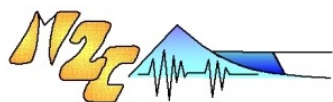


## Les effets attendus du changement climatique sur les paysages normands

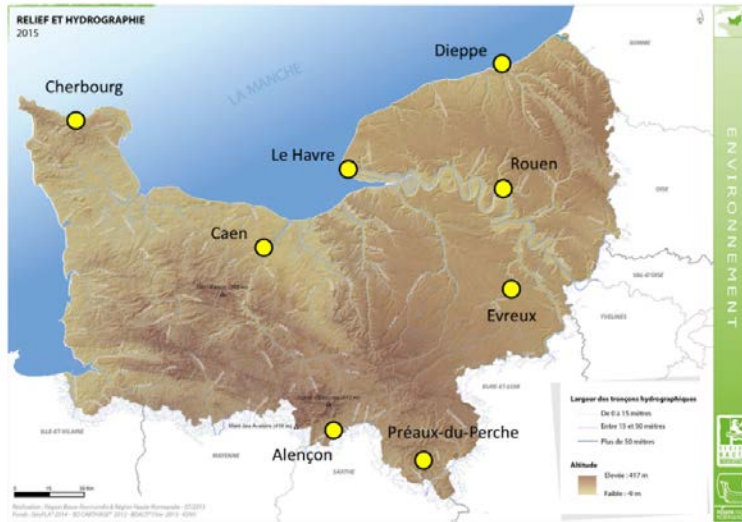
Benoit Laignel

benoit.laignel@univ-rouen.fr

**Synthèse : GIEC normand, GIEC Local Métropole Rouen Normandie**

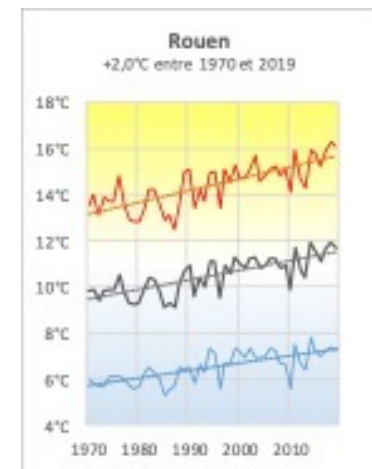


## Evolution de la température sur 8 stations normandes de référence



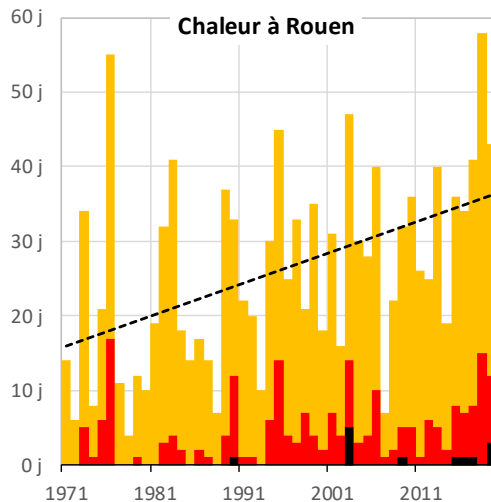
**Anomalies de température**  
(Selon Méthode du GIEC)  
période actuelle 1981-2010 et la  
précédente 1951-1980  
**+0,6 à +0,8° C**

**Tendance linéaire statistiquement  
significative à l'augmentation**  
**+1,2 à +2° C**



	Caen	Rouen	Alençon	Evreux	Cherbourg	Préaux	Dieppe	La Hève	Région
moyenne 1970-2019	11.1°C	10.5°C	11.0°C	10.7°C	10.7°C	10.7°C	11.0°C	11.4°C	10.9°C
tendance linéaire	+1.2°C	+2.0°C	+1.4°C	+1.7°C	+1.8°C	+1.6°C	+1.4°C	+1.9°C	+1.7°C

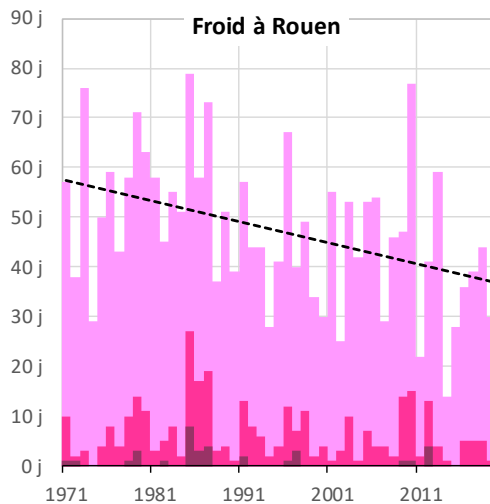
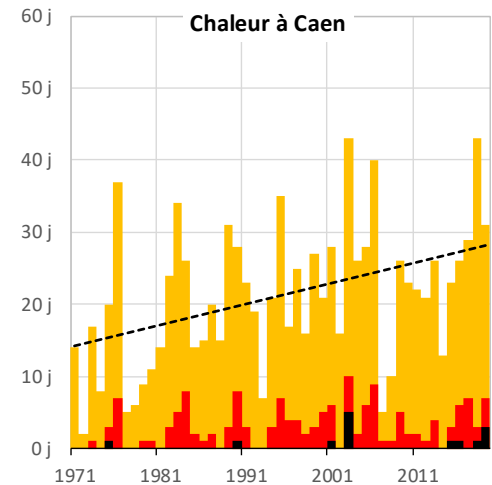
# Occurrences des jours de chaleurs et de froids (1970 à 2019)



$T_x \geq 25^\circ \text{C}$

**Rouen**  
15 à 35 jours

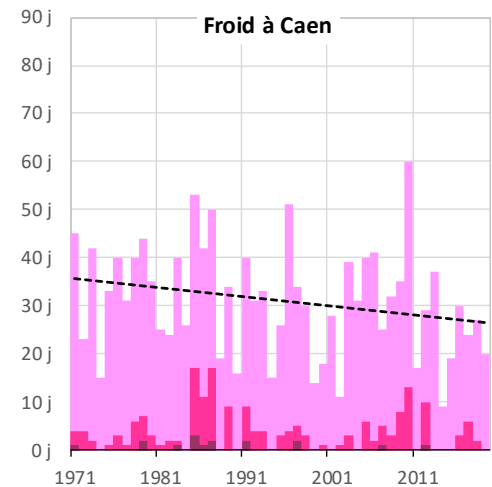
**Caen**  
15 à 28 jours



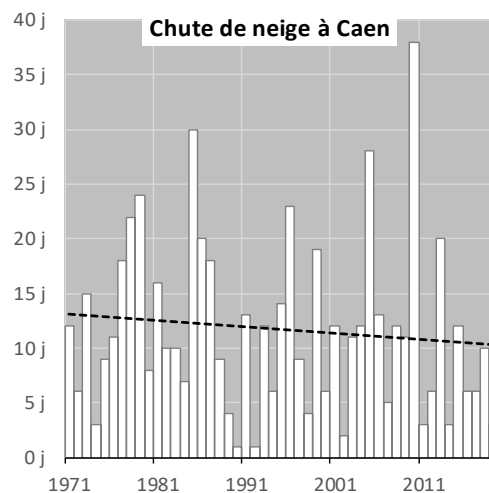
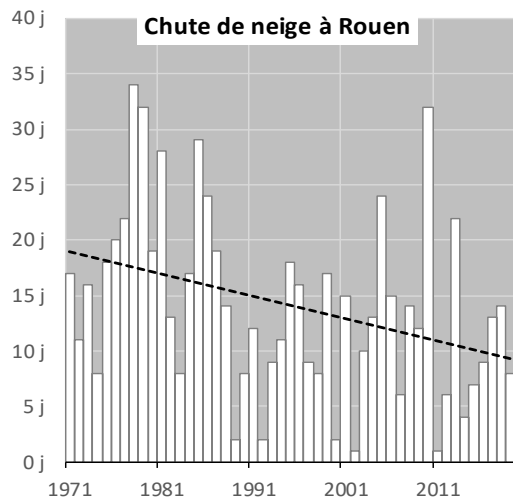
$T_n \leq 0^\circ \text{C}$

**Rouen**  
58 à 38 jours

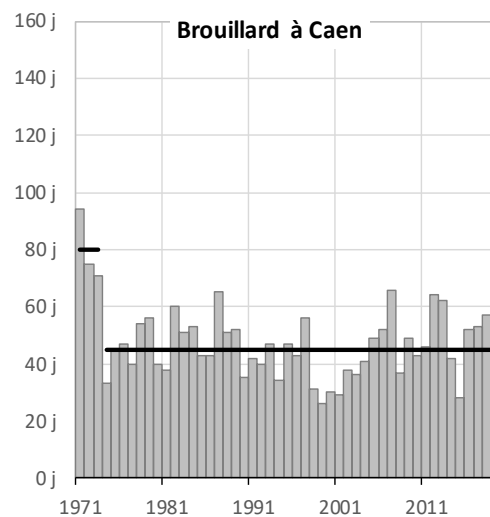
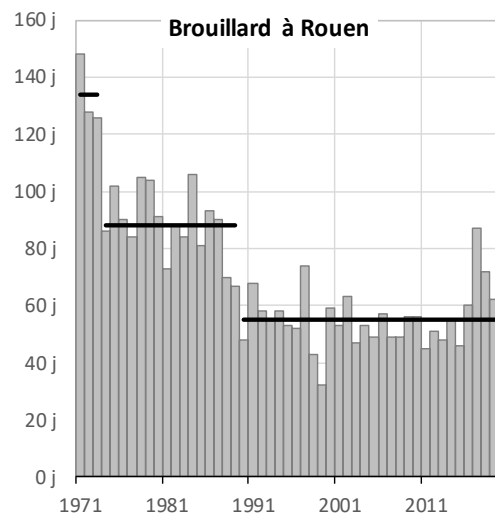
**Caen**  
37 à 27 jours



# Evolution des jours de neige et de brouillard depuis 1970



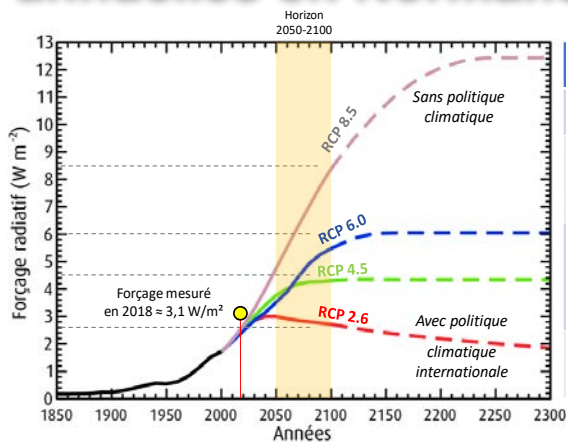
Tendance à la baisse dans le cadre d'une forte variabilité interannuelle  
Ex 2010 : froid et humidité ont occasionné une année remarquablement neigeuse



