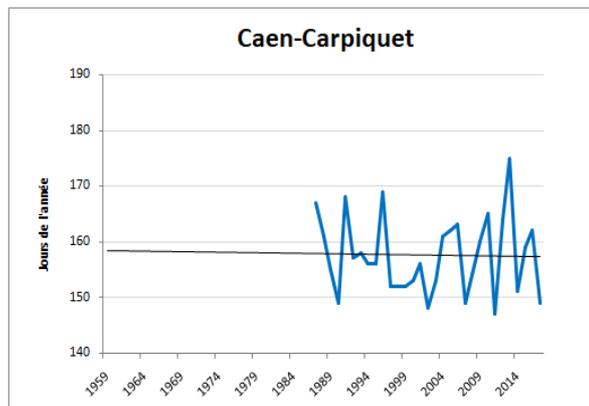
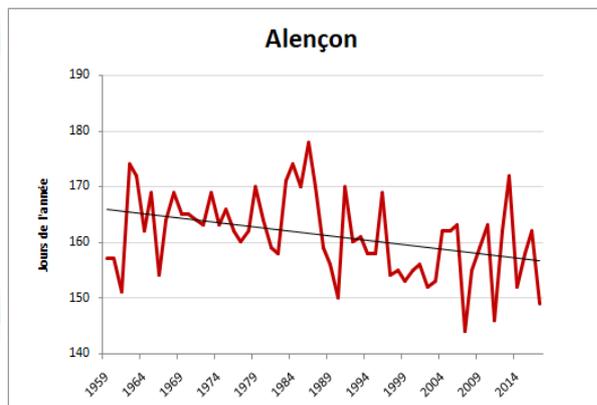
L'atteinte des 1200°CJ, relatifs à la période de pleine épaisseur et au démarrage des foins pour des prairies naturelles assez tardives (fétuque rouge, fléole des prés) selon l'INRA, permettra de mettre en avant l'évolution de la date des récoltes d'herbe sur ces secteurs humides.

Évolution observée





Faisabilité de la récolte tardive de l'herbe en zone humide (Contrats MAEC)



Analyse

Le tableau ci-dessous présente les évolutions tendancielle sur la période observée (par ajustement linéaire) :

	Tendance (jours/décennie)	Certitude de la tendance
Caen-Carpique	-0,2	NS
Alençon	-1,6	99,6%
Rouen-Boos	-3,9	99,9%
Moyenne 3 stations	-1,9	

Une certaine hétérogénéité est présente sur les stations étudiées. En effet, on constate une légère avancée de la date théorique de récolte de l'herbe sur prairies assez tardives avec des valeurs allant de 0 jour par décennie (Caen) et 4 jours (Rouen) par décennie, mais avec une variabilité interannuelle forte. La certitude de la tendance est affirmée à Rouen-Boos et Alençon, contrairement à Caen-Carpique où la situation est incertaine (série de données courte).

L'évolution tendancielle correspondant à l'ajustement linéaire montre que la date théorique de la période optimale de fauche en zone humide est passée du :

- 15 juin au 6 juin (- 9 jours) en 59 ans à Alençon ;
- 29 juin au 10 juin (-19 jours) en 49 ans à Rouen-Boos ;
- 8 juin au 7 juin (-1 jour) en 31 ans à Caen-Carpique.

Cet avancement constaté est cohérent avec l'évolution des températures annuelles et saisonnières. (Cf. Indicateurs « Température moyenne mensuelle » et « Température moyenne saisonnière »).

Les zones humides sont indissociables du paysage normand. Les marais du Cotentin et du Bessin pour ne citer qu'eux représentent des espaces ayant comme particularité d'héberger une faune et une flore riches. Ces secteurs sont également le support de l'agriculture avec l'utilisation de l'herbe pour le pâturage et la production de foin.



Faisabilité de la récolte tardive de l'herbe en zone humide (Contrats MAEC)

Dans certaines de ces zones humides, des contrats MAEC (Mesures Agro-Environnementales et Climatiques) ont été mises en place afin d'aider les exploitations agricoles qui s'engagent dans le développement de pratiques combinant performance économique et performance environnementale ou dans le maintien de telles pratiques lorsqu'elles sont menacées de disparition (agriculture.gouv.fr). Ces mesures s'appliquent en Normandie et passent par l'application d'un retard de fauche pouvant s'étendre de 15 à 30 jours selon les secteurs (Notice spécifique de la mesure « Gestion des zones humides avec retard de fauche » du territoire Vallée de la Bresle), en contrepartie d'une rémunération à l'hectare. L'objectif étant d'améliorer la gestion du pâturage de milieux remarquables, de limiter la pression de pâturage et de protéger la diversité faunistique et floristique.

Les prairies situées en zone humide sont généralement composées de fétuque rouge et de fléole. La fléole des près est très tardive, c'est-à-dire que la plante épie tardivement. Cette souplesse d'exploitation va permettre à l'éleveur de sécuriser son organisation d'exploitation de l'herbe. La fléole est également une plante très productive lors du premier cycle avec une épiaison tardive, puis les repousses resteront modestes le restant de l'année. Si la fléole est adaptée au pâturage, son intérêt se démarque par une fauche tardive, abondante et de qualité (La presse agricole de Normandie, OSSON.B).

L'indicateur choisi suit la démarche entreprise par l'INRA de Toulouse permettant de déterminer le stade de récolte de l'herbe à l'aide des sommes de températures. Cette méthodologie est ainsi retranscrite dans le module Herb'âge, désigné comme un outil permettant de convertir l'âge de l'herbe en somme de températures (Theau et Zerourou, 2008). Les sommes de températures moyennes journalières entre deux dates sont calculées pour estimer le stade de développement de l'herbe (Ansqueretal., 2009). Pour Jean-Pierre Theau (INRA Toulouse), c'est le seul moyen de comparer des pratiques entre elles dans des zones pédo-climatiques différentes et d'avoir une culture commune au niveau national.

En sachant qu'en Normandie, les prairies humides sont assimilées à des prairies naturelles assez tardives, et que la pratique du foin y est principalement opérée, on a opté en concertation avec les conseillers des Chambres d'agriculture pour une valeur de 1200°CJ. En ayant observé que le franchissement de ce seuil était de plus en plus précoce, on peut en déduire que la récolte sera réalisée de plus en plus tôt dans ces secteurs. En d'autres termes, la faisabilité de la récolte d'herbe tardive sera probablement compromise par le fait que le stade optimal pour les foin (stade pleine épiaison) sera atteint plus tôt dans l'année.

Toutefois, ce bilan est à prendre avec précaution en sachant que d'autres paramètres influencent la récoltabilité en zone humide, et notamment le contexte pédologique et pluviométrique. La portance des sols a son importance quant à la possibilité d'accéder aux champs. Les précipitations ont également une influence notable sur cette pratique. Avec une baisse de la durée moyenne des épisodes non pluvieux, la difficulté de réaliser du foin augmente avec un séchage à l'air libre d'une durée non suffisante pour garantir une qualité de fourrage (Cf. indicateur « Fréquence des précipitations pendant le fanage »). Les dates de fauche sont également régies par un cadre contractuel dont il est difficile de s'affranchir pour les agriculteurs ayant contractualisé une MAEC. Si la hausse des températures se poursuit, et que les conditions du milieu le permettent (portance), on aura probablement des dates de reports de fauche moins tardifs qu'aujourd'hui.



Faisabilité de la récolte tardive de l'herbe en zone humide (Contrats MAEC)

A RETENIR

Une avancée très modeste de la date de franchissement des 1200°CJ est observable en Normandie (presque 2 jours/décennie). Toutefois, des variations importantes sont présentes entre Caen (0 jour /décennie) et Rouen (- 4 jours/décennie).

Cet avancement est en adéquation avec la hausse des températures et implique une récolte plus précoce de l'herbe dans ces secteurs humides, si l'on souhaite de la qualité et du rendement.

La récolte en zone humide devra être réalisée plus tôt, en prenant également en compte les cumuls pluviométriques et l'état des sols.

Une variabilité interannuelle forte laisse entrevoir des situations changeantes d'une année à l'autre, impliquant une adaptation en fonction des années chaudes ou froides qui peut s'avérer incompatible avec une date fixe et contractuelle fixée par la MAEC.

Pour aller plus loin : Afin de savoir si les tendances constatées incitent réellement les agriculteurs à s'orienter davantage sur les foins que sur l'ensilage, il serait intéressant de se pencher sur la proportion de réalisation de foin et d'ensilage en zones humides. Un travail concernant la portance des sols permettrait également d'infirmer ou non le fait qu'on puisse récolter plus tôt sur ces secteurs.



POUR EN SAVOIR PLUS

AVENIR CONSEIL ELEVAGE. (2017). Pousse de l'herbe : La somme de températures pour piloter le pâturage. Disponible sur : <http://www.avenir-conseil-elevage.fr/NotreActualite/Article/1151>

PHILIPPE M-H. (Sept 2011). Les zones humides et la réglementation : faisons le point. Fiche technique réglementation en zone humide, 4p.

Direction Départementale des Territoires et de la Mer de la Seine-Maritime. (Campagne 2017). Notice spécifique de la mesure « Gestion des zones humides avec retard de fauche » du territoire Vallée de la Bresle (campagne 2017), 8p.

Agriculture.gouv.fr. Mesures agro-environnementales et climatique (MAEC) et aides pour l'agriculture biologique, 1p.

Disponible sur : http://agriculture.gouv.fr/sites/minagri/files/07_maec_et_aides_pour_lab.pdf

DREAL de Basse-Normandie. (Décembre 2017). Les zones humides en Basse-Normandie, 6p.
Disponible sur : http://www.donnees.normandie.developpement-durable.gouv.fr/pdf_dreal/eau/ZH.pdf

OSSON.B. (2017). La fléole des prés aime l'eau. La presse agricole de Normandie. (Disponible sur : <http://www.agriculteur-normand.com/actualites/la-fleole-des-pres-aime-l-eau:RHYQZY2D.html>).

THEAU J-P et ZEROUROU A. (2008). Herb'âge, une méthode de calcul des sommes de températures pour la gestion des prairies, Les Cahiers d'Orphée ; p103-108.



Impact des températures sur le ralentissement de la pousse de l'herbe

Nature et source des données

Série Quotidienne de Référence (Cf. lexique)

Données fournies par Météo-France.

Indicateur

Alençon (61) : 1959 – 2017

Rouen-Boos (76) : 1968 – 2017

Caen-Carpique (14) : 1959 - 2017

Calcul de l'indicateur

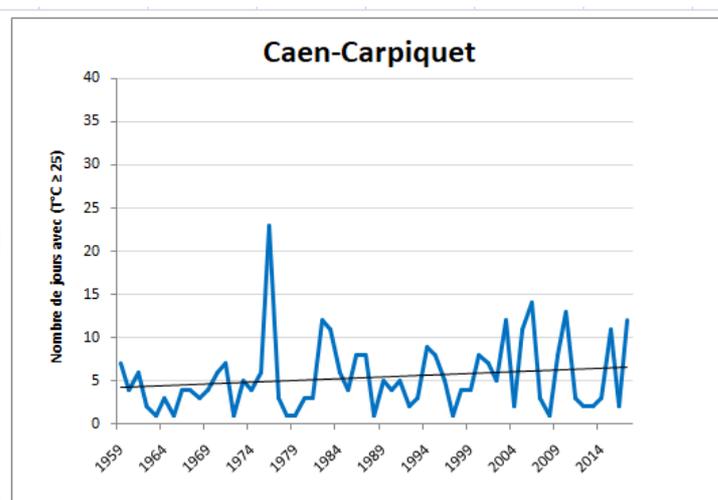
Nombre de jours où la température maximale est supérieure à 25°C du 01/06 au 15/07.

Les températures trop élevées influencent le développement de l'herbe. En Normandie, les prairies sont composées en grande majorité de ray-grass anglais, ne supportant pas les effets de la chaleur. Sa croissance ralentit à partir de 20°C et s'arrête pratiquement au-delà de 25°C (GNIS).

Du début du mois de juin à la mi-juillet, une forte diminution de la croissance de l'herbe est observée et s'explique principalement par la recrudescence de températures plus chaudes ou « *limitantes* ». Il faut savoir qu'en été, sauf dans les climats de type océanique très prononcé, les températures diurnes dépassent fréquemment les 25°C. Dès lors, l'activité de photosynthèse est ralentie chez nombre d'espèces, en particulier pour les rays-grass anglais, et la productivité de la prairie se réduit (Stratégies fourragères, 2008). Ensuite, un arrêt de la pousse de l'herbe se produit et se prolonge jusqu'à la fin de l'été et repart à la hausse avec l'émergence des pluies automnales.

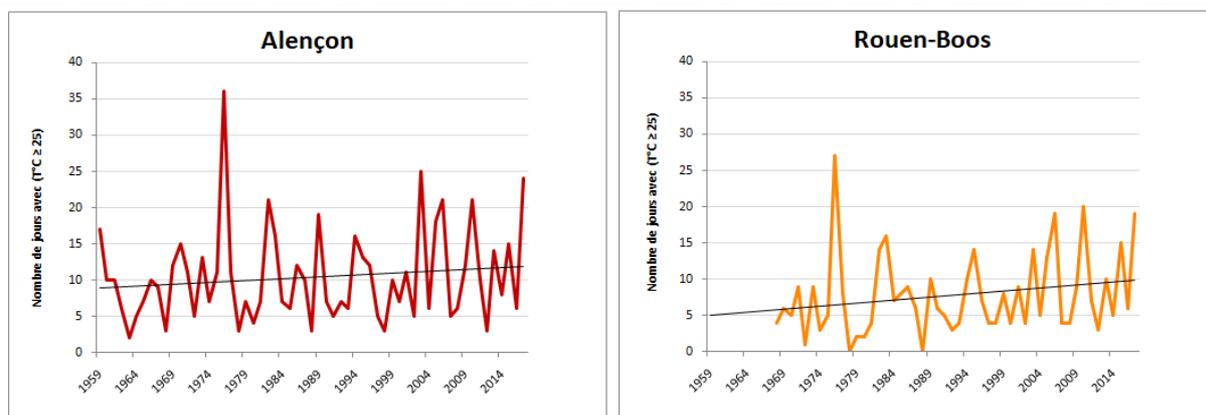
La date du 15 juillet a été définie comme la période moyenne où le creux estival débute réellement en Normandie.

Évolution observée





Impact des températures sur le ralentissement de la pousse de l'herbe



Analyse

Le tableau ci-dessous présente les évolutions tendanciennes sur la période observée (par ajustement linéaire) :

	Tendance (jours/décennie)	Certitude de la tendance
Caen-Carpiquet	+ 0,4	NS
Alençon	+ 0,5	NS
Rouen-Boos	+ 0,8	NS
Moyenne 3 stations	+ 0,6	

Aucune des trois séries de données analysées ne présentent d'évolution significative du nombre de jours supérieurs à 25°C du 1^{er} juin au 15 juillet. Ces évolutions illustrent à la fois l'absence de tendance générale et l'hétérogénéité spatiale pour cet indicateur.

Ainsi, les tendances observées par ajustement linéaire sur l'ensemble de la période sont de :

- + 2,3 jours estivaux à Caen-Carpiquet en 59 ans, (tendance non significative) ;
- + 2,9 jours estivaux à Alençon en 59 ans, (tendance non significative) ;
- + 4 jours estivaux à Rouen-Boos en 50 ans, (tendance non significative).

Les résultats montrent que les trois séries analysées ne présentent pas d'évolution significative du nombre de jours où la température maximale est supérieure à 25°C. L'observation des données illustre néanmoins une tendance à la hausse de ce nombre de jours chauds, avec 4 jours en plus en 50 ans à Rouen. Mais la variabilité annuelle reste très marquée, entraînant un gommage de la tendance. En effet, la Normandie bénéficie d'un climat de type « tempéré océanique », doux et humide. Cependant, le terme « tempéré » cache une importante variabilité et un grand nombre d'événements « hors-normes » (Profil environnemental de Basse-Normandie, 2015).



Impact des températures sur le ralentissement de la pousse de l'herbe

Pour preuve, l'année 1976 est marquée par une fin de printemps et un été chaud (+3°C au-dessus des normales), tandis que l'année 1978 est décrite comme une séquence fraîche (-1,5°C en dessous des normales saisonnières), (Chronique météo-Météo Paris) :

	Année 1976 (nb jours sup à 25°C)	Année 1978 (nb jours sup à 25°C)
Caen-Carpiquet	23	1
Alençon	36	3
Rouen-Boos	27	0
Moyenne 3 stations	28,6	1,3

D'une année à l'autre, les valeurs peuvent se trouver totalement bouleversées en fonction de la position des grands centres d'actions (anticyclones, dépressions), aboutissant à des écarts pouvant aller jusqu'à 1 mois entre une année froide et chaude.

Cet indicateur est à mettre en lien avec l'évolution de la température moyenne saisonnière (Cf : Température moyenne saisonnière).

La période analysée a son importance dans la gestion de l'herbe puisqu'elle correspond à l'intervalle de temps nécessaire à la repousse des prairies. En effet, entre la chute de la croissance de l'herbe et le début du creux estival, il est préférable de laisser jusqu'à 40 jours de repos à la prairie afin de ne pas épuiser les réserves racinaires des graminées. C'est à ce moment précis, que l'application du sursemis est préférée. En effet, la période privilégiée se situe après un ensilage ou un enrubannage et sur une terre réchauffée.

Le principe du sursemis est d'améliorer la composition floristique existante de la prairie en introduisant une ou plusieurs espèces fourragères sélectionnées dans les fonds prairiaux. Les objectifs recherchés sont d'améliorer la productivité et la qualité d'une prairie dont le niveau de dégradation est modéré (Quel entretien pour les prairies permanentes ? De l'amélioration par les pratiques à la rénovation totale, P.Pierre, D.Deleau, B.Osson, 2013, 54p).

Toutefois, cette pratique peut être limitée par le facteur thermique, comme l'explique une étude sur la variabilité de la germination en réponse à la température chez des variétés et populations sauvages françaises de trois espèces de graminées prairiales dont le ray-grass. En effet, les températures optimales pour la germination ont été estimées entre 7,9°C et 25,9°C (Adaptation des prairies semées au changement climatique : amélioration génétique et intensification écologique, Jean-Louis Durand, 26 sept 2017). Au-delà de ce seuil, le développement phénologique de la plante ralentit, voire s'arrête.

La hausse du nombre de jours chauds pourrait amener à une avancée et un renforcement du creux estival. Si la tendance venait à se confirmer, et qu'une plus nette augmentation des jours chauds venait à apparaître durant cette période, on aurait une diminution du rendement estival, ce qui pourrait accentuer le déséquilibre de production en été par rapport au printemps, et donc augmenter les reports de fourrages qui constituent une charge de travail importante pour les agriculteurs (BRISSON et LEVRAULT, 2010).



Impact des températures sur le ralentissement de la pousse de l'herbe

A RETENIR

Il n'y a pas d'évolution significative du nombre de jours chauds dans les trois stations étudiées.

Ce constat exprime une forte hétérogénéité spatiale et temporelle de ce paramètre climatique.

Toutefois, la tendance révèle une hausse de près de 4 jours à Rouen-Boos sur la période d'analyse (1968-2017). Si cette évolution tendait à être significative, il se pourrait que le creux estival débute plus tôt dans l'année.

L'apparition des fortes chaleurs à cette période explique pour beaucoup la diminution de la pousse de l'herbe et implique une diminution de rendement.



POUR EN SAVOIR PLUS

BRISSON N., LEVRAULT F. (2010). Changement climatique, agriculture et forêt en France : simulations d'impacts sur les principales espèces. Le Livre Vert du projet CLIMATOR (2007-2010). ADEME, 334 p.

DREAL Basse-Normandie (Dir.). (2015). Le climat, Profil environnemental de Basse-Normandie. 71p.

PRAIRIE-GNIS. Conduite et exploitation du ray-grass anglais. Choix des espèces et variétés fourragères. Disponible sur : <http://www.prairies-gnis.org/pages/rga2.htm>

CHRONIQUE METEO – METEO PARIS. Chronique météo-Météo Paris. Disponible sur : <http://www.meteo-paris.com/chronique/>

PIERRE P., DELEAU D., OSSON B. (26 sept 2017). Adaptation des prairies semées au changement climatique : amélioration génétique et intensification écologique, Jean-Louis Durand. p45-54.



