SCoT aec PLUi ROUEN METROPOLE 2050

Plan métropolitain d'adaptation au changement climatique

Diagnostic des vulnérabilités

métropole ROUENNORMANDIE

SOMMAIRE

Introduction 5
Le GIEC de la Métropole Rouen Normandie 6
PARTIE 1 : Évolution du climat passé et à venir en Normandie et dans l'agglomération rouennaise 7
Évolution historique des températures atmosphériques, et projections 7
Évolution historique des jours de chaleur, et projections 8
Évolution historique des jours de froid et des gelées, et projections 10
Évolution historique des précipitations moyennes annuelles, et projections 11
Évolution historique du brouillard et de la neige, et projections 13
Évolution historique des épisodes de fortes précipitations, et projections 14
Évolution des sécheresses et incidence sur l'indice bioclimatique 16
Évolution des vents forts et des tempêtes, et projections 17
Conclusion de cette partie et chiffres-clés à retenir pour la Métropole Rouen Normandie 18
PARTIE 2 : Effets du changement climatique sur le territoire de la Métropole Rouen Normandie 19
La ressource en eau et le risque inondation 19
Conséquences sur les volumes de la ressource en eau 20
Conséquences sur la qualité de l'eau 22
Crues et risques d'inondation 23
Conséquences sur le réseau d'eau potable, les installations de traitement des eaux usées et les installations de gestion des déchets 26
Influence du changement climatique sur les inondations et l'élévation du niveau marin 30
Les représentations et les attitudes des populations locales vis-à-vis du changement climatique et des risques induits 33
Forêt et biodiversité 38
Constat scientifique sur les forêts 38
Constat scientifique sur la biodiversité à l'échelle locale 39
La biodiversité de la Métropole Rouen Normandie 41
Les effets du changement climatique sur la biodiversité 46
Les mesures à prendre 49
Enjeux de santé publique et de qualité de l'air 51
Profil épidémiologique de la Métropole Rouen Normandie 51
Impacts directs du changement climatique sur la santé 52
Impacts indirects du changement climatique sur la santé 53
L'aggravation des conséquences sanitaires de la dégradation de la qualité de l'air en lien avec le changement climatique 55
Mobilités 58
Panorama des mobilités sur le territoire 58

Vulnérabilités physiques des infrastructures de transport 59
Vulnérabilités fonctionnelles des mobilités 61
Leviers d'action pour l'atténuation et l'adaptation des mobilités au changement climatique 62
Architecture 63
Effets de l'aléa vague de chaleur 63
Effets de l'aléa sécheresse/retrait-gonflement des argiles 63
Effets de l'aléa inondation 65
Pratiques d'urbanisme et d'aménagement du territoire 66
Vulnérabilités résultant de l'étalement urbain et de l'artificialisation du territoire 66
L'îlot de chaleur urbain 66
Une urbanisation favorisant le risque inondation 68
Agriculture 70
Effets généraux du changement climatique sur la production agricole locale 70
Perceptions des agriculteurs locaux sur le changement climatique 72
Usages énergétiques, production d'énergie renouvelable et distribution d'énergie 73
Impacts sur les usages et les consommations d'énergie 75
Production d'énergie rénouvelable 78
Vulnérabilités des infrastructures de distribution de l'énergie 81
Vulnérabilité des réseaux de distribution du gaz 83
Vulnérabilité des réseaux de chaleur 84
Conséquences économiques des aléas climatiques 85
Conséquences économiques des catastrophes naturelles et enjeux assurantiels 85
État des lieux des dommages assurés dans le cadre du régime d'indemnisation CatNat 86
Projections des dommages assurés dans le cadre du régime d'indemnisation CatNat 94
État des lieux des coûts liés aux phénomènes de tempête, grêle et neige 97
Projections des coûts liés aux phénomènes de tempête, grêle et neige 97
Autres conséquences économiques 97
Le rôle majeur des politiques de prévention pour limiter les dommages 98
PARTIE 3 : Diagnostic général des vulnérabilités du territoire de la Métropole Rouen Normandie au changement climatique 99
Analyse de l'exposition du territoire 99
Définition des principaux impacts du changement climatique sur le territoire 101
Relations entre les vulnérabilités identifiées et les compétences et les politiques de la Métropole Rouen Normandie 103
Bibliographie 105

Introduction

Dans le cadre de l'Accord de Rouen pour le Climat signé en 2018, et du Plan Climat Air Énergie Territorial (PCAET) adopté en décembre 2019, la Métropole Rouen Normandie a fixé des orientations fortes d'ici à 2050 en termes de transition écologique : réduction des consommations énergétiques de 70 %, territoire 100 % énergie renouvelable avec une multiplication par 2,5 de la production d'énergie renouvelable locale, et réduction des émissions de gaz à effet de serre de 80 %. Une accélération de la réalisation de ces objectifs d'ici 2040 a également été engagée.

Par ailleurs, la Métropole Rouen Normandie a déclaré l'état d'urgence climatique le 8 février 2021. Sur le territoire, les effets de cette urgence à agir sont plus que tangibles : défi industriel pour toute la vallée de la Seine compte tenu de son histoire économique, défi logistique (fleuve/ferroviaire) aujourd'hui insuffisamment lancé, défi mondial qui engage à marche forcée à rattraper de nombreux retards en termes d'adaptation et de décabornation des secteurs économiques, enjeux d'attractivité et de rebond après l'incendie du 26 septembre 2019, etc. La transition sociale et écologique est au cœur des objectifs stratégiques du territoire. En outre, les travaux menés par le GIEC de la Métropole Rouen Normandie depuis 2018 renforcent grandement l'acuité de cette urgence. Ainsi, les effets du changement climatique sur la Métropole Rouen Normandie sont documentés, tangibles, et les projections des GIEC international, normand et métropolitain soutiennent qu'ils vont s'accentuer dans les années à venir.

Pour relever ces défis, et en complément de sa politique d'atténuation inscrite dans son PCAET, la Métropole Rouen Normandie a décidé d'élaborer en 2022 un plan d'adaptation au changement climatique (PACC), basé sur un diagnostic des vulnérabilités du territoire, une stratégie et un plan d'actions. Ce plan a pour objectif d'accompagner le territoire dans sa transformation et d'accroître sa résilience aux aléas climatiques qui pourraient s'aggraver dans le cas d'un changement climatique plus sévère. Il s'inscrit aussi dans le cadre de la révision du Schéma de Cohérence Territoriale (SCOT) valant PCAET, et du Plan Local d'Urbanisme intercommunal (PLUi), qui a été décidée par délibération du Conseil métropolitain du 8 novembre 2021. Cette révision permettra de répondre à la réglementation encadrant les SCOT qui a fortement évolué depuis 2015 (loi ELAN, loi Climat et Résilience et objectifs de sobriété foncière « zéro artificialisation nette »), et à rendre le SCOT compatible avec le Schéma Régional d'Aménagement, de Développement Durable et d'Egalité des Territoires (SRADDET) approuvé en 2020 (qui doit lui-même intégrer les dispositions de la loi Climat et Résilience) et d'autres documents supranationaux (par exemple : Plan de Gestion des Risques Inondation et Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux Seine Normandie approuvés en 2022, Schéma Régional des Carrières en cours d'élaboration, etc). Le SCOT valant PCAET (SCOT-AEC) comprendra un programme d'actions Climat Air Énergie qui intégrera lui-même le plan d'adaptation métropolitain au changement climatique.

Ce document constitue donc la première brique du PACC. Il présente un état des lieux des connaissances des effets du changement climatique sur le territoire et des vulnérabilités induites. Son élaboration s'est appuyée sur les études du GIEC de la Métropole Rouen Normandie, et GIEC Normand le cas échéant, ainsi que sur l'outil TACCT proposé par l'ADEME (« Trajectoire d'Adaptation au Changement Climatique des Territoires »). Celui-ci a permis de structurer le diagnostic et de proposer une méthodologie pour l'élaboration de la stratégie d'adaptation au changement climatique qui prévoit notamment une concertation avec les acteurs du territoire. Le document est structuré en trois grandes parties :

- Partie 1 : Évolution du climat passé et à venir à l'échelle de la Normandie et de l'agglomération rouennaise
- Partie 2 : Effets du changement climatique sur le territoire de la Métropole Rouen Normandie
- Partie 3 : Diagnostic général des vulnérabilités du territoire de la Métropole Rouen Normandie au changement climatique

Comme évoqué en introduction, ce diagnostic s'appuie sur les études du GIEC de la Métropole Rouen Normandie créé en 2018 à l'occasion de la COP 21 locale animée par la Métropole. S'appuyant sur le modèle du GIEC international, ce groupe d'experts local a plusieurs ambitions :

- Dresser un état des lieux des connaissances scientifiques disponibles sur le changement climatique et ses impacts à l'échelle du territoire de la Métropole rouennaise,
- Identifier les conséquences socio-économiques induites,
- Contribuer à la stratégie et aux actions d'atténuation et d'adaptation au changement climatique mises en œuvre sur le territoire,
- Partager les connaissances et les résultats des études avec l'ensemble des acteurs du territoire (décideurs locaux, services municipaux et métropolitains, services de l'Etat, entreprises, citoyens, associations, opérateurs techniques, etc.).

Le GIEC de la Métropole Rouen Normandie regroupe plusieurs partenaires tels que l'Université Rouen Normandie, l'École Nationale Supérieure d'Architecture de Normandie, l'Institut National des Sciences Appliquées Rouen Normandie, l'institut polytechnique UniLaSalle – campus de Rouen, le Centre d'Etudes et d'Expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement (Cerema), l'association agréée de surveillance de la qualité de l'air Atmo Normandie, l'Agence Normande de la Biodiversité et du Développement Durable (ANBDD), et le Centre Hospitalier Universitaire (CHU) de Rouen. Présidé par Benoit LAIGNEL, Professeur en géosciences et environnement à l'Université Rouen Normandie, les experts proviennent des établissements susmentionnés et interviennent selon plusieurs champs thématiques, à savoir : le changement climatique, les ressources en eau, la psychologie sociale, les forêts, la biodiversité, l'économie, la santé publique, l'architecture, l'urbanisme, les mobilités, l'agriculture, la qualité de l'air, et l'énergie (Tableau 1). Les études dirigées dans le cadre de ce groupe d'experts visent donc à analyser les impacts du changement climatique selon une approche pluridisciplinaire.

Les études publiées peuvent être consultées librement sur le site internet de la COP 21 Rouen Normandie : https://www.notrecop21.fr.

Tableau 1 : Experts appartenant au GIEC de la Métropole Rouen Normandie et leur thématique d'étude respective

Université de Rouen Normandie	Changement climatique et ressources en eau	**Benoit LAIGNEL,** Président du GIEC de la Métropole Rouen Normandie, Professeur en géosciences et environnement
	Psychologie sociale	**Boris VALLÉE,** Vice-Président, Maître de conférences en psychologie sociale **Olivier CODOU**, Maître de conférences en psychologie sociale
	Forêts	**Michaël AUBERT,** Professeur en géosciences au laboratoire ECODIV
	Économie	**Olivier BEAUMAIS,** Professeur en Économie de l'environnement, monétarisation du non-marchand **Carine STAROPOLI,** Professeure d'économie
CHU Rouen Normandie	Santé publique	**Joël LADNER**, Médecin hospitalo-universitaire, Responsable du Département épidémiologie et promotion de la santé au CHU et Maître de conférences à l'Université Rouen Normandie
Atmo Normandie	Qualité de l'air	**Jérôme CORTINOVIS**, Ingénieur d'études et référent pour les partenaires

République Française – Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Normandie	Architecture	**Raphaël LABRUNYE,** Architecte, Directeur de l'École Nationale Supérieure d'Architecture de Normandie **François FLEURY**, Professeur titulaire d'une HDR
Indépendante	Urbanisme	**Céline FRÉCHET,** Architecte-Urbaniste, Circuit-T
République Française – Cerema	Mobilités	**Michaël SAVARY,** Responsable du groupe modélisation des déplacements, Département Infrastructures de transports multimodales
UniLaSalle Rouen	Agriculture	**Marie Asma BEN OTHMEN,** Enseignante-chercheuse en économie de l'environnement et agroéconomie
Biodiversité ANBDD Agence Normande Développement Durable	Biodiversité	**Carine DOUVILLE,** Chargée d'accompagnement à l'émergence de projets, Membre du Conseil Scientifique Régional du Patrimoine Naturel de Normandie, Co-présidente du Conseil Scientifique du Conservatoire d'Espaces Naturels de Normandie
INSA Institut National des Sciences Appliquées Rouen Normandie	Énergie	**Bruno RENOU**, Professeur en Énergétique et Enseignant-Chercheur au laboratoire CORIA

PARTIE 1 : Évolution du climat passé et à venir en Normandie et dans l'agglomération rouennaise

Évolution historique des températures atmosphériques, et projections

Située en zone tempérée, la Métropole Rouen Normandie bénéficie d'un climat océanique qui se caractérise par des hivers doux et des étés frais. La température moyenne annuelle est d'environ 10,5°C sur la période 1970-2020.

En appliquant la méthode des anomalies de températures du GIEC entre deux périodes de référence, on constate des anomalies de températures positives de l'ordre de + 0,6°C à +0,8°C entre la période de référence actuelle 1981-2010 et la précédente 1951-1980 qui définissent les normales climatiques (Cantat et al., 2020). En appliquant cette fois la méthode des tendances linéaires, on constate une augmentation de la température moyenne de +1,2°C à + 2,2°C pour les huit stations météorologiques normandes disposant de données continues et fiables entre 1970 à 2020 (Figure 1). À l'échelle de la Métropole Rouen Normandie, la station de Rouen-Boos montre une tendance à l'augmentation de la température statistiquement significative de 2,2°C sur la période de 1970 à 2020 (Cantat et al., 2020 ; Laignel et Nouaceur, 2023).