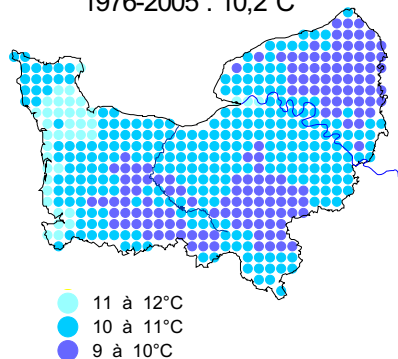
Evolution plus complexe par palier  
- 3 paliers à Rouen :  
120 jours, 80 jours, 55 jours  
- 2 paliers à Caen  
80 jours, 45 jours



# Projection : Evolution des températures atmosphériques moyennes annuelles en Normandie – Horizons moyen et long terme



**Ecart / T° moyenne**  
(valeur annuelle en °C)  
Situation de référence  
1976-2005 : 10,2°C

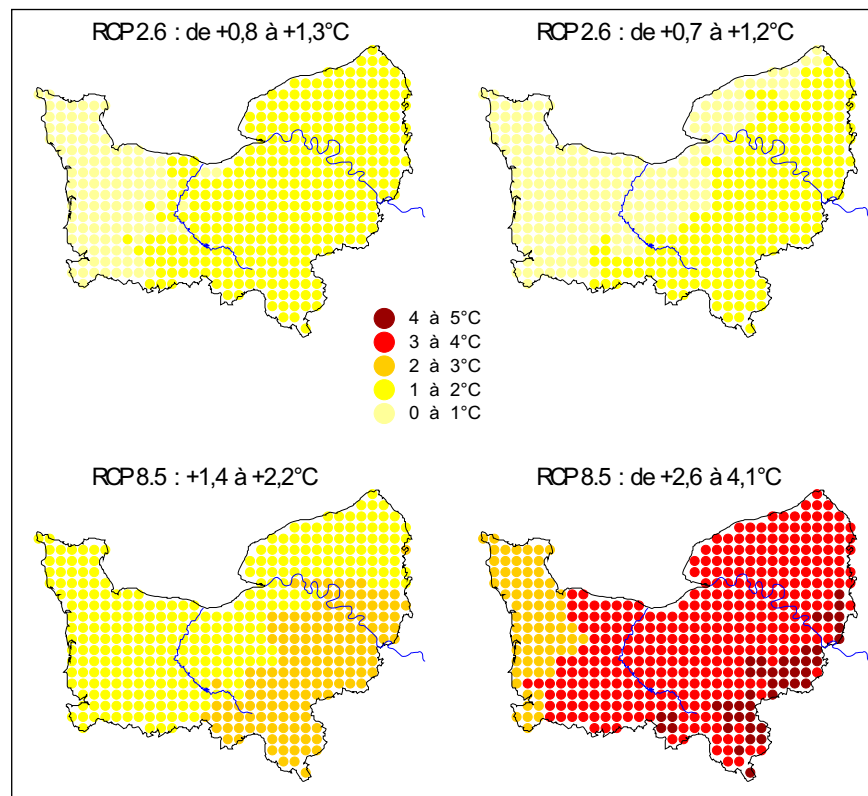


Données Drias les futurs du climat

Réalisation O. Cantat, LETG, UNICAEN

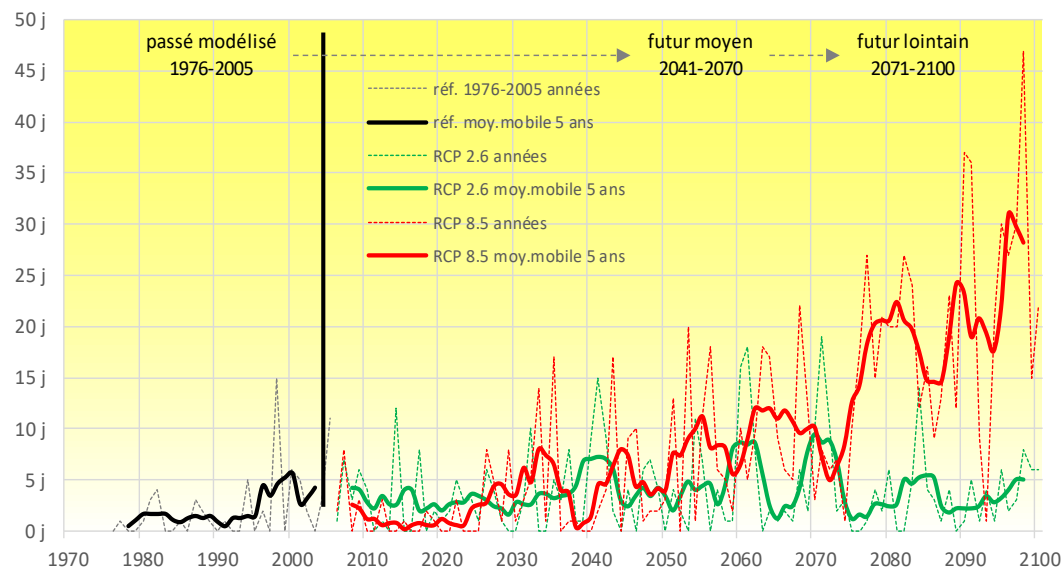
Horizon moyen 2041-2070

Horizon lointain 2071-2100



# Evolution du nombre de jours de forte chaleurs $T^{\circ} \geq 30^{\circ} C$ en Normandie à l'horizon 2100

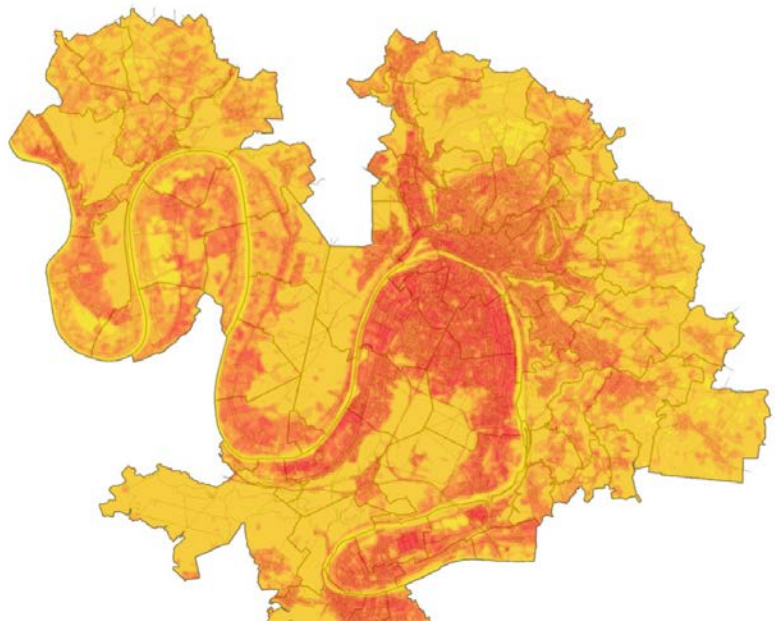
Evolution du nombre de jours de forte chaleur en Normandie selon 2 scénarios du GIEC



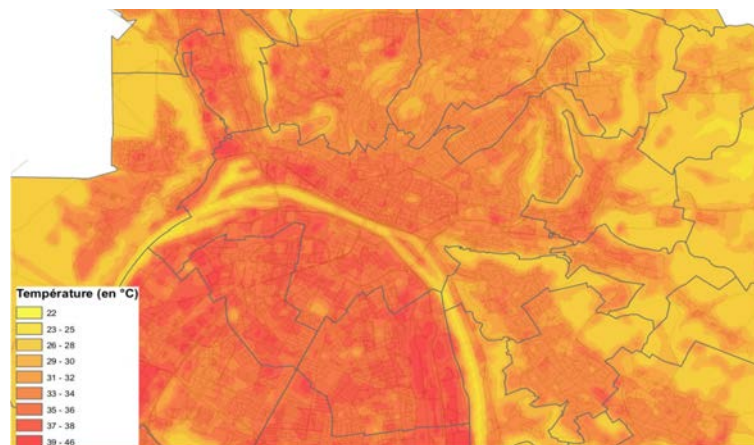
Ecart devrait se creuser entre l'intérieur des terres qui subiront des vagues de chaleur plus intenses et plus durables (RCP 8.5 : + 30 à 40 j) que les espaces côtiers océanisés (RCP 8.5 : +4 à +9 j)

		jour forte chaleur ( $\geq 30^{\circ}C$ )		
		1976-2005	2071-2100	
		Réf.	RCP 2.6	RCP 8.5
littoral	Cherbourg	0.5	0.8	4.3
	Le Havre	2.8	2.8	10.7
	Dieppe	1.3	2.7	10.6
intermédiaire	Caen	2.6	3.9	18.2
	Rouen	3.7	6.3	26.6
continental	Evreux	5.1	9.1	34.9
	Alençon	5.5	10.9	36.2
	Préaux	5.8	11.9	39.2

# Canicules : îlots de chaleur et incendies



Température de l'épisode caniculaire 19 juin 2017  
Photo-interprétation de clichés satellites  
(InfraRouge) – Métropole de Rouen

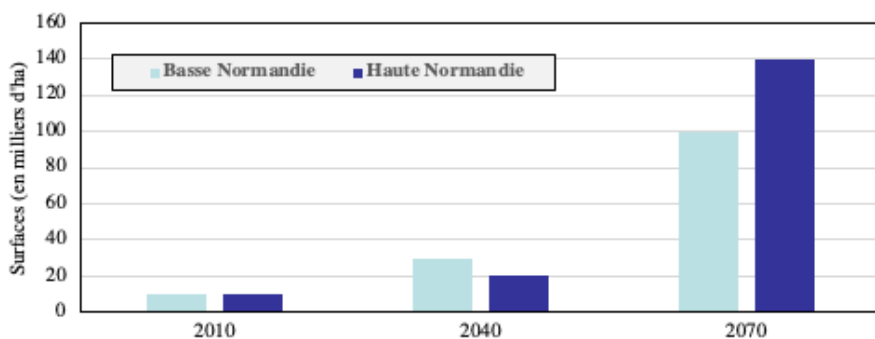


**Ilots de chaleur = Risques sanitaires accrus :**

Chaleurs torrides le jour → synonymes de forte déshydratation

+ Nuits étouffantes → réduction de la durée et de la qualité de la récupération physiologique (INVS, 2003 ; Besancenot, 2004 ; Cantat, 2010)