Nombre de jours d'inconfort des animaux

🔑 Nature et source des données

Série Quotidienne de Référence (Cf. lexique)

Données fournies par Météo-France.

🕒 Indicateur

Alençon (61) : 1959 – 2018

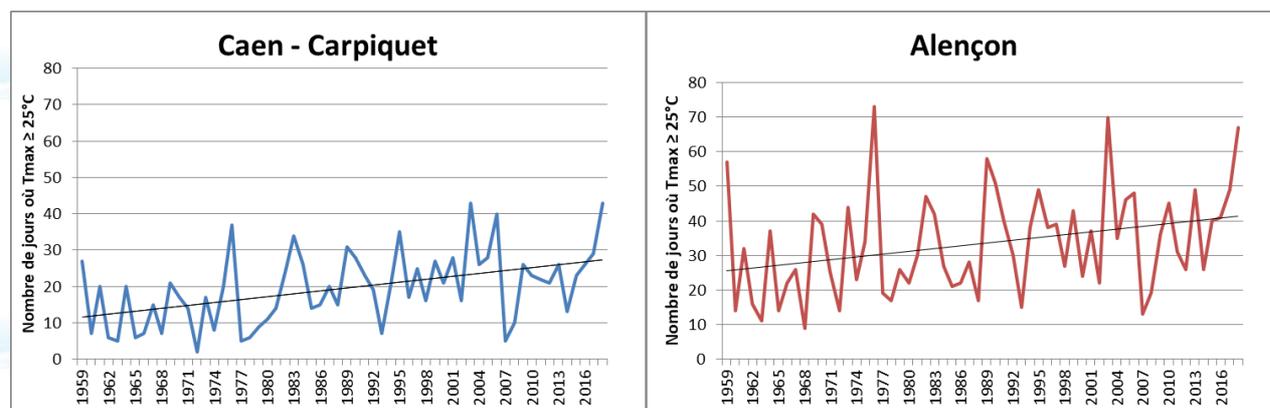
Rouen-Boos (76) : 1969 – 2018

Caen-Carpiquet (14) : 1959 – 2018

📊 Calcul de l'indicateur

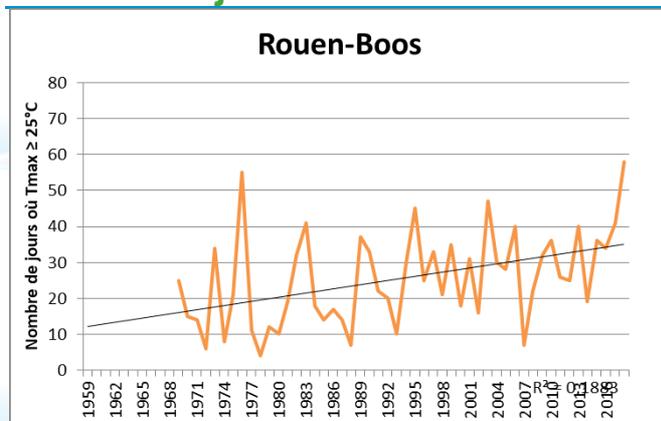
Nombre de jours où la température maximale journalière $\geq 25^{\circ}\text{C}$ du 1er Avril au 31 Octobre.
Cet indicateur donne une approche du risque de « coup de chaleur » néfaste aux animaux d'élevage, des indicateurs plus précis et adaptés à chaque espèce font intervenir par exemple l'hygrométrie de l'air pour les vaches laitières.

📈 Évolution observée





Nombre de jours d'inconfort des animaux



Le tableau ci-dessous présente les évolutions tendancielle sur la période observée (par ajustement linéaire) :

	Tendance (jours/décennie)	Certitude de la tendance
Caen-Carpiquet	2,7	
Alençon	2,7	
Rouen-Boos	3,8	
En moyenne en Normandie		

Ainsi, les tendances observées par ajustement linéaire sur l'ensemble de la période sont de :

- + 16,1 jours d'inconfort des animaux à Caen-Carpiquet en 60 ans,
- + 16,1 jours d'inconfort des animaux à Alençon en 60 ans,
- + 19,2 jours d'inconfort des animaux à Rouen-Boos en 50 ans,

Avec l'augmentation de la température moyenne au printemps et à l'été (cf. « Fiche Température moyenne saisonnière »), le nombre de jours d'inconfort des animaux (température maximale ≥ 25°C) augmente également.

La station de Rouen-Boos semble plus touchée. Toutefois, une très grande variabilité des données entre les années reste observée.

Le stress thermique peut avoir un effet néfaste sur les animaux. Chez le porc, par exemple, la truie peut connaître un déficit nutritionnel, le taux de mortalité peut augmenter ou bien encore la reproduction du verrat peut être affectée (Feller et al., 2004). La vache laitière a sa température idéale aux alentours des 10°C (Naud et al., 2006). L'augmentation du nombre de jour d'inconfort des animaux s'avère donc problématique pour les animaux en intérieur mais aussi en extérieur avec des animaux qui sont bien entendu plus exposés aux fortes chaleurs. La fin du pâturage en été s'annonce de plus en plus certaine. Les animaux d'intérieur sont touchés de manière moins forte car des systèmes de régulation existent. Toutefois, il faudra à l'avenir penser les bâtiments différemment car il est probable qu'une simple ventilation ne soit pas suffisante. Les bâtiments devront être réfléchis de manière bioclimatique et avec une réflexion sur la régulation thermique.



Nombre de jours d'inconfort des animaux

A RETENIR

Le nombre de jours d'inconfort des animaux (température maximale $\geq 25^{\circ}\text{C}$) augmente de manière significative sur les trois sites étudiés.

La température impacte directement les cheptels à l'extérieur mais également à l'intérieur. A terme, les bâtiments devront être repensés pour diminuer au mieux l'impact des journées de forte chaleur sur les animaux.



Date d'arrachage du lin textile de printemps

Nature et source des données

Série Quotidienne de Référence (Cf. lexique) jusque 2014 valeurs brutes de 2015 à 2018, sauf pour Evreux-Huest entièrement en valeurs brutes.

Données fournies par Météo France.

Indicateurs

Stations : Caen-Carpiquet (14) ; Englesqueville-la-Percée (14), Evreux-Huest (27) ; Gonneville (50), Alençon (61), Rouen-Boos (76).

Période observée : 1987 à 2018 pour Caen-Carpiquet (14), 1971 à 2018 pour Englesqueville (14), 1968 à 2018 pour Evreux-Huest (27), 1962 à 2018 pour Gonneville (50), 1964 à 2018 pour Alençon (61), 1969 à 2018 pour Rouen-Boos (76).

Calcul de l'indicateur

Date de franchissement de la somme de température base 5°C de 950°CJ, à compter du 15 mars.

Les températures déterminent la croissance du lin textile depuis son semis (courant mars selon la portance des sols) jusqu'à son arrachage. Le réchauffement climatique impactant les températures, cela entraîne l'avancement des dates d'intervention.

La levée intervient à 50 °C à partir du semis, la floraison à 550 °C. Les fibres sont matures à environ 400 °C depuis la floraison, soit à 950 °C depuis le semis. La richesse en fibre du lin n'évolue plus au-delà d'un cumul de 950 °C, et au-delà de 1050 °C les lins sont à sur-maturité. L'arrachage du lin doit donc être réalisé à partir du cumul de 950 °C.

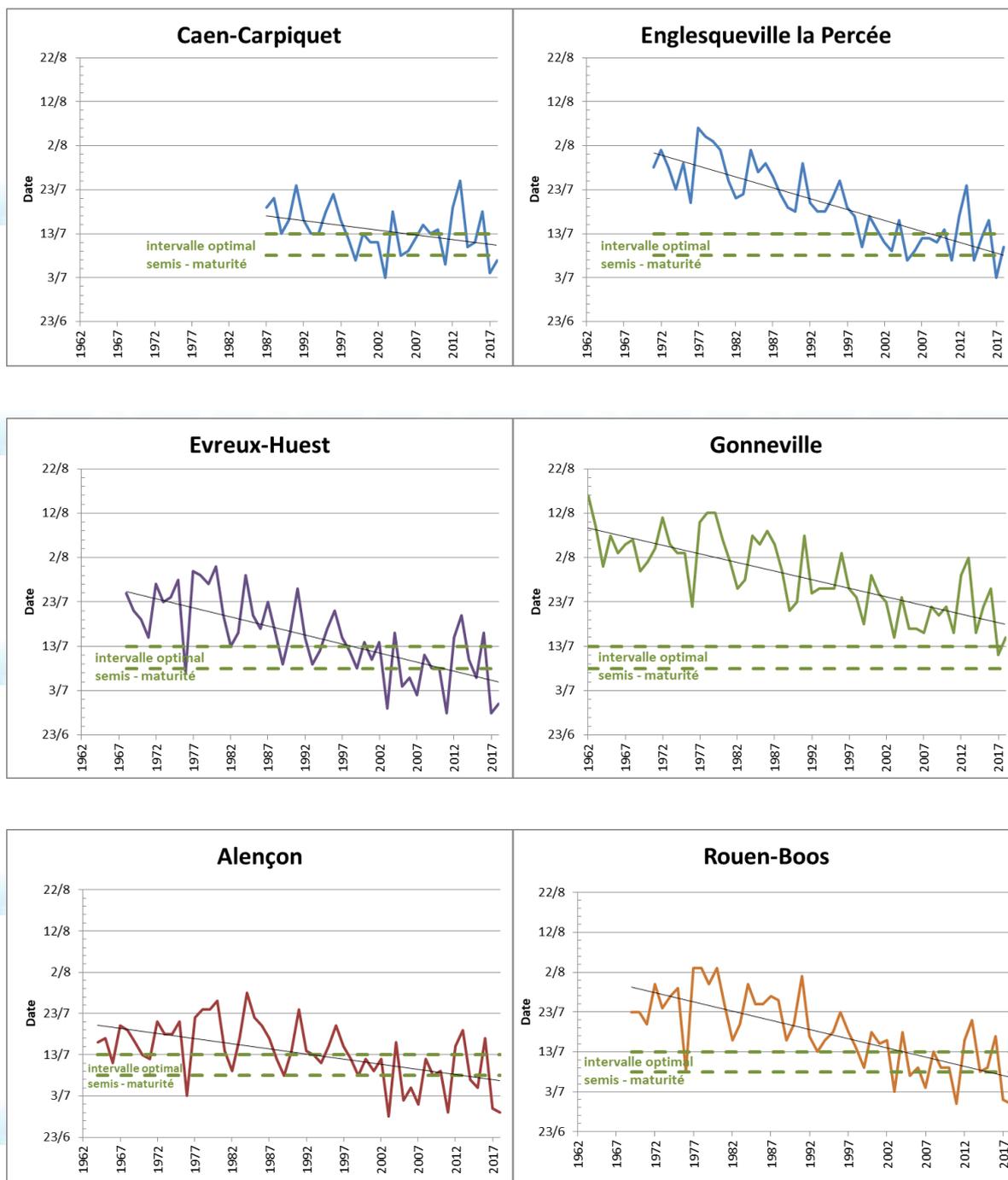
On cumule donc les températures moyennes journalières base 5°C (zéro de végétation du lin) à partir du 15 mars, date moyenne de semis en Normandie, puis on note la date de dépassement du seuil de 950°CJ. Cet indicateur devrait intégrer une température écrêtée à 28°C, ce qui n'a pas été pris en compte ici.

Pour la culture du lin fibre, on considère que 115 à 120 jours pour atteindre la maturité correspondent à des conditions optimales (Perspectives agricoles - Yan Flodrops, Philippe Gate, Olivier Deudon - juin 2019).



Date d'arrachage du lin textile de printemps

Évolution observée





Date d'arrachage du lin textile de printemps



Le tableau ci-dessous présente les évolutions tendancielle (par ajustement linéaire) :

	Tendance (jours/décennie)	Certitude de la tendance
Caen-Carpiquet	- 2,1	
Englesqueville-la-Percée	- 4,9	
Evreux-Huest	- 4,1	
Gonneville	- 3,9	
Alençon	- 2,5	
Rouen-Boos	- 4,6	
Moyenne 6 stations	- 3,7	

La zone historique de production du lin textile est représentée par les stations de Caen-Carpiquet et Rouen-Boos. On constate un avancement de la date théorique d'arrachage du lin pour toutes les stations étudiées en Normandie. Les tendances sont proches, elles sont comprises entre - 2 et - 5 jours par décennie. A noter que la tendance à Caen-Carpiquet apparaît moins marquée car elle est calculée sur une période plus récente (1987-2018), où le changement climatique s'est déjà manifesté. Les variabilités interannuelles sont très fortes, elles se manifestent par des pics et des creux sur les graphiques.

Cet avancement constaté est cohérent avec l'évolution des températures (Cf. Indicateurs « Température moyenne annuelle »).

L'évolution tendancielle correspondant à l'ajustement linéaire montre que la date théorique d'arrachage du lin est passée du :

- 17 juillet au 11 juillet en 31 ans à Caen-Carpiquet ;
- 29 juillet au 7 juillet en 56 ans à Rouen-Boos.

Dans des zones où la culture du lin n'est pas pratiquée actuellement, la date théorique d'arrachage du lin est passée du :

- 31 juillet au 9 juillet en 47 ans à Englesqueville-la-Percée ;
- 25 juillet au 5 juillet en 50 ans à Evreux-Huest ;
- 8 août au 17 juillet en 56 ans à Gonneville ;
- 21 juillet au 7 juillet en 54 ans à Alençon

Cet avancement de 4 jours par décennie en moyenne abouti à un raccourcissement du cycle qui pourrait compromettre à terme la production optimale de fibres. Parmi les stations étudiées, l'intervalle optimal de 115 à 120 jours entre semis et maturité reste accessible ces dernières années à Caen-Carpiquet et Rouen-Boos (Cf. graphiques). Une station « fraîche » du littoral telle qu'Englesqueville-la-Percée s'en rapproche, ce qui permet d'élargir la zone de production, alors que Gonneville présente encore un intervalle trop long. A l'inverse, Evreux-Huest et Alençon présentent de plus en plus d'années avec un intervalle trop court. Dans ces situations, un semis plus précoce du lin est envisageable pour allonger le temps de croissance, mais le risque de gel doit alors être étudié.



Date d'arrachage du lin textile de printemps

A RETENIR

On remarque une avancée de la date théorique d'arrachage du lin. Cet avancement est similaire sur l'ensemble des sites étudiés, ce qui montre l'homogénéité de la région concernant cet indicateur.

Cet avancement est cohérent avec l'augmentation des températures constatée.

Pour aller plus loin :

La date d'arrachage du lin dépend aussi d'autres facteurs :

- la date de semis, en fonction des conditions de portance,
- la disponibilité en eau au cours de du printemps : une période sèche freine la croissance,
- les températures maximales : en optimum, pas plus de 5 jours dépassant 25°C.

Dans la pratique il faut aussi qu'il n'y ait pas de pluie dans les 2 à 3 jours suivants l'arrachage. En cas d'orage, le fanage des pailles est moins efficace et le rouissage s'en trouve perturbé.

Rendement en blé tendre

🔑 Nature et source des données

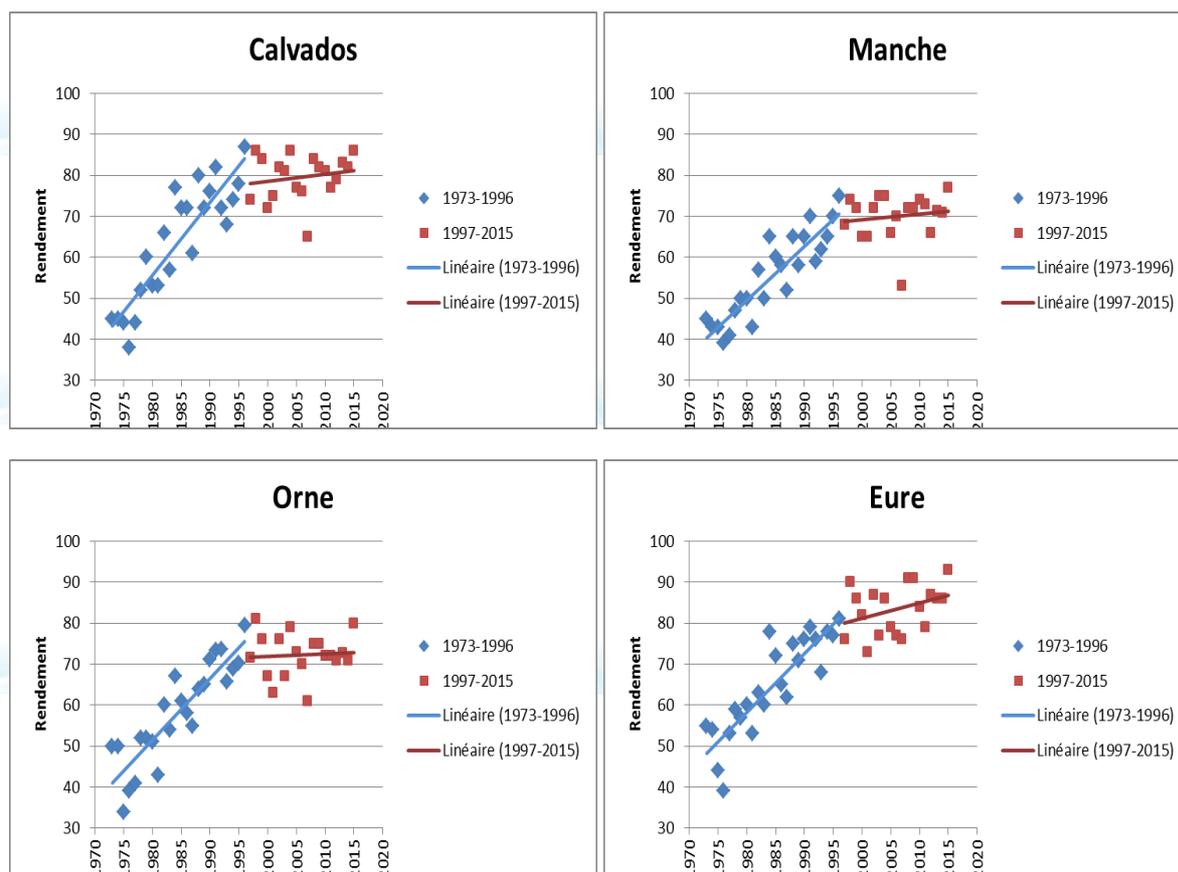
Données fournies par :

- l'Agreste (outil en ligne disar) ;
- Chambre Régionale d'Agriculture de Normandie ;
- DRAAF Normandie.

🕒 Indicateur

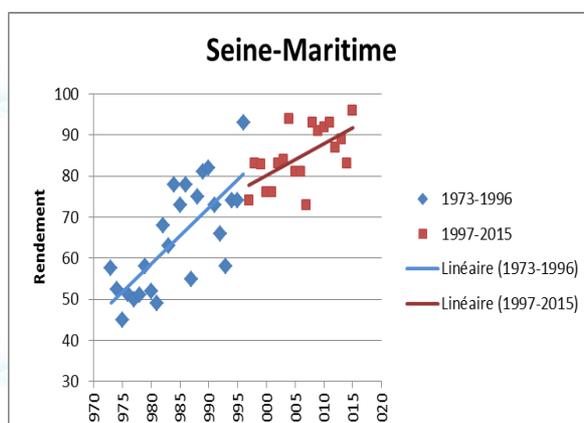
Rendements départementaux en blé tendre d'hiver de 1973 à 2015.

📈 Évolution observée





Rendement en blé tendre



Analyse

On observe que, depuis 1973 et jusqu'à la fin des années 1990, les rendements départementaux en blé tendre ont augmenté de façon nette et régulière, ce qui a permis de passer d'environ 40-50 Qx/ha au début des années 1970 à plus de 70-80 Qx/ha dans les années 1990 (blé battu à 16% d'humidité). Cet accroissement spectaculaire s'explique par l'amélioration variétale, combinée à l'accroissement de la technicité de culture (préparation de sol, semis, protection phytosanitaire, récolte).