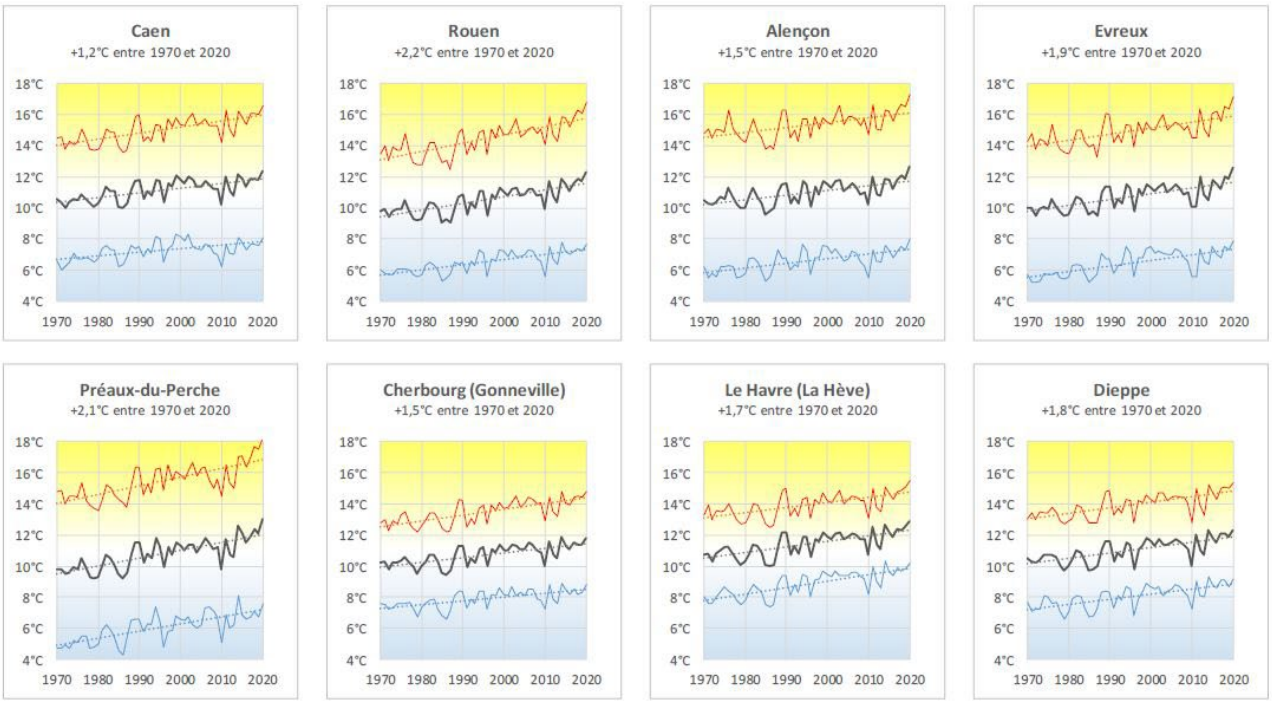


Figure 1 : Évolution de la température de l'air moyenne entre 1970 et 2020 pour les huit stations météorologiques normandes disposant de données continues et fiables. Tendances linéaires (pointillés) et moyennes des valeurs minimale (bleu), moyenne (gris foncé) et maximale (rouge) des stations d'Alençon, Caen, Cherbourg (Gonneville), Dieppe, Évreux, Le Havre (La Hève), Préaux-du-Perche et Rouen. – Source : Données Météo-France, traitements et analyses réalisés par le GIEC Normand (Cantat et al., 2020).

À l'échelle de l'ex région Haute-Normandie, les nouvelles projections publiées par le DRIAS[1] en 2020 montrent que la température moyenne annuelle continuerait d'augmenter de +1°C d'ici le milieu du siècle par rapport à la période de référence 1976-2005, quel que soient les scénarios d'émissions de gaz à effet de serre. À l'horizon 2100, l'élévation de la température atmosphérique moyenne annuelle pourrait être stabilisée à + 1°C dans un scénario de faibles émissions de gaz à effet de serre (RCP 2.6 – scénario optimiste), ou augmenterait entre +2 à + 4 °C respectivement pour un scénario d'émissions modérées (RCP 4.5 – scénario médian) et de fortes émissions (RCP 8.5 – scénario pessimiste) (Figure 2).

[1] DRIAS : Donner accès aux scénarios climatiques régionalisés français pour l'impact et l'adaptation de nos sociétés et nos environnements

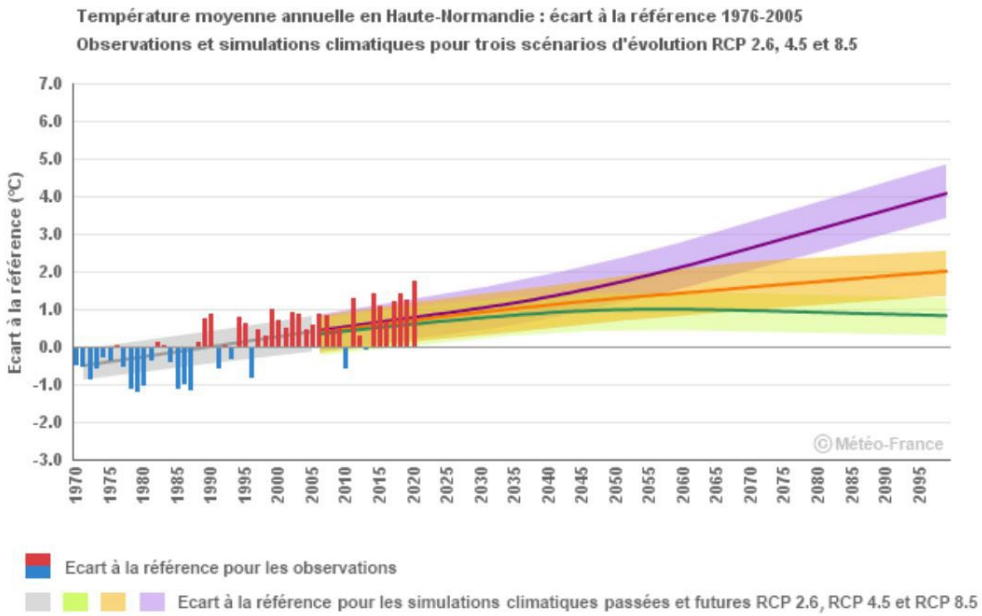


Figure 2 : Observations des écarts de la température moyenne annuelle à la période de référence 1976-2005 et simulations climatiques pour trois scénarios d'évolution du changement climatique (RCP 2.6 ; RCP 4.5 et RCP 8.5) dans l'ex région Haute-Normandie – Source : Climat HD de Météo-France.

Évolution historique des jours de chaleur, et projections

Les vagues de chaleur deviennent de plus en plus récurrentes sur le territoire de l'ex région Haute-Normandie, notamment ces deux dernières décennies (Figure 3). Même si les canicules survenues du 3 au 14 août 2003 et du 23 juin au 7 juillet 1976 ont été les plus sévères (selon la taille des bulles), l'épisode du 23 au 26 juillet 2019 est celui où a été mesurée la journée la plus chaude depuis l'année 1947 (43°C mesurés à la station Rouen-Jardin et 41,3°C mesurés à la station Rouen-Boos le 25 juillet 2019).

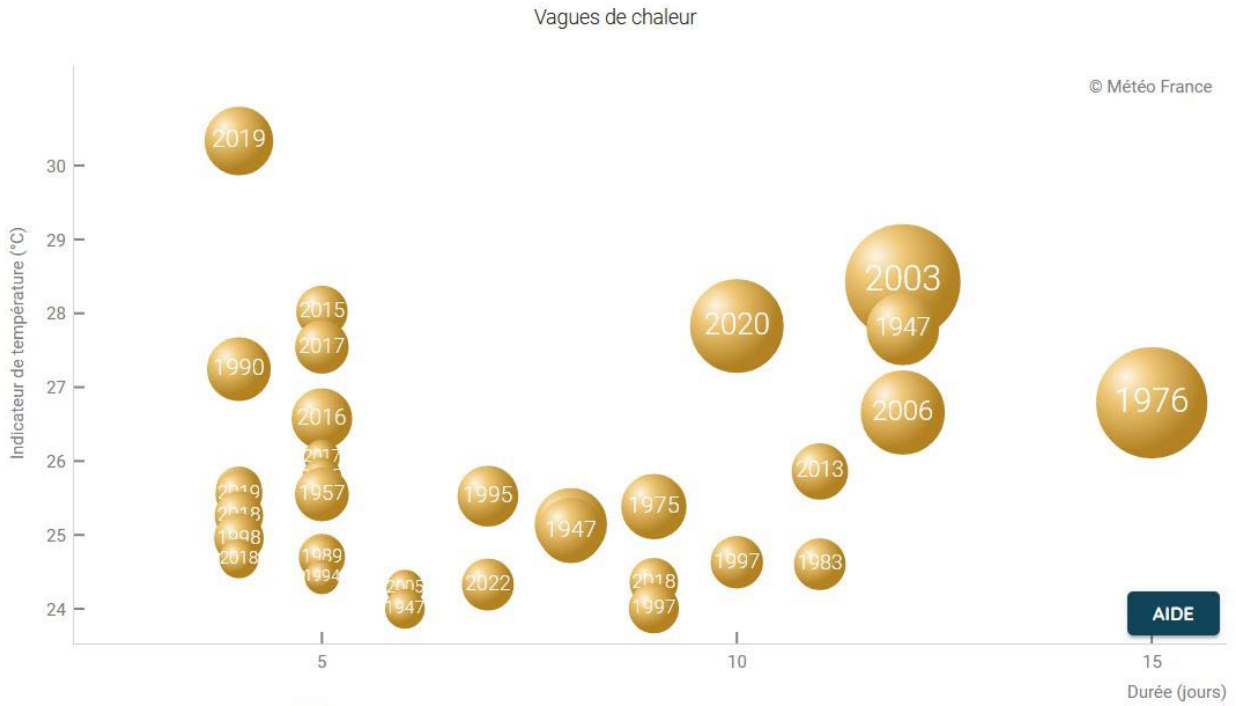


Figure 3 : Évolution des vagues de chaleur dans l'ex région Haute-Normandie de 1947 à 2023 - Source : Climat HD Météo-France

Les jours de chaleur à Rouen, où la température maximale de l'air dépasse 25°C, sont aussi plus fréquents depuis les années 1970 avec une augmentation moyenne de 22 jours (de 15 à 37 jours). La récurrence des

jours de forte chaleur (plus de 30°C) et des très fortes chaleurs (plus de 35°C) est également perceptible dans les données de Météo-France (Figure 4). À Rouen, entre la période 1971-1990 et la période actuelle 2001-2020, la fréquence de ces journées a considérablement augmenté passant de 58 à 134 occurrences pour les jours de forte chaleur, et de 1 occurrence (en 1990) à 17 cas recensés entre 2001 et 2020 pour les jours de très forte chaleur, dont 11 durant les six dernières années. Par ailleurs, les années particulièrement chaudes où le mercure dépasse 25°C plus de 20 jours par an semblent se répéter plus fréquemment bien que des variabilités interannuelles restent toutefois constatées comme en 2007 où le seuil des 25°C n'a été « seulement » atteint qu'à dix reprises à Rouen.

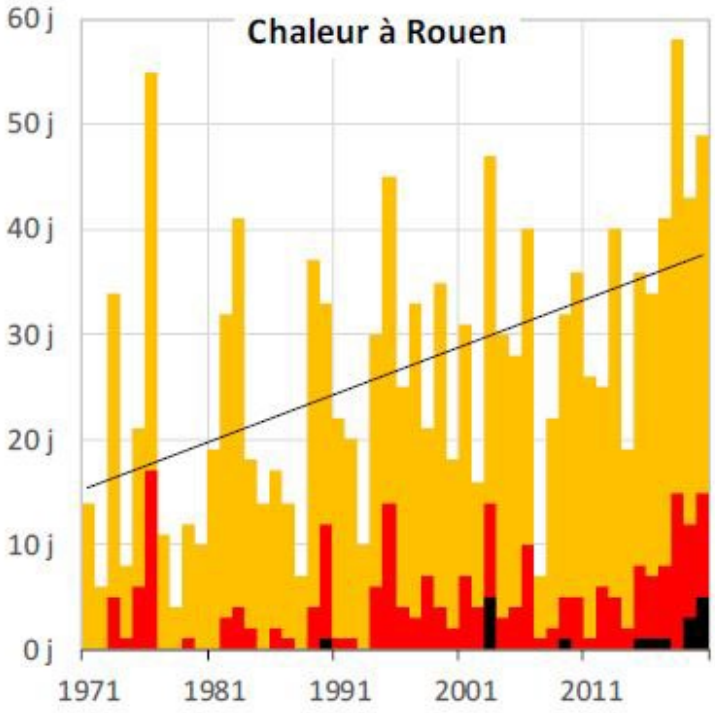


Figure 4 : Évolution du nombre de jours de chaleur (T° maximale journalière de l'air supérieure ou égale à 25°C (en orange), supérieure ou égale à 30°C (en rouge), et supérieure ou égale à 35°C (en noir)) à Rouen-Boos entre 1971 et 2020. – Source : Données Météo-France traitées et analysées par le GIEC Normand (Cantat, et al., 2020).

À l'échelle de la Normandie, l'écart de la fréquence des jours de chaleur, de forte chaleur et de très forte chaleur devrait se creuser entre l'intérieur des terres et les espaces proches du littoral. Ces-derniers bénéficiant de la fraicheur océanique pourraient davantage supporter l'augmentation de la fréquence de cet aléa estival, dont l'occurrence est susceptible d'apparaître dès la fin du printemps et de déborder sur le début de l'automne. Ainsi, pour la Métropole Rouen Normandie, le nombre de jours de chaleur (température > ou = 25°C), d'environ de 16 jours en moyenne pour la période de référence 1976-2005, pourrait passer d'ici 2100, à 25 jours en moyenne pour un scénario optimiste (RCP 2.6), et à 60 jours en moyenne pour un scénario pessimiste (RCP 8.5) (Tableau 2). En outre, le nombre de jours de forte chaleur (température > ou = 30°C) doublerait avec un scénario optimiste (6 jours), et serait multiplié par neuf pour un scénario pessimiste (environ 27 jours). Peu d'évolution (moins d'1 jour) serait remarqué entre la période de référence et le scénario optimiste concernant l'évolution future des jours de très forte chaleur (température > ou = 35°C), mais l'occurrence de ces journées serait multipliée par neuf dans le cas d'un scénario pessimiste (presque 9 jours). De manière générale, les étés des années 2003 et 2022, particulièrement chaudes en Normandie et en France, deviendraient normaux à l'avenir. Les seuils des 35°C et des 40°C pourraient être plus fréquemment atteints si les émissions et les concentrations de gaz à effet de serre ne sont pas drastiquement réduites à court-terme, soit d'ici 2030.

		jour chaleur (>=25°C)			jour forte chaleur (>=30°C)			jour très forte chaleur (>=35°C)		
		1976-2005	2071-2100		1976-2005	2071-2100		1976-2005	2071-2100	
		Réf.	RCP 2.6	RCP 8.5	Réf.	RCP 2.6	RCP 8.5	Réf.	RCP 2.6	RCP 8.5
littoral	Cherbourg	4.2	7.3	25.4	0.5	0.8	4.3	0.0	0.0	0.4
	Le Havre	13.2	13.2	35.2	2.8	2.8	10.7	0.3	0.3	2.4
	Dieppe	5.7	9.6	27.4	1.3	2.7	10.6	0.1	0.3	2.2
intermédiaire	Caen	14.7	21.8	58.6	2.6	3.9	18.2	0.3	0.5	4.2
	Rouen	16.5	26.7	63.1	3.7	6.3	26.6	0.3	0.9	8.8
continental	Evreux	23.5	36.1	78.9	5.1	9.1	34.9	0.3	1.1	11.0
	Alençon	26.5	43.0	85.2	5.5	10.9	36.2	0.9	2.1	13.6
	Préaux	27.1	44.2	87.7	5.8	11.9	39.2	0.8	2.0	14.2

Tableau 2 : Évolution attendue du nombre moyen de jours de chaleur (Température > ou = 25°C), de forte chaleur (> ou = 30°C) et très forte chaleur (> ou = 35°C) en Normandie à moyen terme et à long terme pour les 8 points de grille représentatifs de la diversité climatique en Normandie et correspondant à Alençon, Caen, Cherbourg (Gonneville), Dieppe, Evreux, Le Havre (La Hève), Préaux-du-Perche et Rouen – Source : expérience Météo France CNRM 2014 : Modèle Aladin, données Drias traitées et analysées par le GIEC Normand (Cantat et al., 2020).

