



**GIEC
LOCAL**

*Scientifiques et experts
locaux sur l'évolution
du climat et ses
conséquences*

Évolution du climat à l'échelle de la Métropole Rouen Normandie



**Benoit
LAIGNEL**

Président du GIEC local, Benoit LAIGNEL est professeur en hydrologie, géomorphologie et sédimentologie à l'université de Rouen Normandie. Il est membre expert de l'IPCC/ GIEC et de la mission spatiale SWOT porté par le CNES et la NASA.

**Zeineddine
NOUACEUR**

Vice-président du GIEC local, Zeineddine NOUACEUR est maître de conférences en climatologie à l'université de Rouen Normandie. Ces travaux de recherche portent sur les changements climatiques et les risques environnementaux dans les régions sahéliennes et en Afrique du Nord.

Sommaire

CONSTAT	5
ÉVOLUTION DES TEMPÉRATURES ATMOSPHÉRIQUES EN NORMANDIE ET SUR LE TERRITOIRE DE LA MÉTROPOLE ROUEN NORMANDIE	6
Évolution récente des températures.....	6
Projections.....	9
ÉVOLUTION DES PRÉCIPITATIONS EN NORMANDIE ET SUR LE TERRITOIRE DE LA MÉTROPOLE ROUEN NORMANDIE	11
Évolution récente des précipitations.....	11
Projections.....	13
ÉVOLUTION DES ÉVÈNEMENTS EXTRÊMES	15
Canicules et sécheresses.....	15
Épisodes des fortes précipitations	17
Vent, tempêtes et ouragans.....	18
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	19

Constat

Un des défis majeurs des recherches scientifiques sur l'évolution et le devenir des écosystèmes et de la place de l'homme dans ceux-ci est l'identification des mécanismes clefs dans les interactions climat – homme – écosystèmes.

Aux facteurs anthropiques, tels que les problèmes de pollution de l'air, les déséquilibres et les dysfonctionnements causés par la croissance urbaine, la surexploitation des ressources naturelles et la perte d'habitats des espèces animales se superposent aujourd'hui le changement climatique qui peut se marquer de manière diverse selon les régions du monde (Laignel et al, 2010 ; Laignel, 2012) : hausse de la température atmosphérique, élévation du niveau des mers et de la température des eaux marines de surface et à faible profondeur, modification importante de la nature et du régime des précipitations, suite à une intensification du cycle hydrologique (ex : augmentation du contraste des précipitations

entre régions sèches et humides, augmentation du nombre des épisodes pluvieux et de leur intensité pour certaines régions...), augmentation de l'intensité des événements extrêmes (canicules/sécheresses, tempêtes, ouragans, inondations).

La détermination de l'impact du changement climatique constitue aujourd'hui un enjeu mondial majeur de société pour le XXI^e siècle à laquelle les scientifiques doivent répondre, afin de permettre la mise en place d'outils de gestion adaptés à la nouvelle situation. L'autorité scientifique est représentée par le GIEC (ou IPCC en anglais) qui constitue aujourd'hui un garant moral pour l'évaluation des changements à une échelle globale et un conseil dans l'aide à la décision et la réponse à apporter afin d'atténuer les conséquences d'une telle métamorphose. Cependant, lorsque l'échelle spatiale devient plus fine, par exemple pour une métropole, il est difficile, d'avoir une vue exhaustive des changements intervenus ou qui sont susceptibles d'intervenir compte tenu de la complexité des enjeux

(Laignel et al, 2010 ; Laignel, 2012) :

- de nombreuses études sont menées actuellement, mais elles sont généralement ciblées, soit sur une région ou un système donné, soit sur un thème et des paramètres donnés et de fait difficilement comparables,
- les méthodes utilisées et échelles spatiales appréhendées sont différentes et de fait également difficilement comparables,
- la réflexion est menée actuellement, si bien que de nombreuses études ne sont pas encore publiées et donc difficilement accessibles,
- la disponibilité des données et la durée des enregistrements doivent être au minimum de 30 ans pour pouvoir effectuer une analyse fiable du changement climatique et de ses conséquences.

Par ailleurs, une métropole est un environnement complexe, demandant un rayon d'expertise étendu, et où l'anthropisation très forte rend difficile la quantification de la part entre le climat et l'homme dans les phénomènes observés.

DONNÉES DISPONIBLES

Au plan national, dans le cadre du projet DRIAS, pour l'ensemble des régions françaises et sur la base des scénarii RCP du cinquième rapport du GIEC (IPCC/GIEC, 2013), des projections climatiques régionalisées ont été réalisées et un portail internet dédié à ces projections et à l'évolution d'indices de températures, précipitations et de vent a été mis à disposition. Ces données ont été utilisées pour établir une « synthèse approfondie sur les scénarios de référence à considérer pour la mise en œuvre du plan national d'adaptation au changement climatique », dans le cadre de la mission confiée à Jean Jouzel par le Ministère en charge du développement durable en 2010 (Ouzeau et al., 2014 ; Planton et al., 2015).

Les études qui intègrent à la fois les dimensions passées, actuelle et future sur le territoire de la Métropole Rouen Normandie focalisée sur le changement climatique et ses effets sont rares. On peut, toutefois, relever une étude préliminaire sur le climat intitulée « Caractérisation des changements climatiques observés à l'échelle du territoire de la métropole rouennaise » menée dans le cadre d'un stage de Master (Ricquier et al.,

2018). Cette étude s'intéresse à l'évolution historique des températures et des précipitations sur les stations météorologiques de l'ex région Haute-Normandie et de la métropole « Rouen Normandie ». Par ailleurs, d'autres travaux qui ciblent la connaissance de l'îlot de chaleur urbain ont été menés aussi dans le cadre du Plan PCAET (plan Climat - Air - Énergie territoriale) de la Métropole Rouen Normandie (Joannes-Elizabeth, 2017).

En revanche, il existe des travaux axés sur le changement climatique et ses conséquences sur le territoire normand et son littoral et les bassins de la Seine et de la Somme. Il semble ainsi assez légitime de penser que les travaux à l'échelle de la Normandie puissent être extrapolables en grande partie au territoire de la Métropole de Rouen, à l'exception tout de même du milieu urbain où les tendances doivent être regardées avec prudence et nécessiteraient des études spécifiques, par exemple sur l'évolution des îlots de chaleur et de fraîcheur.

Parmi ces études nous pouvons citer :

- Programme Seine aval, Projet intitulé « Les effets du changement climatique dans le contexte des changements globaux. Expertise

collective sur l'estuaire de la Seine » (Laignel et al., 2010, Laignel, 2012) ;

- Réseau d'Observation du Littoral Normand Picard (ROLNP), synthèse bibliographique dans le cadre d'un stage de Master 2 ;
- Projet RexHySS : Impact du changement climatique sur les Ressources en eau et les Extrêmes hydrologiques dans les bassins de la Seine et la Somme (Ducharme et al., 2009) ;
- Étude de la DREAL Basse-Normandie : Étude sur l'adaptation au changement climatique en Basse-Normandie, par Météo-France et la DREAL BN, Mission SOCRATE (DREAL BN, 2010) ;
- Étude de la DREAL Haute-Normandie : Étude sur la sensibilité et sur l'adaptation de la Haute-Normandie aux effets du changement climatique, réalisée par les bureaux d'études SAFEGE et Explicit pour la DREAL Haute-Normandie (DREAL HN, 2011) ;
- Projet LiCCo (Littoraux et Changements Côtiers), partenariat Transmanche, dont l'objectif était un accompagnement des populations côtières pour comprendre, se préparer et s'adapter aux effets du changement climatique, de l'élévation du niveau de la mer et de l'érosion sur leur littoral.

Évolution des températures atmosphériques en Normandie

ET SUR LE TERRITOIRE DE LA MÉTROPOLE ROUEN NORMANDIE

ÉVOLUTION RÉCENTE DES TEMPÉRATURES

L'indice régional des températures (calculé pour dix stations de l'ex-territoire haut-normand) montre une hausse des valeurs qui commence en 1988 pour les températures minimales et à partir de 1989 pour les températures maximales (Fig. 1). On note aussi un ralentissement du réchauffement entre 2010 et 2013 et une nouvelle accélération sur les dernières années des séries (indices positifs dépassant souvent + 1).