A la fin des années 1990, on constate une interruption assez brutale de cette progression, suivie par un net plafonnement des rendements. En Normandie, on constate que le plafonnement apparaît entre 1996 et 1998.

Les tendances sont similaires pour quatre départements, mais la Seine-Maritime se distingue. Pour ce département on constate que la rupture est beaucoup moins marquée. Ceci peut s'expliquer en partie par l'évolution du nombre de jours échaudants sur ce même département (Cf. Indicateur « Nombre de jours échaudants du 1^{er} Avril au 30 Juin »). Des études plus poussées devront être menées afin d'identifier les causes exactes (choix de variétés, types de sols, etc.).

Ce phénomène s'observe aussi sur l'ensemble de la France (et même en Europe) avec quelques nuances sur l'année de rupture se situant entre 1991 et 2000 suivant le département. Les travaux de Nadine Brisson ont permis de définir 1996 comme la date d'apparition du plafonnement moyen en France métropolitaine. Cette année marque ainsi le basculement des rendements en blé tendre. Les deux courbes de tendance illustrent bien ce basculement avec un changement de pente très net.

Le tableau ci-dessous présente l'évolution du rendement de 1973 à 1996 :

	Progression du rendement avant le plafonnement (Q/ha/an)	Certitude de la tendance	Année d'apparition du plafonnement
Calvados	1,91	99,9%	1996
Eure	1,35	99,9%	1998
Manche	1,13	99,9%	1996
Orne	1,72	99,9%	1998
Seine-Maritime	1,38	99,9%	1996
Moyenne Normandie	1,50		1996-1998
Moyenne France	1,23		1996



Rendement en blé tendre

Les travaux de N. BRISSON *et al* (2010) ont permis d'identifier les causes de ce plafonnement, et d'établir un lien avec le changement climatique.

- Tout d'abord, il est démontré que la progression annuelle des rendements en blé tendre résultant de l'amélioration variétale, s'est maintenue de façon continue depuis 1980 (avant la rupture) en France à un niveau compris entre +1,0 à +1,2 Q/ha/an. Le progrès génétique n'est donc pas en cause dans le plafonnement des rendements observé.
- Ensuite, il est établi qu'une légère baisse (environ 20 kg N/ha) de la fertilisation azotée du blé tendre a eu lieu en France entre 2000 et 2007, consécutivement à la mise en application de la Directive Nitrates, et que cette modération de la fertilisation azotée a induit une limitation du rendement de -0,15 Q/ha/an sur cette période.
- En outre, il apparaît que les changements de rotations culturales (raccourcissement des rotations, remplacement des légumineuses par le colza) ont entraîné une diminution de 5 à 10% des légumineuses, qui s'est traduit par une baisse des rendements du blé tendre de -0,35 Q/ha/an.
- Enfin, il est démontré que le réchauffement du climat a entraîné une fréquence accrue de températures élevées durant la phase de remplissage des grains induisant le phénomène dit "d'échaudage" (Cf. fiche "Nombre de jours échaudants"), et que l'occurrence accrue de ces accidents physiologiques d'origine climatique a induit une limitation du rendement comprise entre -0,2 et -0,5 Q/ha/an.

Ainsi, le changement climatique a bien un impact dépréciateur sur les rendements en blé tendre en Normandie, impact perceptible depuis la fin des années 1990. Cet impact du changement climatique, se superpose à l'effet dépréciateur de deux autres facteurs (baisse de la fertilisation azotée et raréfaction des légumineuses dans les rotations) pour au final compenser partiellement ou en totalité les gains de rendement découlant du progrès génétique. Le changement climatique explique pour "un tiers à moitié" le plafonnement des rendements en blé tendre observé dans notre région depuis la deuxième moitié des années 1990.

En matière d'adaptation au changement climatique, l'esquive de ces accidents d'échaudage de fin de cycle doit être favorisée, qui correspond à l'avancement des dates de récolte. Cette esquive peut être obtenue par l'avancement des dates de semis et/ou le recours à des variétés plus précoces.

Il faut cependant mesurer que l'avancement des dates de semis et le choix de variétés plus précoces peuvent générer des risques supplémentaires pour la culture (mauvaise levée, gel méiose, gel épi 1 cm) et que l'avancement des dates de semis peut induire un accroissement des risques parasitaires et d'adventices.

Des nouvelles références régionales de dates de semis et de choix de variétés vont devoir être progressivement élaborées au titre de l'adaptation au changement climatique.



Rendement en blé tendre

A RETENIR

On observe en Normandie mais de manière moins marquée en Seine-Maritime un plafonnement des rendements en blé tendre qui commence à la fin des années 1990. Ce phénomène, qui s'observe dans l'ensemble des départements de France métropolitaine, résulte pour moitié du changement climatique qui a accru les stress hydriques et thermiques en fin de cycle cultural.

L'avancement des dates de semis et le choix de variétés précoces (dans les limites permises par l'agronomie) sont les voies majeures d'adaptations qui devront être testées.



POUR EN SAVOIR PLUS

BRISSON N. et LEVRAULT F. 2010 – Changement climatique, agriculture et forêt en France : simulations d'impacts sur les principales espèces. Livre vert du projet CLIMATOR (2007-2010). ADEME 336 pages.

BRISSON N. *et al* 2010 - Why are wheat yields stagnating in Europe ? A comprehensive data analysis for France. *Field Crops Research* 119/1 : 201-212.

GRASSINI P., ESKRIDGE K. M. et CASSMAN K. G. 2013 - Distinguishing between yield advances and yield plateaus in historical crop production trends. *Nature Communications* 4 : 2918.

LOBELL D. 2012 – The case of the missing wheat. *Environmental Research Letters* 7 : 021002.

LOBELL D., SCHLENKER W. et COSTA-ROBERTS J. 2011 – Climate trends and global crop production since 1980. *Science* 333 : 616-620.

LIN M. et HUYBERS P. 2012 - Reckoning wheat yield trends. *Environmental Research Letters* 7 : 024016.

RAY D. K. *et al* 2012 - Recent patterns of crop yield growth and stagnation. *Nature Communications* 3 : 1293.

3 IMPACTS AGRICOLES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement cLimatiqueE

Rendement en betterave industrielle

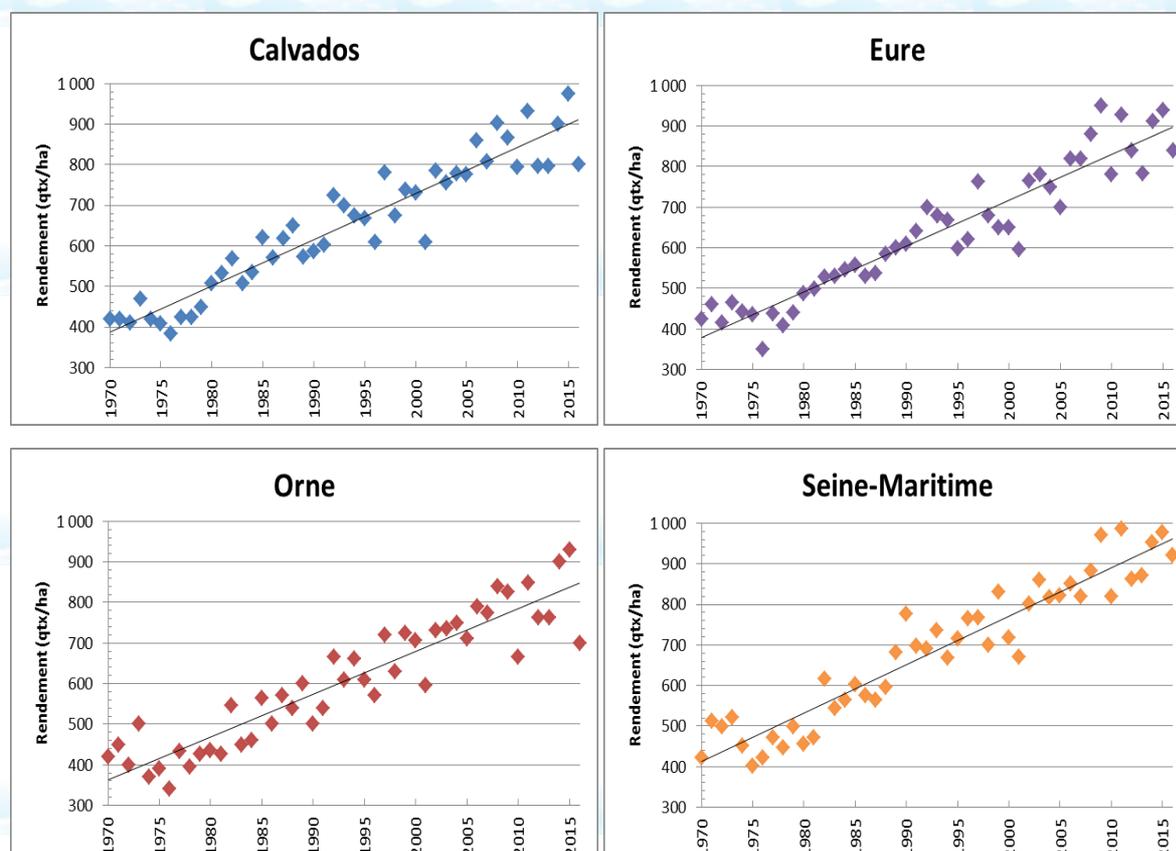
🔑 Nature et source des données

Données fournies par l'Agreste (outil en ligne disar), la DRAAF Normandie et l'ITB.

🕒 Indicateur

Rendements départementaux en betteraves sucrières de 1970 à 2016. La culture n'est pas pratiquée dans le département de la Manche, trop éloigné des installations sucrières.

📈 Évolution observée



📊 Analyse

Le tableau ci-dessous présente les évolutions tendancielle (par ajustement linéaire) :

	Tendance (qtz/ha/an)	Certitude de la tendance
Calvados	+ 11,34	99,9%
Eure	+ 11,30	99,9%
Seine-Maritime	+ 11,93	99,9%
Orne	+ 10,55	99,9%
Moyenne Normandie	+ 11,28	99,9%
Moyenne France	+ 11,40	99,9%



Rendement en betterave industrielle

Depuis presque 50 ans, le rendement en betteraves industrielles est en progression constante et régulière en Normandie, en adéquation avec l'évolution constatée dans le reste de la France. Ainsi, les rendements moyens normands sont passés de 400 qtx/ha en 1970 à 900 qtx/ha aujourd'hui.

L'analyse des rendements ne prend pas en compte le département de la Manche qui ne dispose pas de données suffisamment complètes, en raison du faible nombre d'exploitation cultivant de la betterave sucrière. Malgré cela, les données laissent transparaître le même type de tendance.

Les travaux de l'Institut Technique de la Betterave (2011) ont permis d'identifier plus précisément les causes de cette progression, estimée à 1,8%/an :

- 25% du progrès résulte de l'amélioration variétale qui comprend entre autres la qualité des semences et les évolutions génétiques. Depuis les années 50, les changements de génétique ont été très importants tels que le développement de variétés résistantes aux nématodes, un basculement total de toutes les variétés vers la résistance à la rhizomanie, etc. Cette évolution est la conséquence du changement du contexte pathologique, sans doute dû au changement climatique.
- 25% du progrès est dû à l'amélioration des techniques culturales telles que la qualité d'implantation, le désherbage, les protections sanitaires et l'avancement des dates de semis. Celles-ci, en lien avec le réchauffement climatique ont par exemple été avancées de 11 jours sur les 15 dernières années. Depuis 2007, la technique d'activation des semences a permis quant à elle des vitesses de levée plus rapide de l'ordre de deux jours, permettant un gain potentiel de rendement de près de 2%.
- 50% du progrès vient du changement climatique, expliqué essentiellement par la hausse des températures. Cette dernière stimule la mise en place précoce du bouquet foliaire, ce qui permet une couverture du sol par le feuillage plus précoce et augmente la durée de végétation. Ainsi, l'interception du rayonnement lumineux, en étant plus précoce, induit une conversion par la plante en biomasse, puis en sucre, plus importante. On estime qu'en France, le rendement moyen en sucre augmente de 180 kg/ha/an (ITB, 2011).

Le changement climatique a donc un effet favorable sur les rendements de la betterave industrielle en Normandie, tout comme dans le reste de la France depuis les années 70. Cet effet appréciable s'ajoute à la réduction d'engrais azotés utilisés pour cette culture en France (-43% depuis 1977 pour un champ de betteraves). Cette baisse est due à une analyse plus fine des besoins de la betterave et le remplacement de l'engrais chimique par de la fumure organique depuis de nombreuses années.

La hausse des températures printanières et estivales, bien qu'accroissant le rendement, va dans le même temps provoquer plus de stress hydrique. Celui-ci, en plus de diminuer les rendements, a des effets négatifs sur la qualité et l'extractibilité du sucre en raison d'une forte augmentation des composés azotés solubles. Et l'échaudage, bien que n'affectant pas la croissance de la betterave, va accentuer l'effet du stress hydrique. Les problèmes sanitaires pourraient eux-aussi se trouver accrues.

Par la suite, l'avancement des dates de semis pourrait se poursuivre afin d'augmenter davantage la productivité. Un recul de la date de récolte pourrait aussi avoir lieu pour les rendre les plus tardives possibles, ce qui est notamment envisageable par l'apparition de conditions de récolte pouvant devenir plus sèches. Mais pour le moment, cette date de récolte n'a pas été véritablement modifiée et elle est réfléchiée en amont pour favoriser une conservation des betteraves courte, évitant ainsi la pourriture possiblement augmentée par la hausse des températures automnales.



Rendement en betterave industrielle

A RETENIR

On observe en Normandie et dans chacun des départements producteurs une forte augmentation des rendements en betteraves industrielles depuis presque 50 ans. Ce phénomène est semblable et de même ampleur que celui observé dans le reste de la France.

Cette évolution est due pour moitié au changement climatique et plus particulièrement à l'augmentation des températures, accélérant la mise en place du bouquet foliaire.

La seconde moitié de l'évolution provient des progrès génétiques et des techniques culturales.

Mais cette progression est sous la menace du stress hydrique qui va augmenter à l'avenir et qui peut diminuer ces rendements ainsi que la qualité du produit.



POUR EN SAVOIR PLUS

ITB. (2011). La Technique Betteravière 2011. Le Betteravier français n°941. Evolution des rendements depuis 1990 : Un effet favorable du changement climatique ? 71-72

S. DOUBLET et al. (2013). Agriculture, forêt, climat : vers des stratégies d'adaptation. Centre d'études et de prospective du ministère de l'Agriculture.



Rendement en maïs ensilage

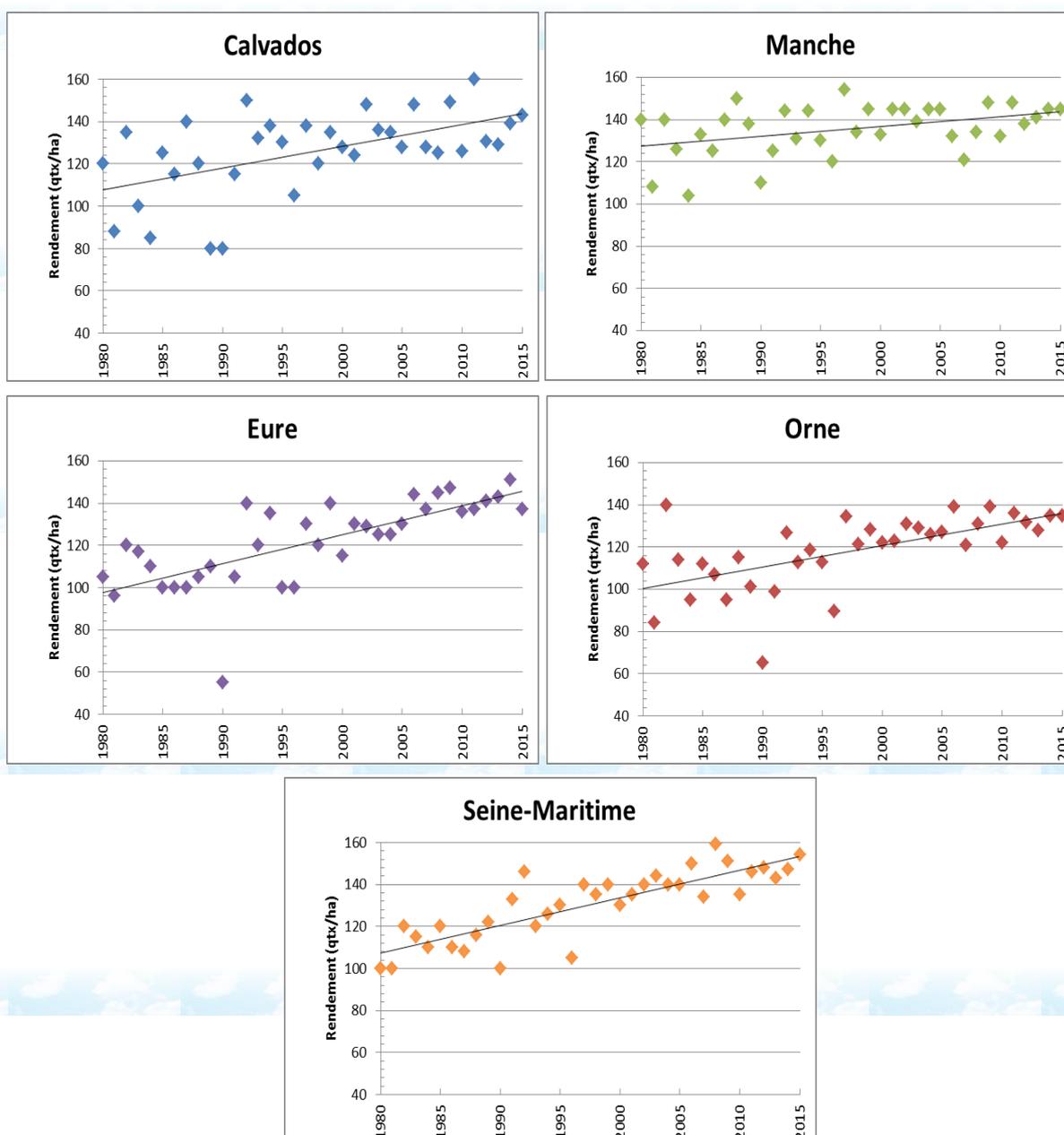
🔑 Nature et source des données

Données fournies par l'Agreste (outil en ligne disar) et la DRAAF Normandie.

🕒 Indicateur

Rendements départementaux en maïs ensilage de 1980 à 2015.

📈 Évolution observée





Rendement en maïs ensilage



Le tableau ci-dessous présente les évolutions tendancielles (par ajustement linéaire) :

	Tendance (qtx/ha/an)	Certitude de la tendance
Calvados	+ 1,02	99,9%
Eure	+ 1,37	99,9%
Manche	+ 0,47	95%
Orne	+ 1,02	99,9%
Seine-Maritime	+ 1,33	99,9%
En moyenne en Normandie	+ 1,04	

Depuis les années 80, le rendement en maïs ensilage est en faible progression dans toute la région, bien que la Manche présente une évolution relativement plus faible. On peut d'ailleurs noter qu'il y a 35 ans, les rendements du Calvados, de l'Eure, de l'Orne et de la Seine-Maritime étaient similaires, et compris entre 100 et 110 qtx/ha/an, lorsque dans la Manche ceux-ci atteignaient déjà 130 qtx/ha/an en tendance. Les évolutions différenciées entre ces quatre départements et la Manche ont permis aux rendements de tous être du même ordre de grandeur aujourd'hui (140 qtx/ha/an).

De plus, l'observation des données nous permet de constater qu'au fil du temps, les variabilités interannuelles départementales diminuent pour finir par avoir des rendements plutôt similaires depuis quelques années.