## Surfaces sensibles aux feux de forêts

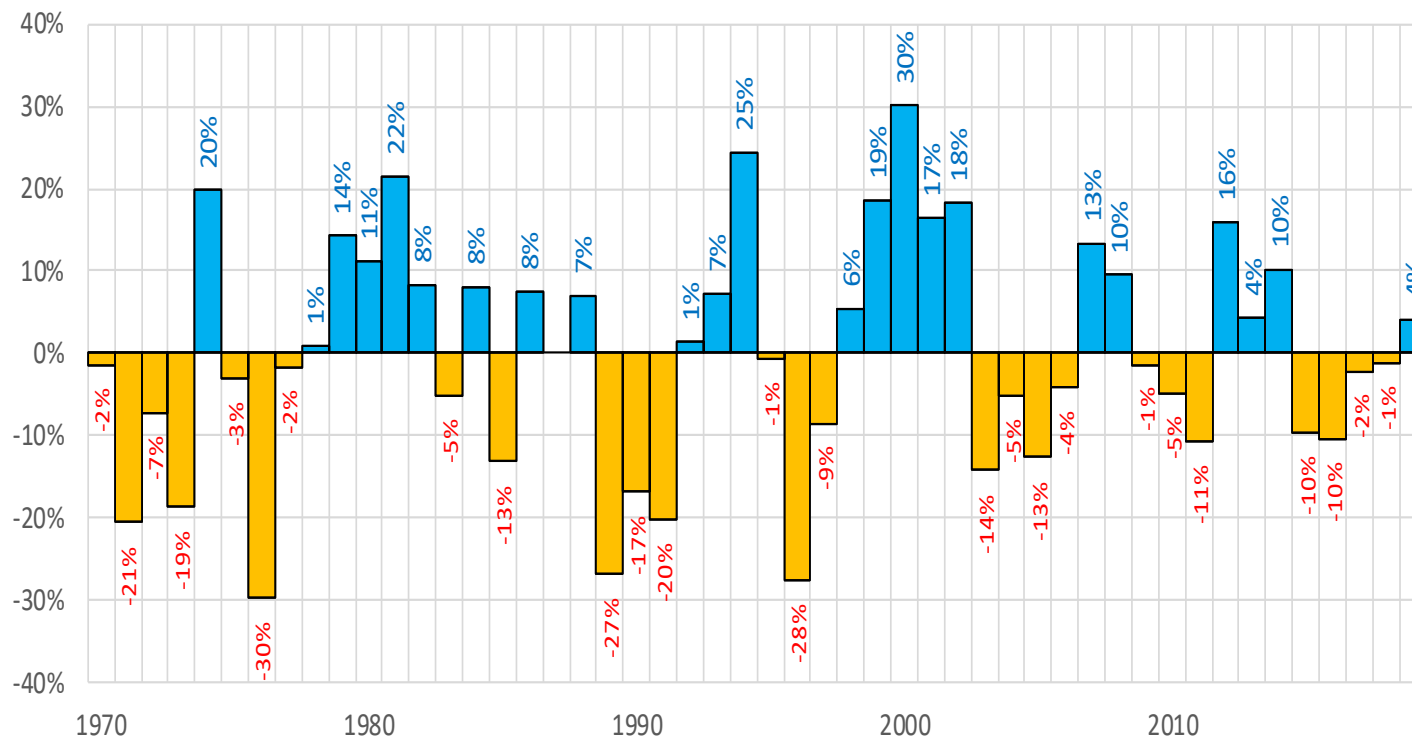


**Risques d'incendies accrus :**

Été 2019 en Seine-Maritime : 299 feux de broussailles et 131 feux de récoltes

Projection en 2070 : forte augmentation des surfaces sensibles aux feux de forêts

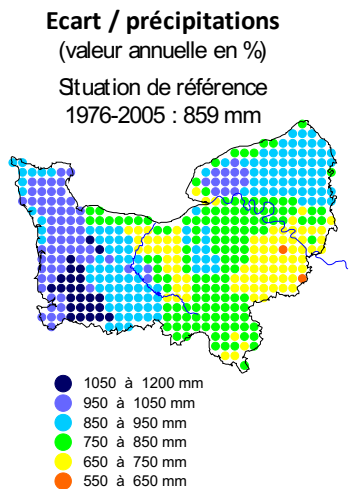
# Indice régional des cumuls annuels de pluviométrie en Normandie (1970 à 2019)



Pas de tendance significative  
 Alternance de périodes sèches et humides

Écarts entre années les plus sèches et années les plus arrosées : environ +/- 30%  
 Écart se réduit à +/- 15% à partir de 2003

# Anomalie du cumul de précipitations annuelles en Normandie (mm et %) – Horizons moyen et long terme

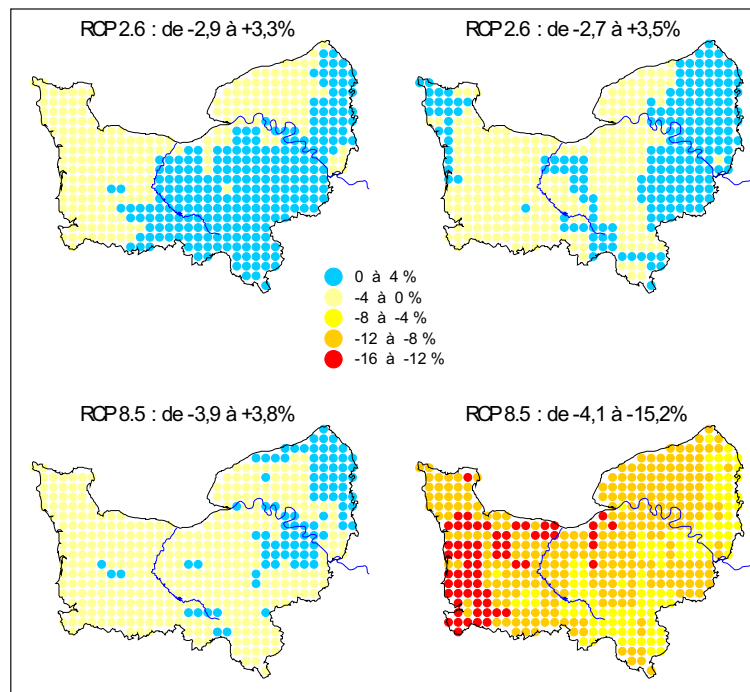


Données Drias les futurs du climat

Réalisation O. Cantat, LETG, UNICAEN

Horizon moyen 2041-2070

Horizon lointain 2071-2100



Stabilité  
-29 à +31 mm  
-2,7 à +3,5%

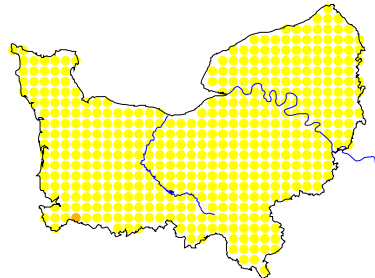
Déficit  
-33 à -163 mm  
-4,1 à -15,2%

# Évolution saisonnière de la pluviométrie en Normandie

## Scénario RCP 8.5 - horizon lointain 2071-2100

### Saisonnalité des précipitations

Evolution entre la période référence 1976-2005 et la projection 2071-2100 pour le scénario RCP 8.5.

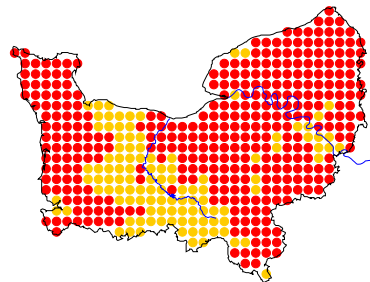
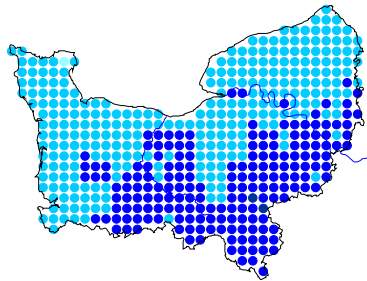


**Année ≈ -9,6 %**  
(entre -15,2 et -4,1 %)

Données Drias les futurs du climat

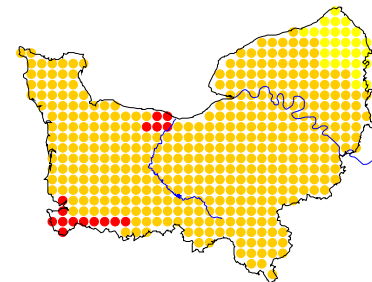
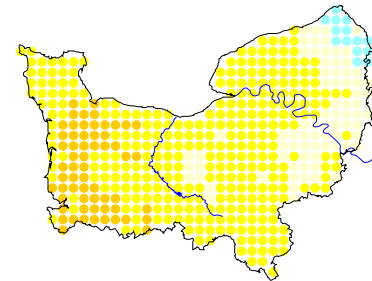
Réalisation O. Cantat, LETG, UNICAEN

**Hiver ≈ +13,6 %**  
(entre +4,6 et +26,6 %)

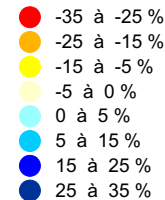


**Été : ≈ -26,9 %**  
(entre -34,4 et -19,8 %)

**Printemps ≈ -9,1 %**  
(entre -21,0 et +3,9 %)



**Automne ≈ -20,2 %**  
(entre -27,3 et -17,9 %)





# Evolution du pourcentage de précipitations extrêmes en Normandie

## Horizon 2100

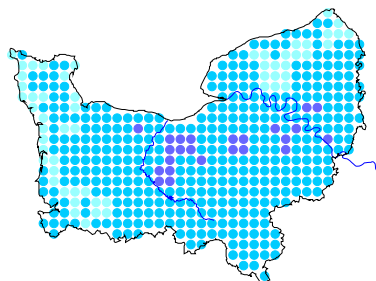
Cumul dépassant 20 mm par jour, soit 20 litres/m<sup>2</sup>

### Evolution annuelle

Scénario RCP 2.6 : 0 à + 2 % - Scénario RCP 8.5 : + 4 à + 10 %

#### Saisonnalité des précipitations intenses

Evolution entre la période référence 1976-2005 et la projection 2071-2100 pour le scénario RCP 8.5.