Évolution historique des jours de froid et des gelées, et projections

L'évolution des vagues de froid montre des tendances radicalement opposées à celles des vagues de chaleur. Dans l'ex région Haute-Normandie, les vagues de froid ont été moins nombreuses et moins intenses ces deux dernières décennies. Les phénomènes les plus longs et les plus sévères se sont produits avant les années 2000 (Figure 5).

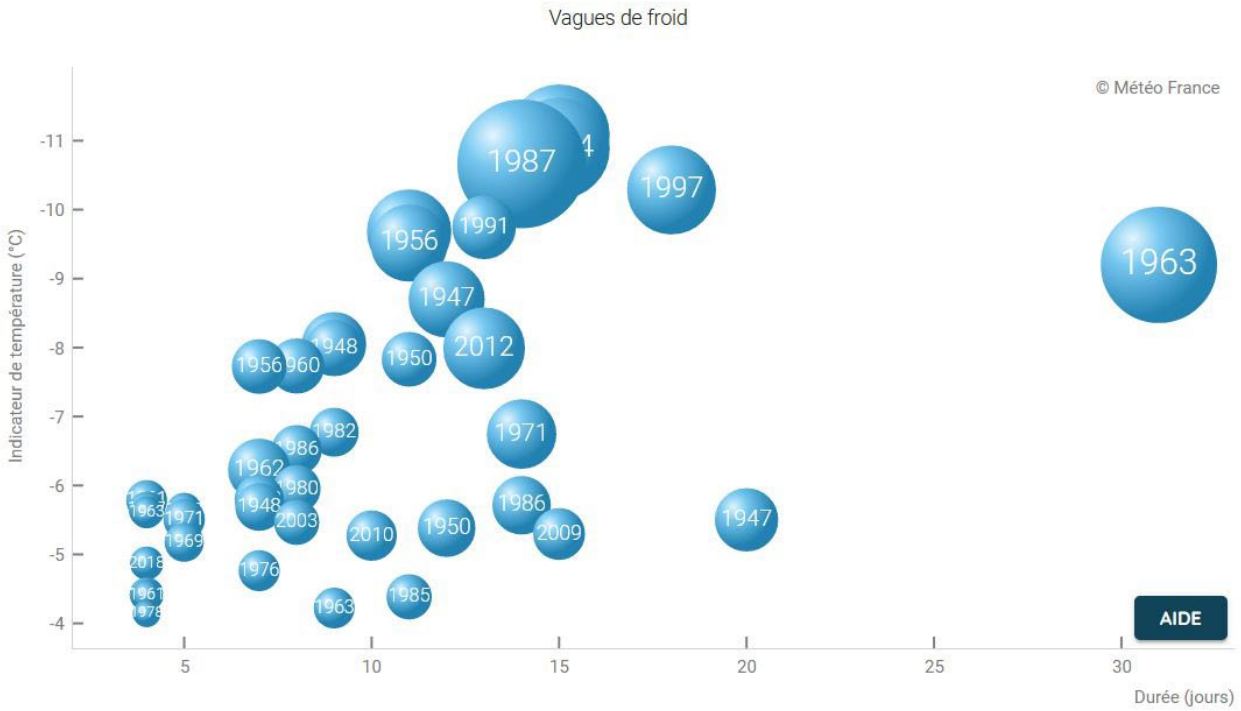


Figure 5 : Évolution des vagues de froid dans l'ex région Haute-Normandie de 1947 à 2022 - Source : Climat HD de Météo-France

L'augmentation des températures semble également engendrer des évènements liés au froid moins fréquents et intenses. En effet, le nombre de jours de gel à Rouen est passé d'environ 58 jours en moyenne dans les années 1970, à 35 jours en moyenne dans la dernière décennie, soit une diminution d'environ 23 jours en moyenne par an (Figure 6). Cette tendance s'observe aussi pour les fortes gelées (minimum inférieur à -5°C) avec une moyenne de 155 cas au total entre 1971-1990, à 97 cas entre 2001-2020 ; ou encore pour les évènements les plus extrêmes comme les très grands froids (< -10°C) dont le dernier cas recensé date du 12 février 2012 (-12,1°C).

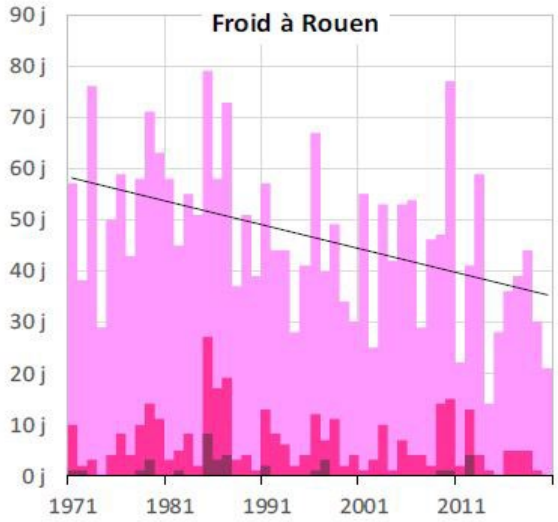


Figure 6 : Évolution du nombre de jours de froid mesurés à Rouen-Boos entre 1971 et 2020 (Température minimale journalière de l'air inférieure ou égale à 0°C en rose, à -5°C en parme et à -10°C en violet). – Source : Données Météo-France traitées et analysées par le GIEC Normand (Cantat, et al, 2020).

Les projections du DRIAS montrent des tendances inverses que pour les journées de chaleur. D'ici 2100, le nombre de jours de froid (minima < ou = 0°C) passerait en moyenne d'environ 43 jours (période de référence 1976-2005) à 32 jours pour un scénario optimiste (RCP 2,6) ou à 14 jours dans un scénario pessimiste (RCP 8,5). Les phénomènes de grand froid et de très grand froid seraient encore plus rares également (Tableau 3).

		jour froid (<=0°C)			jour grand froid (<=-5°C)			jour très grand froid (<=-10°C)		
		1976-2005	2071-2100		1976-2005	2071-2100		1976-2005	2071-2100	
		Réf.	RCP 2.6	RCP 8.5	Réf.	RCP 2.6	RCP 8.5	Réf.	RCP 2.6	RCP 8.5
littoral	Cherbourg	12.4	9.2	3.2	0.9	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
	Le Havre	18.7	13.4	6.1	2.4	1.6	0.2	0.4	0.2	0.0
	Dieppe	26.2	19.7	8.8	3.3	2.4	0.3	0.4	0.1	0.0
intermédiaire	Caen	26.5	18.7	8.1	2.6	2.0	0.4	0.3	0.1	0.0
	Rouen	43.0	32.1	14.2	5.3	3.7	0.7	1.0	0.3	0.0
continental	Evreux	45.7	34.4	15.3	5.8	3.9	0.8	1.0	0.4	0.0
	Alençon	45.7	36.7	14.6	5.8	3.6	0.7	1.1	0.6	0.0
	Préaux	46.2	35.6	15.2	5.5	3.8	0.9	1.2	0.6	0.0

Tableau 3 : Évolution attendue des jours de froid (seuils de 0°C, -5°C et -10°C) en Normandie entre 1976 et 2100 selon deux scénarios de changement climatique (RCP 2.6 et RCP 8.5) et pour les huit stations représentatives de la diversité du climat normand (Alençon, Caen, Cherbourg (Gonneville), Dieppe, Evreux, Le Havre (La Hève), Préaux-du-Perche et Rouen). Source : expérience Météo France CNRM 2014 : Modèle Aladin. Données Drias traitées et analysées par le GIEC Normand (Cantat et al., 2020).

Évolution historique des précipitations moyennes annuelles, et projections

Concernant l'évolution des précipitations, aucune tendance statistiquement significative ne ressort des cumuls annuels de pluviométrie mesurés par les stations météorologiques situées en Normandie entre 1970 et 2020 (Figure 7). En effet, les relevés montrent une succession d'années sèches et d'années avec des excédents pluviométriques. Les cycles les plus représentatifs de cette longue série pluviométrique sont représentés par les périodes extrêmes : sécheresses des années 1970 illustrées par les années 1972 et 1976, cycle humide des années 1980 et entre 1999 et 2002. Les écarts à la moyenne ont pu atteindre environ +/- 30 % jusqu'en 2003 (entre 500 et 1000 mm/an). À partir de cette année-là, la variabilité interannuelle s'est réduite à +/- 15 % (entre 650 et 850 mm/an) et aucune tendance significative ne ressort car les totaux pluviométriques enregistrés lors de cette période restent proches de la moyenne. Bien sûr, les cumuls de précipitations à l'échelle régionale n'illustrent pas la diversité géographique entre des territoires relativement plus secs (602 mm par an en moyenne à Evreux), d'autres plus arrosés (921 mm à Cherbourg-Gonneville), bien qu'eux-mêmes soient soumis aux mêmes fluctuations interannuelles. Le territoire de la Métropole Rouen Normandie est exposé à des volumes de précipitations légèrement au-dessus de la moyenne régionale (823 mm/an entre 1970 et 2020) (Figure 7).

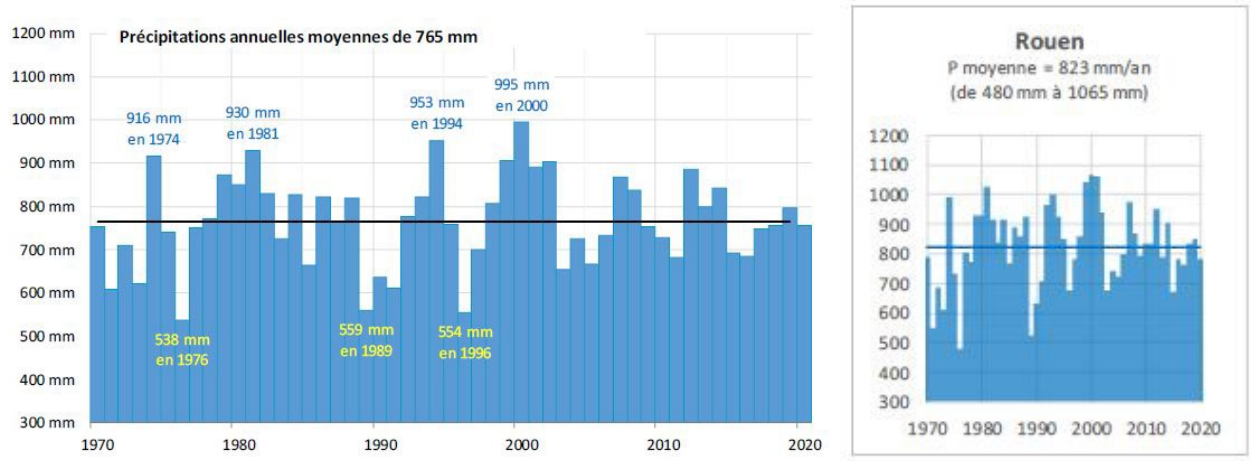


Figure 7 : À gauche, précipitations moyennes annuelles entre 1970 et 2020 en Normandie. Moyenne des stations d'Alençon, Caen, Cherbourg (Gonneville), Dieppe, Evreux, Le Havre (La Hève), Préaux-du-Perche et Rouen. À droite : précipitations moyennes annuelles entre 1970 et 2020 mesurées pour la station de Rouen. – Source : Données Météo-France traitées et analysées par le GIEC Normand (Cantat, et al., 2020).

De même, les projections climatiques à long-terme montrent des évolutions moins consensuelles que pour les projections des températures, et peuvent être sujettes à de fortes disparités locales. À l'échelle de l'ex région Haute-Normandie, les nouvelles projections de Météo-France s'appuyant sur les modèles actualisés du DRIAS de 2020 indiquent une tendance relativement stable d'ici le milieu du siècle comparé à la période de référence 1976-2005 (Figure 8). D'ici la fin du siècle, les projections ne montrent que peu de différences entre les scénarios de faibles émissions de gaz à effet de serre (RCP 2.6), d'émissions modérées (RCP 4.5) et de fortes émissions (RCP 8.5). Météo-France souligne également que la variabilité interannuelle du cumul annuel des précipitations, déjà observée actuellement, se poursuivra durant tout le XXIe siècle. Ainsi, le cumul annuel des précipitations pourrait osciller selon les années entre une réduction de 10% ou une augmentation de 30% par rapport à la période de référence 1976-2005.