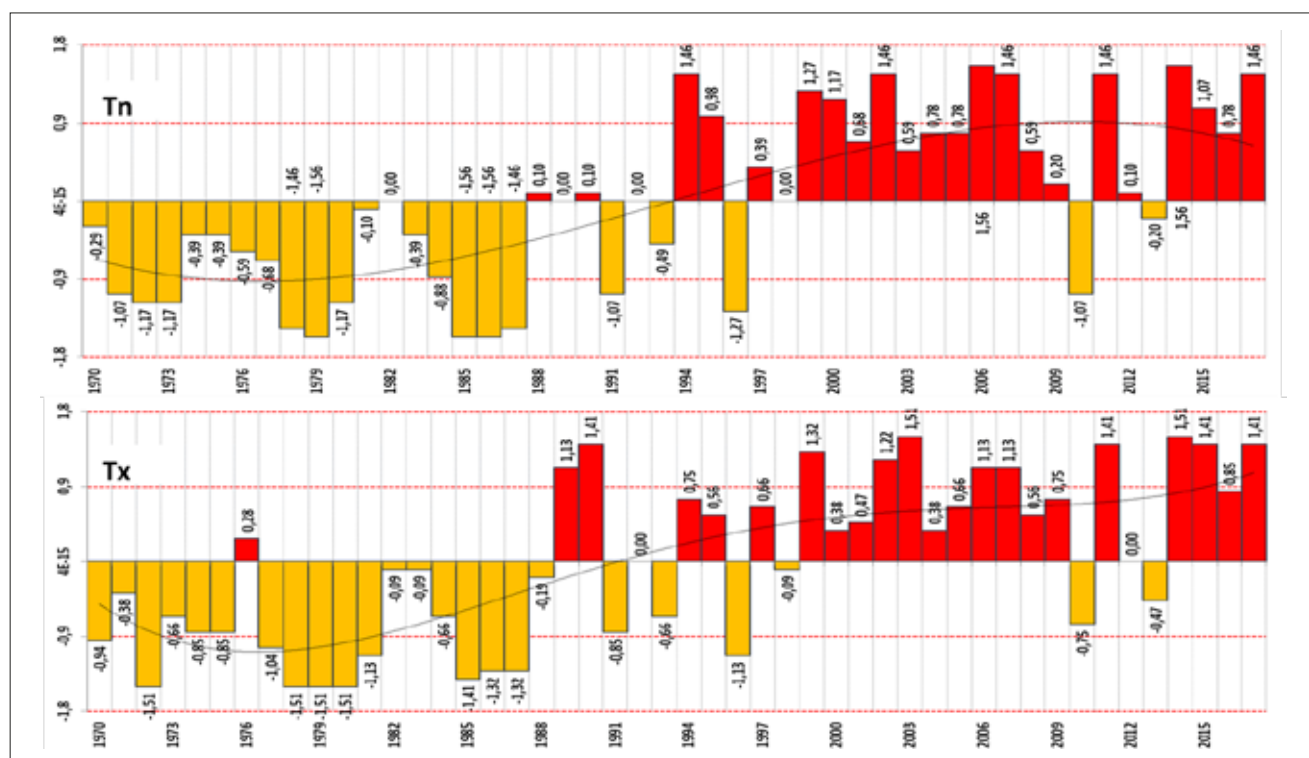


FIGURE 1 : Indice régional calculé à partir des écarts centrés réduits des températures minimales et maximales pour dix stations de l'ex région Haute-Normandie (liste des stations dans le tableau 1) – Légende : Tn : Températures minimales ; Tx : Températures maximales

Calcul de l'indice : $T = (X_i - X) / S$ (X_i valeur annuelle ; X moyenne de la période considérée ; S écart type de la période considérée)

À l'échelle de la Métropole Rouen Normandie, l'ensemble des stations de mesures montrent une tendance à l'augmentation de la température, statistiquement significative, comprise entre + 1,2 et + 1,9 °C sur la période de 1970 à 2017 (Tabl. 1).

Anomalies de températures (1970-2017) valeur en °C			
Stations au sein et à proximité de la Métropole		Stations régionales	
BUCHY	2,2	AUZBOSC	2
JUMIÈGES	1,2	FORGES	1,8
ROUEN-BOOS	1,9	CAP-DE-LA-HEVE	1,7
ROUEN-JARDIN	1,3	EVREUX-HUEST	1,8

TABEAU 1 : Anomalies de température (1970 à 2017), pour les stations météorologiques de la Métropole Rouen Normandie (en gras) et quelques stations régionales (Ricquier et al., 2018).

L'analyse de l'évolution des températures annuelles à la station de Rouen - Boos et Rouen - Jardin permet de dégager deux périodes caractéristiques (Fig.2). Une première phase (entre 1970 et la fin des années quatre-vingt) est marquée par des températures en dessous de la normale (1970 - 2017) : elles apparaissent sur le graphique avec un indice négatif. La deuxième phase témoigne, quant à elle, du réchauffement climatique actuel, l'analyse de cette période montre que le début de ce cycle commence à partir de l'année 1989, avec une confirmation de la tendance dès l'année 1994.

Les températures enregistrées à Rouen-Boos montrent aussi une plus grande hausse des valeurs minimales (températures nocturnes). Les dernières périodes des séries chrono-

logiques permettent de voir que sur cette longue période chaude de près d'un quart de siècle, les valeurs après avoir accusé un léger ralentissement entre 2008 et 2013 (plus importante pour les minimas) enregistrent les indices les plus élevés de la période considérée (exemple pour l'année 2014, on note + 2,08 pour les minimas et + 1,74 pour les maximas). La comparaison entre les valeurs enregistrées dans la station de Rouen-Jardin (station urbaine de centre-ville) et Rouen-Boos (station péri-urbaine) située sur le plateau nord de l'agglomération, ne montre pas de différences significatives sur les tendances enregistrées des températures moyennes des deux stations (les dates de changements de cycles sont synchrones) ; On remarque, cependant, une plus importante hausse des valeurs urbaines sur les cinq dernières années.

Le littoral normand n'échappe pas non plus à la hausse des températures, comme le montre l'étude des stations météorologiques de Dieppe et du Cap de la Hève, où l'on constate un indice de tendance égal à celui de Rouen-Boos (+ 1,9 °C) pour la première station et dépassant celui de Rouen-Jardin pour la deuxième station avec (+ 1,7 °C) (Tabl. 1). Dans le détail, on remarque une parfaite synchronisation des vicissitudes des valeurs (Fig. 2). Une légère différence est perceptible pour les valeurs minimales à Dieppe au début du réchauffement et en 2011 et 2013.

À l'échelle saisonnière, la station de Dieppe montre, à partir du milieu des années 80, des tendances dépassant les normales, quel que soit la saison et plus particulièrement le printemps et l'été (Fig. 3).

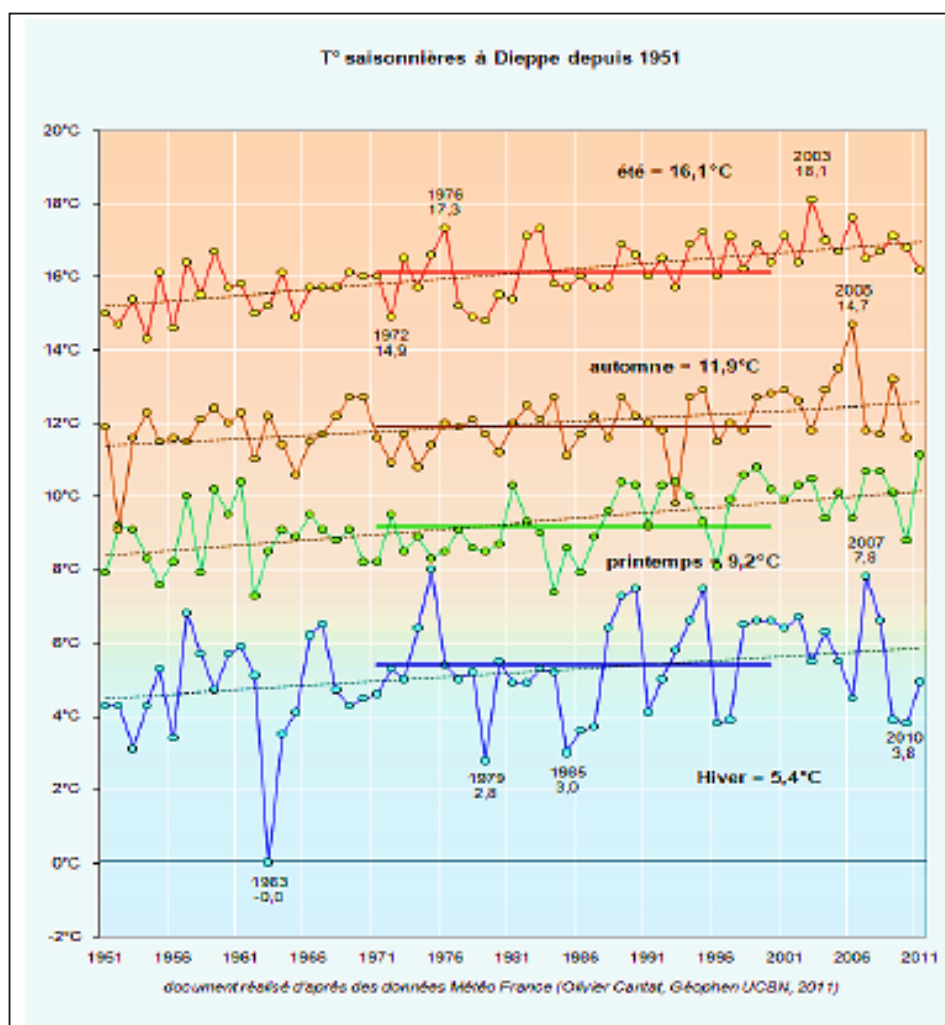


FIGURE 3 : Évolution de la température saisonnière à Dieppe (Travaux de Cantat, 2011 in DREAL HN, 2011)

La normale est représentée par un trait horizontal dont la couleur est différente selon la saison et la tendance par un trait fin noir.