Le rôle du changement climatique dans l'évolution des rendements en maïs fourrager n'a pas encore été prouvé de façon précise. Cependant plusieurs travaux d'études montrent que les stades phénologiques arrivent de plus en plus précocement (Cf. Indicateur « Degrés-jours de croissance (semis-floraison) ») et donc que la durée des phases culturales est raccourcie, en raison de l'augmentation des températures. Il en résulte une durée de remplissage des grains amoindrie, accentué par le fait que le raccourcissement des stades fait glisser la phase de remplissage vers les mois les plus chauds.

Cependant, la Normandie est l'une des seules régions où la production de maïs sera en augmentation dans le futur d'après le projet Climator (BRISSON & LEVRAULT, 2010), comme c'est visiblement le cas actuellement. Cela est dû à une régularisation de la production interannuelle permise par le réchauffement climatique car les températures étaient auparavant, dans les zones fraîches de la région, insuffisantes pour une bonne croissance du maïs. Cet état de fait ne suffit pas à expliquer cette hausse relative.

L'explication la plus plausible est une avancée des dates de semis, réalisée plus ou moins consciemment par les agriculteurs depuis de nombreuses années. Combiné à l'utilisation de variétés plus tardives (permises par l'augmentation des températures), le but est la recherche d'un rendement accru. Lorsque la variété n'est pas changée pour une date de semis avancée, c'est l'esquive des stress hydriques de fin de cycle est qui voulue, optimisant alors le rendement.

De plus, on peut supposer que dans un premier temps l'élévation des températures ne fait que mettre les températures au même niveau qu'elles le sont encore actuellement dans le sud, avant d'être trop élevées, et donc finir dans un futur lointain par être néfastes pour le maïs ensilage.

Le type de sol a pu également influencer l'état des rendements, notamment selon sa sensibilité hydrique.



Rendement en maïs ensilage

Ces hypothèses ne sont pas encore confirmées, c'est pourquoi il serait intéressant de compléter et de confirmer ou non ces pistes en :

- Engageant un travail de monitoring sur l'augmentation des tardivetés en Normandie pour illustrer clairement cette augmentation ;
- Analysant un historique des dates de semis pour savoir si elles ont vraiment évolué ;
- Etudiant parallèlement les conditions pédoclimatiques et les choix variétaux, pour apprendre s'il existe un lien avec l'évolution des rendements en maïs.

Cependant, les évolutions sont diverses selon l'irrigation ou non des cultures. Ainsi, si l'on compare avec la situation française :

- Pour le cas **du maïs fourrager en sec**, avec les itinéraires techniques actuels inchangés, les rendements ensilage ont tendance à diminuer ou à rester stables dans le futur proche, à augmenter systématiquement en futur lointain. Avec les itinéraires adaptés, les rendements augmentent toujours dans le futur proche puis diminuent souvent dans le futur lointain en restant à des niveaux au moins comparables aux rendements d'aujourd'hui.
- Concernant **le maïs fourrager irrigué**, en conservant les itinéraires techniques d'aujourd'hui, on observe quasiment partout une hausse des rendements. Dans le futur lointain, les rendements diminuent dans la moitié des sites pour devenir inférieurs aux rendements actuels.

Afin de garder des rendements stables, voire les augmenter, plusieurs pistes d'adaptation sont envisageables : le choix de variétés plus tardives et de semis plus précoces (déjà pratiqués par certains agriculteurs dans certaines régions), éviter les stress hydriques en anticipant les problèmes liés à l'eau, etc. D'autres solutions mises au point dans les pays à climat plus chaud peuvent être source d'inspiration.

A RETENIR

Le rendement en maïs ensilage est en augmentation dans toute la région depuis les années 80.

L'impact du changement climatique sur le rendement en maïs fourrager n'a été que partiellement prouvé qu'à présent. Cependant des premières études ont commencé à avancer des pistes. La hausse constatée en Normandie pourrait être due à la régularisation de la production interannuelle permise par le réchauffement climatique, à une avancée des semis esquivant les stress hydriques, à l'utilisation de variétés plus tardives ou encore au type de sol.

Pour expliquer l'augmentation constatée des rendements, une étude des choix variétaux devrait être réalisée ainsi qu'un historique des dates de semis.



Rendement en maïs ensilage



POUR EN SAVOIR PLUS

BRISSON N. et LEVRAULT F. (2010). Changement climatique, agriculture et forêt en France : simulations d'impacts sur les principales espèces. Livre vert du projet CLIMATOR (2007-2010). ADEME 336 pages.

Association française d'agronomie. (2015). Agronomie, environnement et sociétés. Changement climatique et agriculture. Comprendre et anticiper, ici et ailleurs. 142 pages.

F. RUGET et al. (2012). Fourrages 210. Conséquences possibles des changements climatiques sur la production fourragère en France. AFPF. 87-98

F. RUGET et al (2013). Fourrages 214. Impacts des changements climatiques sur les productions de fourrages (prairies, luzerne, maïs) : variabilité selon les régions et les saisons. AFPF. 99-109

3 IMPACTS AGRICOLES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

Rendement des prairies

🔑 Nature et source des données

Données fournies par l'Agreste (outil en ligne disar) et la DRAAF Normandie.

🕒 Indicateur

Rendements départementaux des prairies totales, Surfaces Toujours en Herbe (STH) et prairies temporaires de 1980 à 2016.

📈 Évolution observée





Rendement des prairies



Le tableau ci-dessous présente les évolutions tendancielle (par ajustement linéaire) :

	P. Temporaires		STH		Prairies Totales	
	Tendance (qtx/ha/an)	Certitude de la tendance	Tendance (qtx/ha/an)	Certitude de la tendance	Tendance (qtx/ha/an)	Certitude de la tendance
Calvados	+ 0,28	NS	- 0,19	NS	- 0,14	NS
Eure	+ 0,11	NS	+ 0,25	90%	+ 0,21	NS
Manche	+ 0,25	NS	+ 0,52	95%	+ 0,52	95%
Orne	+ 0,05	NS	+ 0,11	NS	+ 0,15	NS
Seine-Maritime	+ 0,28	NS	+ 0,24	NS	+ 0,28	NS
En moyenne en Normandie	+ 0,19		+ 0,19		+ 0,2	
En moyenne en France	+ 0,17		+ 0,09		+ 0,16	

Seules trois situations parmi les quinze étudiées (prairies temporaires, surfaces toujours en herbe et prairies totales pour chacun des cinq départements) présentent des évolutions statistiquement significatives, avec des variabilités interannuelles marquées.

Les rendements des surfaces toujours en herbe de la Manche et de l'Eure sont en légère augmentation, tout comme ceux de l'ensemble des prairies (prairies totales) dans la Manche. Ces hausses sont en tendance relativement plus importantes que les moyennes normandes et françaises.

Le changement climatique a eu un impact sur ces évolutions.

La diminution des précipitations associée à une hausse du rayonnement va contribuer à diminuer l'humidité du sol, la production de feuilles et par conséquent le niveau de production. En revanche, c'est l'accroissement du taux de CO₂ et de la température qui vont permettre une hausse de la production. En effet, la phénologie des prairies est avancée, permettant un allongement de la période de production, et les processus de production végétale ont des températures optimales supérieures aux moyennes observées actuellement (DURAND et al. 1999). L'ensemble de ces paramètres concourt à accélérer l'activité de la morphogénèse.

Lors de la phase de production intense, au printemps, le bilan des phénomènes positifs et négatifs a pour conséquence des rendements en augmentation ou en diminution selon les sites. En été, compte-tenu des chaleurs éventuelles, la production devrait être réduite alors qu'en hiver celle-ci devrait s'accroître avec la hausse des températures et la diminution du nombre de jours de gel.

Par ailleurs, pour les prairies temporaires l'amélioration génétique a contribué à la hausse de la production, notamment avec le ray-grass anglais qui a vu son rendement augmenter de 0,29 t/ha en moyenne tous les 10 ans (SAMPOUX et al., 2009).

Le projet Climator prévoit une hausse de 5 à 20% de la production fourragère d'ici à 2100. Malgré tout, la dégradation de l'état hydrique et azoté des prairies, accompagnée d'une faible baisse tendancielle de la teneur en azote de la production pour le ray-grass, est à prendre en considération. Dans cette optique, les adaptations doivent être envisagées dès à présent.



Rendement des prairies

Comme le changement climatique devrait assurer une production en matière sèche élevée, la fertilisation ne devrait pas être à adapter, sauf pour maintenir un niveau de teneur en protéines. En revanche, les systèmes d'élevage fortement dépendant de l'herbe devraient adapter leur gestion de production en optant notamment pour davantage de diversification, afin de garantir une production suffisante, en raison des incertitudes climatiques. En effet, la variabilité interannuelle du rendement devrait s'accroître en tendance, parallèlement à celle des précipitations estivales. L'irrigation pourrait d'ailleurs réduire les stress hydriques éventuels.

A RETENIR

Le rendement des prairies est uniquement en augmentation dans la Manche et dans l'Eure pour les surfaces toujours en herbe et dans la Manche pour le rendement des prairies totales.

Le changement climatique est responsable de cette évolution. A l'avenir cette hausse de productivité devrait se poursuivre, sous réserve que les phénomènes négatifs (rayonnement, stress hydrique) soient surpassés par les phénomènes positifs (taux de CO₂ et température en hausse).

La diversification fourragère doit être envisagée vue comme une possible solution d'adaptation afin de parer les variabilités interannuelles de production.

Pour aller plus loin : Une étude de la croissance journalière pourra être réalisée pour compléter l'étude de la productivité prairiale.



POUR EN SAVOIR PLUS

BRISSON N. et LEVRAULT F. (2010). Changement climatique, agriculture et forêt en France : simulations d'impacts sur les principales espèces. Livre vert du projet CLIMATOR (2007-2010). ADEME 336 pages.

F. RUGET et al. (2012). Fourrages 210. Conséquences possibles des changements climatiques sur la production fourragère en France. AFPF. 87-98



Croissance printanière de l'herbe

🔑 Nature et source des données

Données fournies par la Chambre départementale de l'Orne et par un conseiller d'exploitation situé dans la Manche.

🕒 Indicateur

Echelle départementale : Orne.
Echelle de l'exploitation : Barenton (50).
Evolution de la pousse de l'herbe de 2005 à 2017.

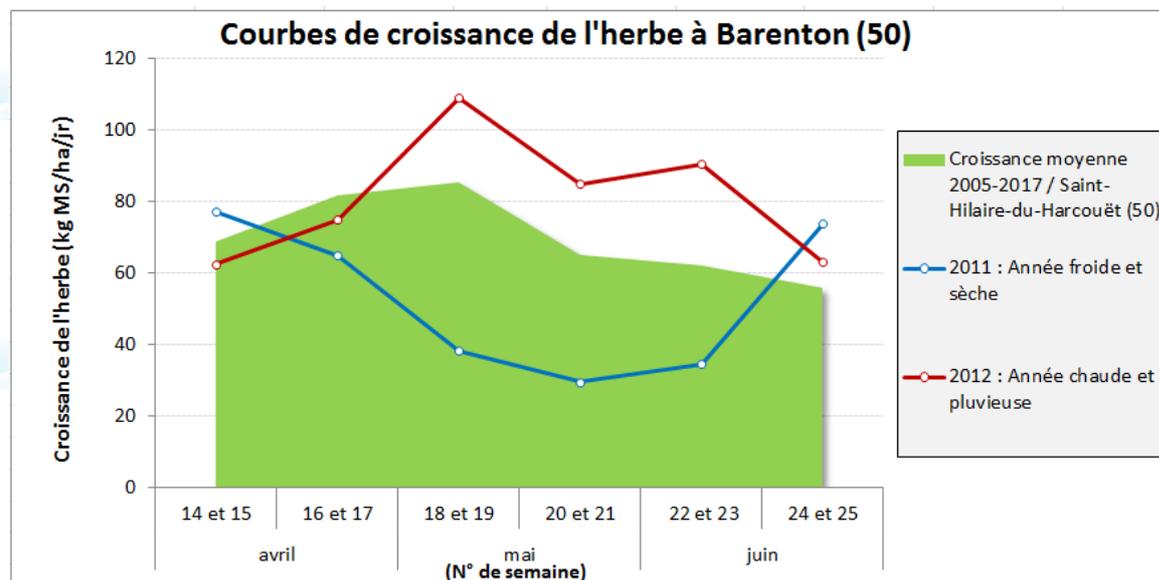
📊 Calcul de l'indicateur

Les données de la croissance de l'herbe sont mesurées toutes les semaines par l'intermédiaire d'un herbomètre de la 1^{ère} semaine de mars à la dernière semaine de juin. Le manque de données au mois de mars nous a contraint à débuter l'analyse début avril.

Ces données sont des indicateurs permettant d'améliorer la gestion de l'herbe durant l'année en cours. Les informations transmises par une collaboration normande confirment l'intérêt de réaliser des mesures au sein de son exploitation afin de gérer au mieux l'herbe, avec une précision notable (Observatoire de la Croissance de l'Herbe en Normandie).

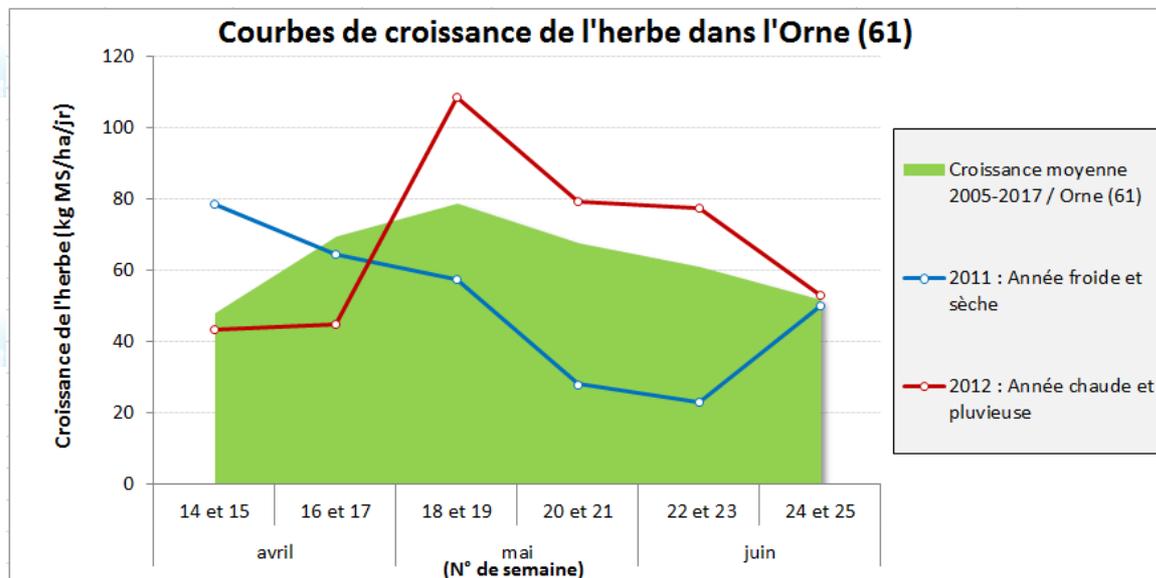
Il faut savoir que l'évolution des prairies est fortement influencée par le contexte climatique environnant. Trois variables climatiques majeures modifiées par le changement climatique ont un impact significatif sur la physiologie des plantes : la concentration en CO₂ de l'air, la température et la quantité d'eau disponible pour la culture. (BRISSON N., LEVRAULT.F, 2010).

📈 Évolution observée





Croissance printanière de l'herbe



L'évolution de la croissance de l'herbe à Barenton (50) de la première quinzaine de mars à la dernière quinzaine de juin sur la période 2005-2017 montre que :

Les tendances observées sur l'ensemble de la période sont de :

- 17,1 kg MS/ha/j par décennie en avril (NS) ;
- 1,1 kg MS/ha/j par décennie en mai (NS) ;
- +7,6 kg MS/ha/j par décennie en juin (NS) ;

Aucune tendance n'est significative à Barenton ;

Les variations interannuelles de croissance sont très importantes ($R^2 < 0,3$).

L'évolution de la croissance de l'herbe dans le département de l'Orne de la première quinzaine de mars à la dernière quinzaine de juin sur la période 2005-2017 montre que :

Les tendances observées sur l'ensemble de la période sont de :

- 12,5 kg MS/ha/j par décennie en avril (NS) ;
- +2,5 kg MS/ha/j par décennie en mai (NS) ;
- +9,5 kg MS/ha/j par décennie en juin (NS) ;

Aucune tendance n'est significative dans l'Orne ;

Les variations interannuelles de croissance sont très importantes ($R^2 < 0,15$).

Cette étude est centrée sur l'analyse du profil de croissance printanière de l'herbe d'une exploitation dans la Manche et de la moyenne de plusieurs exploitations au sein du département de l'Orne.

Le site de Barenton, localisé au sud de la Manche, est composé de parcelles ayant un sol profond dont une partie en hydromorphe, avec tout ou partie inondée en hiver. Le trèfle y est implanté sur la quasi-totalité de l'exploitation depuis plusieurs années.



Croissance printanière de l'herbe

Les courbes des graphiques représentent :

- Une courbe qui regroupe la moyenne des croissances (par deux semaines) de 2000 à 2015 par site.
- Une courbe de croissance (par deux semaines) de l'année 2011. 2011 est l'année choisie car cette période correspond à une année froide et sèche.
- Une courbe de croissance (par deux semaines) de l'année 2012. 2012 est l'année choisie car cette période correspond à une année chaude et pluvieuse.

Le démarrage de la végétation est plus précoce et plus affirmé à Barenton. L'explication principale de cette évolution vient probablement du fait que la période de fin de gel se termine plus tard dans l'Orne (14 avril à Alençon en 2015, Cf: indicateur « fin de période de gel »). Ce site est également concerné par une diminution de la croissance de l'herbe dès la mi-mai passant de 85 kg MS/ha/j en moyenne sur la première quinzaine du mois de mai à 65 kg MS/ha/j pour la dernière quinzaine de ce même mois. La forte hausse des températures printanières constatée à Saint-Hilaire-du-Harcouët (+0,44°C/décennie, cf : indicateur des températures saisonnières), station à proximité de l'exploitation, peut en partie expliquer cette cassure, tout comme le déficit hydrique. Par la suite, la stagnation de la production s'explique principalement par la qualité du sol et sa capacité de rétention.

En observant les moyennes de croissances mensuelles de l'herbe à Barenton, aucune tendance n'est significative sur la période 2005-2017. Une forte variabilité est présente à l'image des courbes de 2011 et de 2012. Lors d'une année chaude et pluvieuse, la croissance de l'herbe se maintient plus longtemps que dans l'Orne, pouvant s'expliquer par l'effet négatif des températures limitantes présente dans ce département. De plus, l'ETP y est plus marquée avec une augmentation de 11,2 mm/décennie, Cf : « Cumul ETP saisonnier »).

L'Orne correspond à un secteur où la croissance printanière de l'herbe est plus tardive et moins marquée, due aux températures plus fraîches en fin de période hivernale. Sur les mois observés, les tendances ne sont pas significatives.

Cette analyse est à prendre avec du recul, puisque la période de mesure est relativement courte et n'efface pas les variabilités interannuelles. La zone d'étude est également limitée, se restreignant principalement au sud de la Normandie par manque de données. La prise en compte des pratiques culturales a également son importance dans les observations qui sont faites.

D'après le projet Climator, le réchauffement climatique va impliquer un allongement de la période de production et une exploitation (fauche ou pâturage) plus tôt au printemps et plus tard en fin d'année, à condition que les parcelles soient praticables. A l'inverse, on prévoit une diminution de la production estivale, accentuant le déséquilibre de production entre l'été et le printemps, avec reports de fourrage.

Toujours d'après ce même projet, il est prévu que la production fourragère augmente de 5 à 20% d'ici à 2100 avec, cependant, une dégradation des états hydriques et azotés des prairies.

Pour aller plus loin : L'enrichissement des bases de données doit se poursuivre afin de passer d'une analyse partielle à une étude plus complète, à l'image de l'Observatoire normand de la Croissance de l'Herbe.



Croissance printanière de l'herbe

A RETENIR

Aucune tendance entre 2005 et 2017 n'est observée à Barenton, tout comme sur l'ensemble du département de l'Orne de début avril à fin juin.

Cette étude est à prendre avec du recul puisqu'elle comporte de nombreux biais méthodologiques.