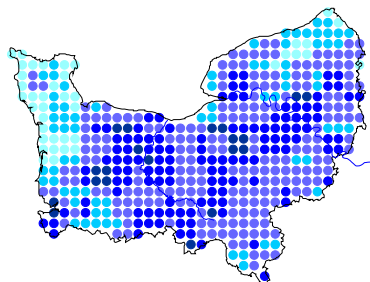
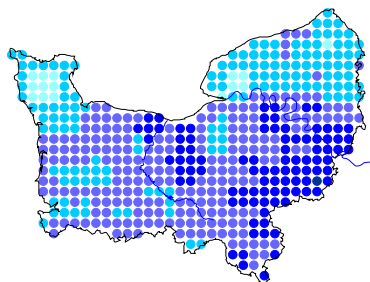


Année ≈ +7,4 %  
(entre +4,5 et +9,7 %)

Données Drias les futurs du climat

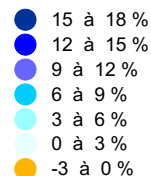
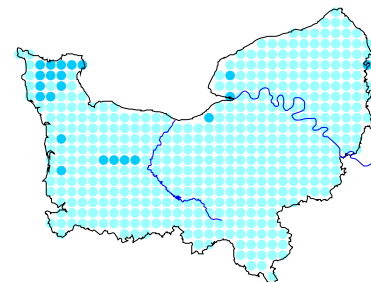
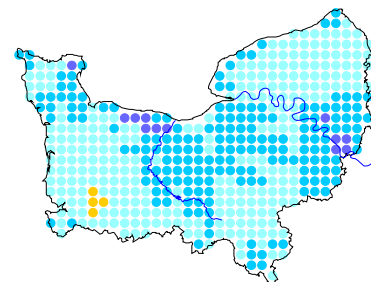
Réalisation O. Cantat, LETG, UNICAEN

Hiver ≈ +10,0 %  
(entre +5,0 et +15,1 %)



Été : ≈ +10,5 %  
(entre +1,1 et +17,9 %)

Printemps ≈ +5,4 %  
(entre -2,3 et +9,8 %)

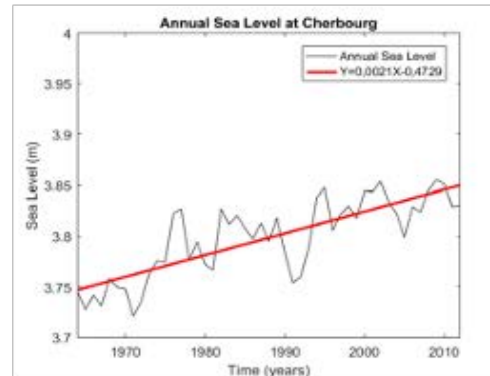


# Élévation du niveau marin en Normandie

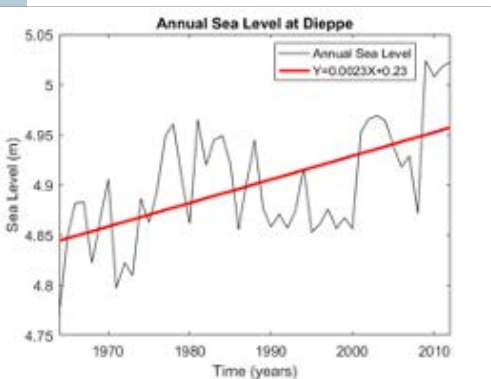


Élévation moy :  $2,2 \pm 0,1$  mm/an

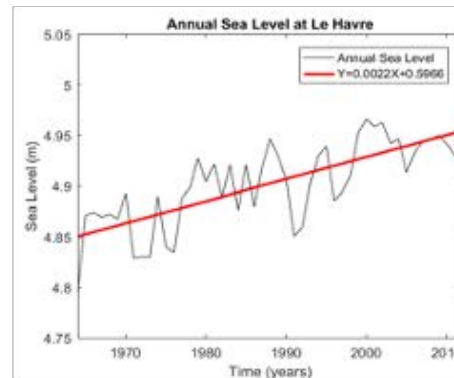
## Cherbourg



## Dieppe

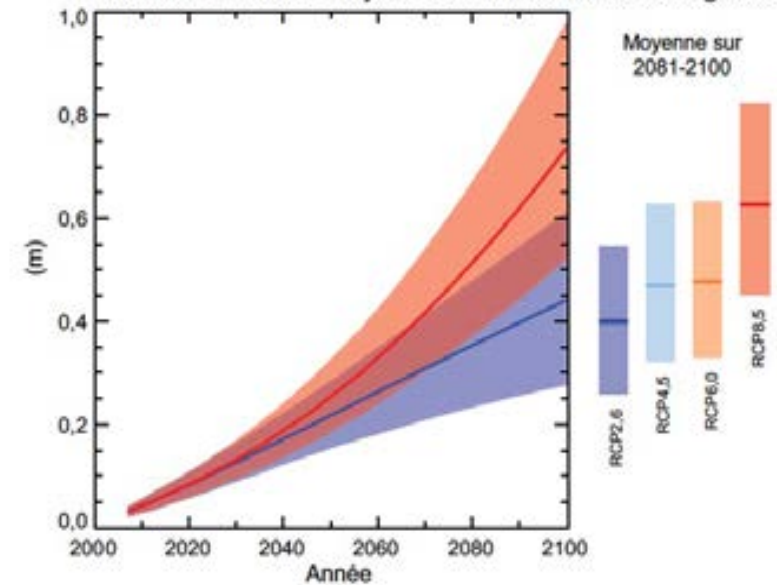


## Le Havre



Travaux Baulon, Turki, Costa, Laignel, 2018

## Élévation du niveau moyen des mers à l'échelle du globe



Élévation moyenne du niveau des mers : entre 0,29 et 1,10 m d'ici 2100 (IPCC, 2013)

# Inondations des vallées

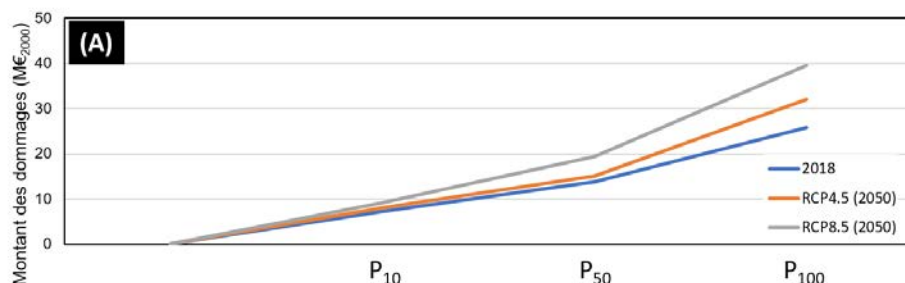
## Augmentation des précipitations intenses +2 à +10%

= Augmentation du ruissellement, des crues de rivières, des remontées de nappe

= Augmentation de la fréquence et de l'intensité des inondations de l'érosion, de la turbidité des cours d'eau, des coulées boueuses



Aléa débordement de cours d'eau, ruissellement, et coulées boueuses (Bassin versant de la Lézarde)

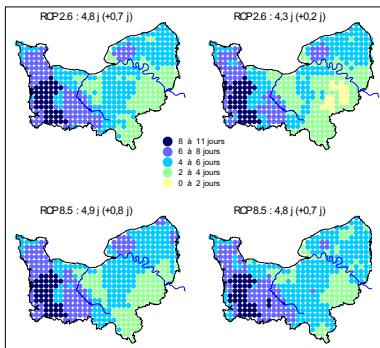


## Simulation à 2050 (Patault et al., 2020)

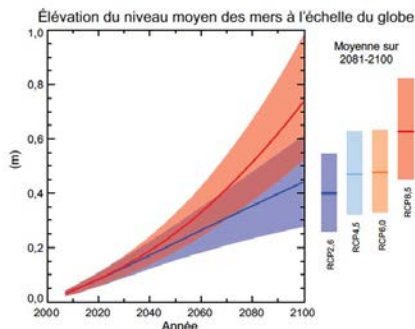
+14 à +29% de dommages liés aux inondations en 2050 (BV Lézarde)

Horizon moyen 2041-2070

Horizon lointain 2071-2100



+



## Augmentation des précipitations intenses +2 à +10%

+ Élévation du niveau de la mer + Tempêtes

= Augmentation de la fréquence et de l'intensité des inondations sur le littoral

et dans les basses vallées (Phénomène de blocage de l'écoulement des cours d'eau)

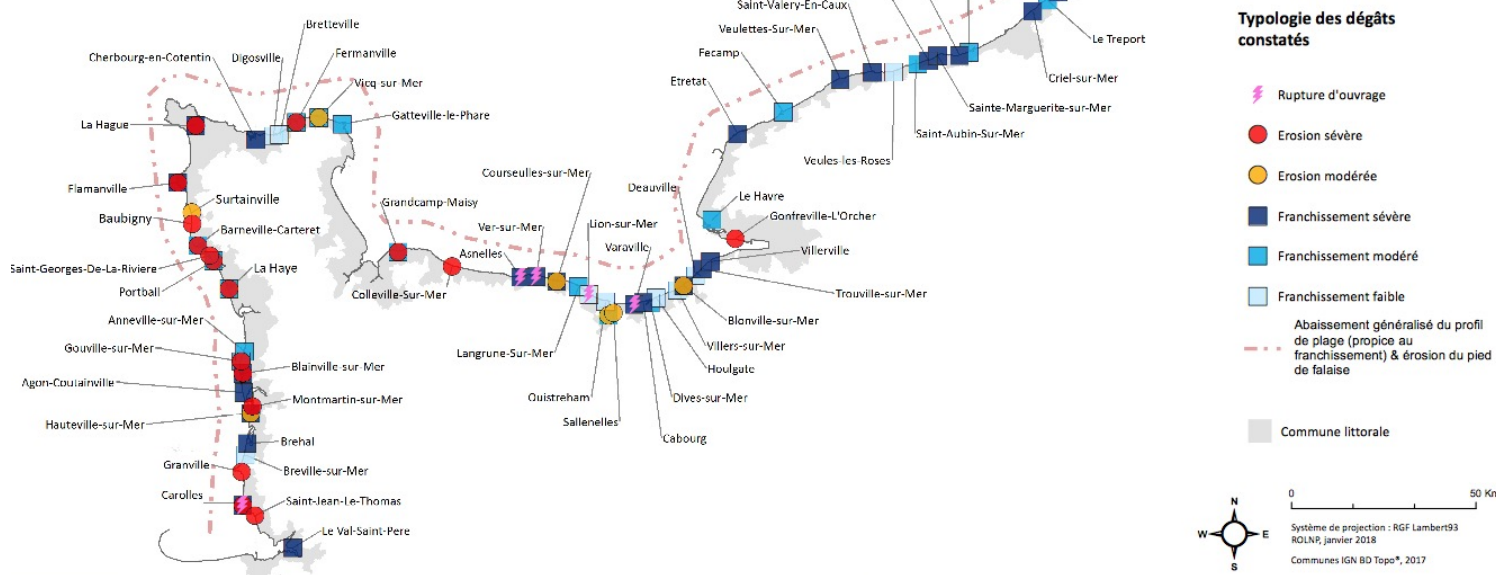
= Accélération du recul du trait de côte