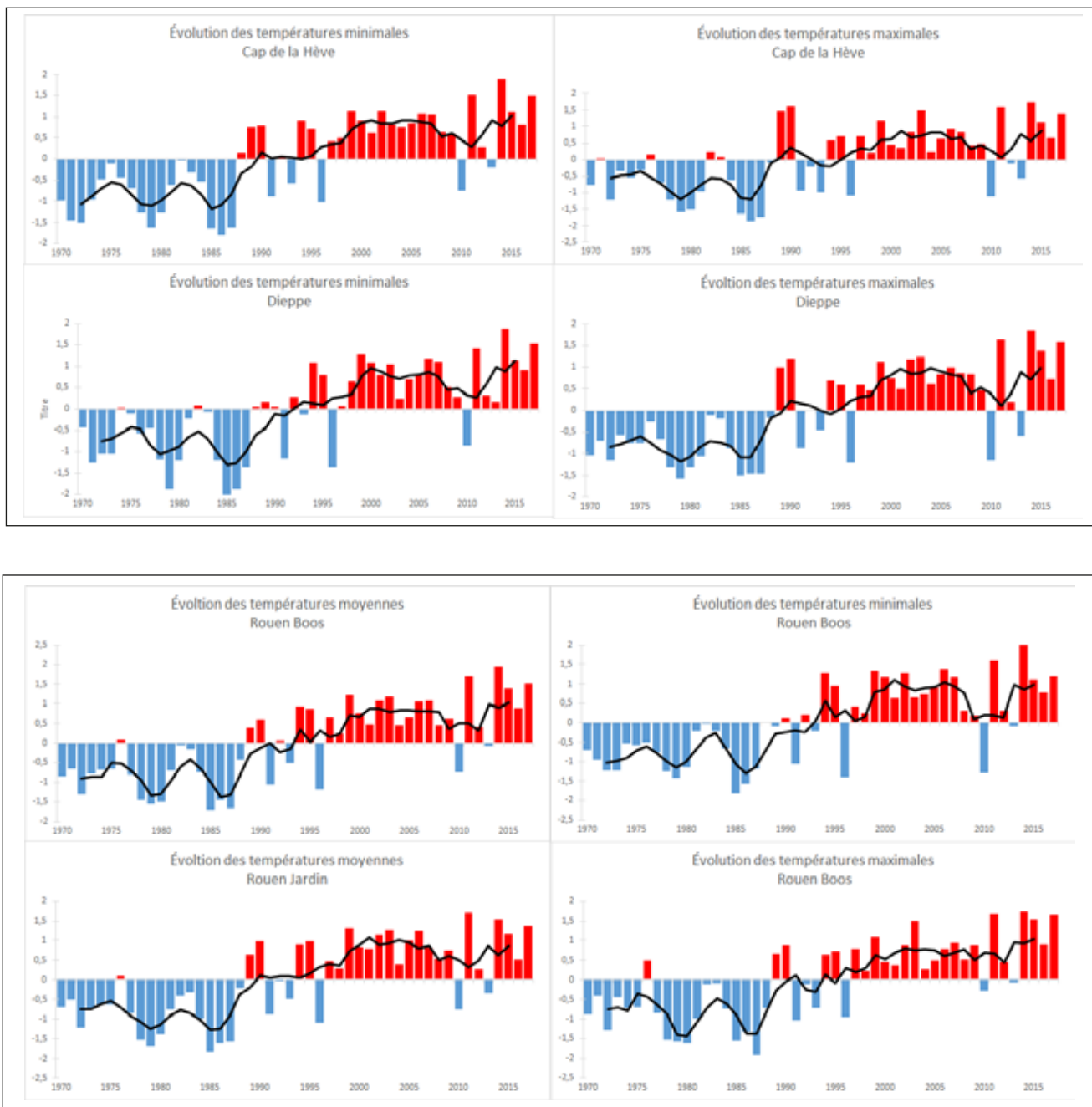


FIGURE 2 : Évolution des températures en zone urbaine (stations Rouen-Boos et Rouen-Jardin) et sur le littoral (stations de Dieppe et du Cap de la Hève), à partir du calcul d'indices centrés réduits

PROJECTIONS

À l'échelle de la Normandie, les projections (réalisées avec les anciens scénarios du GIEC/IPCC, 2007 ; les nouveaux scénarios RCP n'étant pas accessibles à l'époque des études) indiquent clairement une élévation de la température atmosphérique moyenne an-

nuelle, quel que soit l'endroit et le scénario utilisé, qui pourrait être comprise entre + 2 et + 6 °C (Fig. 4 A). Les nouvelles projections publiées par le DRIAS en 2014 à l'échelle de la Normandie (Fig. 4 B), indiquent aussi clairement **une élévation de la tempéra-**

ture moyenne annuelle qui pourrait être comprise entre + 1 et + 2 °C selon un scénario (RCP4,5), scénario optimiste visant à stabiliser les concentrations de CO₂ à un horizon proche (2021 – 2050).

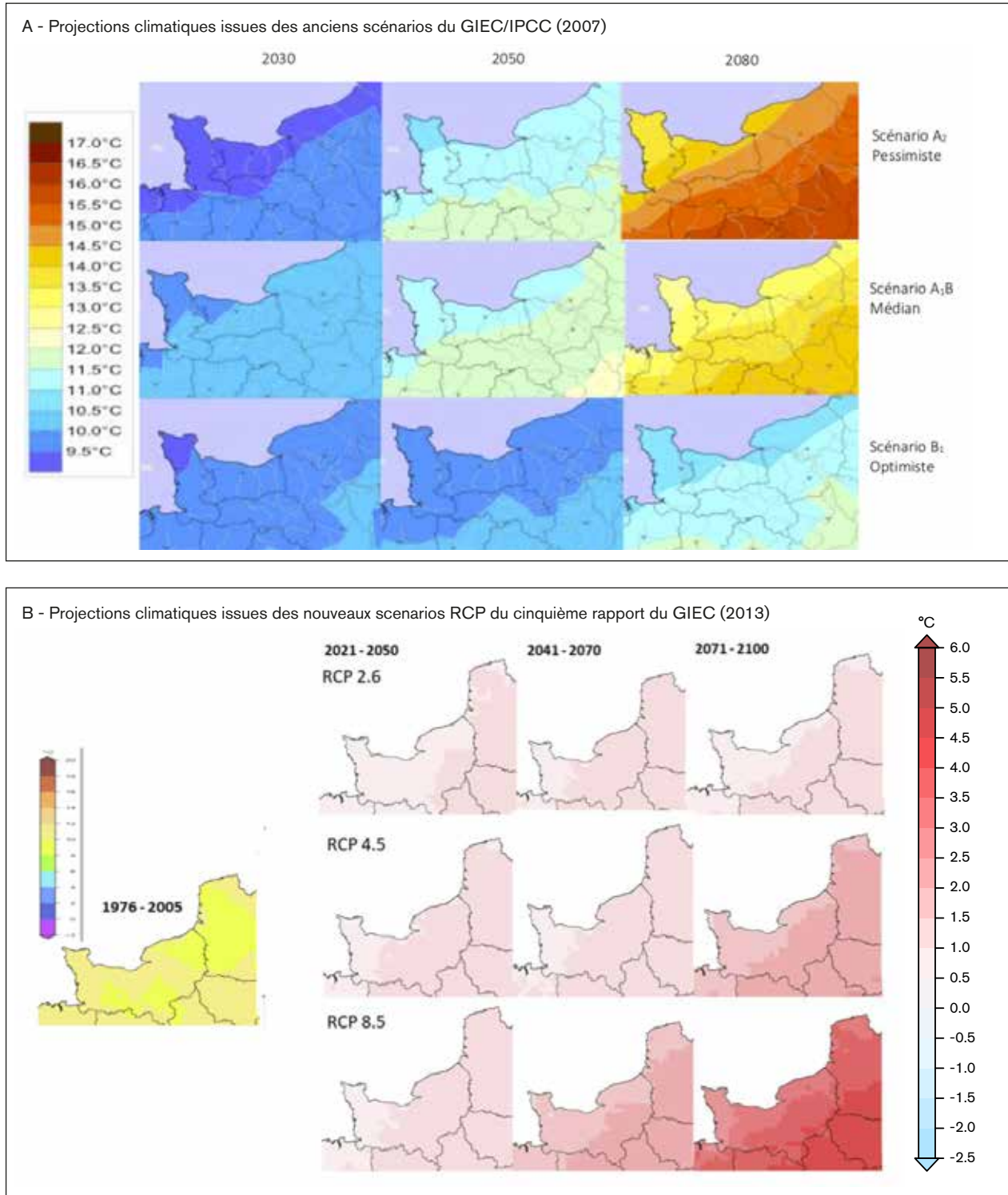


FIGURE 4 : Évolution attendue des températures moyennes annuelles en Normandie à l'horizon 2100 (sources des données : modélisation A, DREAL BN, 2010 et DREAL HN, 2011 / modélisation B : données DRIAS, 2018)

Une étude plus spécifique sur le bassin de la Seine confirme ces projections (Ducharme et al., 2009). Les scénarios de changement climatique désagrégés dans le cadre du projet RExHySS s'accordent sur **une augmentation de la température atmosphérique dans le bassin de la Seine d'ici 2100 : de + 1.5 à + 3°C en milieu de siècle et entre + 2 et + 4°C en fin de siècle (Fig. 5).**

Ces scénarios soulignent aussi que la température atmosphérique régionale augmentera, quelle que soit la saison, avec un réchauffement légèrement plus fort en été.