La période de production de l'herbe sera amenée à être modifiée à l'avenir d'après le projet Climator. Une évolution principalement due à la hausse des températures et au déficit hydrique. Ainsi on devrait observer un allongement de la pousse de l'herbe ainsi qu'un décalage des pics de production au printemps et en automne.



POUR EN SAVOIR PLUS

BRISSON N. et LEVRAULT F. (2010). Changement climatique, agriculture et forêt en France : simulations d'impacts sur les principales espèces. Livre vert du projet CLIMATOR (2007-2010). ADEME 336 pages.

DUBREUIL V., PLANCHON O., LAMY C., BONNARDOT V., QUENOL H. ; 2012. Le changement climatique dans la France de l'Ouest : observations et tendances. In MEROT, Ph., DUBREUIL, V., DELAHAYE, D., DESNOS, Ph. : Changement climatique dans l'Ouest, Presses Universitaires de Rennes, chap.1, 19-30.

OBSERVATOIRE DE LA CROISSANCE DE L'HERBE EN NORMANDIE. Disponible sur : <https://eure.chambres-agriculture.fr/elevage/observatoire-de-la-croissance-de-lherbe/>



Rendement en lin textile

🔑 Nature et source des données

Données fournies par :

- l'Agreste (outil en ligne disar) ;
- DRAAF Normandie.

🕒 Indicateur

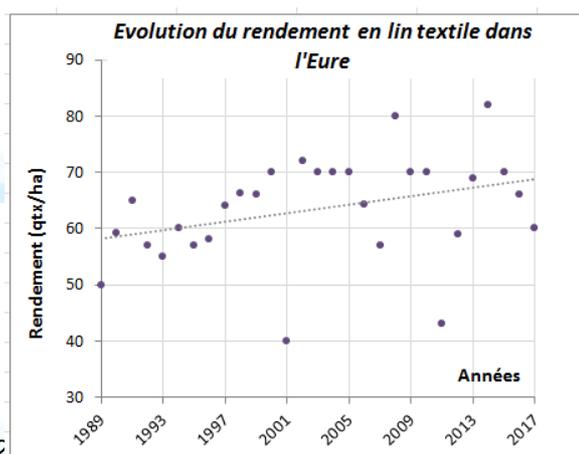
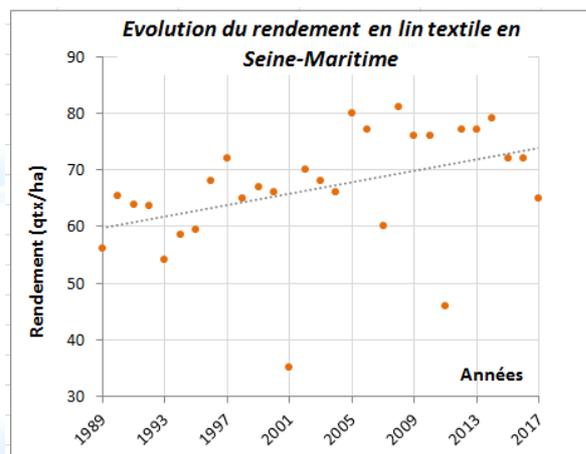
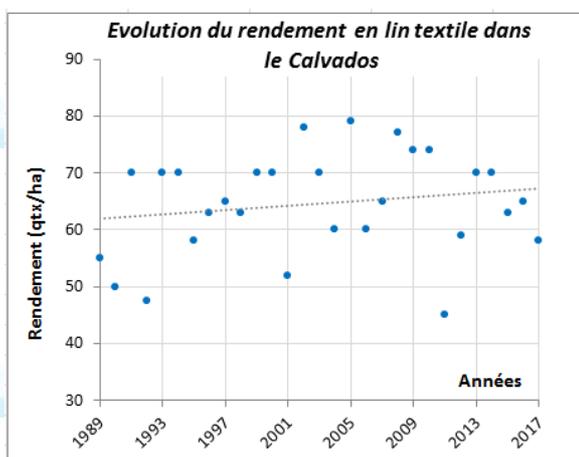
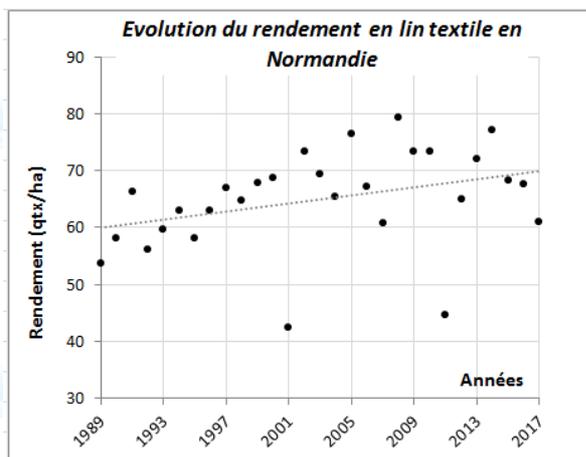
Rendements départementaux en lin textile de 1989 à 2017.

Rappel :

Le lin textile est une plante à fibres annuelle bien présente en Normandie. Réintroduit dans la région au XXe siècle par des agriculteurs des Flandres, le lin normand est surtout cultivé en Seine-Maritime (Pays de Caux), dans l'Eure (plateaux de Saint André et du Neubourg, Pays d'Ouche) et en Plaine de Caen. La place du lin en Normandie est forte puisque sa production a atteint en 2015, l'équivalent de 329 140 tonnes sur 47 000 ha (Panorama de l'agriculture et de l'agroalimentaire, 2017).

Ce bilan positif est le résultat d'un terroir unique avec un climat doux et humide, et d'un savoir-faire transmis.

📈 Évolution observée





Rendement en lin textile



Le tableau ci-dessous présente les évolutions tendancielle par ajustement linéaire :

	Tendance (qtx/ha/an)	Certitude de la tendance
Calvados	+ 0,19	NS
Eure	+ 0,38	93,4%
Seine-Maritime	+ 0,50	97,3%
Moyenne Normandie	+ 0,35	

Depuis presque 30 ans, le rendement en lin textile est en progression dans toute la Normandie. Ainsi, les rendements moyens régionaux sont passés de 60 qtx/ha à 70 qtx/ha aujourd'hui. Cependant il existe une forte variabilité interannuelle ($R^2 < 0,2$).

La présente analyse ne prend pas en compte les départements de la Manche et de l'Orne qui ne disposent pas de données suffisamment complètes, en raison de la faible présence de liniculteurs dans ces secteurs. Malgré cela, les données laissent transparaître le même type de tendance.

Le rôle du changement climatique sur les rendements en lin textile n'a pas encore été prouvé de façon précise. Néanmoins, plusieurs travaux d'études montrent le lien fort entre rendement final et contexte climatique.

Selon une étude du programme AGRICE, en 1998, cette culture est fortement exigeante vis-à-vis du climat :

- Elle nécessite des précipitations annuelles de 700 à 750 mm bien réparties pendant les quelques 100 jours de végétation.
- Un temps sec après le semis provoque une levée échelonnée sur 2 ou 3 semaines entraînant une hétérogénéité de la culture préjudiciable à la qualité des fibres.
- Une température excessive au printemps, associée à un temps sec, accélère la floraison, arrêtant la croissance. La fibre perd ainsi en qualité.
- Une sécheresse estivale trop prononcée empêchera le rouissage à terre de se produire normalement.

La hausse des rendements de lin s'explique probablement par l'amélioration variétale centrée sur la résistance face aux bioagresseurs, la tolérance à la verse ou la richesse en fibre totale (GEVES, 2012).



Rendement en lin textile

La forte variabilité des rendements constatée depuis le début des années 2000 en Normandie peut s'expliquer par l'instabilité des conditions pluviométriques et hydriques des sols. En sachant que le lin a besoin d'une bonne alimentation en eau sur la période avril, mai, juin (ARVALIS, 2012), on comprend que des années de printemps sec lui sont défavorables à l'image de 2007 ou 2011. L'observation des conditions hydriques (Cf. Indicateur : « Déficit hydrique climatique du 1^{er} avril au 30 septembre ») montre une tendance à la hausse du déficit plus marquée en ex Basse-Normandie (-62,3 mm dans le Calvados en 57 ans) et une situation plus stable en ex Haute-Normandie (-8,3 mm en Seine-Maritime en 57 ans). La variabilité interannuelle est marquée et masque les évolutions, mais révèle des périodes de croissance végétative très variées sur le plan hydrique.

L'apparition d'années moins productives que dans le passé peut s'expliquer par la multiplication du nombre de jours estivaux (+11,2 jours à Caen-Carpique, +14,6 jours aux Andelys en 57 ans) au même titre que l'augmentation des températures printanières.

Bien que la hausse des températures soit confirmée, la fluctuation des conditions hydriques laisse des incertitudes quant à l'évolution des rendements futurs. Si le stress hydrique venait à croître, le contexte climatique favoriserait le développement de maladies telles que la verticilliose. Il est considéré que les conditions favorables à son développement sont des températures allant de 22°C à 28°C avec une humidité relative faible, soit aux alentours des 40% (Bert F., ARVALIS). Même si cette sécheresse peut provoquer des effets bénéfiques tels qu'une augmentation de la lignification de la base et une résistance à la verse, elle provoquera une diminution des rendements en fibres (Katz, 1980 ; Jacquemart, 1963).

En matière d'adaptation au changement climatique, il est préférable de s'orienter vers une sélection de lin d'hiver pour éviter les périodes à risques car il est plus précoce d'au moins un mois par rapport aux variétés de printemps. Le progrès variétal a également son importance, avec la volonté d'augmenter les résistances (ex : verse) afin d'éliminer les génotypes spécialement dépendants des conditions climatiques.

Des chercheurs sont actuellement en train de travailler sur plusieurs projets visant à améliorer la connaissance sur la culture et l'amélioration génétique du lin. Ainsi, on retrouve :

- Le **projet Verticilliose**, visant à l'identification des facteurs de résistance des plantes à *Verticillium dahliae* et l'évaluation du comportement des variétés de lin vis-à-vis de la maladie dans le nord-ouest de la France.
- Le **projet Reshiv**, s'intéressant à la recherche de la résistance d'une culture d'hiver aux maladies (relation avec la résistance au froid, la réduction d'intrants et la tenue en fibres dans le cadre de la diversification de la filière lin).
- **Projet EST** se focalise sur l'identification des systèmes du lin associés à la fusariose et à la verticilliose.

Jusqu'à présent, le changement climatique affecte modérément le rendement en lin textile dans notre région. La forte volatilité des rendements amène à s'adapter d'une année à l'autre en fonction des conditions édaphiques des sols et du contexte thermique local.



Rendement en lin textile

A RETENIR

Le rendement en lin textile est en augmentation dans toute la région, avec une hausse de 0,35 qtx/ha/an en moyenne en Normandie.

L'impact du changement climatique sur le rendement en lin textile n'a été que partiellement prouvé. Des études ont cependant évoqués le sujet en citant l'importance des températures et des contraintes hydriques durant la période sensible, soit avant floraison.

L'augmentation des rendements actuels provient de l'amélioration génétique et des conditions climatiques. A partir des années 2000, la fluctuation des résultats s'explique par de fortes variabilités climatiques imposant des conditions excessives (sécheresse, excès d'eau).

Afin de préciser cette analyse, il serait préférable d'étudier les choix variétaux privilégiés et les dates de semis sur la période considérée.



POUR EN SAVOIR PLUS

ADEME et ITCF. (1998). Etude Agricole, Lin fibre. 8 pages. Disponible sur : <https://www.doc-developpement-durable.org/file/Culture-plantes-a-fibres/lin/lin%20fibre.pdf>

AGRESTE. (2015). Le lin textile en Haute-Normandie. 4 pages. Disponible sur : <http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/R2315A05.pdf>

BOUSSELAIRE A., COULOMBEL A., AUBERT C. (Juin 2008). Le lin textile en agroécologie. Fiche technique culture. 2 pages.

CELC. (2015). Le baromètre du lin européen 2015. Le lin, une fibre verte et innovante. Une filière engagée dans notre écosystème environnemental, social et économique. 40 pages.

GEVES. (Janvier 2018). Lin fibre – Nouvelles variétés proposées à l'inscription sur la liste A du catalogue officiel français. 12 pages. Disponible sur : https://www.geves.fr/wp-content/uploads/Resultats-VATE_lin_2017.pdf

MENOUX Y, KATZ E, EYSSAUTIER A., DE PARCEVAUX S., SAINTE-BEUVE D., et al. (1982). Résistance à la verse du lin textile : influence du milieu et critères de sélection proposés. Agronomie, EDP Sciences. p 173-180.



Stock de carbone sous les prairies

Nature et source des données

MAAF – Statistique agricole annuelle. www.agreste.agriculture.gouv.fr
Séries anciennes : 1989 à 1999. Séries récentes : 2000 à 2017

Indicateur

Echelle départementale : Manche, Orne, Calvados, Eure, Seine-Maritime.
Surface départementale en prairies permanentes ou de plus de 5 ans.
Surface départementale en prairies artificielles ou temporaires.

Contexte

Les végétaux synthétisent leur matière organique à partir du CO₂ qu'ils prélèvent dans l'atmosphère. Ce faisant, ils stockent du carbone sous forme organique. Une grande partie de cette biomasse (donc de ce carbone) est ensuite transférée dans le sol. Elle y est soumise à différentes transformations et dégradations pour finalement subir une minéralisation qui va restituer le carbone à l'atmosphère sous forme de CO₂. Le stockage de carbone par les cultures est donc un phénomène temporaire, en revanche le temps de stockage dans le sol sous forme de matière organique peut être beaucoup plus long, plus de cent ans pour certaines fractions de matière organique : on peut parler alors de **séquestration de carbone** dans le sol.

Les surfaces prairiales sont au centre des enjeux environnementaux actuels en raison de leur fonction de socle pour l'élevage et de leur effet positif sur la réduction des impacts environnementaux. Cependant, leur existence dépend largement des activités d'élevage puisque ces surfaces sont le plus souvent utilisées et maintenues pour le pâturage des herbivores. Des travaux montrent que la plupart des prairies constituent des puits de carbone (C) et sont, à ce titre, susceptibles de compenser en partie les émissions de GES du secteur de l'élevage, qui représentent environ 9% des émissions françaises de GES (INRA, 2013).

La surface régionale occupée par les prairies permanentes ou temporaires est donc un indicateur intéressant de la quantité de carbone stockée dans les sols agricoles.

Enjeux de la démarche d'atténuation :

Le potentiel de stockage du carbone par les prairies est déterminé en fonction de l'environnement pédoclimatique, mais également des modalités de gestion. On pense notamment au type de pratiques, à la durée de présence de la prairie ou à l'intensité de l'exploitation

La présence de prairie temporaire dans la rotation culturale est déterminante pour le stockage de carbone. L'INRA (2019) indique qu'en France les systèmes de culture comportant de la prairie temporaire stockent en moyenne 259 kg C/ha/an alors que ceux qui n'en comportent pas déstockent en moyenne -91 kgC/ha/an. Même si le retournement de la prairie temporaire pour implanter une autre culture déstocke du carbone, l'effet global est positif dès lors qu'elle représente au moins 1 an sur 3 dans la rotation.

Pour les prairies permanentes, la même étude indique un stockage national moyen de 292 kg C/ha/an, avec de fortes différences entre prairies productives et peu productives (ces dernières stockent davantage de carbone), et un effet positif du pâturage sur le stockage, effet lié aux restitutions animales (bouses et pissats).



Stock de carbone sous les prairies

Les chiffres de l'atténuation par les prairies en Normandie :

	Surfaces en prairies permanentes en 2017	Quantité de teqCO ₂ stockée en 2017	Surfaces en prairies temporaires en 2017	Quantité de teqCO ₂ stockée en 2017
Calvados	146 500 ha	113 879 teqCO ₂ /an	23 400 ha	136 102 teqCO ₂ /an
Eure	55 500 ha	43 142 teqCO ₂ /an	8 800 ha	51 499 teqCO ₂ /an
Manche	181 300 ha	140 931 teqCO ₂ /an	68 440 ha	205 926 teqCO ₂ /an
Orne	147 400 ha	147 400 teqCO ₂ /an	34 220 ha	147 077 teqCO ₂ /an
Seine-Maritime	104 800 ha	81 465 teqCO ₂ /an	17 030 ha	97 637 teqCO ₂ /an
Total Normandie	635 500 ha	493 995 teqCO₂/an	151 890 ha	638 240 teqCO₂/an

En 2017, la Normandie compte 635 500 ha de prairies permanentes et 151 890 ha de prairies temporaires. Ces surfaces permettraient de stocker 638 240 teqCO₂/an, soit 7 % des émissions de GES de l'agriculture normande (ORECAN).

Les résultats en teqCO₂ stockés par an sont calculés selon la méthode ci-dessous, avec des références de stockage issues de l'étude INRA 2019 :

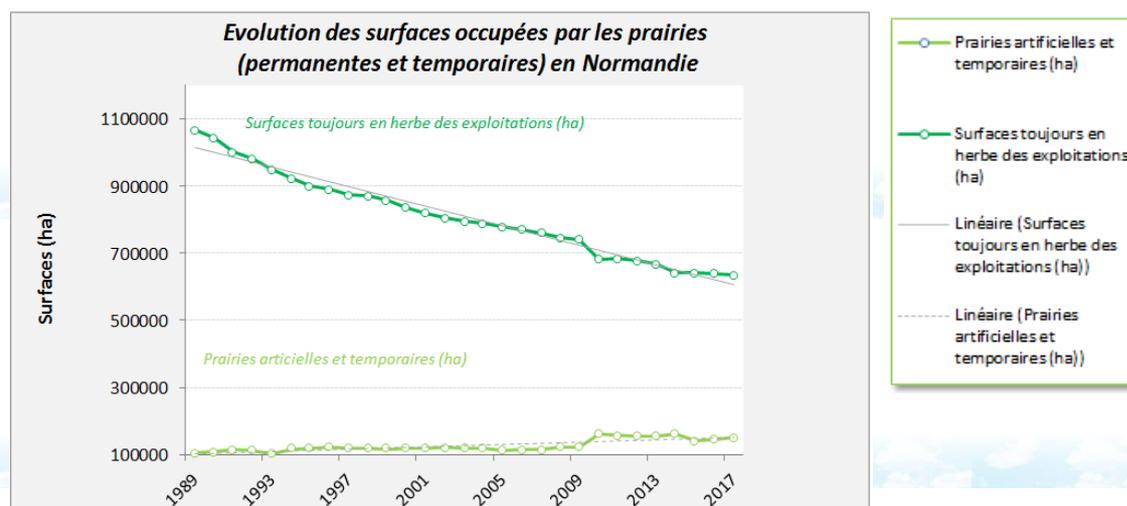
Calcul du stockage de carbone pour les prairies permanentes : Nombre d'hectares x Ratio de séquestration des prairies permanentes (0,212 tC/ha/an)

Calcul du stockage de carbone pour les prairies temporaires en rotation : Nombre d'hectares x Ratio de séquestration des prairies temporaires (0,259 tC/ha/an)

Ex : 635 500 ha prairies permanentes x 0,212 tC/ha/an = 134 726 tonnes de carbone en 2017.