## Ex : Eléonor 3 janvier 2018 Effet des tempêtes majeures : érosion/recul du trait de côte, franchissement/inondation

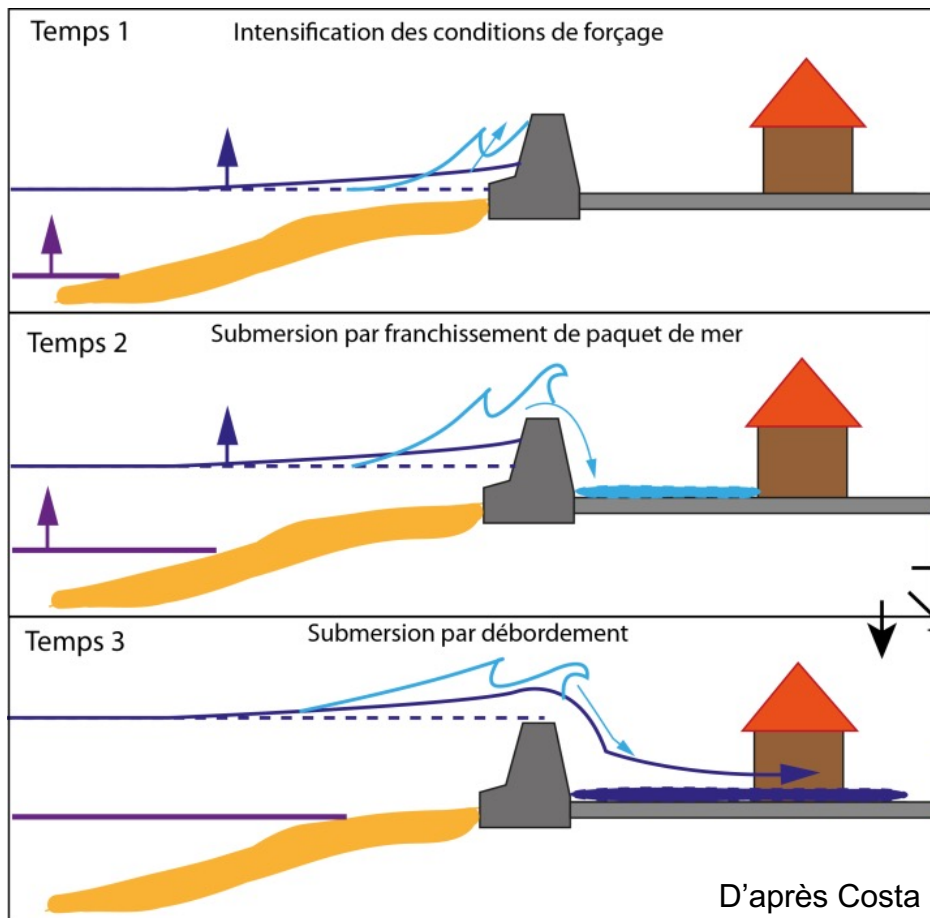


**Communes littorales affectées par la tempête Eleanor du 3 janvier 2018  
en Normandie et dans les Hauts-de-France**

Synthèse des informations non exhaustives au 23/01/2018



# Projection : Effet combiné de l'élévation du niveau des mers et des submersions de tempêtes sur les inondations



Franchissement, submersion et inondation : lors des surcotes de fortes tempêtes

Conséquence élévation du niveau marin  
Plus besoin de forte tempêtes pour franchissement, submersion et inondation

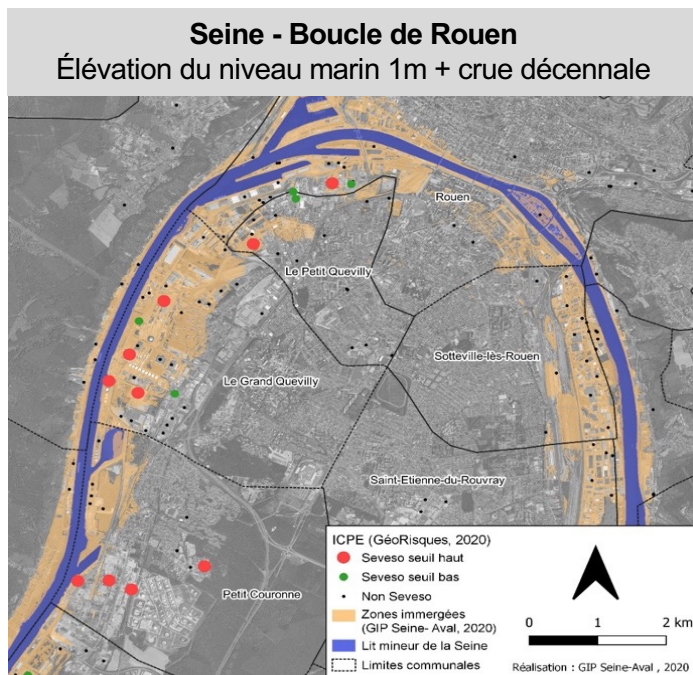
Élévation du niveau marin + Augmentation intensité des tempêtes



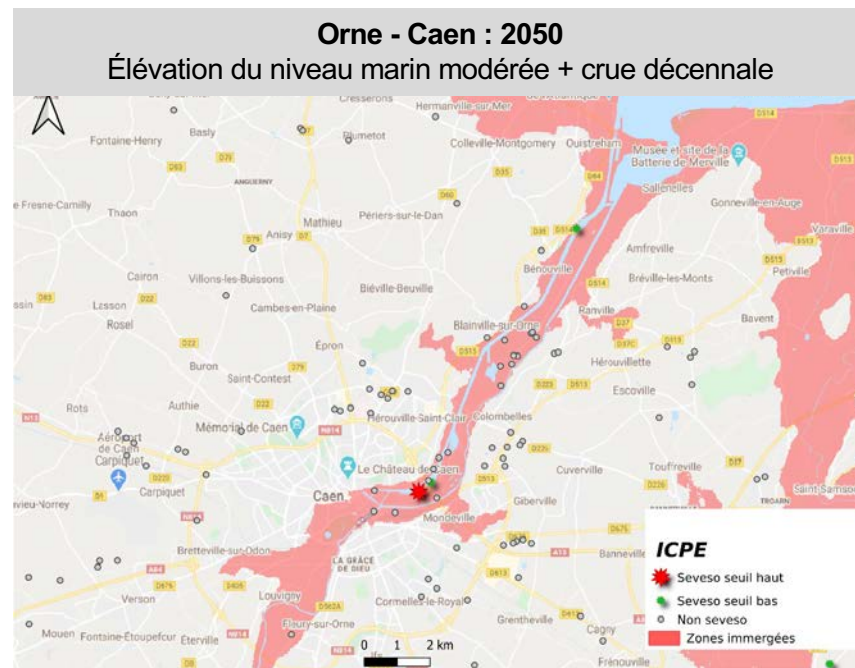
Augmentation fréquence et intensité des submersions par franchissement et inondations



- ↗ Risque d'inondation des cours d'eau et sur le littoral dans la cadre du changement climatique (concomitance entre élévation du niveau marin et crue...)
- = ↗ Risque industriel pour les ICPE (dont SEVESO) par effet cascade



Projection ARTELIA/GIP Seine, modifiée avec ajout des sites SEVESO



Projection Climate central. *ClimateCentral.org*  
(Kulp et al., 2019 ; Kopp et al., 2017 ; modifiée avec ajout ICPE par Patault et Laignel)

**Changement climatique = Accélérateur du multi-risques**  
= Augmentation de l'intensité et de la fréquence des risques naturels  
= Augmentation des risques industriels, sanitaires et économiques

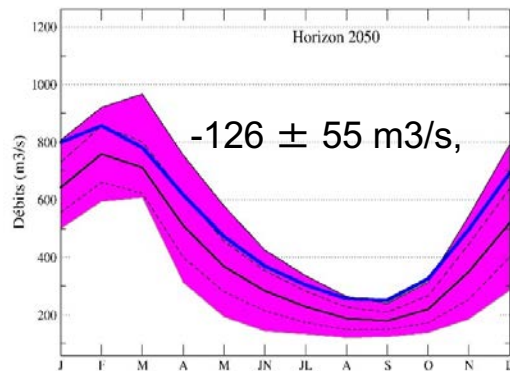


## Bassin de la Seine

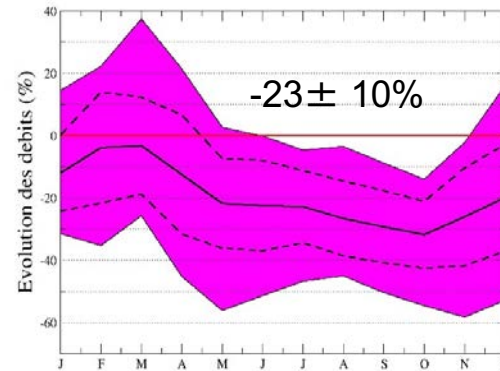
Elévation de la température des cours d'eau : +2° C en moyenne