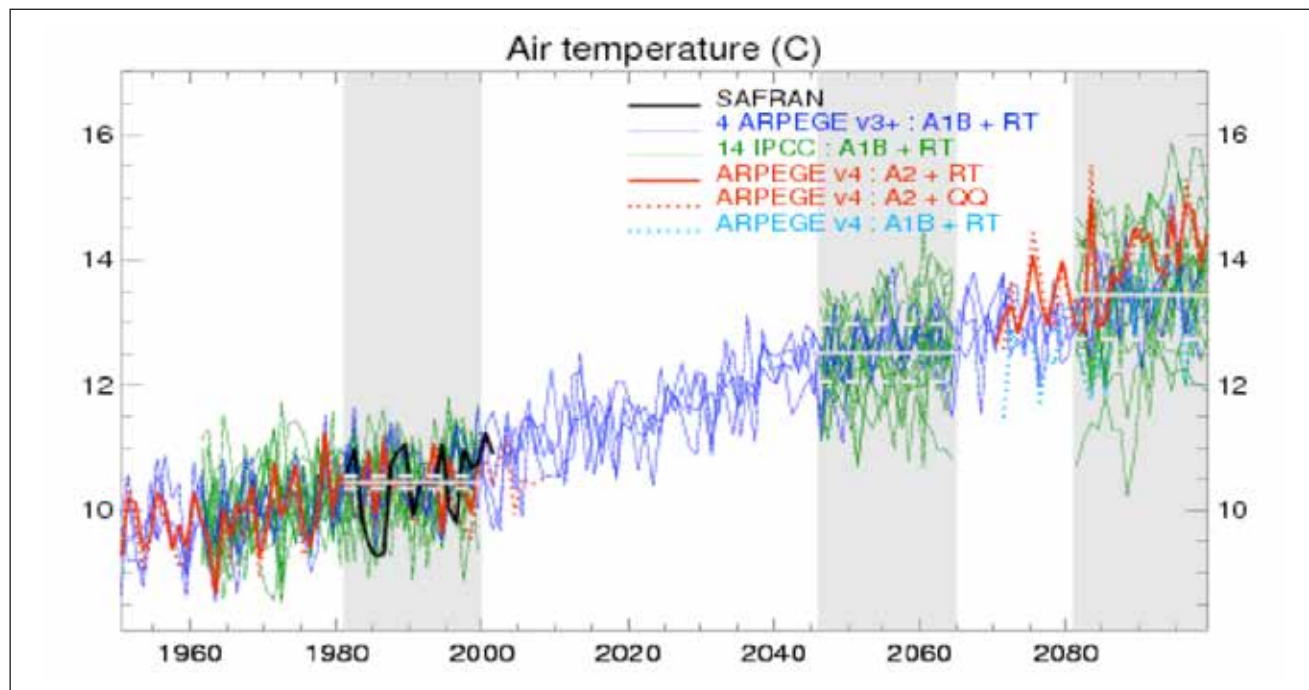


FIGURE 5 : Évolution de la température de l'air (moyennes annuelles en °C) dans le bassin de la Seine entre 1950 et 2100.

La courbe noire représente les analyses SAFRAN basées sur les observations historiques et les courbes en couleur correspondent à 19 scénarios de changement climatique désagrégés dans le cadre du projet RExHySS. Pour les 3 plages de 19 ans indiquées en gris, centrées en 1990, 2055 et 2090, les moyennes et écarts-types interscénarios sont représentés par les lignes grises continues et tiretées (Ducharme et al., 2009).

Évolution des précipitations en Normandie

ET SUR LE TERRITOIRE DE LA MÉTROPOLE ROUEN NORMANDIE

ÉVOLUTION RÉCENTE DES PRÉCIPITATIONS

Dans l'ensemble, les stations météorologiques enregistrant les précipitations moyennes mensuelles sur le bassin aval de la Seine, sur les bassins versants littoraux et les stations de la Métropole Rouen Normandie ne montrent aucune tendance statistiquement

significative (Mesquita, 2009 ; Laignel et al., 2010, Laignel, 2012 ; Ricquier et al., 2018). L'indice régional calculé à partir des pluies annuelles observées dans 10 stations situées dans l'ex région Haute-Normandie (Fig. 6), montre clairement la succession de phases

pluvieuses et sèches entre 1970 et 2017. À partir de 2003, les indices négatifs (indiquant les années sèches) sont majoritaires sur cette dernière période. On note cependant que ce cycle déficitaire ne dépasse pas les 4 années successives.

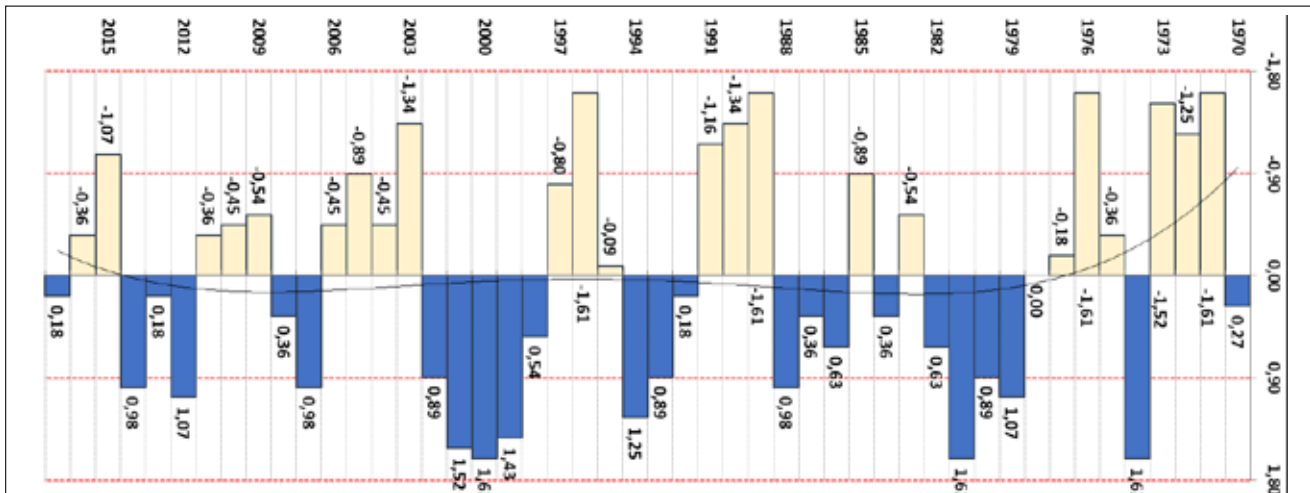


FIGURE 6 : Indice régional calculé à partir des écarts centrés réduits des cumuls annuels de pluviométrie pour dix stations de l'ex région Haute-Normandie

Calcul de l'indice : $(X_i - \bar{X}) / s$ (X_i valeur annuelle ; \bar{X} moyenne de la période considérée ; s écart type de la période considérée)

Cette tendance est visible aussi sur les pluies mensuelles enregistrées dans les stations de la Métropole (Fig. 7). Les cycles les plus représentatifs de cette longue série pluviométrique sont représentés par les périodes extrêmes (sécheresse des années 70 et cycle humide des années 2000). Nous pouvons voir la prépondérance des années ayant des indices né-

gatifs (les années 1972 et 1976 illustrent ce fort déficit pluviométrique). Entre 1999 et 2002, la succession d'années à indice positif illustre la période où la pluviométrie a été plus abondante dans la métropole rouennaise.

Deux périodes peuvent être encore identifiées. La période 1978-1988 est marquée par des années majoritairement humides (indice

positif) mais de moindre intensité que la période précédente. Enfin la dernière période à partir de 2003 et jusqu'en 2017 ne montre pas de tendance significative puisque les totaux pluviométriques enregistrés lors de cette période restent proches de la moyenne elle est aussi marquée par une forte variabilité interannuelle.