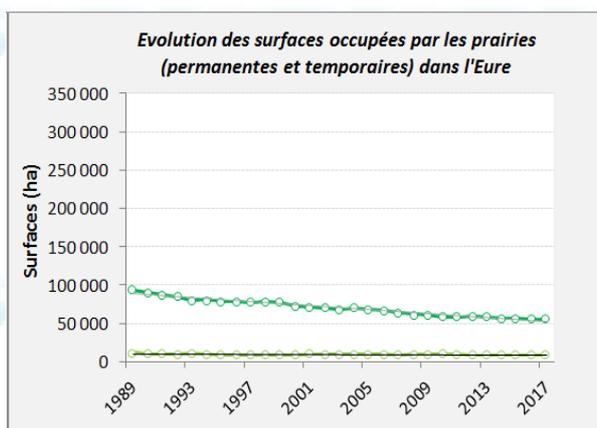
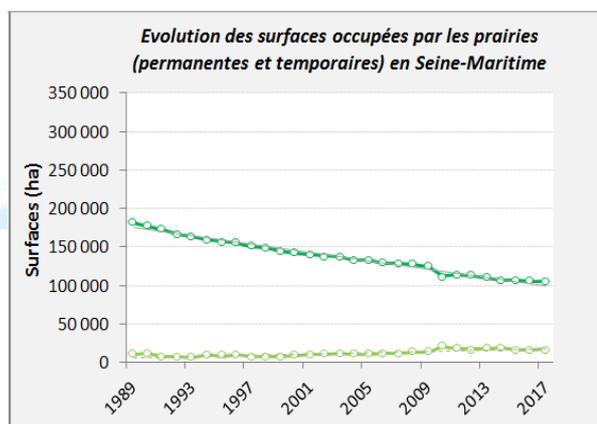
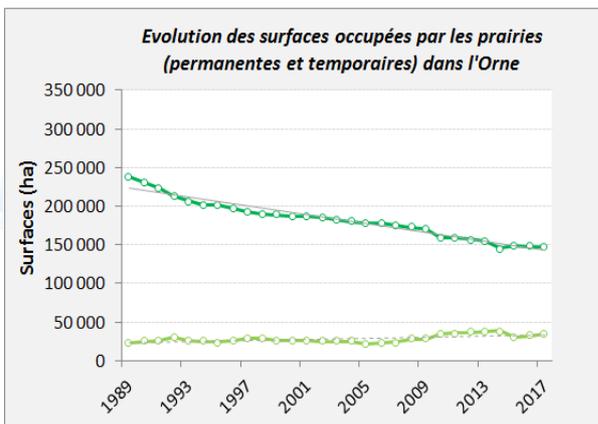
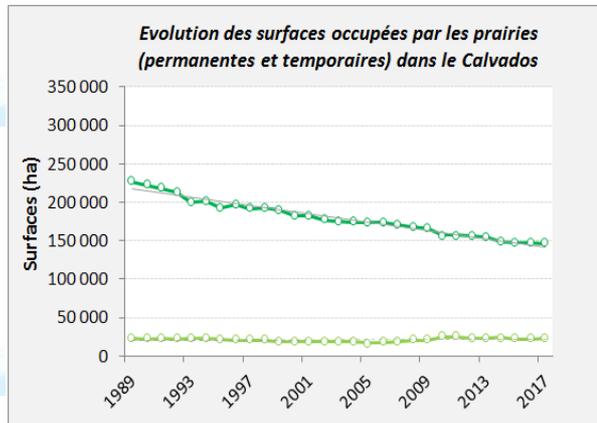
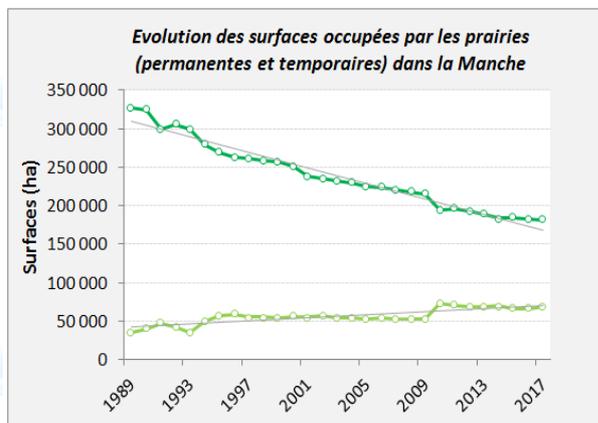
Calcul du stockage en équivalent CO₂ = Tonnage de carbone stocké x masse molaire du dioxyde de carbone / masse molaire du carbone = 134 726 x 44/12 = 493 995 teqCO₂ capté par les prairies permanentes en 2017. (ADEME, 2011, Typologie des facteurs d'émission)

Évolution des surfaces de prairies en Normandie





Stock de carbone sous les prairies



Analyse

De 1989 à 2017, on constate en région Normandie une forte baisse des prairies permanentes (ou de plus de 5 ans) passant de 1 067 012 ha à 635 000 ha (-40,4%). A l'opposé, les prairies artificielles et temporaires accusent une hausse de 30 %, faisant passer ce nombre de 105 160 ha en 1989 à 151 890 ha en 2017, selon Agreste. Les prairies totales ne suivent pas cette dynamique et accusent un recul de 32,8 %, soit un passage de 1 172 172 ha à 787 390 ha (1989-2017).



Stock de carbone sous les prairies

Le tableau ci-dessous présente les évolutions tendancielles (par ajustement linéaire) des surfaces de prairie de 1989 à 2017 :

	Evolution des prairies permanentes (ha/décennie)	Certitude de la tendance	Evolution des prairies temporaires (ha/décennie)	Certitude de la tendance
Calvados	-26 935	99,9%	+248	NS
Eure	-12 984	99,9%	-573	99,2%
Manche	-50 645	99,9%	+9 718	99,9%
Orne	-28 718	99,9%	+3 646	99,9%
Seine-Maritime	-26 819	99,9%	+4 026	99,9%
Moyenne Normandie	-29 220		+3 413	

Pour les cinq départements observés, on constate une diminution des prairies permanentes. La Manche, département le plus enherbé, enregistre le plus fort recul, avec -50 645ha/décennie, tandis que l'Eure est le secteur qui en perd le moins (-12 984ha/décennie) mais aussi en possède le moins.

Concernant les prairies temporaires, deux évolutions sont à distinguer, avec d'une part une faible baisse des prairies temporaires pour l'Eure (-572 ha/décennie), et d'autre part, une hausse dans la Manche, la Seine-Maritime, l'Orne et dans une moindre mesure dans le Calvados.

Ces évolutions sont statistiquement significatives sauf pour la hausse des prairies temporaires dans le Calvados. Quant à la variabilité interannuelle, elle est faible pour les prairies permanentes et plus forte pour les prairies temporaires.

En 2010, les prairies représentent 43% de la SAU de Normandie, le maïs ensilage 12%. Entre 2000 et 2010, les surfaces en prairies ont reculé de 12% tandis que celles de maïs ensilage ont progressé de 6%. La baisse des surfaces en herbe a surtout bénéficié aux grandes cultures. L'apparition d'ateliers de grandes cultures et la concurrence foncière avec les exploitants des zones céréalières peuvent expliquer en partie la baisse des surfaces en prairies (Agreste, 2013, La Normandie : des productions laitières qui bougent).

Il faut également savoir que la production laitière est localisée principalement dans la Manche et une partie plus ou moins importante des autres départements normands. Dans ces secteurs, la production laitière se concentre et les surfaces en maïs augmentent tandis que celles en prairies diminuent. S'ajoute également à cette explication, le fait que l'artificialisation des sols se développe rapidement. En effet, la région est passée de 2 000 000 d'ha de SAU (Surfaces Agricoles Utiles) à 1 940 000 ha, soit une perte de 60 000 ha en 17 ans. A l'inverse, l'artificialisation des sols est en hausse passant de 270 000 ha en 2000 à 350 000 ha en 2017 (agreste.agriculture.gouv.fr). La consommation d'espaces agricoles détruit en priorité des surfaces en herbe et supprime ainsi leur effet bénéfique sur le stockage du carbone.



Stock de carbone sous les prairies

A RETENIR

On peut estimer que les prairies permanentes et temporaires de Normandie stockent environ 640 000 t_{eq}CO₂/an en 2017, soit 7 % des émissions de GES de l'agriculture. Elles jouent donc un rôle d'atténuation vis-à-vis de l'effet de serre.

La baisse de la surface des prairies est due à trois facteurs principaux que sont la hausse des ateliers de grandes cultures dans les élevages, la concurrence foncière avec la production céréalière, ainsi que la hausse de l'artificialisation des sols.

Ce résultat s'exprime par une baisse plus nette des prairies permanentes (-40%) couplée à une hausse notable des prairies temporaires (+30%).



POUR EN SAVOIR PLUS

AGRESTE. (2013). La Normandie: des productions laitières qui bougent. Disponible sur : <http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/R2513A05.pdf>

ADEME. (2014). Carbone organique des sols. L'énergie de l'agro-écologie, une solution pour le climat, 27p. Disponible sur : https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/7886_sol-carbone-2p-bd.pdf

INRA. (Juillet 2013). Quelle contribution de l'agriculture française à la réduction des émissions de gaz à effet de serre ? Synthèse du rapport de l'étude réalisée par l'INRA pour le compte de l'ADEME, du MAAF et du MEDDE.

INRA (2019) Stocker du carbone dans les sols français - Quel potentiel au regard de l'objectif 4 pour 1000 et à quel coût ? Synthèse de l'étude

INSTITUT DE L'ELEVAGE. (2010). Le stockage de carbone par les prairies, une voie d'atténuation de l'impact de l'élevage herbivore sur l'effet de serre, 12p.

ORECAN Observatoire Régional Energie Climat Air de Normandie. Disponible sur www.orecan.fr
Emissions de gaz à effet de serre sources ORECAN – Atmo Normandie – Inventaire version 3.2.4 et ORECAN – Biomasse Normandie – version 07.18 – Biomasse Normandie – version 09.19

VANDAELE D., LEBRETON A., FARACO B. (Septembre 2010). Réseau action climat, fondation Nicolas Hulot pour la nature et l'homme, 69p.



Part de l'atténuation due aux légumineuses à graines en grandes cultures

Nature et source des données

MAAF – Statistique agricole annuelle. www.agreste.agriculture.gouv.fr
Séries anciennes : 1989 à 1999. Séries récentes : 2000 à 2017

Indicateur

Echelle départementale : Manche, Orne, Calvados, Eure, Seine-Maritime.

Calcul de l'indicateur

Cumul des surfaces en pois protéagineux, féveroles et fèves et lupin doux.

Rappel

L'introduction de légumineuses à graines (dites « protéagineux ») dans les rotations culturales permet de réduire les émissions de protoxyde d'azote N_2O . Parce qu'elles fixent l'azote de l'air, ces espèces n'ont pas besoin d'apport d'engrais azoté, ce qui constitue leur principal effet modérateur sur les émissions agricoles de N_2O .

Différentes études ont été mises en avant afin de montrer le caractère positif de l'introduction des légumineuses à graines en grandes cultures. Rochette et Janzen (2005), dans une synthèse sur les émissions sous légumineuses, ont montré que celles-ci étaient beaucoup plus faibles que sous cultures fertilisées. Jensen et al. (2012) ont réalisé une synthèse des résultats d'émissions mesurées expérimentalement sur légumineuses et sur d'autres cultures. La variabilité des résultats observés sur les légumineuses est très grande : 0,03 à 7,09 kg N_2O -N/ha selon les études. Mais la gamme observée sur cultures fertilisées est encore plus large : 0,09 kg N_2O -N/ha à 18,16 kg N_2O -N/ha. La moyenne des mesures pour toutes légumineuses confondues est de 1,29 kg N_2O -N/ha, tandis que la moyenne des systèmes fertilisés est de 3,22 kg N_2O -N/ha. Ces auteurs confirment donc la forte réduction des émissions en présence de légumineuses (INRA, 2013).

L'azote que les légumineuses à graines laissent dans le sol permet également de réduire la fertilisation de la culture suivante, et ainsi limiter les émissions de gaz.

Enjeux de la démarche d'atténuation :

L'objectif de la démarche proposée par l'INRA en 2013 serait de multiplier par trois les surfaces en légumineuses à graines (INRA, 2013) par rapport à leur niveau de 2010, ce qui réduirait les émissions françaises de GES (N_2O et CO_2) de 0,5 à 0,9 Mt CO_2 par an suivant la méthode de calcul, soit 0,5 à 1 % des émissions agricoles françaises de GES.

En ramenant cette valeur à l'hectare de légumineuse introduite, cela représenterait au niveau de la France une réduction des émissions de GES comprise entre 0,6 et 0,9 teq CO_2 . Si l'on prend en compte la moindre fabrication d'engrais azotés, cette réduction augmenterait et se situerait entre 1,6 et 2 teq CO_2 /ha/an (INRA, 2013).

Afin d'obtenir des résultats positifs, il faudrait planter environ 146 300 ha de légumineuses en Normandie en réponse au triplement des surfaces recommandées par l'étude de l'INRA. Délicate à mettre en œuvre, cette action impliquerait une modification importante des rotations.



Part de l'atténuation due aux légumineuses à graines en grandes cultures

Les chiffres de l'atténuation par les légumineuses à graine en Normandie :

	Surfaces en légumineuses en 2017	Quantité de teqCO ₂ évitée en 2017
Calvados	8 590 ha	17 180 teqCO ₂
Eure	7 900 ha	15 800 teqCO ₂
Manche	1 455 ha	2 910 teqCO ₂
Orne	6 410 ha	12 880 teqCO ₂
Seine-Maritime	4 400 ha	8 800 teqCO ₂
Total Normandie	28 755 ha	57 510 teqCO₂

En 2017, la Normandie comprend **28 755 ha** de légumineuses ce qui permet une atténuation de **57 510 teqCO₂/ha/an**, soit **0,6 %** des émissions de GES de l'agriculture normande (ORECAN).

Autre avantage, la fertilisation minérale azotée peut être **réduite de 33 kg N/ha** en moyenne sur la culture suivante (ADEME, 2015).

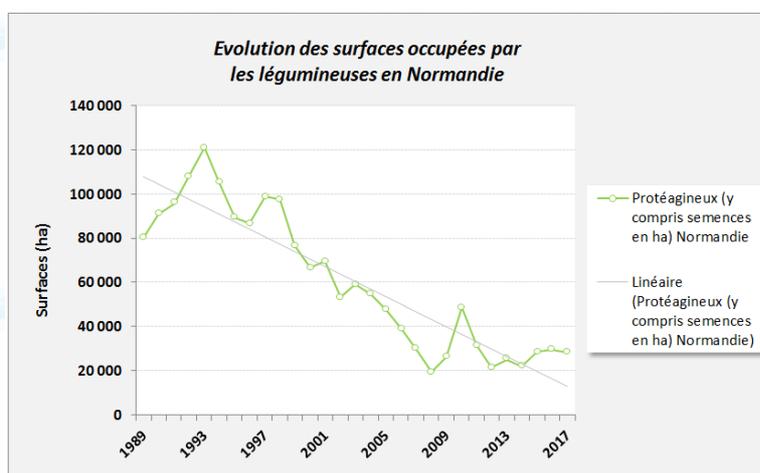
Intérêt centré sur l'**augmentation des surfaces en légumineuses à graines**.

Les résultats en teqCO₂ sont calculés à partir du ratio d'atténuation des légumineuses à l'hectare :

Selon l'ADEME (2015), 1 hectare de légumineuse permet l'atténuation de **2 teqCO₂/ha/an**.

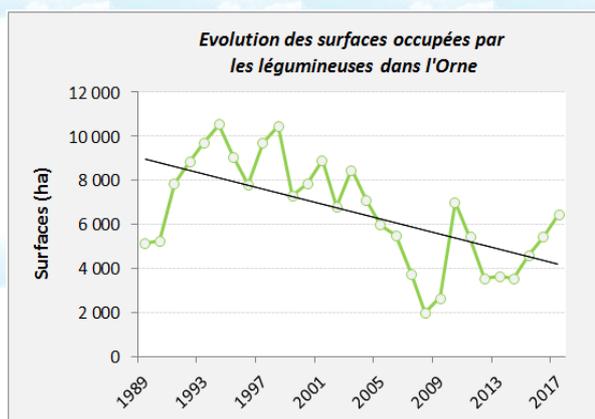
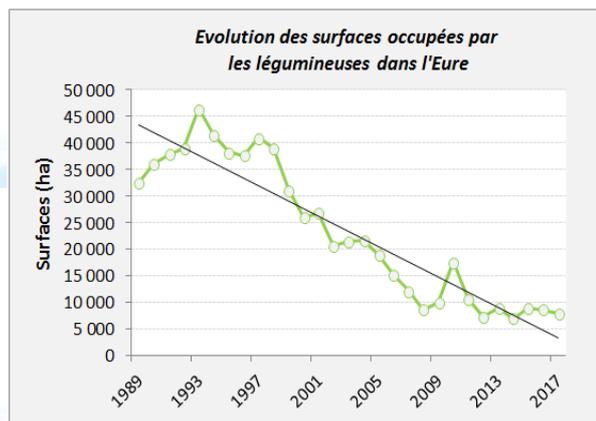
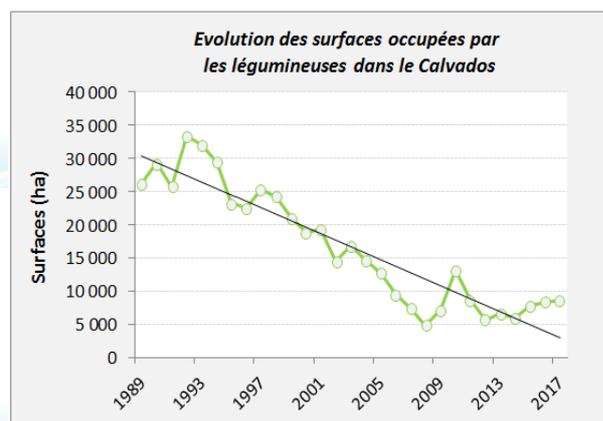
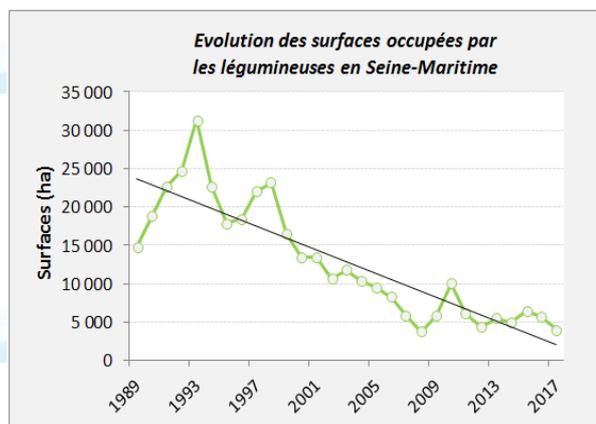
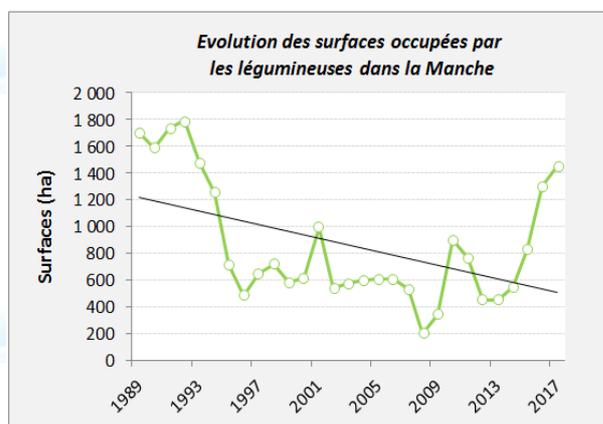
Le calcul est donc le suivant : Surfaces en légumineuses x Ratio d'atténuation des légumineuses = Quantité de teqCO₂ évitée par hectare et par an.

Évolution des surfaces de légumineuses à graines en Normandie





Part de l'atténuation due aux légumineuses à graines en grandes cultures



En Normandie, les surfaces de légumineuses à graines en grandes cultures est globalement en régression : la surface atteignait 120 000 ha au début des années 1990 et elle fluctue entre 20 000 et 40 000 ha depuis 2009. Sa représentation dans la SAU totale retranscrit ce constat, avec une part évaluée à seulement 1,44 % en 2017 (agreste.gouv.fr).



Part de l'atténuation due aux légumineuses à graines en grandes cultures

Le tableau ci-dessous présente les évolutions tendancielles (par ajustement linéaire) :

	Evolution des surfaces en légumineuses (ha de 1989 à 2017)	Certitude de la tendance
Calvados	-9 782	99,9%
Eure	-14 319	99,9%
Manche	-253	99,9%
Orne	-1 706	99,9%
Seine-Maritime	-7 725	99,9%
Moyenne Normandie	-6 757	

A l'échelle départementale, la baisse des surfaces en légumineuses est la plus marquée en Seine-Maritime (-14 319ha en 29 ans, soit -73%), département qui en comptait le plus dans le passé. A l'opposé, la Manche qui dénombrait le moins d'hectares montre la plus faible diminution (-253ha en 29 ans, soit -14%). Même si tendanciellement l'évolution est à la baisse, d'importantes variations interannuelles sont présentes dans la Manche ($R^2=0,2$) et dans l'Orne ($R^2=0,4$).