Débit moyen annuel des cours d'eau : -10 à -30%

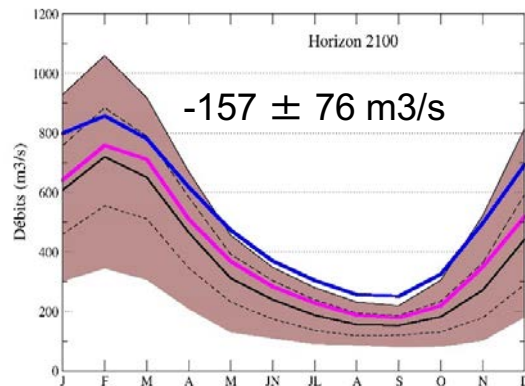
Seine à Poses



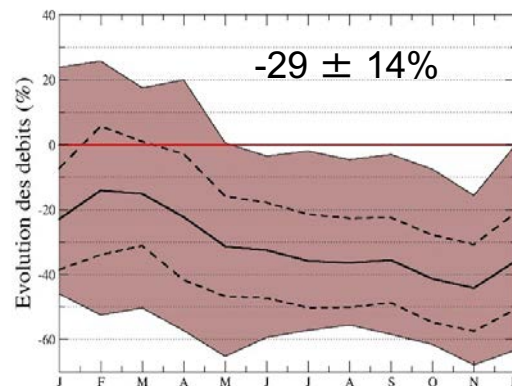
Impact Horizon 2050



Seine a Poses



Impact Horizon 2100



**Projet RexHySS – 2100**  
12 scénarios CC désagrégés  
5 modèles hydrologiques :

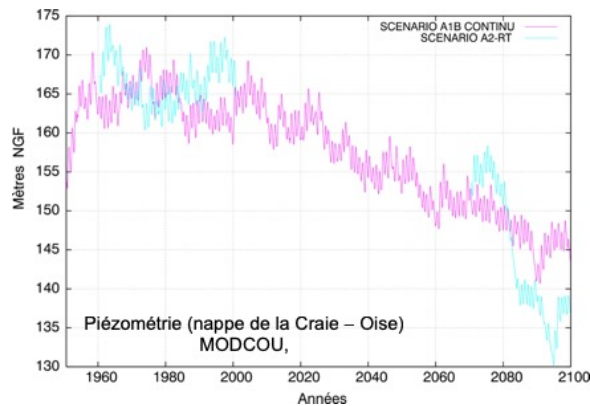
↘ débit moyen annuel de la  
Seine  
↘ -29% (+/- 14%)  
du débit moyen actuel

↘ débit en toutes saisons,  
mais essentiellement l'été  
Incertitude l'hiver

# Changement climatique et ressources en eau : nappe souterraine

Recharge moyenne annuelle des nappes : -15 à -30%  
Rabatement jusqu'à 10 m

## Evolution de la nappe de la craie du bassin de la Seine - 2100



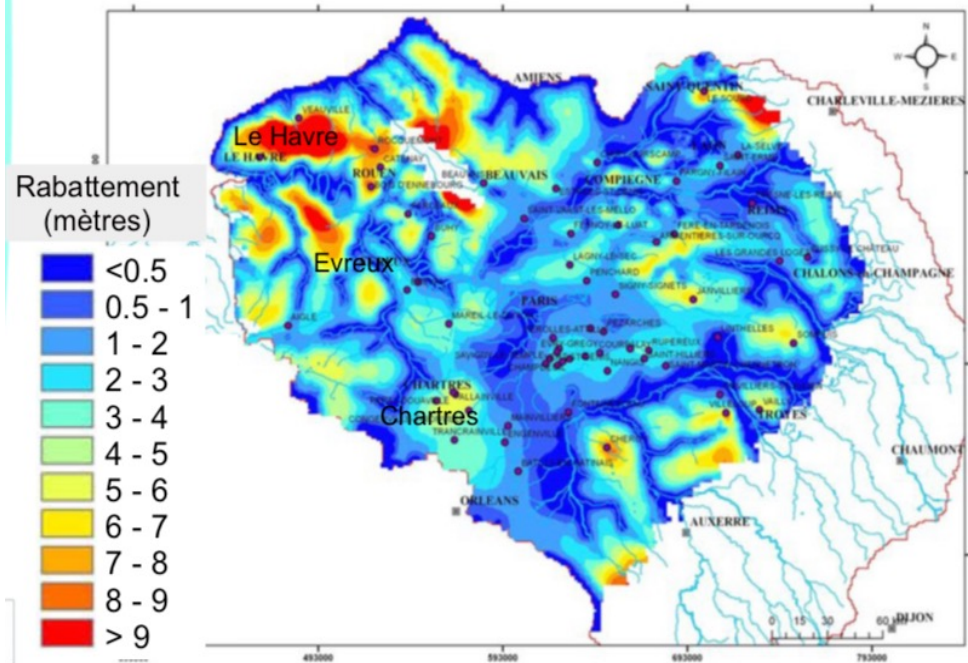
= Ressource en Eau potable

↘ Recharge des aquifères  
-2700 Mm<sup>3</sup>/a

= Même ordre de grandeur que  
volumes actuellement prélevés  
sur bassin Seine

Ducharne et al., 2009

Le niveau piézométrique des nappes d'eau souterraine devrait baisser, sauf en bordure de mer  
exemple pour la nappe de la craie et pour un scénario modéré du GIEC

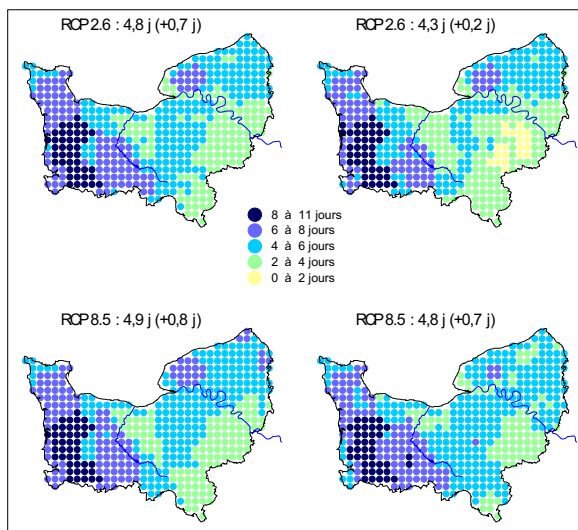


Rabatement du niveau de la nappe de la craie du bassin de la Seine à l'horizon 2100 pour un scénario modéré du GIEC (source : Explore 2070, Modèle MODCOU BRGM, Stollsteiner, 2012).

# Hypothèse sur l'évolution de la qualité de l'eau

Horizon moyen 2041-2070

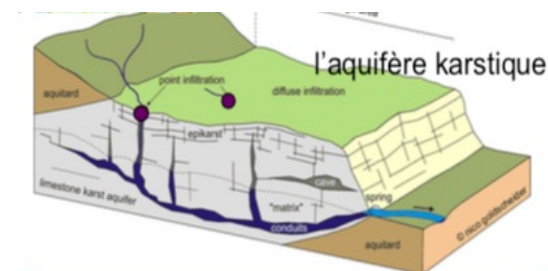
Horizon lointain 2071-2100



Augmentation des précipitations intenses +2 à +10%  
= Augmentation du ruissellement et de l'érosion

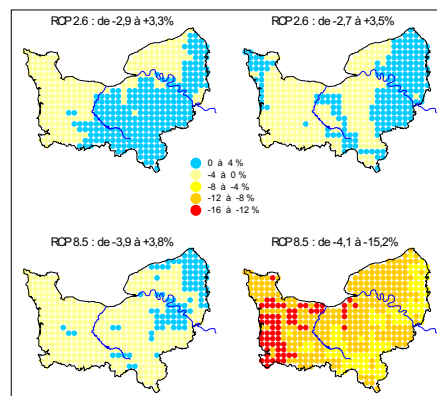


↓  
- Augmentation de la turbidité des cours d'eau et de la contamination associée  
- Problème de turbidité aux captages dans les zones crayeuses karstiques

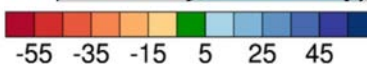
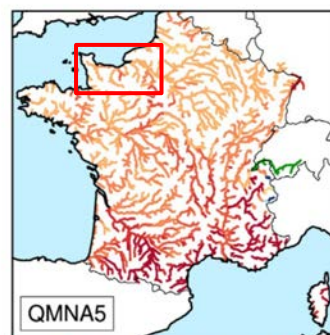


Horizon moyen 2041-2070

Horizon lointain 2071-2100



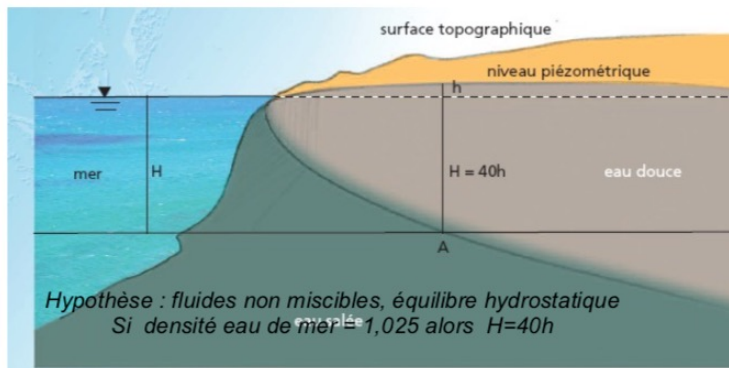
Des débits d'étiage à la baisse  
scénario 8.5 de 1960-1990 à 2070-2100



Déficit des précipitations jusqu'à -15%  
+ Sécheresse 2 à 7 jours

= Etiage des cours d'eau sévère  
= Problème d'oxygénation  
+ Pollution potentielle par surconcentration d'éléments chimiques  
+ Problème des rejets de stations d'épuration

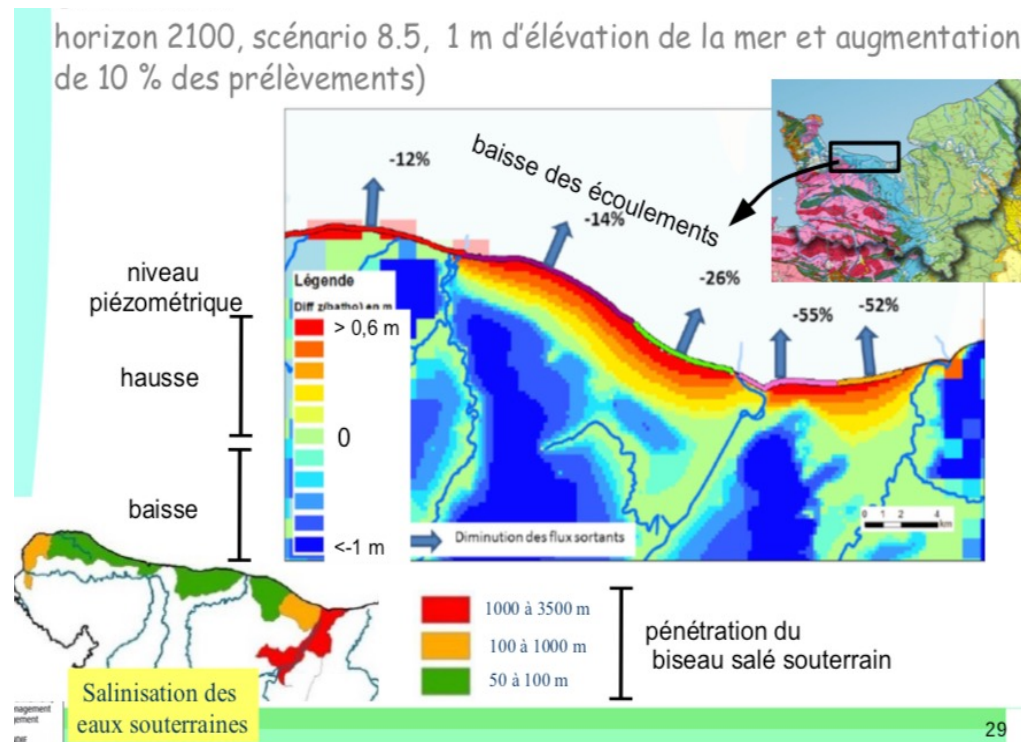




Le biseau salé pénètre les aquifères littoraux

Forages déjà impactés :  
Vallées de l'Orne, de l'Aure  
Côte Ouest de la Manche

Source Dörfliger et Augéard d'après Frissant





- Allergies

Pollens

Inondation



- Impacts physiques (blessures, noyades)
- Impacts psychologiques post-traumatiques
- Impacts sur qualité eau