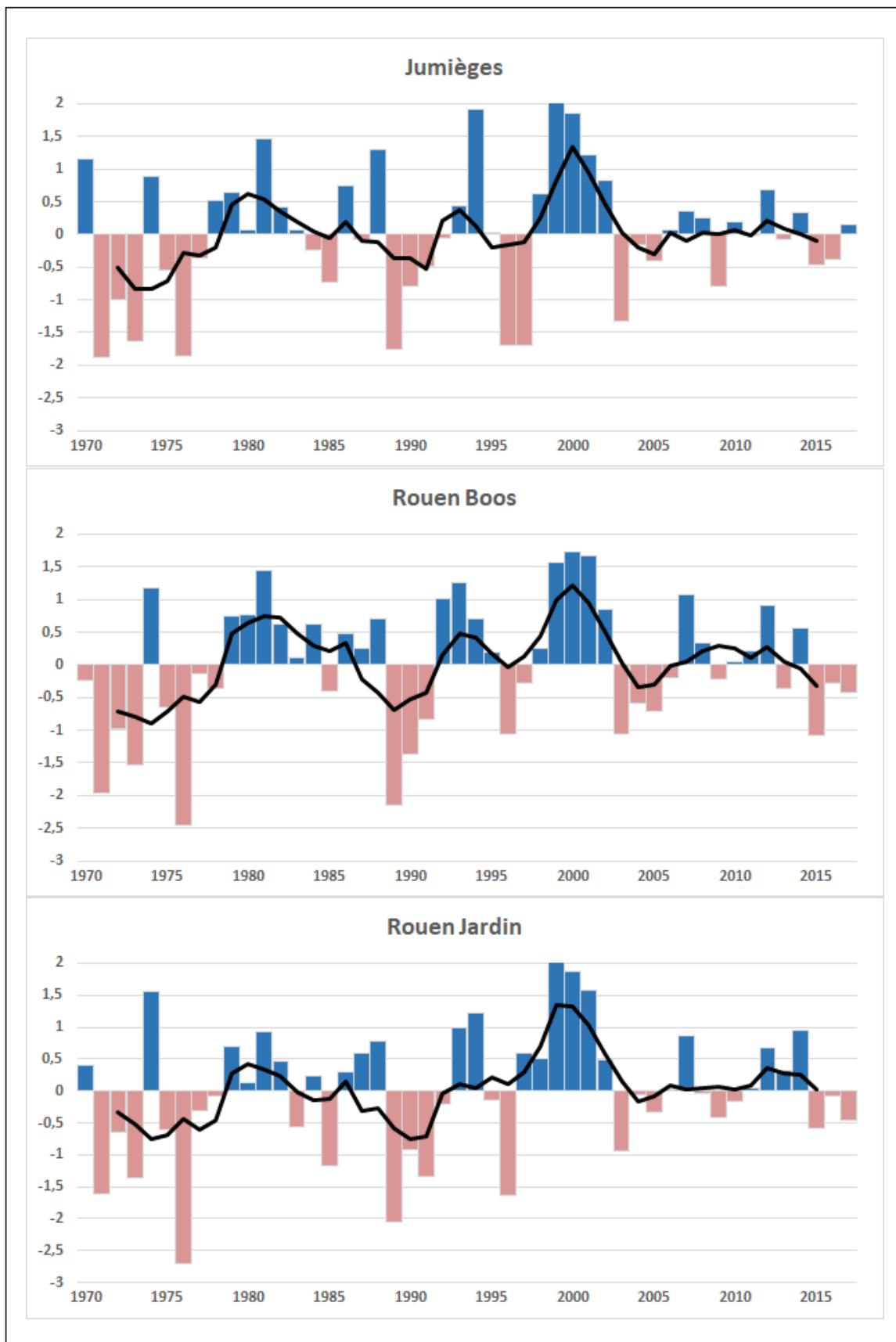


FIGURE 7 : Écarts centrés réduits des cumuls de précipitations annuelles enregistrés dans la métropole rouennaise (1970 à 2017)

PROJECTIONS

Concernant les projections futures, les simulations globales ou celles régionalisées sur l'Europe (projet EURO-CORDEX ; Jacob et al., 2014) montrent des évolutions moins consensuelles pour les précipitations que celles des températures entre les différents modèles climatiques (ONERC, 2015). En effet, par exemple en France, l'évolution des précipitations issues des modélisations présente une forte incertitude. Ainsi, les valeurs moyennes peuvent masquer de fortes disparités locales et sont donc à regarder avec précaution (Ouzeau et al., 2014). Toutefois, une majorité de simulations montre

une légère augmentation progressive des précipitations hivernales au cours du XXI^e siècle (de l'ordre de + 0,1 à + 0,85 mm/j à l'horizon 2071-2100 pour les modèles WRF et Aladin-Climat) et une augmentation plus faible, voire une diminution, l'été (les modèles WRF et Aladin-Climat montrent des résultats divergents à l'horizon 2071-2100 de - 0,38 à + 0,32 mm/j) (Ouzeau et al. 2014 ; In CEREMA, 2018).

À l'échelle de la Normandie, les projections indiquent une diminution des précipitations moyennes annuelles (Fig. 8 A), mais cette

tendance est à prendre avec précaution car elle résulte de projections utilisant les anciens scénarios du GIEC (scénarios du GIEC/IPCC, 2007). Les nouveaux scénarios RCP (Fig. 8 B) indiquent une tendance à la hausse comprise entre + 100 à 200 mm selon un scénario optimiste pour un horizon proche (2021-2050). Les scénarios les plus pessimistes montrent, quant à eux, une situation inverse avec un déficit de la pluviométrie qui pourra se chiffrer entre 0 et 100 mm à l'horizon 2071-2100.

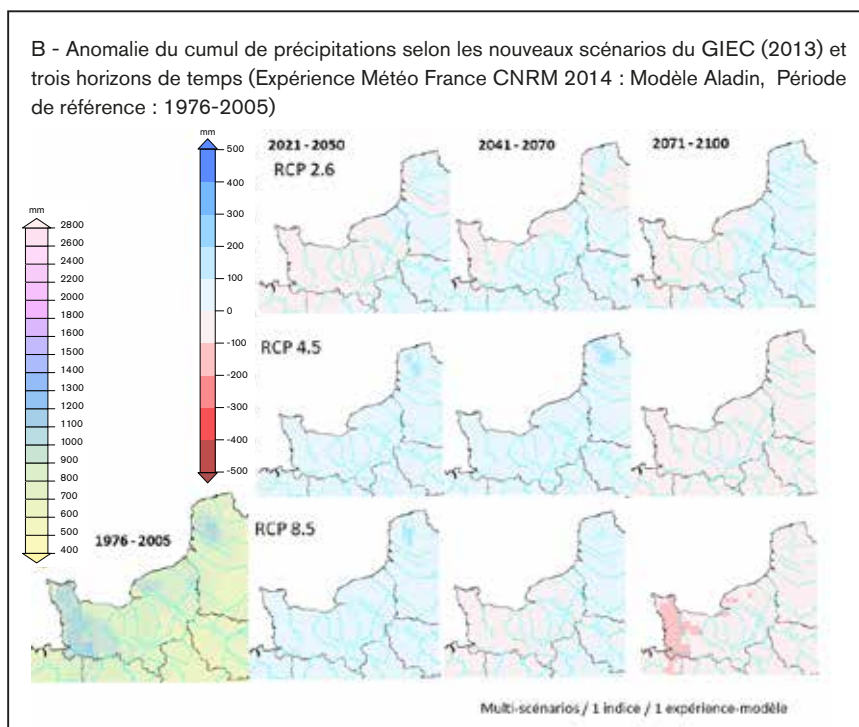
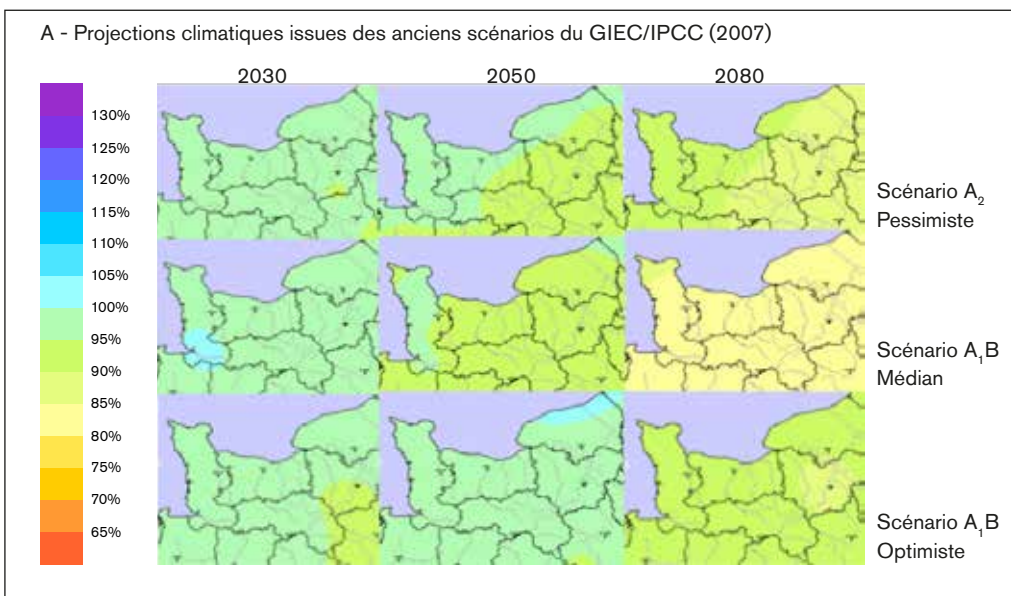


FIGURE 8 : Évolution attendue des précipitations moyennes annuelles en Normandie aux horizons 2080 et 2100 (sources des données : modélisation A, DREAL BN, 2010 et DREAL HN, 2011 / modélisation B : données DRIAS, 2018)

Plus précisément, à l'échelle de l'agglomération rouennaise, la projection des cumuls des pluies ne permet pas de décrire une quelconque tendance (Fig. 9). Les allures des courbes des moyennes mobiles calculées à partir des deux scénarios extrêmes (RCP 2,5 et RCP 8,5) se confondent et confirment la complexité de la pluviogénèse et les incertitudes avancées dans le cadre de ce paramètre climatique.