L'évolution générale de la part de légumineuses s'explique d'une part par la forte spécialisation (bovins lait, grandes cultures) existante dans la région. De ce fait, la poursuite de spécialisation des systèmes agricoles a conduit les exploitations d'élevage à renoncer à l'autonomie alimentaire des animaux au profit d'aliments importés. Mais cette baisse est contrastée par des périodes plus encourageantes, avec des surfaces en légumineuses plus conséquentes. Ceci s'explique principalement par la présence d'aides et de programmes de relance des protéines permettant de valoriser leur implantation.

Le premier pic s'observe au début des années 1990, avec comme principal moteur, la mise en place d'un plan d'aide à la production communautaire de protéines, visant à limiter la dépendance européenne vis-à-vis des gros producteurs de soja tels que les USA ou le Brésil (AgroParisTech, 2003). A la suite de cela, les paiements compensatoires moins importants que pour les autres grandes cultures, ont conduit à une forte réduction des surfaces en protéagineux.

A partir de 2010, un revirement de situation est avéré avec l'apparition d'un programme français d'aide à la production de protéagineux. Pour se faire, une enveloppe de 39 millions d'euros est versée pour les récoltes de 2010 et 2011, puis de 40 millions d'euros pour les récoltes de 2012 et 2013 (ARVALIS, 2014).

Entre 2013 et 2015, une stagnation se dessine, avant une hausse fortement liée au soutien des cultures de légumineuses. Il est à noter que la production de légumineuse est dépendante de plusieurs facteurs tels que la verse, les maladies, la sécheresse ainsi que la qualité du sol. Les difficultés récurrentes de production, mettant à mal la rentabilité, amènent de nombreux cultivateurs à abandonner ce type de culture malgré les programmes de soutien.



Part de l'atténuation due aux légumineuses à graines en grandes cultures

A RETENIR

La baisse des surfaces en légumineuses à graines est due principalement à un contexte historique particulier avec une alternance de phases positives (aides) et de périodes négatives (diminution des soutiens financiers).

A l'échelle nationale, la multiplication par trois des surfaces occupées par les légumineuses à graines en 2010 induirait une réduction de 0,5 à 1 % des émissions agricoles françaises de GES.

Si l'on reporte cette action à l'échelle normande, la surface en légumineuses à graines devrait s'élever à 146 300 ha.



POUR EN SAVOIR PLUS

AGROPARISTECH.(2003). Le pois protéagineux. INA P-G- Département AGER.

Disponiblesur

[:https://tice.agroparistech.fr/coursenligne/courses/PHYTOTECHNIE/document/phytotechnie/pdf/pois.pdf](https://tice.agroparistech.fr/coursenligne/courses/PHYTOTECHNIE/document/phytotechnie/pdf/pois.pdf)

ARVALIS (Novembre 2014).Quoi de neuf? PROTEAGINEUX :pois, féverole, lupin. Disponiblesur : <https://www.arvalis-infos.fr/file/galleryelement/pj/66/cf/97/a1/qdn757648345761480378.pdf>

INRA. (Juillet 2013). Synthèse du rapport de l'étude réalisée par l'INRA pour le compte de l'ADEME, du MAAF et du MEDDE.

ORECAN Observatoire Régional Energie Climat Air de Normandie. Disponible sur www.orecan.fr
Emissions de gaz à effet de serre sources ORECAN – Atmo Normandie – Inventaire version 3.2.4 et ORECAN – Biomasse Normandie – version 07.18 – Biomasse Normandie – version 09.19



Stockage de carbone par les haies

Nature et source des données

DREAL Normandie.

Enquête sur l'estimation de la densité de haies par département.

Indicateur

Echelle départementale et infra-départementale : Manche, Orne, Calvados, Eure, Seine-Maritime.

Densité départementale et infra-départementale de haies en ex Basse-Normandie.

Rappel

La haie est une entité paysagère, créée par les agriculteurs et que l'on peut définir comme un alignement d'espèces végétales ligneuses (arbres et arbustes) . Elle possède de nombreuses fonctionnalités : effet brise-vent, stocke le carbone, permet une régulation climatique, diminue le ruissellement hydrique impliquant une préservation des sols. Sa présence implique le maintien d'une biodiversité et représente un patrimoine. Son rôle de capteur de carbone est fondamental et permet de limiter l'empreinte de l'agriculture dans les émissions de GES. En effet, le bilan de GES de l'agriculture peut être amélioré par une hausse du stockage dans la biomasse de carbone sous forme organique, c'est-à-dire provenant de CO₂ capté par des végétaux. Ce stockage peut être accru par le développement de la biomasse ligneuse et par des restitutions au sol plus importantes de matières organiques (INRA, 2013).

Enjeux de la démarche d'atténuation :

La préservation des haies en Normandie est un enjeu essentiel afin de maintenir l'ensemble de ses fonctionnalités, et de répondre à la réduction des gaz à effet de serre. Ce travail doit conduire à l'aboutissement d'un réseau de haies bien connecté et en bon état.

On peut considérer en simplifiant que 100 mètres de linéaire de haie équivaut à un stockage de carbone de 125 kg C/an (Gac et al 2010 d'après Arrouays et al 2002, Soussana et al 2010).

A partir de ce postulat de base, on peut exprimer le stockage de carbone dans les haies en Normandie pour l'année 2018 (donnée du linéaire disponible uniquement pour cette année, ne permettant pas d'extraire de tendances)



Stockage de carbone par les haies

Les chiffres de l'atténuation par les haies en Normandie :

	Linéaire de haie en km <i>* source : IGN, 2018</i>	Quantité de carbone stockée en 2018	Quantité de teqCO ₂ stockée en 2018
Calvados	31 000 km	38 750 t C	142 083 teqCO ₂
Eure	8 700 km	10 875 t C	39 875 teqCO ₂
Manche	54 000 km	67 500 t C	247 500 teqCO ₂
Orne	33 000 km	41 250 t C	151 250 teqCO ₂
Seine-Maritime	10 000 km	12 500 t C	45 833 teqCO ₂
Total Normandie	136 700 km	170 875 t C	626 541 teqCO₂

En 2018, la Normandie comprend **136 700 km** de haies ce qui permet une atténuation de **626 500 teqCO₂/ha/an**, soit environ **7 %** des émissions de GES de l'agriculture normande (ORECAN).

Les résultats en teqCO₂ sont calculés selon la méthode ci-dessous :

Calcul du stockage de carbone : Nombre de km de haie x Ratio de séquestration des haies (1,25 tC/km)

Ex : 136 700 km x 1,25 tC/km de haie = 170 875 tonnes de carbone pour l'année 2018.

Calcul du stockage en équivalent CO₂ = Tonnage de carbone stocké x masse molaire du dioxyde de carbone / masse molaire du carbone = 170 875 x 44/12 = 626 541 teqCO₂/an.

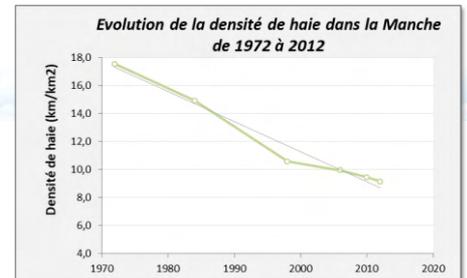
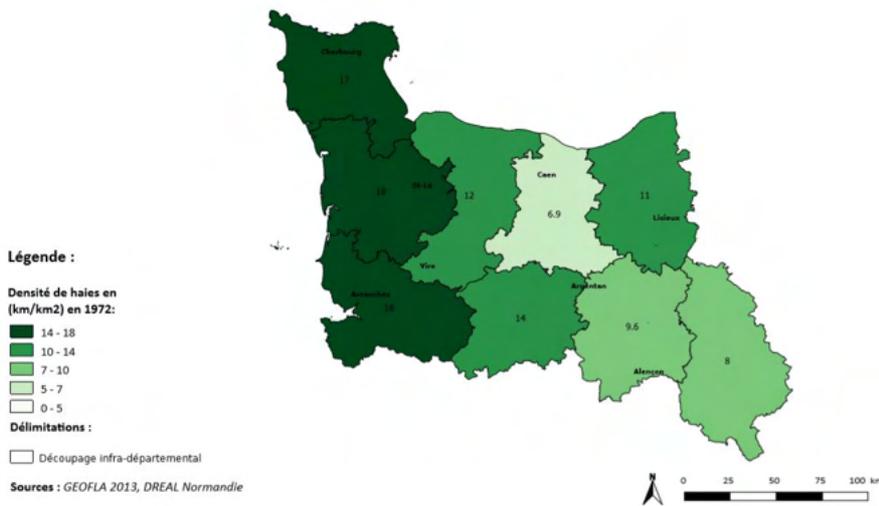
(ADEME, 2011, Typologie des facteurs d'émission)



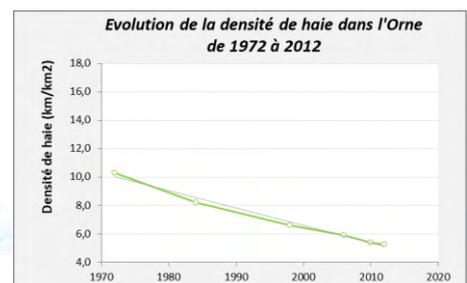
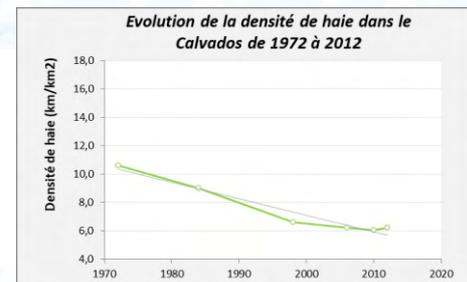
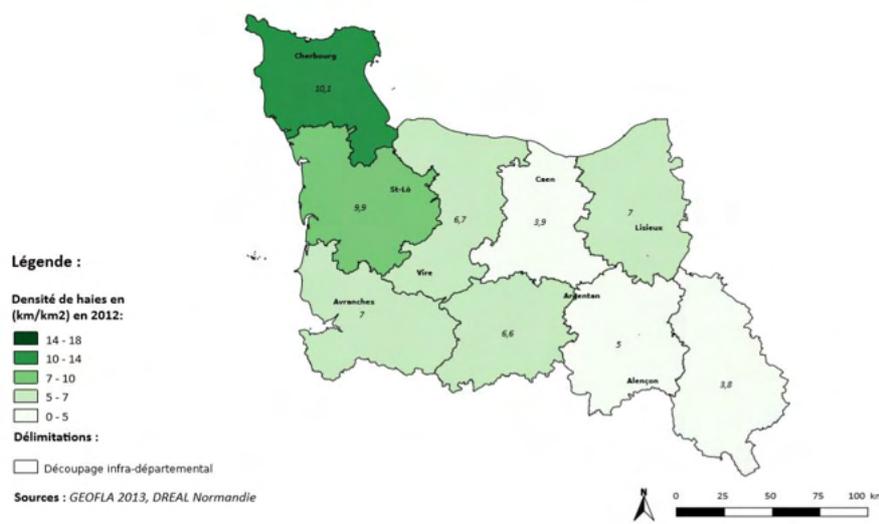
Stockage de carbone par les haies

Évolution des haies en ex Basse-Normandie

Représentation de l'indice linéaire de haies en 1972 à partir du calcul de la densité moyenne en ex Basse-Normandie



Représentation de l'indice linéaire de haies en 2012 à partir du calcul de la densité moyenne en ex Basse-Normandie



— Evolution de la densité de haies
— Linéaire (Evolution de la densité de haies)

Stockage de carbone par les haies

Les résultats obtenus ci-dessous proviennent d'une étude portant sur la photo-interprétation des éléments du bocage de l'ex Basse-Normandie à l'intérieur d'un échantillon, au sens statistique de 1179 cercles de 300 mètres de rayon, régulièrement répartis sur le territoire (Analyse statistique de la dynamique bocagère en Basse-Normandie à partir de l'orthophotoplan de 2006, Géosignal). La Haute-Normandie est non représentée du fait d'une absence d'homogénéité des données à l'échelon régional, avec des valeurs de densité uniquement pour l'année 2012.

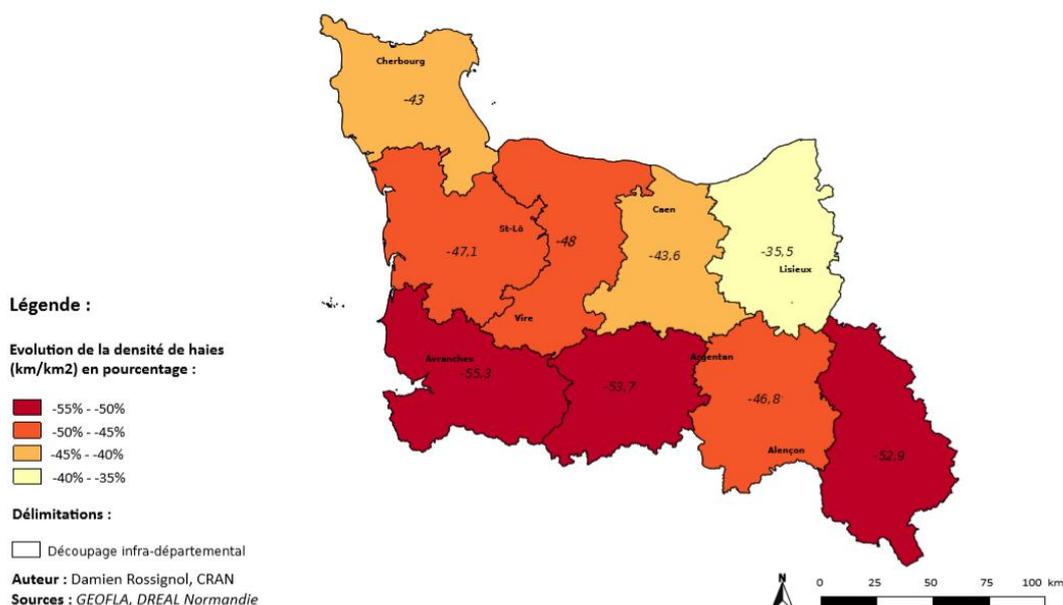
La densité des haies est calculée afin d'illustrer au mieux le contexte général du bocage normand, et est exprimée en km/km^2 .

La tendance générale est au recul depuis une trentaine d'années. De 1972 à 1998, la densité moyenne en ex-Basse-Normandie est passée de 12,9 à 7,9 km/km^2 , perdant ainsi 38 % de haies, soit 1,5 % par an. Un net ralentissement est ensuite constaté à partir des années 2000. Ainsi, de 1998 à 2012, la diminution moyenne pour ces 3 départements est de 13,6 %, soit 0,1 % par an.

A l'échelle départementale, de 1972 à 2012, on constate une diminution de densité de :

- - 48 % pour la Manche (de 17,5 à 9,1 km/km^2 de haie).
- - 41 % pour le Calvados (de 10,6 à 6,2 km/km^2 de haie).
- - 49 % pour l'Orne (de 10,3 à 5,3 km/km^2 de haie).

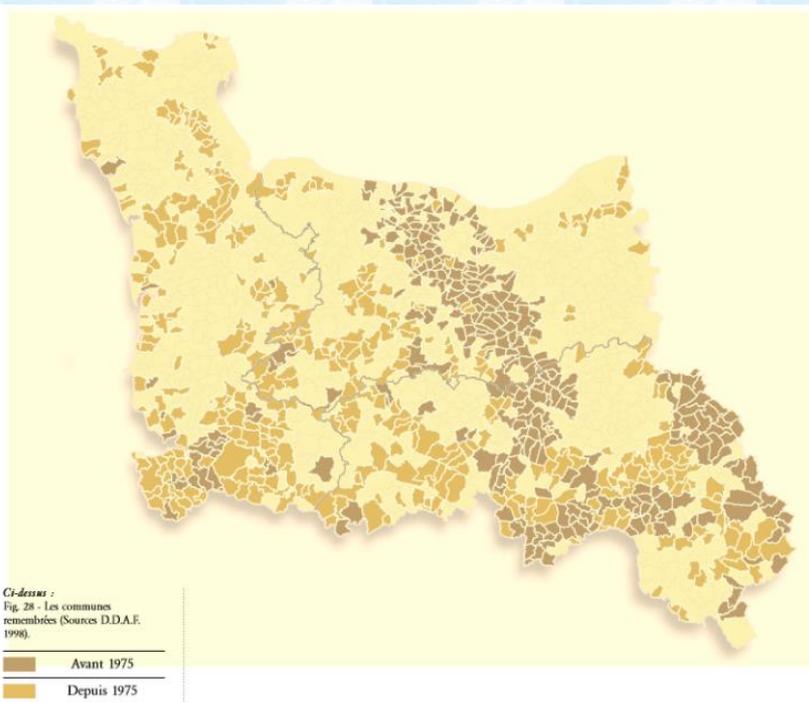
Représentation de l'évolution de la densité moyenne de haies en pourcentage de 1972 à 2012



L'Orne et la Manche font partie des territoires les plus affectés par la disparition de haies. Au niveau infra-départemental, le Sud-Manche (-55,3%), l'Ouest de l'Orne (-53,7%) ainsi que le Perche (-52,9%) sont les secteurs les plus affectés par la baisse de densité. Cette évolution est fortement corrélée aux activités agricoles et leur histoire. Dans un premier temps, le remembrement, initié par la loi de 1941, a pour but de regrouper les parcelles dispersées, de supprimer les enclaves, de faciliter l'accès aux terres agricoles. S'il ne touche pas à la disposition des habitats et à leur entourage immédiat, il simplifie le dessin parcellaire et peut réorganiser le réseau des chemins. (Essai sur l'histoire des paysages de Normandie, Pierre Brunet).



Stockage de carbone par les haies



Représentation des communes remembrées extraite de l'inventaire régional des paysages de Basse-Normandie, 2^{ème} partie : L'arbre et la haie dans les paysages bas-normands, Brunet.P., 2004.

D'après la carte ci-dessus, on voit apparaître deux périodes de remembrement dont une commençant avant l'année 1975, et marquée par une forte diminution des haies dans le Perche, les campagnes de Caen-Alençon et l'Avranchin. Après cette date, des actions sont menées mais de façon plus éparse, mise à part dans le Sud-Manche. Les secteurs épargnés sont ceux où la prairie permanente est restée dominante.

Ces modifications s'expliquent également par l'apparition de la motorisation dans les années 50 et celle du maïs dans les années 70, signe d'une intensification. A la suite de la seconde guerre mondiale, l'Europe qui dépendait des importations sur le plan alimentaire se trouve en pénurie. Pour faire face à ce manque de denrée agricole, la Politique Agricole Commune voit le jour. La PAC incite à produire plus au travers d'une agriculture intensive. Pour se faire, les parcelles agricoles sont agrandies afin de laisser place aux matériels plus performants. Les haies qui contribuaient autrefois à contenir le bétail, n'ont plus leur place au sein du nouveau modèle de production agricole qui se développe (Le Guillou.F, Doctorante LETG Caen, 2015 ; Approche systémique de la haie : de la multifonctionnalité de la haie à la conception de plans de gestion, préparation de thèse). De nouveaux paysages apparaissent avec un bocage aux mailles plus élargies et des plaines découvertes.

A partir du milieu des années 70, les mentalités changent et une prise de conscience intervient face aux dégâts écologiques et paysagers sur les haies. On voit apparaître des campagnes de plantation de haies venant freiner la baisse de densité de haies en Normandie.



Stockage de carbone par les haies

A RETENIR

Le stockage de carbone par les haies en Normandie en 2018 est estimé à 626 500 teqCO_2/an , soit environ 7 % des émissions de gaz à effet de serre par l'activité agricole.

La diminution de la haie se manifeste en ex Basse-Normandie, avec un ralentissement de cette tendance à partir de 1998, passant de -1,5%/an (1972-1998) à 0,1%/an (1998-2012).