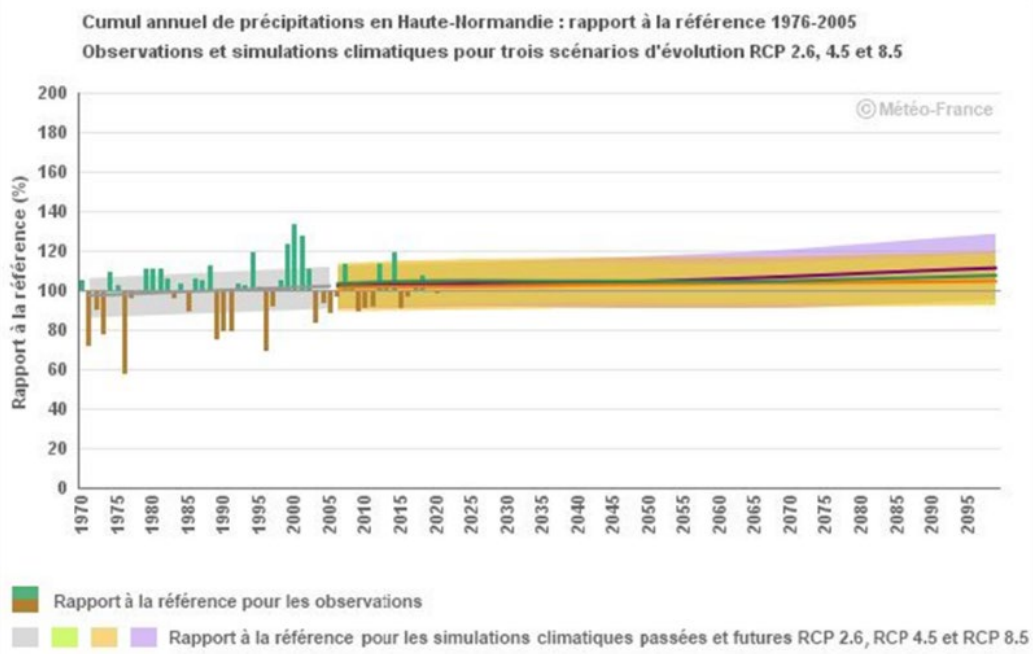


Figure 8 : Projections à l'horizon 2100 du cumul annuel de précipitations dans l'ex région Haute-Normandie par rapport à la période de référence 1976-2005 et selon trois scénarios d'évolution RCP 2.6 (optimiste), RCP 4.5 (médian) et RCP 8.5 (pessimiste) - Source : Climat HD de Météo-France, modèles actualisés du DRIAS (2020)

En revanche, Météo-France précise que les tendances seront plus marquées entre les saisons dans l'ex région Haute-Normandie (Figure 9). En effet, les projections montrent des cumuls hivernaux en augmentation

notamment dans un scénario de fortes émissions RCP 8.5 (+40 %) tandis qu'une diminution serait observée en période estivale pour ce même scénario (-30 %). De plus, les cumuls saisonniers, à l'instar des cumuls annuels, présenteront aussi des variabilités interannuelles importantes. Le contraste entre les précipitations saisonnières pourrait potentiellement engendrer des incidences importantes sur les écosystèmes (forêts, zones agricoles, cours d'eau, falaises, etc.) (Cantat et al., 2020).

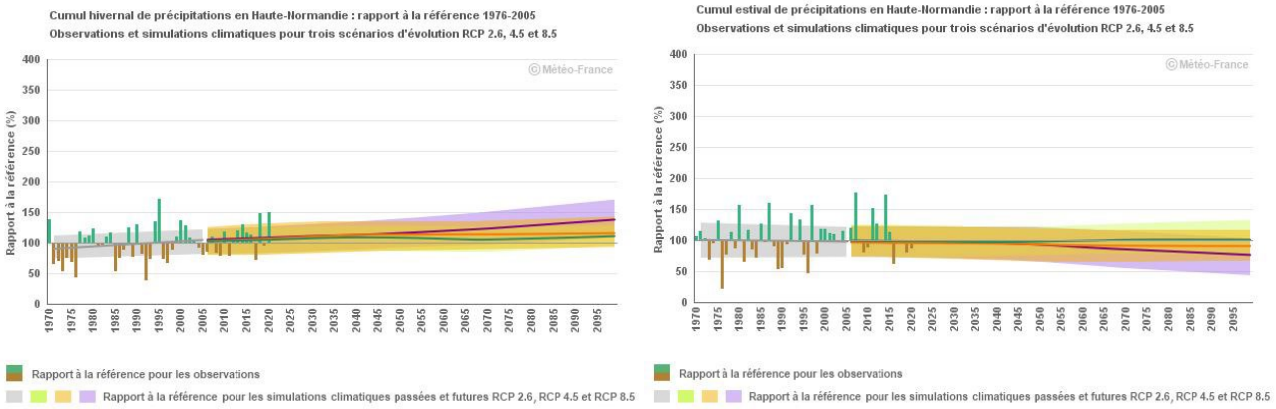


Figure 9 : À gauche, projections à l'horizon 2100 du cumul hivernal de précipitations dans l'ex région Haute-Normandie par rapport à la période de référence 1976-2005 et selon trois scénarios d'évolution des émissions de gaz à effet de serre RCP 2.6 (optimiste), RCP 4.5 (médian) et RCP 8.5 (pessimiste). À droite, mêmes projections pour la période estivale. – Source : Climat HD de Météo-France, modèles actualisés du DRIAS (2020).

Évolution historique du brouillard et de la neige, et projections

Une diminution du nombre de jours de chute de neige et de brouillard (visibilité horizontale < 1000 m) est observée entre 1971 et 2020 (Cantat et al., 2020). Dans le cas des chutes de neige, malgré une tendance à la diminution, une forte variabilité interannuelle peut être observée comme en témoigne l'hiver particulièrement neigeux de 2010 à Rouen. À propos du nombre de jours de brouillard, la tendance à Rouen est assez spécifique dans la mesure où elle se mesure par paliers avec un premier palier avec un nombre de jours supérieur à 120 jours au début des années 1970, puis un deuxième palier autour de 90 jours en moyenne entre le milieu des années 1970 à la fin des années 1980, et un troisième palier autour de 55 jours en moyenne de brouillard du début des années 1990 à nos jours (Figure 10).

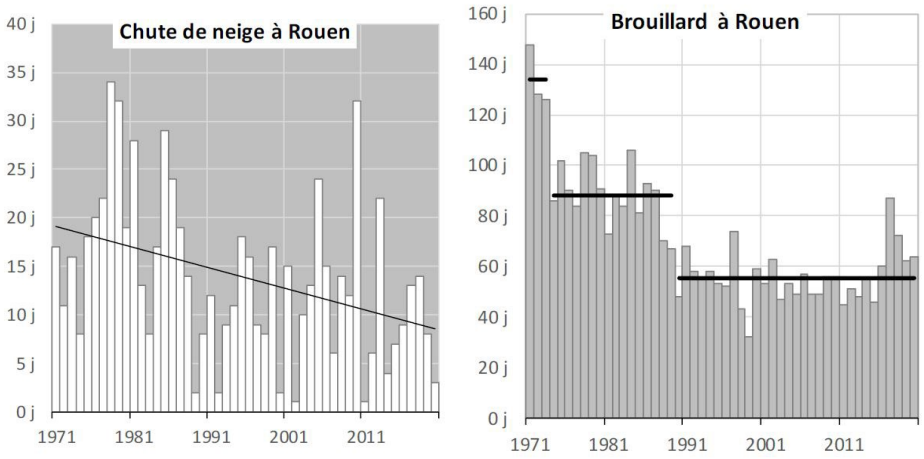


Figure 10 : À gauche, évolution de la fréquence annuelle des chutes de neige à Rouen-Boos entre 1971 et 2020. Valeur annuelle (bâton blanc) et tendance linéaire (trait noir) ; À droite : évolution du nombre de jours de brouillard (visibilité horizontale < 1000 m) à Rouen-Boos entre 1971 et 2020. Valeur annuelle (bâton gris) et moyennes sur plusieurs années (trait noir). – Source : Données Météo-France traitées et analysées par le GIEC Normand (Cantat et al., 2020).

À long terme, les projections montrent des tendances à la diminution du nombre de jours avec chute de neige, plus importante pour un scénario de fortes émissions de gaz à effet de serre (RCP 8.5). À Rouen, sans

tenir compte de la variabilité interannuelle, environ 15 jours avec chute de neige en moyenne pourraient être attendus dans un scénario optimiste (RCP 2.6) aussi bien à moyen-terme qu'à long-terme. Dans le cas d'un scénario pessimiste (RCP 8.5), seulement entre 10 à 6 jours avec chute de neige en moyenne, respectivement à moyen et long terme, seraient attendus (Tableau 4).

		Nombre de jours avec chute de neige par an et écart à la moyenne 1976-2005							
		1976-2005	2041-2070				2071-2100			
		Réf.	RCP 2.6		RCP 8.5		RCP 2.6		RCP 8.5	
littoral	Cherbourg	12.2	7.4	-4.8	5.0	-7.2	8.4	-3.8	2.6	-9.6
	Le Havre	12.5	10.9	-1.6	5.9	-6.6	8.8	-3.7	3.2	-9.3
	Dieppe	14.7	12.7	-2.0	7.4	-7.3	10.8	-3.9	4.0	-10.7
intermédiaire	Caen	15.9	12.3	-3.6	8.2	-7.7	12.1	-3.8	5.4	-10.5
	Rouen	19.9	15.1	-4.8	10.0	-9.9	15.6	-4.3	6.1	-13.8
continental	Evreux	19.8	14.9	-4.9	9.5	-10.3	15.3	-4.5	4.6	-15.2
	Alençon	16.5	11.8	-4.7	9.0	-7.5	13.5	-3.0	5.3	-11.2
	Préaux	16.3	11.4	-4.9	7.7	-8.6	12.3	-4.0	4.7	-11.6

Tableau 4 : Évolution attendue du nombre de jours avec chute de neige en Normandie entre 1976 et 2100 selon deux scénarios de changement climatique (RCP 2.6 et RCP 8.5) et pour les huit stations représentatives de la diversité du climat normand (Alençon, Caen, Cherbourg (Gonneville), Dieppe, Evreux, Le Havre (La Hève), Préaux-du-Perche et Rouen). Source : expérience Météo France CNRM 2014 : Modèle Aladin. Données Drias traitées et analysées par le GIEC Normand (Cantat et al., 2020).

Évolution historique des épisodes de fortes précipitations, et projections

À l'instar du volume de précipitations moyennes annuelles, il n'est actuellement pas relevé de tendances statistiquement significatives sur l'évolution du nombre de jours avec des fortes précipitations (seuil de 10 mm/jour, soit 10 litres/m²) à Rouen entre 1971 et 2020 (Figure 11). Des variabilités interannuelles très importantes existent avec des pics à plus de 30 jours suivis de creux de 15 jours l'année d'après. Ces phénomènes nécessitent une vigilance particulière en raison des risques de ruissellement et d'inondation, et de pollution des eaux de surfaces et souterraines (turbidité) pouvant en résulter, notamment dans les milieux karstiques (Laignel et al., 2006 ; Massei et al., 2003 ; Mouhri et al., 2008 ; Valdès et al., 2005, 2007, 2014).

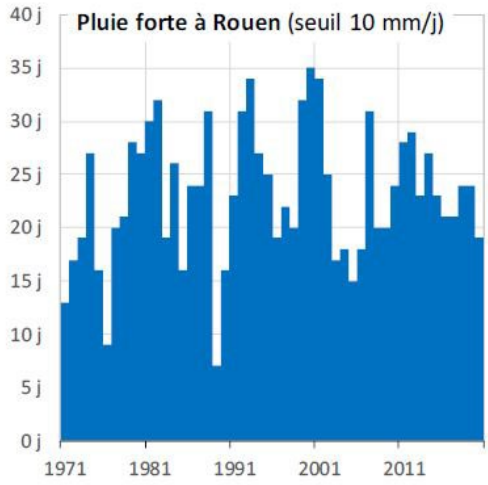


Figure 11 : Évolution du nombre de jours de fortes précipitations (>= 10 mm/j) à Rouen-Boos entre 1971 et 2020 – Source : données Météo-France traitées et analysées par le GIEC Normand (Cantat et al., 2020).

Contrairement aux régions méditerranéennes, la région Normandie est caractérisée par une faible occurrence des très fortes précipitations et des pluies intenses (cumul dépassant 20 mm/jour, soit 20 litres/m²), de l'ordre de 4 jours par an en moyenne durant la période de référence 1976-2005. Dans les

prochaines décennies, les modèles du DRIAS montrent que la région pourrait observer une plus grande fréquence de ces phénomènes particulièrement dans le sud-ouest où des occurrences de 10 jours pourraient être relevées. Le territoire de la Métropole Rouen Normandie ne sera pas épargné car des occurrences de l'ordre de 2 à 6 jours pourraient se produire quel que soit le scénario climatique pris en compte (RCP 2.6 ou RCP 8.5) (Figure 12). Ce phénomène pourrait aussi se renforcer en hiver et en été avec une hausse de la part des précipitations intenses saisonnières (au-dessus du 90ème centile annuel) de l'ordre de +9 à +15% dans la Métropole par rapport à la période de référence 1976-2005 (Figure 13). Cependant, la résolution spatiale des différents modèles climatiques représente un handicap pour une bonne connaissance du cycle pluviométrique à une échelle locale.