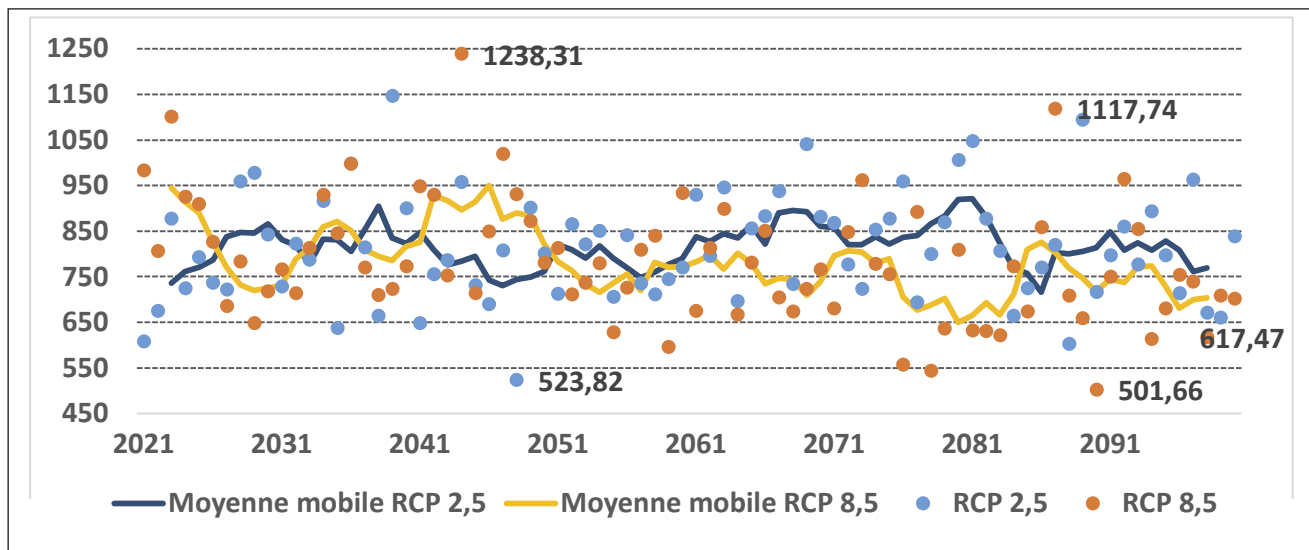


FIGURE 9 : Évolution des cumuls de pluies à Rouen selon les scénarios extrêmes d'émission en CO₂ du GIEC (RCP 2,5 et 8,5) (expérience Météo France CNRM 2014 : Modèle Aladin, Période de référence : 1976-2005 / données issues du site DRIAS : <http://www.drias-climat.fr/>)

Évolution des événements extrêmes

Concernant les événements extrêmes, de type canicule, sécheresse, épisodes de fortes précipitations, tempête, ouragan, les observations et les simulations sont complexes et difficile à analyser

CANICULES ET SÉCHERESSES

Avec le changement climatique, les différences thermiques entre ville et campagnes sont vraisemblablement amenées à s'accroître dans les prochaines décennies. L'îlot de chaleur urbain devrait se renforcer puisque, d'une part, la croissance urbaine se poursuit, et que, d'autre part, les modèles climatiques prévoient un accroissement de la fréquence du « beau temps » en été sur l'Europe occidentale (GIEC, 2013). Cette

évolution se traduirait par des périodes de canicule plus fréquentes, renforçant ainsi les risques sanitaires en raison des chaleurs torrides qui règneraient de jour – synonymes de forte déshydratation – et surtout des nuits qui demeureraient étouffantes – avec une réduction notable de la durée et de la qualité de la récupération physiologique pour les citoyens (INVS, 2003 ; Besancenot, 2004 ; Cantat, 2010).

L'été 2018 à Rouen, même s'il faut toujours être prudent dans les liens entre l'évolution d'une saison et le changement climatique, semble être un bon exemple des effets du changement climatique en été (Tabl. 2) : ainsi, le record de jours de chaleur (température maximale supérieure à 25 °C) (55 jours observés en 1976) a été dépassé, puisque au 21 septembre 2018, Météo France a comptabilisé pour cette ville 57 jours de chaleur.

VILLE	Nomre de jours de chaleur (provisoire*)	Ancien record (nombre de jours)	Année du record	Normale annuelle (1981 - 2010)
Grenoble	126	120	2003	95
Lyon	117	113	2003	76
Ambérieu	112	103	2003	69
Colmar	109	106	2003	71
Cognac	106	99	2003	71
Bordeaux	106	104	1989 et 1945	77
Limoges	104	91	2003	67
Dijon	100	96	2003	56
Nevers	93	86	2003	54
Le Mans	92	83	1947	52
Paris	90	87	1947	49
Orléans	90	84	1947	50
Nancy	89	89	2003	48
Tours	88	82	1976	51
Reims	86	86	1947	41
Rouen	57	55	1976	26

TABLEAU 2 : Records du nombre de jours de chaleur en 2018 dans différentes villes de France (source : Météo France)

À l'échelle de la Normandie, les projections avec les anciens scénarios du GIEC indiquent que le nombre de jour de canicule et le pourcentage de sécheresse en Normandie devrait

augmenter (Fig. 10). Le nombre de jour de canicule en Normandie qui est compris entre 0 et 10 jours aujourd'hui pourrait passer de 10 à 30 jours en 2100. La température de l'année

2003, particulièrement chaude en Normandie et en France, deviendrait inférieure à la moyenne.

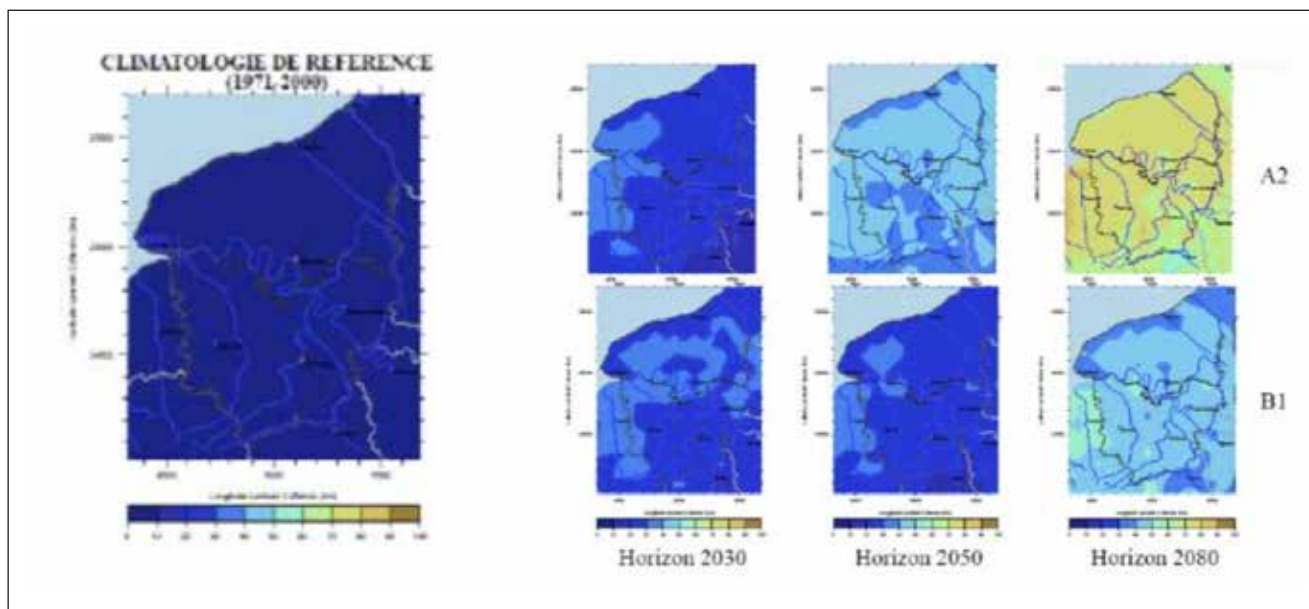


FIGURE 10 : Évolution de la sécheresse (en pourcentage) sur le territoire de l'ex Haute-Normandie aux horizons 2030, 2050 et 2080 (Source : Météo France)

Pour se rendre compte de l'ampleur possible de l'augmentation des températures nocturnes et diurnes en été, la régionalisation des données modélisées sur Rouen montre ici l'évolution du nombre de jours de chaleur

(maximum diurne supérieur ou égal à 25°C, Fig. 11) À partir de moyennes mobiles sur 5 ans, sont représentées, en bleu, l'évolution attendue dans le cas d'un contrôle des émissions de gaz à effet de serre, et en rouge et

orange, l'évolution attendue dans le cas d'une absence de politique climatique à l'échelle du globe (scénarios RCP 2.5 et RCP 8.5 du GIEC).