L'histoire et les pratiques agricoles ont fortement influencé la dynamique des haies avec des campagnes de remembrement. Depuis les années 1970, on assiste à l'émergence d'une réelle prise de conscience avec la mise en place d'une législation ayant comme objectif premier de préserver ces entités paysagères.

Afin de conserver ces entités environnementales, il serait intéressant de s'inspirer du projet Carbocage (Pays-de-Loire) afin d'optimiser la gestion des haies et de valoriser monétairement le carbone capté.



POUR EN SAVOIR PLUS

AGTER-FRANCE.FR. Aménagement foncier et réorganisation des exploitations (remembrement, OGAF) ; Disponible sur : http://www.agter.org/bdf/fr/corpus_chemin/fiche-chemin-137.html

BRUNET P. (2004). L'inventaire régional des paysages de Basse-Normandie, 2^{ème} partie : L'arbre et la haie dans les paysages bas-normands, 79p.

CHAMBRE AGRICULTURE NORMANDIE. Les haies, les arbres agissent favorablement sur le climat des parcelles agricoles. Disponible sur : <https://normandie.chambres-agriculture.fr/climat-action-haies/>

CHAMBRE D'AGRICULTURE DES PAYS DE LA LOIRE ET DE BRETAGNE. (Septembre 2017). Projet Carbocage. Valorisez le carbone stocké par les haies sur vos territoires, 4p.

EUROPA.EU. Une économie sobre en carbone à l'horizon 2050. Disponible sur : https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_fr

INRA. (Juillet 2013). Synthèse du rapport de l'étude réalisée par l'INRA pour le compte de l'ADEME, du MAAF et du MEDDE.

ORECAN Observatoire Régional Energie Climat Air de Normandie. Disponible sur www.orecan.fr
Emissions de gaz à effet de serre sources ORECAN – Atmo Normandie – Inventaire version 3.2.4 et ORECAN – Biomasse Normandie – version 07.18 – Biomasse Normandie – version 09.19



Réduction des émissions de GES par les méthaniseurs

Nature et source des données

Données annuelles fournies par l'ADEME Normandie.

Indicateur

Période : 2010 à 2018

Analyse départementale : Manche, Calvados, Orne, Seine-Maritime et Eure.

Calcul de l'indicateur

Représentation de la puissance électrique installée annuelle et cumulée des méthaniseurs en kWe.

Rappel

La méthanisation est un processus biologique naturel permettant de valoriser des matières organiques. Pour se faire, la méthode consiste à placer pendant 40 à 60 jours ces matières à l'intérieur d'une cuve, appelée digesteur qui chauffe et brasse en l'absence d'oxygène (La méthanisation à la ferme, Guide pratique, ADEME). A la sortie, deux éléments sont présents, le biogaz (composé de méthane et de dioxyde de carbone) et le digestat, engrais complet avec une valeur agronomique supérieure aux matières entrantes.

Une fois sorti, le biogaz est soit valorisé par la centrale de cogénération (production d'électricité et de chaleur), soit injecté dans le réseau de gaz naturel. Pour sa part, le digestat va permettre d'améliorer la qualité de l'épandage avec une meilleure valeur fertilisante.

L'agriculture est un secteur d'activité générant des émissions de GES (Gaz à Effet de Serre), en particulier du méthane issu de la fermentation des effluents d'élevage. En moyenne française, le méthane représente 45 % des émissions de gaz à effet de serre de l'agriculture. La mise en place d'unité de méthanisation permet de limiter les émissions de GES en provenance des effluents et aussi de remplacer l'utilisation d'énergies fossiles sur l'exploitation. A l'échelle d'un élevage, cette pratique peut compenser jusqu'à 50% des émissions de GES (CRAN).

Enjeux de la démarche d'atténuation :

La méthanisation a un potentiel d'atténuation de 5,78 Mteq CO₂ annuel visé pour 2030 (INRA, 2013). Ce résultat est fortement influencé par le plan « Méthanisation » présenté par le ministre de l'agriculture en 2013, qui vise au développement de 1 000 méthaniseurs en 2020.

L'année 2018 sera bénéfique pour la Normandie avec 10 projets à venir, ainsi qu'une hausse de la production électrique cumulée, passant de 6473 kWe (2017) à 7698 kWe (2018). Grâce à ce potentiel énergétique, des retombées positives sont quantifiables pour la région. Une installation biogaz de 170 kWe sur son territoire, produit 1300 MWe/an, fournit 450 foyers en électricité et évite par an, 277 teqCO₂/an (La méthanisation à la ferme, Guide pratique, ADEME).

A partir de ce bilan, on peut donc supposer en cumulant les digesteurs installés depuis 9 ans en Normandie, que la production électrique va représenter en 2018 58 500 kWe/an, soit 20 250 foyers fournis en électricité et **l'évitement d'émission de 12 465 teqCO₂/an.**

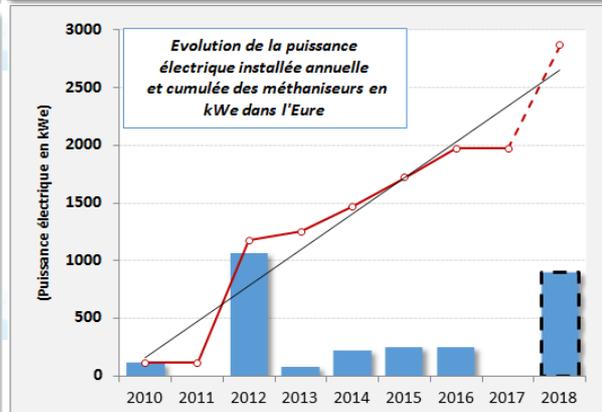
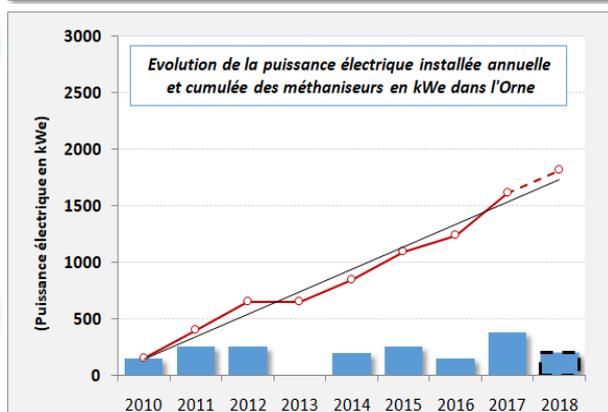
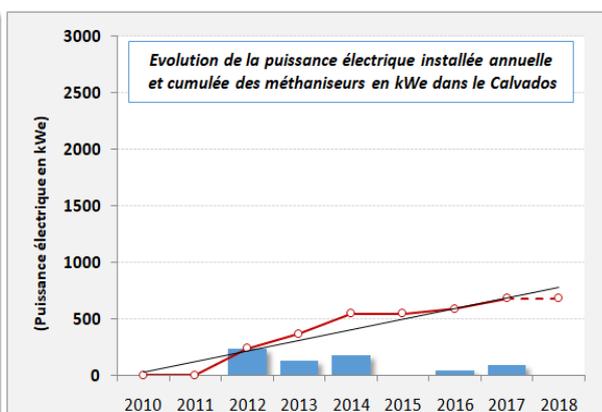
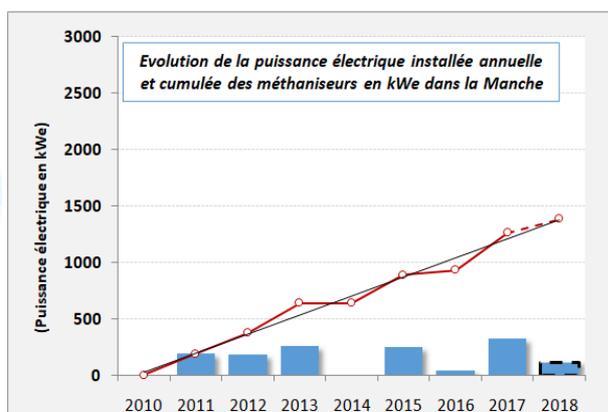
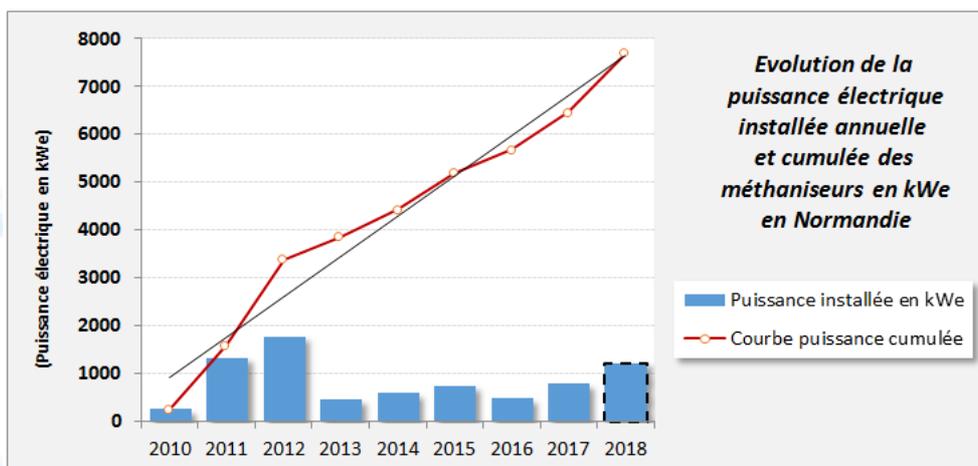
5 ATTENUATION



Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement climatique

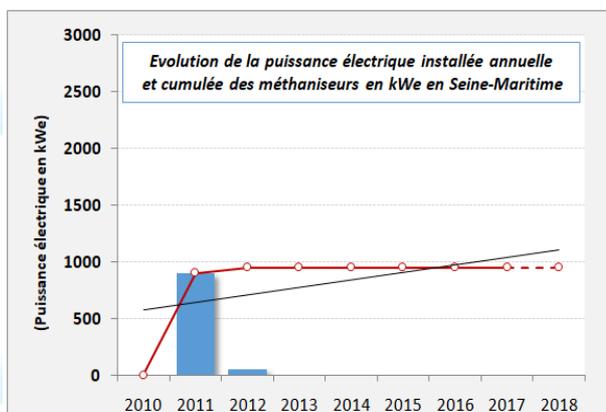
Réduction des émissions de GES par les méthaniseurs

Évolution de la puissance électrique des méthaniseurs en Normandie





Réduction des émissions de GES par les méthaniseurs



Analyse

En France, en janvier 2016, 236 installations de méthanisation à la ferme fonctionnent. Chaque année, se sont 70 installations qui sont construites (Les avis de l'ADEME, Méthanisation, Novembre 2016). Si l'on se réfère à la région et ses 27 unités début 2016, sa part représentait alors 11,4 % du total des installations.

Le nombre de méthaniseurs à la ferme est en augmentation en Normandie. Entre 2010 et 2018, on est passé de 2 à 51 unités de méthanisation. A l'image de ce chiffre, la puissance électrique est à la hausse, passant de 260 kWe cumulés en 2010 à 7698 kWe cumulés en 2018.

Le tableau ci-dessous présente les évolutions tendancielle (par ajustement linéaire) :

	Nombre de méthaniseurs à la ferme en 2018		Evolution de la puissance électrique cumulée en kWe (2010-2018)	Certitude de la tendance
Calvados	11	Calvados	+848	99,9%
Eure	8	Eure	+2 802	99,9%
Manche	13	Manche	+1 514	99,9%
Orne	19	Orne	+1 789	99,9%
Seine-Maritime	2	Seine-Maritime	+593	NS
Total Normandie	51	Moyenne Normandie	+1 509	

L'apparition de cette pratique s'est faite progressivement grâce à la multiplication d'aides allant dans le sens de leur développement (ADEME) :

- Revalorisation des tarifs d'achat de l'énergie électrique issue du biogaz en 2006 et 2011.
- Création d'un cadre spécifique à l'injection de biométhane dans le réseau de gaz naturel.
- Aides octroyées dans le cadre du plan national de performance énergétique des exploitations agricoles (Soutien de 128 projets sur 2009-2010).
- Passage de la méthanisation comme activité agricole selon la loi de modernisation de 2010 avec une amélioration de la fiscalité des projets.



Réduction des émissions de GES par les méthaniseurs

L'ensemble de ces mesures a conduit au développement de la méthanisation à la ferme en Normandie.

Toutefois, à l'échelle départementale, des disparités sont présentes avec les départements de la Manche et l'Orne présentant le plus grand nombre de méthaniseurs sur la période 2010-2018. Avec 14 unités de méthanisation en 2017 et 5 de plus prévues en 2018, l'Orne fait office de leader régional.

Ce bilan positif peut s'expliquer, au-delà des aides citées précédemment, par des conditions plus propices au développement de ce dispositif. Il faut notamment un gisement suffisant de déjections animales et potentiels avec d'autres matières organiques tels que les cultures intermédiaires afin d'optimiser au mieux le résultat final. On retrouve ces pré-requis dans des systèmes d'élevage, bien présents dans la Manche, l'Ouest du Calvados et de l'Orne.

La hausse du nombre de méthaniseurs s'accompagne d'une élévation de la production cumulée d'électricité. Cette tendance n'est pas homogène à l'échelle régionale puisqu'elle ne concerne pas la Seine-Maritime qui voit sa production rester à 950 kWe depuis 2011 (non significativité de la tendance).

La puissance électrique installée annuelle est variable d'une année à l'autre et se fait à un rythme compris entre 500 et 1000 kWe par an. Il est vrai que la mise en place d'une telle installation demande un investissement humain et financier qui ne peut se réaliser sans des aides extérieures. Elle peut amener l'exploitant à déboursier 10 000 euros/kWe. A partir de 250 kWe, le prix est divisé par deux (ADEME, Coût d'installation).

A RETENIR

La mise en place de méthaniseur est variable d'une année à l'autre et se fait à un rythme compris entre 500 et 1000 kWe par an depuis 2010.

Dans la région, le cumul de la production d'électricité est en forte hausse passant de 260 kWe en 2010 à 7698 kWe en 2018, soit 46 fois plus en seulement 9 ans.

La méthanisation est en plein développement dans la région et doit poursuivre cet effort afin de limiter l'empreinte de l'élevage dans les émissions de GES. En 2018 on peut estimer que l'émission de 12 465 tCO₂/an sera évitée grâce aux méthaniseurs de Normandie.



POUR EN SAVOIR PLUS

ADEME. Novembre 2016 : Méthanisation ; Disponible sur : https://www.bioenergie-promotion.fr/wp-content/uploads/2016/11/avis_ademe_methanisation-2016.pdf

ADEME. Septembre 2011 : Guide pratique pour les projets d'une puissance électrique inférieure à 500 kWe, 20p. <http://methanisation.insa-rennes.fr/contraintes-installations/>

CHAMBRE AGRICULTURE NORMANDIE. Méthanisation : Comment répondre aux enjeux des émissions de gaz à effet de serre ? ; <https://normandie.chambres-agriculture.fr/climat-methanisation/>



Notes

A series of horizontal dotted lines provided for taking notes.



Notes

A series of horizontal dotted lines for taking notes, spanning the width of the page.



Notes

A series of horizontal dotted lines provided for taking notes.



Lexique simplifié

Adaptation Ajustement des systèmes naturels ou humains en réponse à des stimuli climatiques présents ou futurs ou à leurs effets, afin d'atténuer les effets néfastes ou d'exploiter les opportunités bénéfiques. En agriculture, l'adaptation :

- diffère en fonction du système de production et de sa localisation notamment ;
- peut concerner tout ou partie de chaque système de production ;
- consiste à atténuer les effets néfastes du changement climatique tout autant qu'à exploiter ses opportunités ;
- nécessite la connaissance des évolutions probables du climat et des relations entre climat et production végétale.

Atténuation Réduction des émissions de gaz à effet de serre issues des activités humaines destinée à réduire l'ampleur du changement climatique.

Chaîne SIM (SAFRAN-ISBA-MODCOU) Chaîne de calcul opérationnelle de Météo France dédiée à l'étude spatialisée du bilan d'eau et d'énergie au pas de temps journalier depuis 1958. Elle couvre la France métropolitaine avec une grille de 8 km x 8 km. Elle permet notamment d'étudier l'évolution de l'humidité du sol et des pluies efficaces (infiltration + ruissellement) à l'échelle de territoires.

Impact Effet du changement climatique sur une activité humaine ou sur son environnement. S'étudie généralement en l'absence de toute mesure d'adaptation.

Observation Information issue d'un constat ou d'une mesure in situ. Elle correspond à une réalisation véritable du phénomène étudié. Les séries longues d'observations permettent d'identifier d'éventuelles tendances climatiques ou agricoles en lien avec le changement climatique.

Modélisation Représentation virtuelle d'un système et de ses lois de fonctionnement permettant de reproduire son fonctionnement, notamment par voie informatique. Modélisation climatique et modélisation agronomique sont utilisées pour estimer les effets futurs à long terme (mi XXIème et fin XXIème siècle) du changement climatique sur l'agriculture.

Ré-analyse Utilisation a posteriori des modèles numériques de prévision du temps pour reconstruire le climat passé à partir de l'ensemble des données météorologiques disponibles. Dans le cadre du projet Climsec, une ré-analyse hydro-météorologique a été effectuée sur la période 1958-2008 en utilisant la chaîne de modèles Safran-Isba-Modcou (SIM).

Série climatologique Suite – idéalement continue - de données météorologiques en un lieu donné, suffisamment longue (30 ans au moins) pour caractériser le climat de ce lieu.

Série homogénéisée (SH) Série climatologique corrigée à l'aide de méthodes statistiques des biais et des ruptures liés aux modifications dans les conditions de la mesure (déplacement de la station, changement de capteur...) ayant impacté la valeur mesurée. Non corrigés, ces biais et ruptures peuvent conduire à des conclusions erronées sur les évolutions climatiques observées. Les séries homogénéisées constituent donc des références pour analyser l'évolution du climat des décennies écoulées. Pour un usage agricole, leur principale limite réside dans leur pas de temps mensuel.

Série quotidienne de référence (SQR) Série climatologique à pas de temps journalier et sans correction des biais et ruptures, jugée apte à l'étude du changement climatique observé. Elle est sélectionnée par identification dans les SH (Cf. série homogénéisée) de périodes supposées homogènes pour chaque série de données. Pour un usage agricole, leur principal atout réside dans leur pas de temps journalier qui permet le calcul d'indicateurs agro-climatiques.



Scénario d'émission (de gaz à effet de serre) Hypothèse d'évolution future des émissions mondiales de gaz à effet de serre. Les concentrations en gaz à effet de serre issues des scénarios d'émission, permettent d'alimenter les modèles climatiques de description des climats futurs possibles.



Qu'est-ce qu'ORACLE_{Normandie} ?

ORACLE_{Normandie} (**O**bservatoire **R**égional sur l'**A**griculture et le **C**hangement **c**limatique**E**) établit un constat objectif du changement climatique en région Normandie et de ses conséquences avérées sur l'activité agricole régionale. Il s'appuie principalement sur des observations qui sont mises à jour une fois par an.

ORACLE_{Normandie} est organisé en 5 thèmes, signalés en tête de chaque fiche.

1 CHANGEMENT CLIMATIQUE

2 AGRO CLIMAT

3 IMPACTS AGRICOLES

4 ADAPTATIONS

5 ATTENUATIONS

ORACLE_{Normandie} est destiné à tous ceux qui se sentent concernés par l'avenir de l'agriculture régionale en lien avec le changement climatique : agriculteurs, conseillers agricoles, agents des services de l'état, élus et agents de collectivités territoriales, gestionnaires de ressources ou de territoires, membres d'associations, enseignants, élèves.

Contacts :

Isabelle DIOMARD / Emilie CHERON – Chambre régionale d'agriculture de Normandie
isabelle.diomard@normandie.chambagri.fr - emilie.cheron@normandie.chambagri.fr

Frédéric LEVRAULT – Chambre régionale d'agriculture de Nouvelle Aquitaine
frederic.levrault@na.chambagri.fr