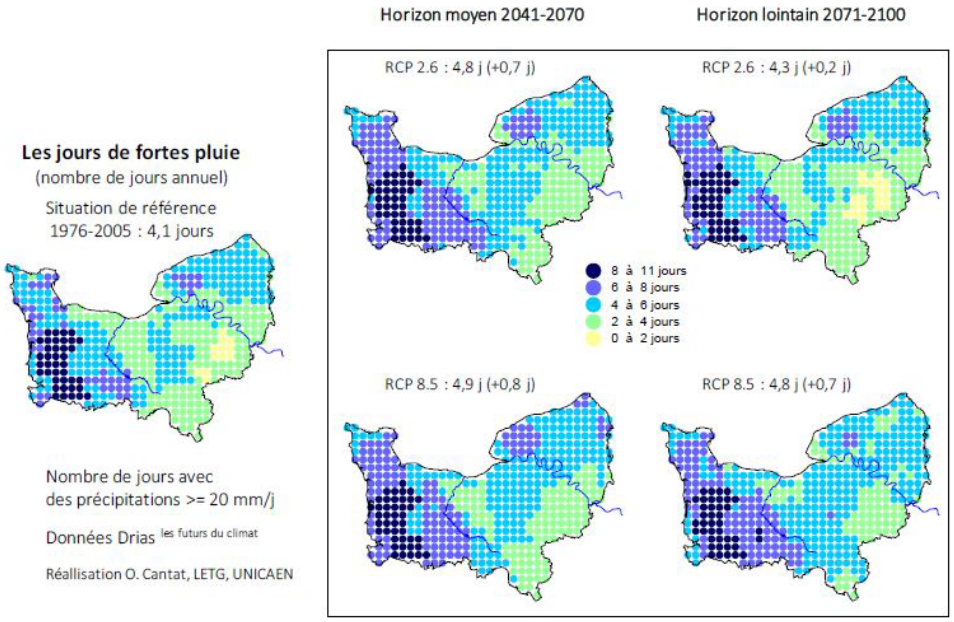


Figure 12 : Évolution attendue de la fréquence des très fortes précipitations (seuil de 20 mm/jour) en Normandie. Scénarios RCP 2.5 et RCP 8.5 à l'horizon lointain 2100. Source : expérience Météo France CNRM 2014 : Modèle Aladin, données Drias traitées et analysées par le GIEC Normand (Cantat et al., 2020)

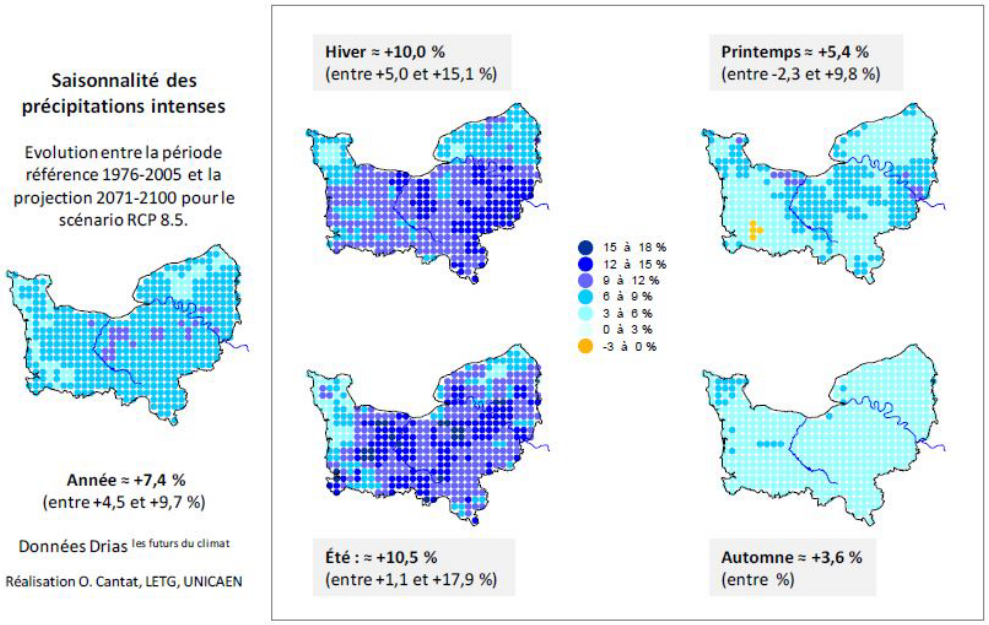


Figure 13 : Évolution saisonnière attendue des écarts à la moyenne (en %) de la part des précipitations intenses (au-dessus du 90ème centile annuel) en Normandie selon un scénario pessimiste (RCP 8.5) à l'horizon 2100 – Source : expérience Météo France CNRM 2014 : Modèle Aladin, Données Drias traitées et analysées par le GIEC Normand (Cantat et al., 2020)

Évolution des sécheresses et incidence sur l'indice bioclimatique

D'une durée actuellement comprise entre 19 à 23 jours en moyenne sur le territoire de la Métropole Rouen Normandie (22 jours en Normandie) durant la période de référence 1976-2005, les sécheresses météorologiques pourraient devenir plus fréquentes et plus longues à l'avenir (Figure 14). Cela vaut notamment pour un scénario de fortes émissions de gaz à effet de serre (RCP 8.5) où ce phénomène se prolongerait sur le territoire durant une semaine en moyenne (27 à 31 jours) à moyen-terme (2041-2070), voire presque 10 jours en moyenne (31 à 35 jours) à long-terme (2071-2100). Dans le cas d'un scénario de faibles émissions (RCP 2.6), l'augmentation de la durée des sécheresses serait plus modérée, d'environ + 4 jours (23 à 27 jours). Cette allongement des périodes sèches se retranscrirait dans toute la Normandie, et plus particulièrement dans l'intérieur des terres (Orne, Eure et Calvados, l'est de la Seine-Maritime) et aurait une incidence non négligeable sur les cultures céréalières et les pâturages (Cantat et al., 2020).

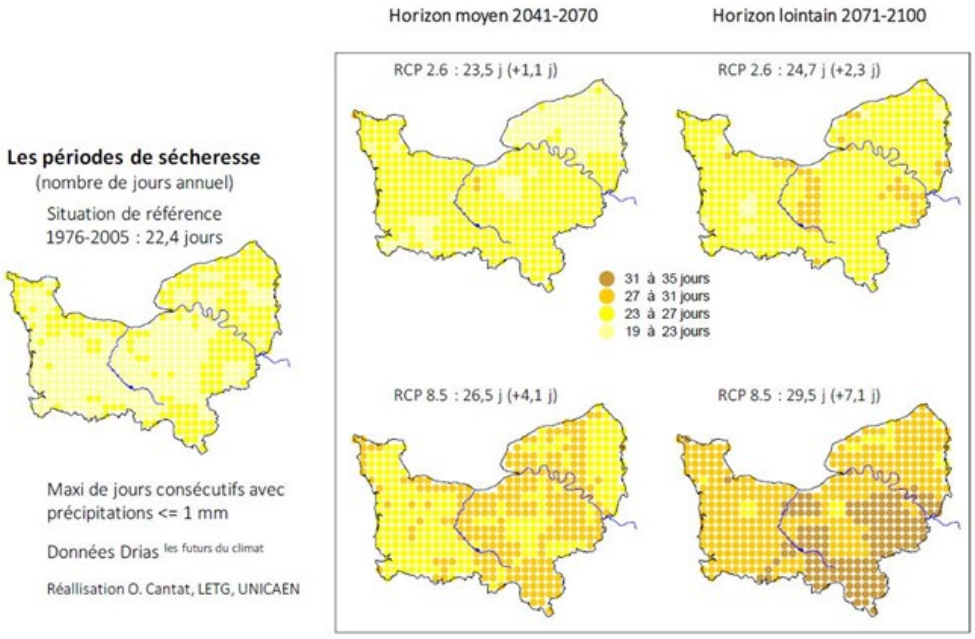


Figure 14 : Évolution attendue de la durée maximale des périodes de sécheresse en Normandie selon des scénarios climatiques d'évolution optimiste (RCP 2.6) et pessimistes (RCP 8.5) aux horizons moyen terme et lointain – Source : expérience Météo France CNRM 2014 : Modèle Aladin, données DRIAS traitées et analysées par le GIEC Normand (Cantat et al., 2020)

Le calcul d'un indice bioclimatique durant la période végétative permet d'estimer les conséquences des sécheresses atmosphériques sur les sols et les écosystèmes (Cantat et al., 2020). Sur la période de référence 1976-2005, l'indice moyen en Normandie est de 4,6, synonyme d'une ambiance subhumide. Cependant, il existe des contrastes remarquables au sein de la région avec des espaces plus humides dans le département de la Manche et le Pays de Caux (Seine-Maritime), et d'autres plus déficients dans les plaines du Calvados et de l'Eure (Figure 15).

À l'avenir, en conséquence des sécheresses plus fréquentes et plus longues, cet indice se dégraderait sensiblement pour un scénario de fortes émissions de gaz à effet de serre (RCP 8.5) où une majeure partie de la région connaîtrait une déficience en eau au printemps et en été. Cette évolution serait visible dès le milieu du siècle (-0,9) et s'accentuerait à la fin du siècle (-1,6). Inversement, les conditions humides se stabiliseraient dans la région dans un scénario de faibles émissions (RCP 2.6), aussi bien sur le moyen-terme (-0,4), qu'à long-terme (-0,2). Cette tendance se retranscrirait aussi sur le territoire de la Métropole Rouen Normandie, avec un assèchement plus marqué dans la vallée de la Seine que sur les plateaux nord du Pays de Caux.

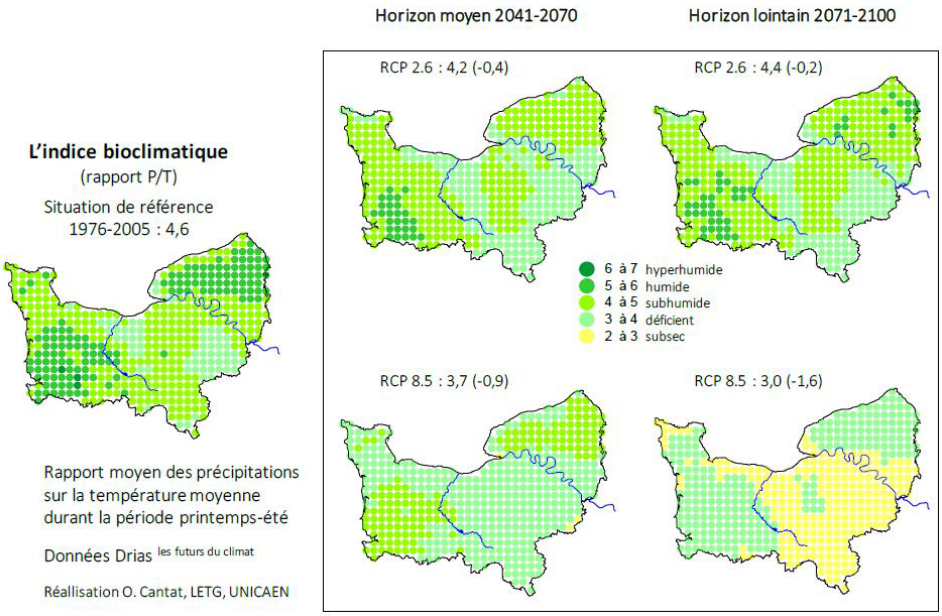


Figure 15 : Évolution attendue de l'indice bioclimatique en Normandie au printemps et en été Normandie selon des scénarios climatiques d'évolution optimiste (RCP 2.6) et pessimistes (RCP 8.5) aux horizons moyen et lointain – Source : expérience Météo France CNRM 2014 : Modèle Aladin, données DRIAS traitées et analysées par le GIEC Normand (Cantat, et al., 2020).

Évolution des vents forts et des tempêtes, et projections

Dans l'ex région Haute-Normandie, le nombre de tempêtes recensées depuis 1980 fait l'objet d'une forte variabilité interannuelle avec une tendance à la baisse mais sans lien établi avec le changement climatique (Figure 16). À Rouen, le nombre de jours avec des vents forts (rafales > 58 km/h) semble tendre à la diminution au cours de la dernière décennie (Figure 16 – Cantat et al., 2020). Concernant les tempêtes (rafales > 102 km/h), la plupart des occurrences ont été observées dans les années 1980 mais ce phénomène reste perceptible presque tous les ans. Cette tendance ne traduit pas forcément une dangerosité moindre de ce phénomène, comme en témoignent les « tempêtes du siècle » de 1999 qui ont ravagé les forêts françaises (alors que 5 jours de tempête ont été recensés cette année-là en Haute-Normandie).

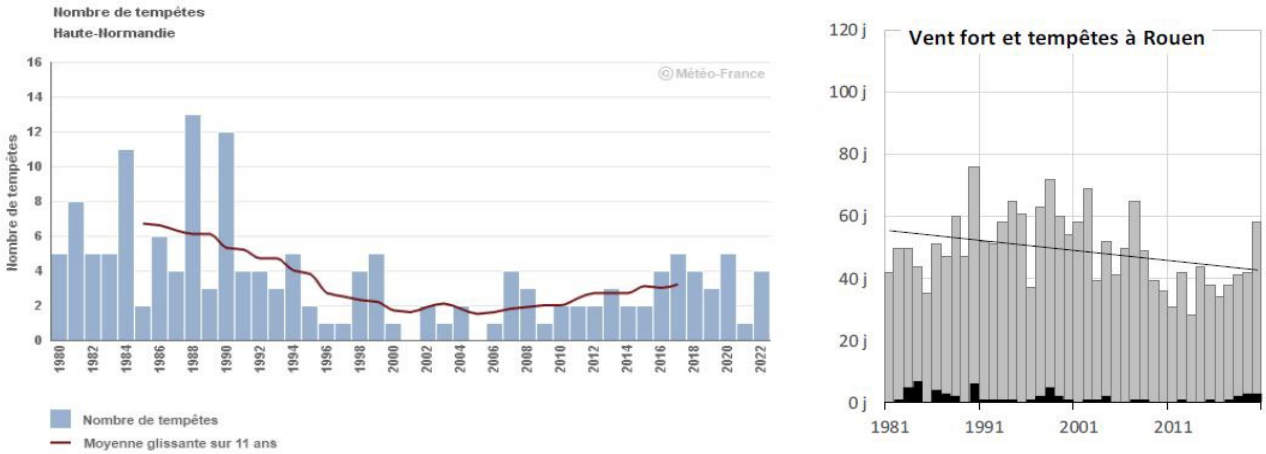


Figure 16 : À gauche, évolution du nombre de tempêtes (rafales > 100 km/h) dans l'ex région Haute-Normandie entre 1980 et 2021. À droite, évolution du nombre de jours avec des vents forts (rafales > 58 km/h, bâton gris) et de tempête (rafales > 102 km/h, bâton noir) à Rouen-Boos entre 1981 et 2020. - Source : site Climat HD de Météo-France pour le graphique de gauche, et données Météo-France traitées et analysées par le GIEC Normand (Cantat et al., 2020).

Les projections climatiques ne montrent pas d'évolution majeure concernant la fréquence de ce phénomène sur le territoire rouennais et en Normandie. Cependant, selon le GIEC (2013, 2021), l'intensité des cyclones et des tempêtes devrait augmenter dans l'Atlantique Nord. Il demeure donc difficile d'estimer une tendance en particulier sur l'évolution des phénomènes de tempête dans la Métropole Rouen Normandie.

Conclusion de cette partie et chiffres-clés à retenir pour la Métropole Rouen Normandie

Le changement climatique est donc une réalité dans l'agglomération rouennaise et en Normandie. La réduction des émissions et des concentrations de gaz à effet de serre est incontournable pour limiter les effets à court, moyen et long terme du changement climatique sur l'environnement et les sphères économiques et sociales de la société. La préservation des puits de carbone, incarnés principalement par les forêts dans la Métropole Rouen Normandie, paraît aussi essentiel pour parvenir à ces objectifs.