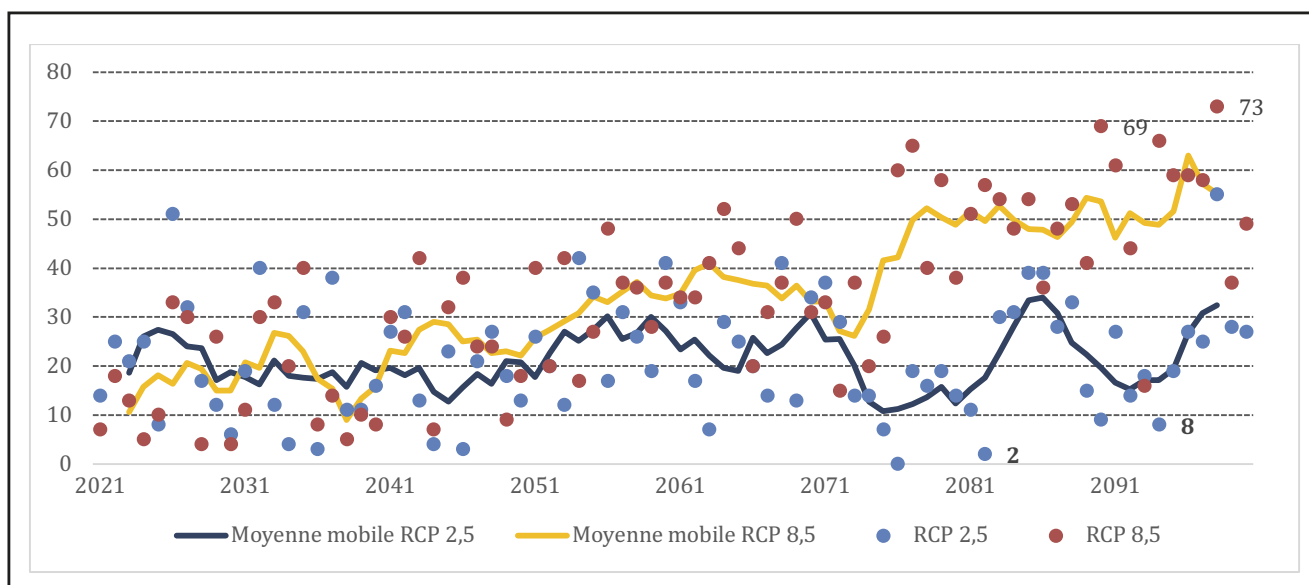


FIGURE 11 : Évolution du nombre de jours de chaleur (maximum $\geq 25^{\circ}\text{C}$) à Rouen selon les scénarios extrêmes d'émission en CO_2 du GIEC (RCP 2,5 et 8,5) (expérience Météo France CNRM 2014 : Modèle Aladin, Période de référence : 1976-2005 / données issues du site DRIAS : <http://www.drias-climat.fr/>)

ÉPISODES DES FORTES PRÉCIPITATIONS

Selon le GIEC/IPCC (2013), la fréquence et l'intensité des phénomènes extrêmes ont probablement augmenté dans les régions des latitudes moyennes (Amérique du Nord et Europe). Les projections à l'horizon 2100 indiquent que la fréquence et l'intensité des épisodes de fortes précipitations devraient continuer à augmenter.

En France métropolitaine, la majorité des modèles prévoient une augmentation généralisée du taux de précipitations extrêmes, avec des valeurs relativement faibles pouvant toutefois dépasser localement les 5 % voire 10 % à l'horizon 2071-2100 (Fig. 12). Dans le détail, les modèles montrent une forte dispari-

té entre territoires, sans tendance locale nette (Ouzeau et al. 2014 ; In CEREMA, 2018).

Contrairement aux régions méditerranéennes, la région Normandie est caractérisée par une faible occurrence des pluies intenses. Dans les prochaines années avec les changements climatiques que nous subissons actuellement, la région pourrait observer une plus grande fréquence des pluies intenses (selon un scénario assez classique qui a déjà été évoqué par le GIEC par le passé et qui est en faveur d'une accélération du cycle de l'eau). Les températures élevées augmentent ainsi le pouvoir évaporant de l'air et favorisent une plus grande disponibilité de l'humidité dans

les basses couches atmosphériques. Cependant, la résolution spatiale des différents modèles climatiques représente un handicap pour une bonne connaissance du cycle pluviométrique à une échelle locale.

En Normandie, les scénarios pour un horizon proche (2021-2050) montrent une hausse du nombre de jours de fortes précipitations qui varie entre 0 et + 1 à l'intérieur des terres et entre + 1 et + 2 dans les zones proches du littoral. Dans d'autres secteurs géographiques, nous notons une baisse qui se situe entre 0 et - 1.

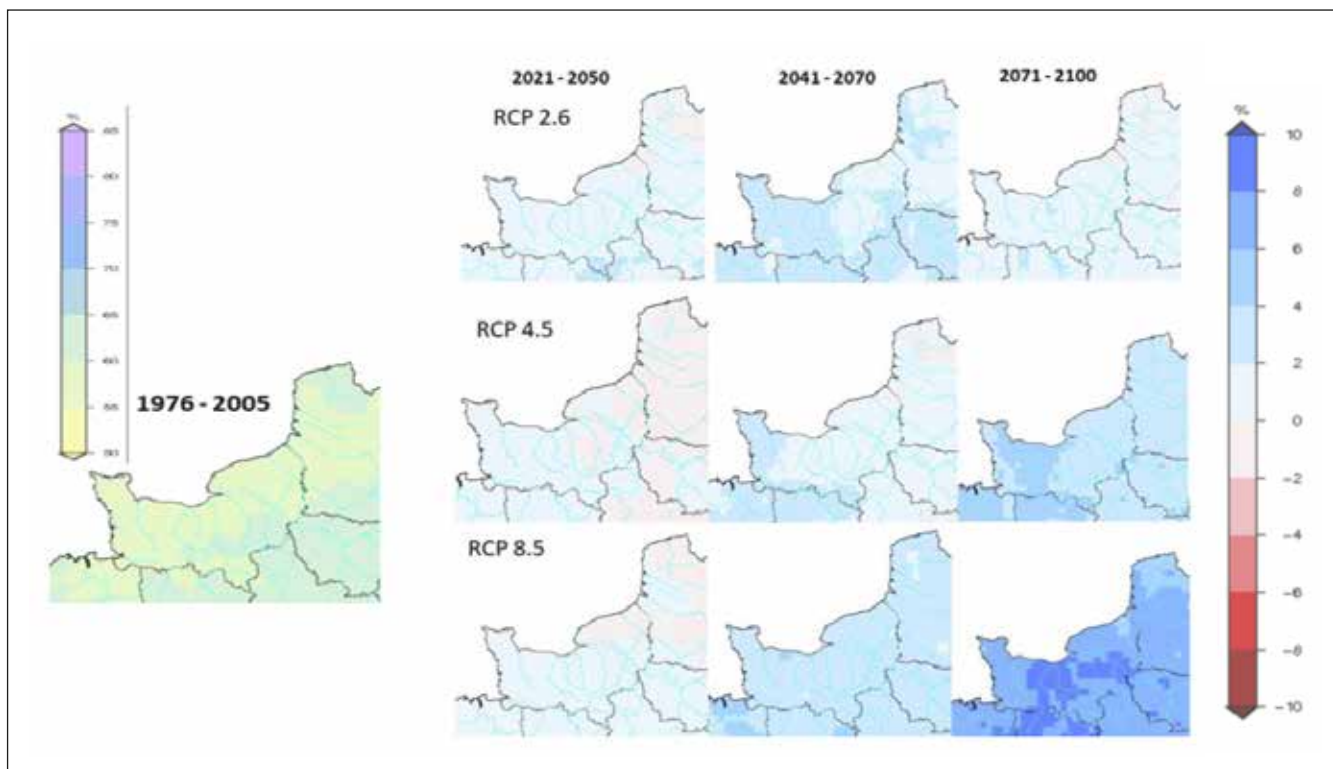


FIGURE 12 : Pourcentage des précipitations extrêmes au-dessus du 90e centile annuel selon les différents scénarios d'émissions de CO2 du GIEC et selon différents horizons (expérience Météo France CNRM 2014 : Modèle Aladin, Période de référence : 1976-2005)

VENT, TEMPÊTES ET OURAGANS

Selon le GIEC/IPCC (2013), l'activité des cyclones tropicaux intenses aurait augmenté dans l'Atlantique Nord et les projections à l'horizon 2100 indiquent que l'intensité des cyclones et tempêtes devrait continuer à augmenter (Fig. 13).

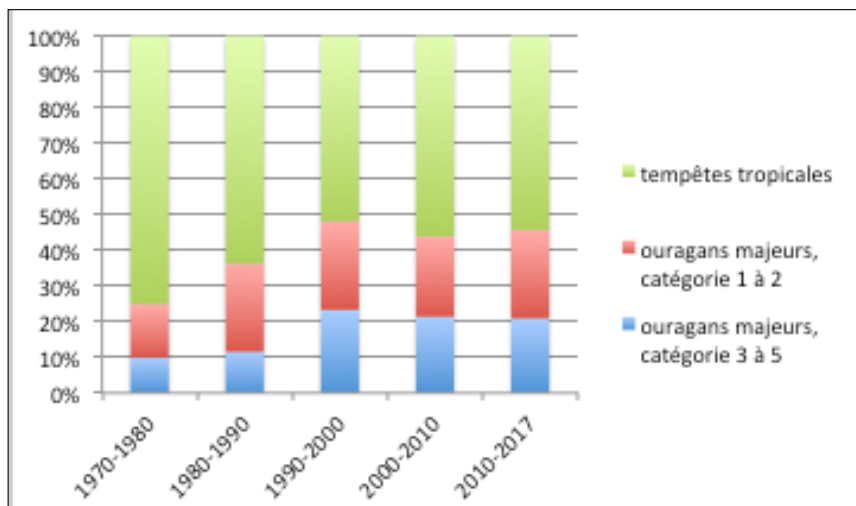


FIGURE 13 : Répartition des ouragans selon leur intensité dans le bassin nord atlantique, par décennie, en % (Source HNC-NOAA)

En France métropolitaine, pour ce qui est des tempêtes, le nombre annuel de ces phénomènes en France métropolitaine a varié fortement sur la période 1949-1999, sans montrer de tendance significative, à la hausse ou à la baisse (ONERC 2015 ; In CEREMA 2018). Selon l'ONERC (2015) ; depuis les cent dernières années, aucune tendance significative ne se dégage sur l'ouest de l'Europe, ni sur

le nombre de tempêtes, ni sur leur intensité. Les modèles actuels de projection climatique ne permettent pas de tirer de conclusions sur l'évolution de la fréquence et l'intensité des tempêtes hivernales sur le territoire français (Ouzeau et al., 2014). À l'échelle de l'agglomération rouennaise, la régionalisation des données modélisées sur Rouen confirme cette absence de tendance dans l'évolution

de la vitesse moyenne du vent durant les mois d'hiver (Fig. 14).