# Santé

Température  
Canicule



- Surmortalité
- Maladies cutanées, oculaires

Pollution  
atmosphérique

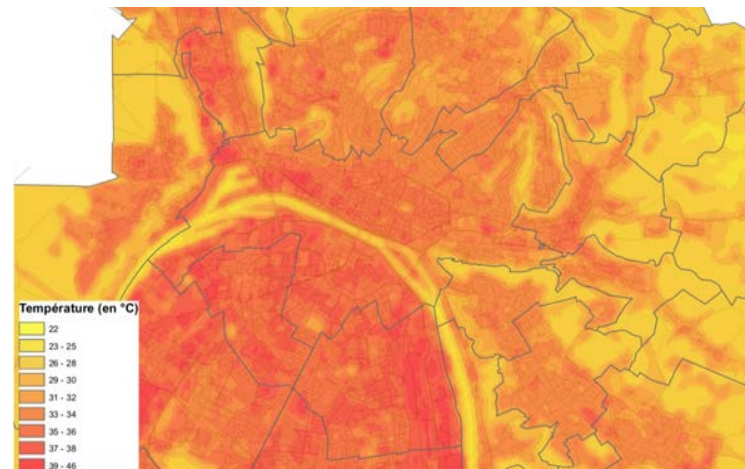
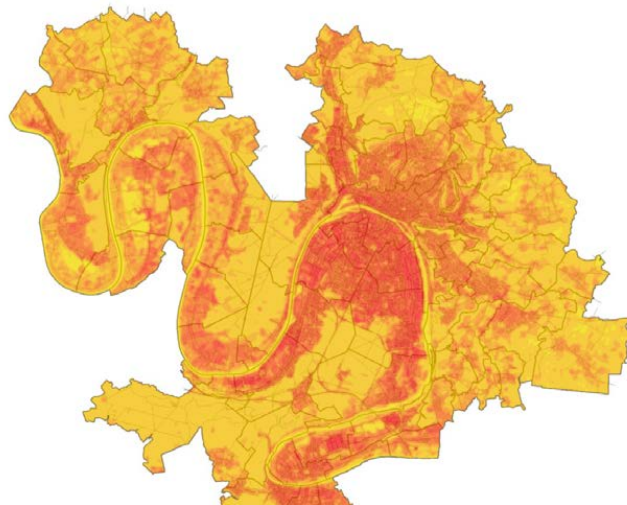


- Surmortalité
- Pathologies chroniques (maladies respiratoires, cardio-vasculaire)

Insectes  
vecteurs



- Maladies infectieuses



Température de l'épisode caniculaire du 19 juin 2017  
Photo-interprétation de clichés satellites (InfraRouge)

**Canicule de l'été 2003** = exemple des conséquences sanitaires de fortes chaleurs

- environ 15 000 décès en France
- Surmortalité plus marquée à Rouen (35%), comparée aux villes de Toulouse ou de Strasbourg qui présentent une « culture de la chaleur » (INVS, 2003 ; Besancenot, 2004)

**Canicule de 2019**

- Surmortalité de + 9.6% en Normandie (Santé Publique France)

**Projections 2100**

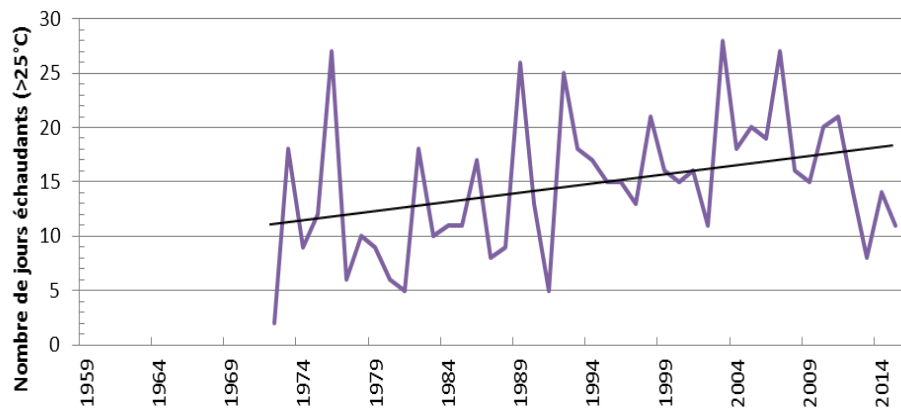
Augmentation des maladies cutanées et oculaires dont + 22% de cancers cutanés (non mélanocytaires) attendus chez les sujets de plus de 65 ans (ARS Normandie, 2016)



# Quelques exemples d'évolution de l'agriculture en lien en partie avec le changement climatique



### Les Andelys



➤ **Nombre de jours échaudants**  
=  $T^{\circ}$  max journalière  $\geq 25^{\circ}$  C (1<sup>er</sup> Avril - 30 Juin)

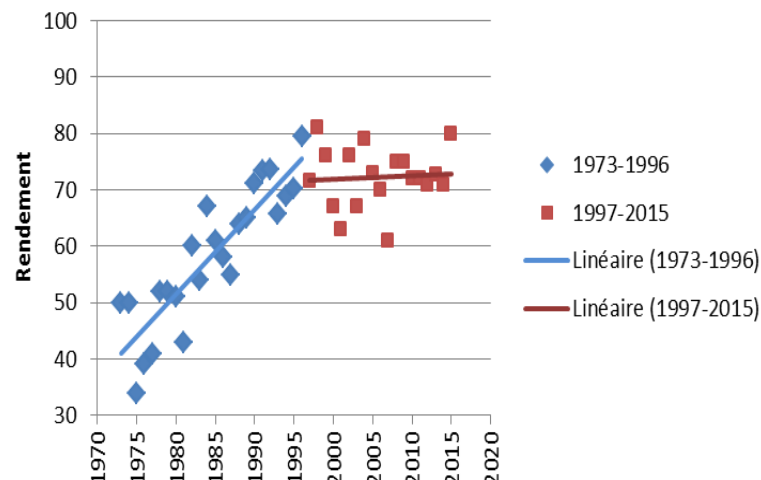
➤ **Augmentation des risques d'échaudage** en phase de remplissage des grains pour les céréales  
= altération de la maturation des grains, dessèchement

Plafonnement des rendements en blé tendre dans l'Orne depuis la fin des années 1990

Rôle changement climatique = 1/2

➤ stress hydrique et thermique en fin de cycle cultural

### Orne



# Quelques exemples d'évolution de la biodiversité en Normandie

Jusqu'il y a peu :

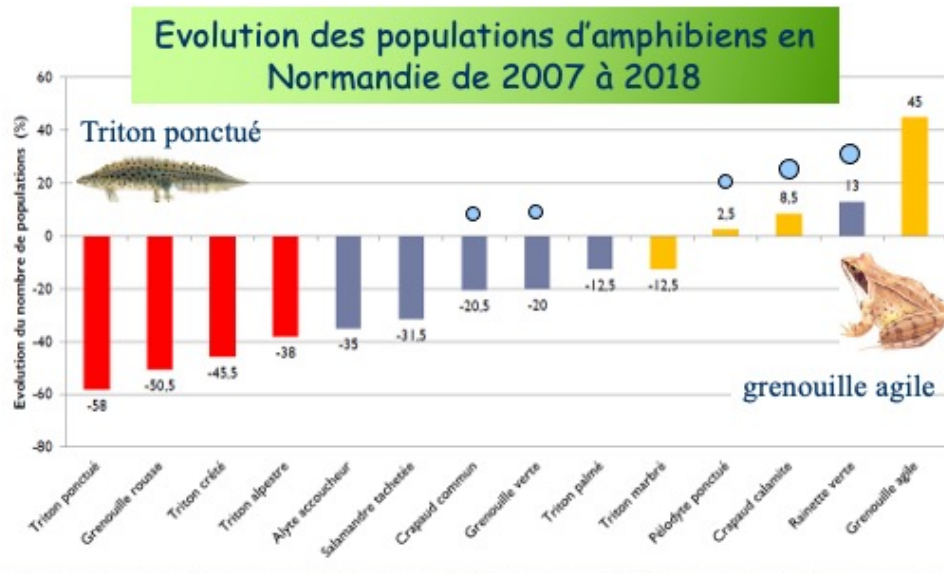
- Réduction, morcellement, disparition des habitats naturels et pollution = principaux responsables de la perte de biodiversité,
- **Réchauffement du climat pourrait bien devenir la principale cause d'ici la fin du 21<sup>e</sup> siècle**

**Conséquences sur la biodiversité :**

- Distribution des espèces
- Phénologie des espèces
- Perte de biodiversité

**Exemples :**

- Les martinets et les hirondelles reviennent de leur migration dix jours plus tôt qu'en 1970 (Observatoire des saisons)
- Espèce 'chaude' de crabe (*Asthenognathus atlanticus*) remontée vers le Nord Est de la Manche de 1921 à 2015 (Pezy & Dauvin, 2017)
- Espèce 'froide' de papillon (*Cupido minimus*) : en forte régression, déplacement vers le nord
- le lilas fleurit un mois plus tôt qu'il y a 30 ans...