Les grands chiffres-clés du changement climatique à retenir pour le territoire de la Métropole Rouen Normandie sont indiqués dans le tableau ci-dessous (Tableau 5). Ils montrent qu'un scénario de fortes émissions de gaz à effet de serre (RCP 8.5) engendrerait des conséquences majeures sur les écosystèmes, la biodiversité et la santé humaine. En témoignent notamment, d'ici le milieu et la fin du siècle, l'augmentation de la température moyenne annuelle (entre +2°C et +4°C) et du nombre de jours de chaleur (en moyenne, entre 20 et 40 jours en 2050, et 60 jours en 2100). Cette tendance serait inversée pour les jours de froid dont les occurrences seraient plus rares (de 30 à 14 jours en moyenne). À propos des précipitations, il n'y aurait que peu d'évolution significative sur le cumul annuel des précipitations, mais la variabilité interannuelle déjà observée devrait se poursuivre durant tout le XXIe siècle et des contrastes seront plus marqués entre les saisons. Ceux-ci seraient particulièrement visibles notamment l'été où le cumul des précipitations serait réduit dans le scénario RCP 8.5, et pourrait engendrer des sécheresses plus longues et fréquentes (de 27 à 35 jours). À l'inverse, le cumul des précipitations pourrait augmenter en hiver. Enfin, le nombre de jours de neige pourrait diminuer (10 à 6 jours), à l'inverse du nombre d'épisodes de très fortes précipitations qui devrait augmenter (4 à 6 jours).

Toutefois, l'ampleur de ces changements et de leurs conséquences serait bien moindre dans le cas d'un scénario de faibles émissions de gaz à effet de serre (RCP 2.6), d'où la nécessité de renforcer drastiquement la baisse des émissions au cours de cette présente décennie.

Tableau 5 : Chiffres-clés des différentes projections du changement climatique dans la Métropole Rouen Normandie selon un scénario de faibles émissions de gaz à effet de serre (RCP 2.6) et de fortes émissions (RCP 8.5) par rapport à la période de référence 1976-2005. Les chiffres indiqués représentent les moyennes des projections.

	Période de référence 1976-2005 (moyenne/an)	Court-terme (2021-2050)		Moyen-terme (2041-2070)		Long-terme (2071-2100)	
		RCP 2.6	RCP 8.5	RCP 2.6	RCP 8.5	RCP 2.6	RCP 8.5
Température moyenne annuelle	10,5°C (1970-2020)	+1,1°C	+1,5°C	+1°C	+2°C	+ 1°C	+4°C
Nombre de jours de chaleur (> 25°C) par an	16 jours	Entre 15 et 30 jours	Entre 15 et 30 jours	Entre 20 et 30 jours	Entre 20 et 40 jours	Entre 20 et 30 jours	De 40 à 60 jours
Nombre de jours froid par an (< 0°C)	43 jours	De 20 à 40 jours	De 15 à 35 jours	De 20 à 40 jours	De 10 à 30 jours	32 jours	14 jours
Précipitations moyennes annuelles	823 mm/an (1970-2020)	Peu d'évolution sur le cumul annuel mais des tendances plus marquées entre les saisons hivernales et estivales. Une forte variabilité interannuelle se poursuivra durant tout le XXIe siècle (tendance similaire pour les jours avec cumul de neige et les jours de fortes précipitations).					
Nombre de jours avec cumul de neige	20 jours	-	-	15 jours	10 jours	15 jours	6 jours
Nombre de jours avec des très fortes précipitations (20 mm/j)	De 2 à 4 jours	De 2 à 4 jours	De 2 à 4 jours	De 2 à 4 jours	De 4 à 6 jours	De 2 à 4 jours	De 4 à 6 jours
Nombre de jours de sécheresse	De 19 à 23 jours	-	-	De 23 à 27 jours	De 27 à 31 jours	De 23 à 27 jours	De 27 à 35 jours
Indice bioclimatique	De 4 à 5 (subhumide)	-	-	De 3 à 4 (déficient)	De 3 à 4 (déficient)	De 4 à 5 (subhumide)	De 2 à 3 (subsec)
Nombre de jours de tempête	1,3 jour	-	-	1	1,9	1	1,4

PARTIE 2 : Effets du changement climatique sur le territoire de la Métropole Rouen Normandie

La ressource en eau et le risque inondation

À l'échelle du bassin de la Seine, les effets du changement climatique sur la ressource en eau sont multiples (Figure 17). Les projections montrent un réchauffement des cours d'eau en raison de l'augmentation de la température atmosphérique, mais aussi une diminution du débit moyen annuel de la Seine et des rivières, ou encore une élévation du niveau marin de l'ordre de +0,6 à +1,1 mètre. Ce dernier indicateur concerne le territoire de la Métropole Rouen Normandie qui, situé directement dans l'estuaire de la Seine, est soumis à la marée et à son évolution.

De plus, les études s'accordent à mettre en avant une baisse importante de la recharge des principaux aquifères de la Seine, se traduisant par un déficit moyen annuel d'environ 25 % de la recharge actuelle en 2050, et 30 % de la recharge d'ici 2100. La diminution de la recharge entraînerait aussi un rabattement des nappes (baisse sensible du niveau piézométrique), qui affecterait notamment les plateaux de la Métropole.

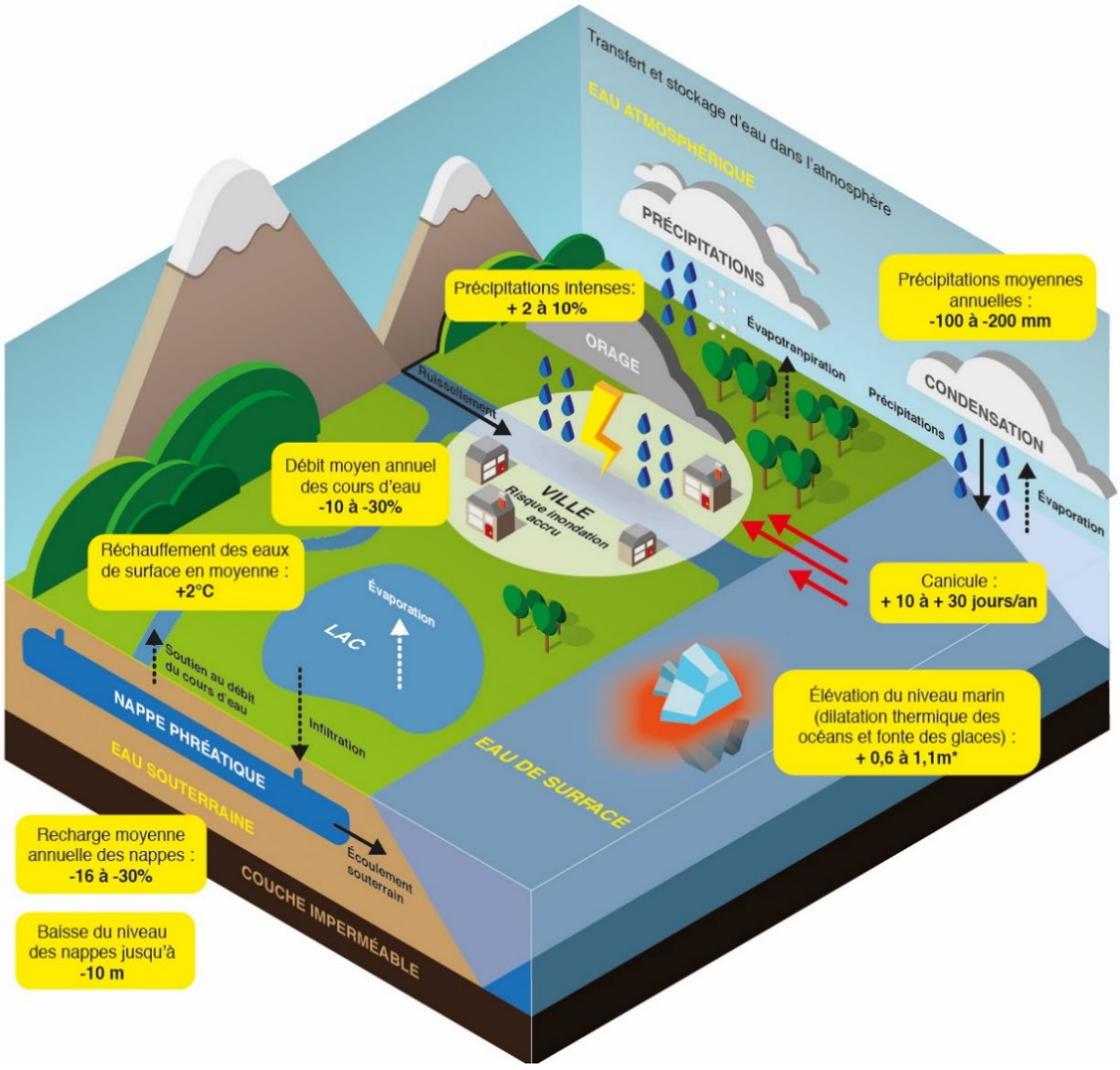


Figure 17 : Synthèse des impacts du changement climatique sur la ressource en eau dans le bassin de la Seine à l'horizon 2100 – Source : Kazmierczak, Laignel et Charrier, 2019.

Conséquences sur les volumes de la ressource en eau

Le changement climatique aurait des conséquences sur les volumes de la ressource en eau. Le GIEC de la Métropole émet l'hypothèse que si les prélèvements actuels perdurent, l'impact du changement climatique sur la ressource pourrait engendrer des périodes de restrictions plus fréquentes et sévères à long-terme (Figure 18).

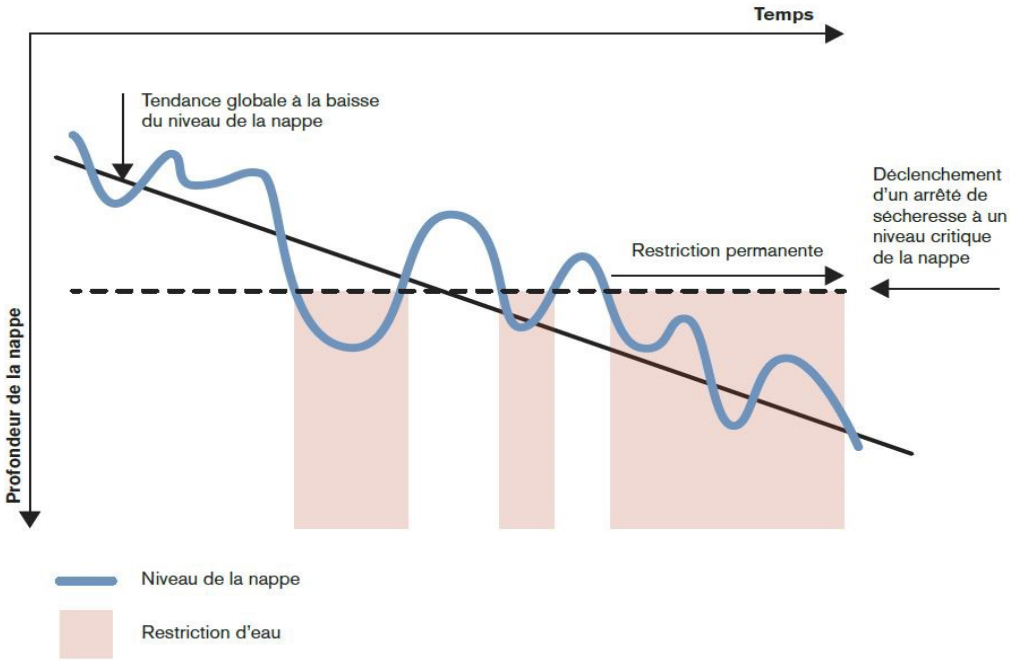


Figure 18 : Schéma illustrant les périodes de restrictions en eau (lors d'arrêtés de sécheresse) en fonction de l'évolution du niveau de la nappe phréatique – Source : Kazmierczak et al., 2019.

De possibles conflits d'usage de la ressource pourraient se produire entre les activités du territoire qui prélèvent la ressource. À l'échelle de la Métropole Rouen Normandie, ces activités sont principalement au nombre de trois (Figure 19).

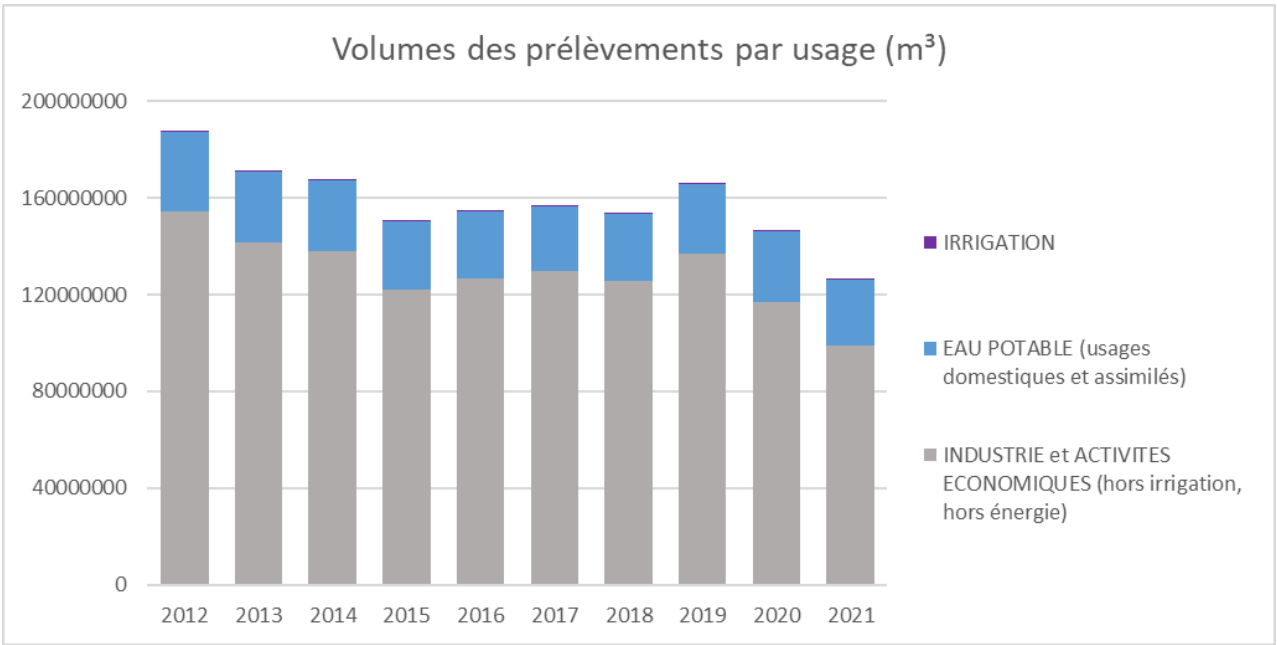


Figure 19 : Prélèvements en eau au sein de la Métropole Rouen Normandie entre 2012 et 2021 - Source : Banque Nationale des Prélèvements quantitatifs en Eau (BNPE). Traitements : Métropole Rouen Normandie, 2024.