Par ailleurs, l'étude des surcotes au cours du XX^e siècle a montré que la fréquence des facteurs atmosphériques (dépressions atmosphériques, vents d'ouest), contribuant à ce phénomène, est restée relativement stable, même si la période 1970-1990 a été plutôt agitée (In CEREMA, 2018).

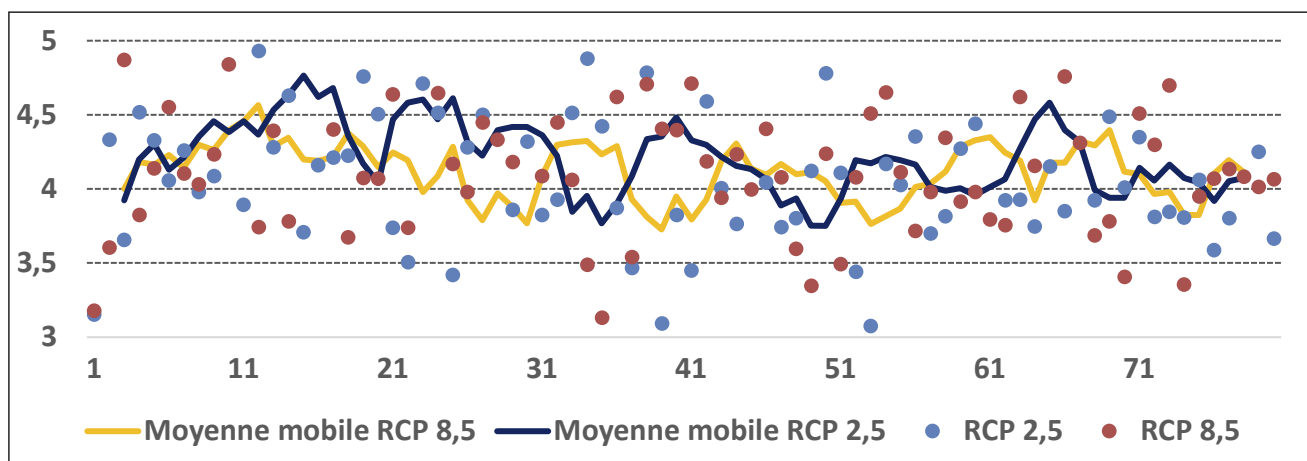


FIGURE 14 : Évolution de la vitesse moyenne du vent durant les mois d'hiver selon les scénarios extrêmes d'émission en CO₂ du GIEC (RCP 2,5 et 8,5) (expérience Météo France CNRM 2014 : Modèle Aladin, Période de référence : 1976-2005 / données issues du site DRIAS : <http://www.drias-climat.fr/>)

Références bibliographiques

- Besancenot J.-P., 2004. Une vague de chaleur meurtrière : les enseignements de l'été 2003 en France, *Géoconfluences - DESCO - ENS LSH*, Brève, 6. <http://www.ens-lsh.fr/geoconfluence/doc/breves/2004/6.htm>
- Cantat O., 2010 : Les types de temps à risque climatique à Paris. Compte rendu de la Réunion du GDR 2663 CNRS RICLIM, « Risques climatiques urbains », *Archivio di Stato / Archives d'État (TURIN)*, 4-5.
- CEREMA, 2018. Dynamiques et évolution du littoral, Synthèse des connaissances du cap d'Antifer au cap de la Hague (Fascicule 3) et du cap d'Antifer à la pointe du Hourdel (Fascicule 2). Catalogue sédimentaire national. Centre d'études et d'expertises sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement.
- DREAL BN (Basse-Normandie), 2010. Étude sur l'adaptation au changement climatique en Basse-Normandie, Météo-France et DREAL BN, Mission SOCRATE.
- DREAL HN (Haute-Normandie), 2011. Étude sur la sensibilité et sur l'adaptation de la Haute-Normandie aux effets du changement climatique, Rapport réalisé par Explicit et SAFEGE, octobre 2011, 96 p.
- Ducharme A, Habets F, Déqué M, Eaux L, Hachour A, Lepaillier A, Lepelletier T, Martin E, Oudin L, Pagé C, Ribstein P, Sauquet E, Thierry D, Terray L, Viennot P, Boé J, Bourqui M, Crespi O, Gascoin S, Rieu J, 2009 - Rapport final du Projet RExHySS : Impact du changement climatique sur les Ressources en eau et les Extrêmes hydrologiques dans les bassins de la Seine et la Somme. www.sisyphes.jussieu.fr, 62 p.
- INVS, 2003. Impact sanitaire de la vague de chaleur en France survenue en août 2003
Website : http://www.invs.sante.fr/publications/2003/chaleur_aout_2003/index.html
- IPCC/GIEC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2001. *Climate change 2001: the scientific basis*. Cambridge University Press, Cambridge.
- IPCC/GIEC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007. *Impacts, Adaptation & Vulnerability*, Cambridge University Press, Cambridge.
- IPCC/GIEC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2013. *Changements climatiques 2013. Les éléments scientifiques. Résumé à l'intention des décideurs*. 34 p.
- Joannes-Elizabeth C, Charrier F, Nouaceur Z, 2017, Rapport sur les effets des îlots de chaleur urbains à la Métropole Rouen Normandie, 38p
- Jacob D., Petersen J., Eggert B., Alias A., Christensen O.B., Bouwer L.M., Braun A., Colette A., Deque M., Goergievski G., Georgopoulou E., Gobiet A., Menut L., Nikulin G., Haensler A., Hempelmann N., Jones C., Keuler K., Kovats S., Kröner N., Kotlarski S., Kriegsmann A., Martin E., Van Meijgaard E., Moseley C., Pfeifer S., Preuschmann S., Radermacher C., Radtke K., Rechid D., Roundsev M., Samuelsson P., Somot S., Soussana J.F., Teichmann C., Valentini R., Vautard R., Weber B., Yiou P., 2014. « URO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. » *Regional Environmental Change*, 14(2), 563-578.
- Laignel B. et collaborateurs, 2010. Les effets du changement climatique dans le contexte des changements globaux. Expertise collective sur l'estuaire de la Seine. Projet du programme Seine Aval, <http://seine-aval.crihan.fr/web/>, 58 p.
- Laignel B., 2012. Enregistrement et effets du climat sur les stocks d'eau de l'échelle globale à régional (bassin de la Seine). *Bulletin des Sciences Géographiques*, Alger, 27, 2-22.
- Laignel B, Nouaceur Z, Olivier C, L'îlot de chaleur urbain à Rouen, 2017, Étude prospective pour la connaissance du micro climat urbain de la Métropole Rouennaise, 40 p
- Mesquita, J., 2009. Facteurs de contrôle des modalités de la réponse hydrologique des bassins versants en substrat carbonaté : comparaisons entre la Haute-Normandie et la région d'Austin au Texas. *Hydrologie*. Thèse Doctorat, Univ. Caen, 179 p.
- ONERC, 2015. Le littoral dans le contexte du changement climatique. Rapport de l'Onerc au Premier ministre et au Parlement. Observatoire National sur les Effets du réchauffement Climatique. La Documentation française, Paris, 178 p.
- Ouzeau G., Deque M., Jouini M., Planton S., Vautard R., Vrac M., 2014. Scénarios régionalisés. Le climat de la France au XXIe siècle, Volume 4, Rapport de la mission Jean Jouzel. Ministère de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement, 62 p.
- Planton S., Le Cozannet G., Costa S., Douez O., Gaufres P, Hissel F, Idier D., Laborie V., Petit V., Sergent P., 2015. Le climat de la France au XXIe siècle - volume 5 - Changement climatique et niveau de la mer : de la planète aux côtes françaises. 68 p.
- Ricquier F., Nouaceur Z., Laignel B., 2018. Caractérisation des changements climatiques observés à l'échelle du territoire de la métropole rouennaise. Mémoire de Master 1 GEHYD de Ricquier F. encadré par Nouaceur Z. et Laignel B., Département Géosciences et Environnement, Université de Rouen, 46 p.

En cas d'utilisation de données ou d'éléments de ce rapport, il doit être cité selon la forme suivante :

Laignel B., Nouaceur Z., 2018. Évolution du climat à l'échelle de la Métropole Rouen Normandie. Rapport du GIEC local pour la Métropole Rouen Normandie, 24 p.

Le GIEC local ne serait en aucune façon responsable des interprétations, productions intellectuelles, et publications diverses résultant des résultats de leurs travaux et pour lesquelles il n'aurait pas donné d'accord préalable.

Le GIEC local est un groupe d'experts créé dans le cadre de la COP21 Rouen Normandie et financé par la Métropole Rouen Normandie. Les experts proviennent des structures suivantes :



CONTACT

Frédéric CHARRIER - Responsable de projet PCAET/Qualité de l'air

frederic.charrier@metropole-rouen-normandie.fr

Tél : 02 32 12 23 57