► Rouge : septentrionale-orientale ; Bleu : moyenne ; Orange : méridionale-occidentale

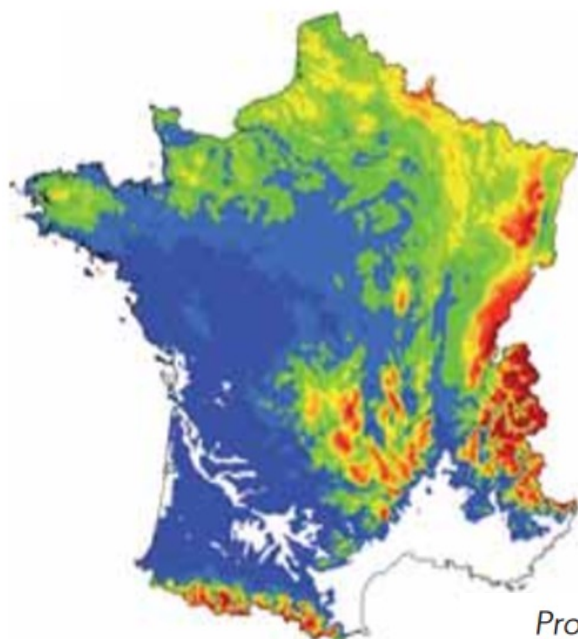
Pour les amphibiens normands, le turn-over climatique a déjà commencé



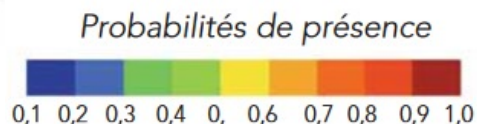
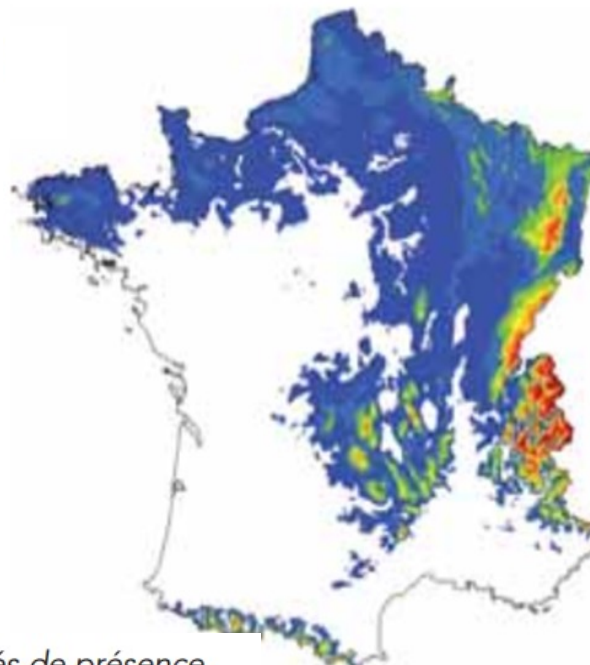
# Une espèce menacée : le hêtre normand



Modélisation de l'aire actuelle de répartition



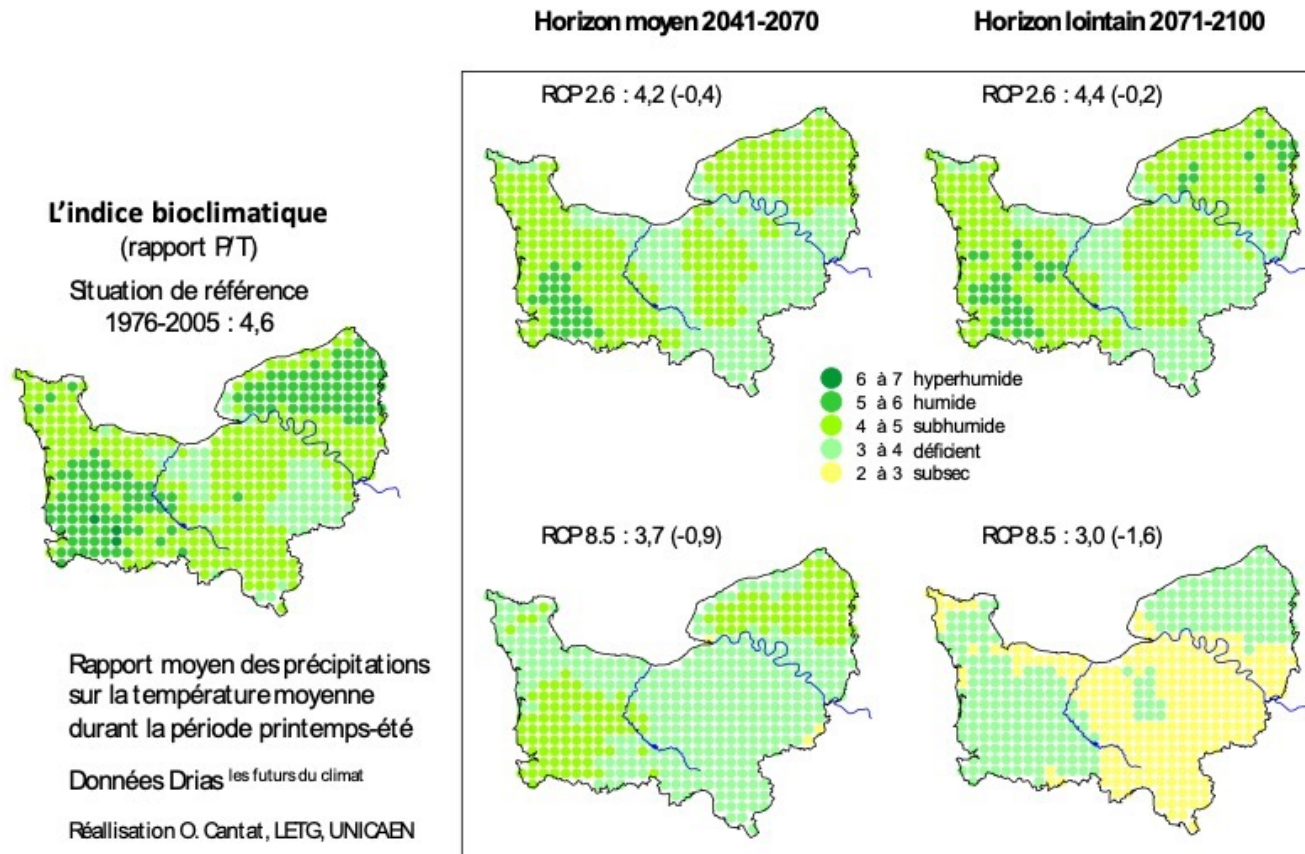
Extrapolation de l'aire de répartition en 2100



Eguin B., 2007, ONF

## Défis : développer la capacité de résilience des forêts normandes

Apporter dans 5 ans les premières conclusions sous forme d'un catalogue régional de préconisations des meilleures choix de gestion sylvicoles pour l'avenir de nos forêts et leur biodiversité



Calcul durant la période végétative

## Période de référence 1976-2005 :

Indice moyen est de 4,6 = ambiance subhumide

Contraste régional = Espaces humides : Ouest du bocage normand Pays de Caux,  
Espaces subhumides à déficients : Plaines de Caen et d'Evreux

## 2100 RCP 8.5 :

Conserve le contraste régional mais avec des espaces déficients à subsecs



# Conclusion : Changement Climatique = Réalité en Normandie

## ☛ Changement climatique = réalité en Normandie et va s'accroître

↗ T° , ↘ précipitations moyennes annuelles, ↗ précipitations intenses, ↗ niveau marin

## ☛ Diminution des ressources en eau de surface et souterraine

➔ Problème de disponibilité à certaines périodes (principalement l'été)

= Périodes d'économie et de restrictions plus nombreuses et plus longues

## ☛ Dégradation de la qualité de l'eau

Périodes de précipitations intenses ↗, Périodes d'étiage sévère ↗, Salinisation des aquifères côtiers

## ☛ Inondations plus fréquentes et intenses

Précipitations extrêmes ↗, ruissellement, crues rivières et nappes, tempêtes élévation du niveau de la mer

## ☛ Conséquences sur la santé

Canicule, inondation, vecteurs de maladie (insectes), qualité de l'air...

## ☛ Conséquences sur les paysages et la biodiversité

Littoral (inondation, recul), vallée (inondation), zones humides, intérieur des terres (sécheresse), ville (inondation, îlots de chaleur), Forêts (modification espèces, feux), Cultures (sécheresse)...

➔ Profonde modification du fonctionnement des écosystèmes terrestres et aquatiques =  
Modification des habitats, distribution des espèces et perte de biodiversité

## ☛ Conséquences sur les activités humaines/Economie (Agriculture, Industrie...)

### **Incertitudes demeurent**

= Nécessité d'acquérir des données dans de nombreux domaines

= Besoin de projections à une échelle plus fine en tenant compte des spécificités du territoire

= Indispensable de croiser les risques (concomitances et effets cascades) et d'avoir une vision et culture multi-risques (naturels, industriels, sanitaires, économiques...)...



**Il nous reste très peu de temps  
pour réagir :**

**10 années**

**Que fait-on ?**

↳ **Atténuation, Adaptation**

À l'échelle internationale, national,  
régionale, locale et du citoyen

**Atténuer les effets du changement climatique en réduisant les  
émissions de gaz à effet de serre  
= une meilleure adaptation**



## Communication /Sensibilisation = Prise de conscience des enjeux par tous les acteurs de la société et la population

Le GIEC et le changement climatique peut apparaitre à une échelle lointaine de nos préoccupations, mais notre territoire est directement concerné



## Concertation et structuration entre acteurs et collectivités à l'échelle régionale

Mesures d'atténuation et d'adaptation doivent être réfléchies, partagées, engagées par tous les acteurs de manière concertée et structurée

- Initiatives existes, mais éparpillées et méconnues parfois
- En lien avec les contextes locaux = Tenir compte des spécificités du territoire

Ex : Adaptation ne sera pas la même sur le littoral (submersion, érosion...), qu'à l'intérieur des terres (vagues de chaleur, sécheresse...), en ville (îlots de chaleur)



Les enjeux sur le changement climatique et de développement durable en général doivent être intégrés dans

**Projet global de territoire intégrant les risques + les innovations + Sobriété** = Projet faisant des contraintes une opportunité de dynamisation ou redynamisation du territoire et soutenir son attractivité

## Besoin d'un socle scientifique solide

Il ne suffit pas de dire qu'il faut s'adapter, mais s'adapter à quoi ?

Connaissance scientifique = socle qui doit servir à la formation et à la prise de conscience de chacun et aux mesures que nous devons et devront prendre



**Merci de votre attention**  
**Questions/Echanges**

**Benoit Laignel, Professeur**  
**UMR CNRS 6143 M2C, Université Rouen Normandie**  
**[benoit.laignel@univ-rouen.fr](mailto:benoit.laignel@univ-rouen.fr)**