D'abord, le secteur industriel, dont les besoins sont les plus importants avec des prélèvements qui s'élèvent chaque année à plus de 100 millions de m³ d'eau. La majorité des prélèvements sont effectués dans les cours d'eau (Seine et affluents) et une part moindre dans les nappes souterraines.

La Banque Nationale des Prélèvements quantitatifs en Eau (BNPE) fournit des informations sur les entreprises exploitant la ressource. Pour obtenir le tableau ci-dessous, les entreprises ont été classées selon les volumes prélevés en 2021 (dernier millésime disponible) et les 20 plus gourmandes ont ensuite été regroupées selon leur typologie d'activité (Tableau 6). Ces entreprises représentent 78% des prélèvements totaux réalisés en 2021. Les autres entreprises n'ont pas été prises en compte car elles comptabilisaient des volumes bien moindres.

L'eau est utilisée différemment selon les activités économiques. Selon la BNPE, l'eau prélevée pour des activités à vocation énergétique (typologie « Energie ») est utilisée notamment pour des processus de refroidissement, avant d'être restituée dans le milieu (> 90 % selon la BNPE) après traitement. Ce n'est pas forcément le cas pour les autres activités où l'eau est consommée plus ou moins dans sa totalité.

Tableau 6 : Répartition des activités économiques parmi les 20 entreprises prélevant le plus la ressource en 2021 - Source : BNPE, 2023. Traitements : Métropole Rouen Normandie, 2023.

Typologie des activités	Nombre d'entreprises considérées	Volumes prélevés en 2021 (m³)	Part du volume total prélevé en 2021
Énergie	1	70 217 440	55,7 %
Industrie pharmaceutique	2	12 551 852	10,0 %
Industrie papetière	3	5 201 279	4,1 %
Industrie pétrochimique et chimique	2	4 442 034	3,5 %
Industrie extractive	4	2 556 581	2,0 %
Industrie agro-alimentaire	4	1 280 269	1,0 %
Industrie automobile	1	975 073	0,8 %
Industrie électronique	1	734 071	0,6 %
STEP	1	174 140	0,1 %
Location-Bail	1	121 451	0,1 %
Total	20	98 254 190	78 %

Viennent ensuite les prélèvements pour les usages domestiques et assimilés comprenant notamment l'alimentation en eau potable et les activités raccordées au réseau, dont les besoins s'élèvent en moyenne à un peu plus de 33 millions de m³ d'eau. Ces prélèvements proviennent exclusivement des nappes souterraines. La tendance dans l'évolution de ces besoins est à la stagnation, voire à la diminution. Plusieurs raisons permettent de l'expliquer telles que l'évolution des comportements vis-à-vis de l'économie d'eau et la diminution des pertes au sein des réseaux. L'eau prélevée pour les usages domestiques et assimilés est ensuite traitée après usage par 21 stations d'épuration et 2 lagunes à l'échelle de la Métropole. L'eau traitée est alors rejetée dans le milieu naturel (4 rejets se font par infiltration et le reste dans les cours d'eau : 16 rejets en Seine, 2 au niveau de l'Austreberthe et 1 dans l'Aubette). En 2016, 37,9 millions de m³ d'eaux usées ont été traités et rejetés par les stations d'épuration avec une pluviométrie moyenne cumulée de 763 mm (moyenne de 12 pluviomètres répartis sur la Métropole). En incluant les réseaux d'eau pluviale, on dénombre au total 214 points de rejets dont 126 en Seine.

Enfin, les prélèvements agricoles (irrigation) sont marginaux (< 50 000 m³ en moyenne) et sont effectués exclusivement dans les eaux souterraines. À l'inverse des prélèvements à vocation énergétique, une très faible part des prélèvements est restituée dans le milieu selon la BNPE. Plusieurs raisons permettraient d'expliquer des volumes aussi bas. D'une part, les activités agricoles dans la Métropole seraient peu exigeantes en irrigation notamment en raison du climat normand qui assurerait des précipitations suffisantes pour les cultures. D'autre part, il peut exister des incertitudes quant aux données mobilisées car des

prélèvements réalisés en-dessous de 7 000 m³ (en zone de répartition des eaux – ZRE) ou 10 000 m³ (hors ZRE) ne font pas l'objet de redevances envers l'Agence de l'Eau Seine Normandie, qui contribue avec la DREAL et la DDTM de Seine-Maritime à la collecte des données de prélèvements.[2] Autrement dit, certains prélèvements trop faibles ne seraient pas comptabilisés par la BNPE. Néanmoins, même si tous les volumes étaient comptabilisés, il serait très peu probable qu'ils atteignent des niveaux aussi élevés que ceux des deux précédents usages susmentionnés.

Conséquences sur la qualité de l'eau

La qualité des eaux distribuées pour l'alimentation en eau potable de la population est actuellement conforme aux normes en vigueur, mais plusieurs polluants (nitrates, pesticides, solvants chlorés, chlorates, etc.) ont déjà été détectés dans les eaux brutes de certains captages. Le changement climatique aura des conséquences sur la qualité de la ressource à travers l'augmentation des précipitations extrêmes et en influençant directement la température des cours d'eau et les débits, ces paramètres ayant ensuite une incidence sur le bon état écologique et chimique des masses d'eau.

Les épisodes de fortes précipitations pourraient favoriser les ruissellements et l'érosion, et engendrer une plus grande turbidité dans les eaux de surface et les eaux souterraines du fait de l'accumulation de matières en suspension et de polluants dans l'eau. De plus, à l'échelle du bassin de la Seine, le réchauffement des eaux de surface favoriserait la biologie des masses d'eau avec un fort développement du phytoplancton, du zooplancton et de l'activité bactérienne (Ducharne et al., 2004 ; Ducharne et al., 2009 ; Laignel et al., 2010 ; Ducharne et Perrin, 2013). Combiné à la baisse des débits en été et les périodes d'étiages, le réchauffement des eaux pourrait aussi amplifier les phénomènes d'eutrophisation et engendrer des problèmes d'oxygénation pour la vie aquatique, ainsi qu'une moindre dilution des polluants (pesticides, hormones, solvants, etc.) transportés par les cours d'eau issus des rejets urbains, industriels et agricoles, ou encore entrainer une pollution en nitrates plus importante dans les milieux. Les nappes phréatiques de l'estuaire seraient les plus exposées avec une augmentation de la concentration en nitrates de + 20 mg/L à l'horizon 2100. Tandis que cette augmentation serait moindre dans les cours d'eau (+ 10 mg/L) (Laignel et al., 2010). En revanche, des pratiques agricoles plus respectueuses de l'environnement auraient un impact opposé du même ordre. De manière générale, il est probable que ces phénomènes entrainent un traitement plus lourd et plus coûteux des eaux brutes puisées dans les nappes phréatiques, où l'eau potable à destination de la population est puisée.

Par ailleurs, la vie aquatique pourrait être bouleversée par ces changements. Le réchauffement de l'eau pourrait profiter à certaines espèces piscicoles appréciant les eaux plus chaudes, mais au détriment d'autres (comme le chabot par exemple) qui verraient leurs effectifs régresser du fait de l'absence de refuges en amont (Ducharne et Perrin, 2013).

L'activité des stations d'épuration (STEP) serait aussi plus fréquemment perturbée par l'évolution des paramètres climatiques et leurs incidences sur l'estuaire. D'une part, les traitements et les rejets étant calibrés en fonction des débits de la Seine, une baisse des débits peut influencer la gestion des rejets d'eaux traitées dans les milieux. D'autre part, en ruissellant, les précipitations extrêmes peuvent entrainer des débordements des réseaux d'assainissement et le rejet d'eaux usées dans les cours d'eau. De même, les inondations peuvent entrainer des défaillances dans le traitement des eaux usées et leur rejet direct dans les milieux. Ces conséquences valent également pour le réseau d'eau potable. Enfin, l'afflux massif de déchets qui se retrouvent emportés par les flots génère également des pollutions des milieux et de la ressource.

Le changement climatique pourrait alors représenter une contrainte supplémentaire pour le rétablissement du bon état des masses d'eau, et pour l'amélioration de la qualité de l'eau en général. Les conséquences sur l'alimentation en eau potable de la population et le traitement et le rejet des eaux usées seront également non négligeables.

[2] Pour plus d'informations sur les données de la BNPE, consulter le site : https://bnpe.eaufrance.fr/

Crues et risques d'inondation

Le territoire est actuellement exposé à trois grands types de risque d'inondation (Figure 20) :

- Le risque inondation par débordement de cours d'eau (de la Seine et de ses affluents),
- Le risque inondation par ruissellement principalement localisé sur les zones de plateaux et dans les talwegs secs sur les coteaux,
- Le risque inondation par remontée de nappes (non représenté sur la carte ci-dessous) situé en fond de vallée.

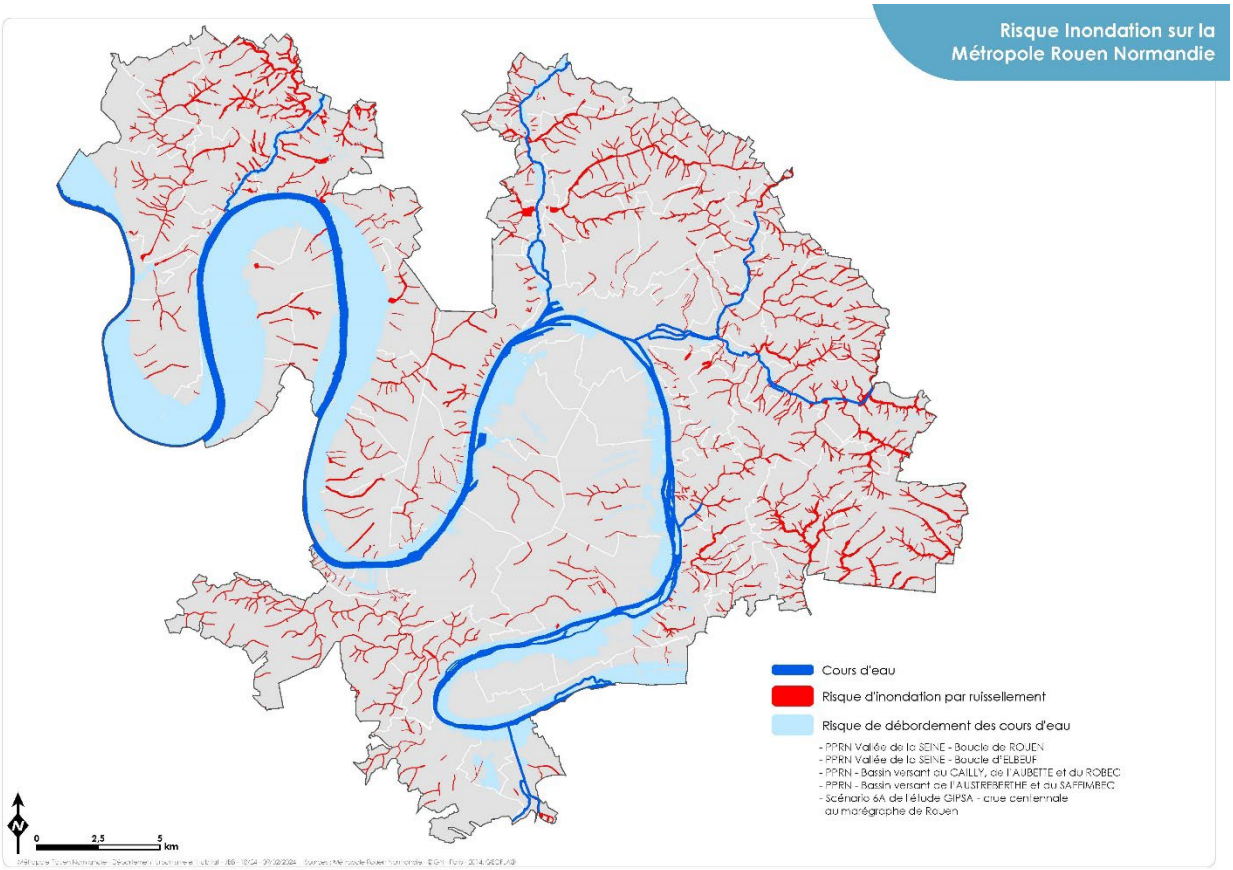


Figure 20 : Les risques d'inondation sur le territoire de la Métropole Rouen Normandie – Source : Métropole Rouen Normandie, PPRN Vallée de la Seine (boucle de Rouen et d'Elbeuf), PPRI du Cailly, de l'Aubette et du Robec, PPRN Bassin versant de l'Austreberthe et du Saffimbec, Scénario 6A de l'étude GIPSA (crue centennale au marégraphe de Rouen)

Épisodes d'inondation passées sur le territoire du PAPI Rouen-Louviers-Austreberthe © Maitres d'ouvrage du PAPI RLA

En plus de l'évolution de l'occupation des sols (urbanisation, changement des pratiques agricoles, etc.) qui est l'un des facteurs favorisant le risque inondation, la vulnérabilité du territoire de la Métropole pourrait s'accroître sous l'effet de l'augmentation des épisodes de précipitations extrêmes et de l'élévation du niveau marin. Il en résulterait une extension des zones inondables, exposant une part plus importante de la population, des emplois, des activités économiques dont les industries SEVESO situées en bordure de Seine, ou encore des équipements publics. L'impact sur les réseaux (énergie, eau, assainissement, transport, télécommunication) pourrait avoir un impact dépassant largement les secteurs inondés, aggravant la crise et retardant le retour à une situation normale.

Exposition du territoire aux inondations

Une analyse de la vulnérabilité du territoire a été effectuée par la Direction du Grand Cycle de l'Eau de la Métropole Rouen Normandie dans le cadre du diagnostic du Programme d'actions et de prévention des inondations Rouen Louviers Austreberthe (PAPI RLA). Cette analyse s'appuie sur 4 scénarios :

- L'aléa débordement de cours d'eau pour une crue centennale (scénario 1 – Tableau 7) ;
- L'aléa ruissellement pour une pluie centennale (scénario 2 – Tableau 8)
- L'aléa débordement de cours d'eau pour une crue centennale avec anticipation du changement climatique (scénario 3 – Tableau 9) ;
- L'aléa débordement de cours d'eau pour une crue trentennale (scénario 4 – Tableau 10).

Tableau 7 : Scénario n°1 – Vulnérabilité du territoire pour l'aléa débordement de cours d'eau pour une crue centennale

		Territoire MRN (71 communes)		
Axe 1. ENJEUX « Santé humaine / population »				
Sources de vulnérabilité	*Indicateurs proposés associés*	**TOTAL**	**Total en ZI**	
Population exposée	*Nombre et proportion de la population*	463 308	17646	4%
Bâtiments d'habitation exposés	*Bâtiments de plain-pied*	307116	19462	6%
	Logements	264436	9065	3%
	Habitats légers de loisirs	5	0	0%
Population / établissements publics dits sensibles	*Etablissements « sensibles » pouvant présenter des difficultés d'évacuation : établissement de santé, maisons de retraite…*	778	41	5%
	Bâtiments, sites utiles à la gestion de crise : casernes, gendarmerie, postes de police, préfectures…	39	2	5%
	Bâtiments, sites importants pour la vie quotidienne : établissements publics	198	16	8%
	Bâtiments, sites importants pour la vie quotidienne : établissements scolaires	355	6	2%
	Bâtiments, sites importants pour la vie quotidienne : établissements de loisirs	180	14	8%
	Bâtiments, sites importants pour la vie quotidienne : établissements sportifs	325	32	10%
Sur-aléa généré par ouvrage de protection	*Localisation des ouvrages en présence*	1096	272	25%
Axe 2. ENJEUX « Patrimoines culturel et naturel »				
Sources de vulnérabilité	*Indicateurs proposés associés*	**TOTAL**	**Total en ZI**	
Dommages à l'environnement charriage de pollutions et déchets / sur-aléa technologique	*Installations susceptibles de déverser des produits polluants : ICPE*	595	113	19%
	Installations susceptibles de déverser des produits polluants : stations-services	56	4	7%
	Installations susceptibles de déverser des produits polluants : zones de stockage des déchets et déchetteries	31	10	32%
Dommages au patrimoine culturel	*Patrimoine culturel*	32	3	9%
	Bâtiments remarquables	592	24	4%
Axe 3. ENJEUX « économiques et réseaux »				
Sources de vulnérabilité	*Indicateurs proposés associés*	**TOTAL**	**Total en ZI**	
Impacts sur les activités économiques	*Bâtiments d'activités (industrielles, commerciales, …)*	3474	278	8%
	Matériels agricoles/bâtiments d'exploitation agricole	2095	520	25%
Dysfonctionnement d'infrastructures et de réseaux	*Linéaire de routes (en km)*	1420	171	12%
	Arrêts de bus	2409	261	11%
	Linéaire de voies ferrées (en km)	408	66	16%
	Gares	16	2	13%
	Réseaux urbains impactés : électricité	3775	359	10%
	Réseaux urbains impactés : eau potable	219	43	20%
	Réseaux urbains impactés : assainissement	399	90	23%

Tableau 8 : Scénario n°2 – Vulnérabilité du territoire pour l'aléa ruissellement pour un évènement d'occurrence centennale

		Territoire MRN (71 communes)		
Axe 1. ENJEUX « Santé humaine / population »				
Sources de vulnérabilité	*Indicateurs proposés associés*	**TOTAL**	**Total en ZI**	
Population exposée	*Nombre et proportion de la population*	463308	9355	2%
Bâtiments d'habitation exposés	*Bâtiments de plain-pied*	307116	4168	1%
	Logements	264436	2797	1%
	Habitats légers de loisirs (camping)	5	0	0%
Population / établissements publics dits sensibles	*Etablissements « sensibles » pouvant présenter des difficultés d'évacuation : établissement de santé, maisons de retraite…*	778	16	2%
	Bâtiments, sites utiles à la gestion de crise : casernes, gendarmerie, postes de police, préfectures…	39	2	5%
	Bâtiments, sites importants pour la vie quotidienne : établissements publics	198	3	2%
	Bâtiments, sites importants pour la vie quotidienne : établissements scolaires	355	3	1%
	Bâtiments, sites importants pour la vie quotidienne : établissements de loisirs	180	0	0%
	Bâtiments, sites importants pour la vie quotidienne : établissements sportifs	325	2	1%
Sur-aléa généré par ouvrage de protection	*Localisation des ouvrages en présence*	1096	72	7%
Axe 2. ENJEUX « Patrimoines culturel et naturel »				
Sources de vulnérabilité	*Indicateurs proposés associés*	**TOTAL**	**Total en ZI**	
Dommages à l'environnement	*Installations susceptibles de déverser des produits polluants : ICPE*	595	1	0%
	Installations susceptibles de déverser des produits polluants : stations-services	56	2	4%
	Installations susceptibles de déverser des produits polluants : zones de stockage des déchets et déchetteries	31	3	10%
Dommages au patrimoine culturel	*Patrimoine culturel*	32	1	3%
	Bâtiments remarquables en zone inondable	592	3	1%
Axe 3. ENJEUX « économiques et réseaux »				
Sources de vulnérabilité	*Indicateurs proposés associés*	**TOTAL**	**Total en ZI**	
Impacts sur les activités économiques (industrielles, commerciales, agricoles, portuaires)	*Bâtiments d'activités en zone inondable*	3474	6	0%
	Matériels agricoles/bâtiments d'exploitation agricole en zone inondable	2095	63	3%
Dysfonctionnement d'infrastructures et de réseaux	*Linéaire de routes en zone inondable (en km)*	1420	224	16%
	Arrêts de bus	2409	147	6%
	Linéaire de voies ferrées (en km)	408	4	1%
	Gares en zone inondable	16	1	6%
	Réseaux urbains impactés : électricité	3775	146	4%
	Réseaux urbains impactés : eau potable	219	9	4%
	Réseaux urbains impactés : assainissement	399	41	10%

Tableau 9 : Scénario n°3 – Vulnérabilité du territoire pour l'aléa crue centennale avec anticipation du changement climatique sur l'axe Seine

			Scénario n°1 : Crue centennale		Scénario n°3 : Crue centennale avec CC		
Axe 1. ENJEUX « Santé humaine / population »							
Sources de vulnérabilité	*Indicateurs proposés associés*	**TOTAL AXE SEINE**	**Total en ZI**		**Total en ZI**		**Evolution**
Population exposée	*Nombre et proportion de la population*	281 438	11 287	4%	21 944	8%	**49%**
Bâtiments d'habitation exposés	*Bâtiments de plain-pied*	217 014	16031	7%	24560	11%	**35%**
	Logements	165 579	6431	4%	13946	8%	**54%**
	Habitats légers de loisirs	4	0	0%	0	0%	
Population / établissements publics dits sensibles	*Etablissements « sensibles » pouvant présenter des difficultés d'évacuation : établissement de santé, maisons de retraite…*	408	11	3%	39	10%	**72%**
	Bâtiments, sites utiles à la gestion de crise : casernes, gendarmerie, postes de police, préfectures…	23	1	4%	1	4%	**0%**
	Bâtiments, sites importants pour la vie quotidienne : établissements publics	118	6	5%	16	14%	**63%**
	Bâtiments, sites importants pour la vie quotidienne : établissements scolaires	213	3	1%	17	8%	**82%**
	Bâtiments, sites importants pour la vie quotidienne : établissements de loisirs	102	11	11%	17	17%	**35%**
	Bâtiments, sites importants pour la vie quotidienne : établissements sportifs	193	22	11%	33	17%	**33%**
Sur-aléa généré par ouvrage de protection	*Localisation des ouvrages en présence*	679	182	27%	214	32%	**15%**
Axe 2. ENJEUX « Patrimoines culturel et naturel »							
Sources de vulnérabilité	*Indicateurs proposés associés*	**TOTAL AXE SEINE**	**Total en ZI**		**Total en ZI**		**Evolution**
Dommages à l'environnement charriage de pollutions et déchets / sur-aléa	*Installations susceptibles de déverser des produits polluants : ICPE*	445	90	20%	158	36%	**43%**
	Installations susceptibles de déverser des produits polluants : stations-services	33	2	6%	3	9%	**33%**
	Installations susceptibles de déverser des produits polluants : zones de stockage des déchets et déchetteries	27	9	33%	14	52%	**36%**
Dommages au patrimoine culturel	*Patrimoine culturel*	8	1	13%	3	38%	**67%**
	Bâtiments remarquables	264	24	9%	36	14%	**33%**
Axe 3. ENJEUX « économiques et réseaux »							
Sources de vulnérabilité	*Indicateurs proposés associés*	**TOTAL AXE SEINE**	**Total en ZI**		**Total en ZI**		**Evolution**
Impacts sur les activités économiques	*Bâtiments d'activités (industrielles, commerciales, …)*	2001	208	10%	613	31%	**66%**
	Matériels agricoles/bâtiments d'exploitation agricole	1596	503	32%	556	35%	**10%**
Dysfonctionnement d'infrastructures et de réseaux	*Linéaire de routes (en km)*	1720	97	6%	172	10%	**44%**
	Arrêts de bus	1484	219	15%	284	19%	**23%**
	Linéaire de voies ferrées (en km)	348	56	16%	132	38%	**58%**
	Gares	11	1	9%	1	9%	**0%**
	Réseaux urbains impactés : électricité	2403	287	12%	493	21%	**42%**
	Réseaux urbains impactés : eau potable	145	34	23%	43	30%	**21%**
	Réseaux urbains impactés : assainissement	274	76	28%	108	39%	**30%**

Tableau 10 : Scénario n°4 – Vulnérabilité du territoire pour l'aléa crue trentennale sur le territoire « Axe Seine »

			Territoire axe Seine "enveloppe de crue 30 ans"		Territoire axe Seine "enveloppe de crue 100 ans"		
Axe 1. ENJEUX « Santé humaine / population »							
Sources de vulnérabilité	*Indicateurs proposés associés*	**TOTAL**	**Total en ZI**		**Total en ZI**		**Evolution**
Population exposée	*Nombre et proportion de la population*	281438	7 764	3%	11 287	4%	**31%**
Bâtiments d'habitation exposés	*Bâtiments de plain-pied*	217014	10 378	5%	16 031	7%	**35%**
	Logements	165579	3 710	2%	6 431	4%	**42%**
	Habitats légers de loisirs	4	0	0%	0	0%	**-**
Population / établissements publics dits sensibles	*Etablissements « sensibles » pouvant présenter des difficultés d'évacuation : établissement de santé, maisons de retraite…*	408	8	2%	11	3%	**27%**
	Bâtiments, sites utiles à la gestion de crise : casernes, gendarmerie, postes de police, préfectures…	23	0	0%	1	4%	**100%**
	Bâtiments, sites importants pour la vie quotidienne : établissements publics	118	4	3%	6	5%	**33%**
	Bâtiments, sites importants pour la vie quotidienne : établissements scolaires	213	2	1%	3	1%	**33%**
	Bâtiments, sites importants pour la vie quotidienne : établissements de loisirs	102	10	10%	11	11%	**9%**
	Bâtiments, sites importants pour la vie quotidienne : établissements sportifs	193	16	8%	22	11%	**27%**
Axe 2. ENJEUX « Patrimoines culturel et naturel »							
Sources de vulnérabilité	*Indicateurs proposés associés*	**TOTAL**	**Total en ZI**		**Total en ZI**		**Evolution**
Dommages à l'environnement charriage de pollutions et déchets / sur-aléa technologique	*Installations susceptibles de déverser des produits polluants : ICPE*	445	52	12%	90	20%	**42%**
	Installations susceptibles de déverser des produits polluants : stations-services	33	2	6%	2	6%	**0%**
	Installations susceptibles de déverser des produits polluants : zones de stockage des déchets et déchetteries	27	2	7%	9	33%	**78%**
Dommages au patrimoine culturel	*Patrimoine culturel*	8	1	13%	1	13%	**0%**
	Bâtiments remarquables	264	16	6%	24	9%	**33%**
Axe 3. ENJEUX « économiques et réseaux »							
Sources de vulnérabilité	*Indicateurs proposés associés*	**TOTAL**	**Total en ZI**		**Total en ZI**		**Evolution**
Impacts sur les activités économiques	*Bâtiments d'activités (industrielles, commerciales, …)*	2001	96	5%	208	10%	**54%**
	Matériels agricoles/bâtiments d'exploitation agricole	1596	367	23%	503	32%	**27%**
Dysfonctionnement d'infrastructures et de réseaux	*Linéaire de routes (en km)*	1720	79	5%	97	6%	**19%**
	Arrêts de bus	1484	136	9%	219	15%	**38%**
	Linéaire de voies ferrées (en km)	348	45	13%	56	16%	**20%**
	Gares	11	0	0%	1	9%	**100%**
	Réseaux urbains impactés : électricité	2403	184	8%	287	12%	**36%**
	Réseaux urbains impactés : eau potable	145	19	13%	34	23%	**44%**
	Réseaux urbains impactés : assainissement	274	51	19%	76	28%	**33%**

À partir de ces scénarios et des données de l'INSEE, il est estimé qu'environ 5% de la population du PAPI RLA se situe au sein de l'enveloppe de la crue centennale (soit environ 35 120 personnes dont 17 646 habitants de la Métropole), et 3% de la population du PAPI RLA (soit environ 18 180 habitants dont 9 355 habitants de la Métropole) se situe au sein de l'enveloppe de vulnérabilité de l'aléa ruissellement pour un évènement d'occurrence centennale.

Ces scénarios montrent également la vulnérabilité des bâtiments « sensibles » en zone inondable pouvant présenter des difficultés d'évacuation (établissements de santé, les maisons de retraite, etc.), ainsi que les vulnérabilités des équipements de gestion de crise (casernes de pompiers, gendarmeries, postes de police, préfecture), des établissements recevant du public (mairies, bureaux de poste, etc.), des établissements scolaires, de loisirs et sportifs, des bâtiments patrimoniaux, ou encore des établissements professionnels (entreprises, ICPE, exploitations agricoles, etc.), des infrastructures et des réseaux énergétiques, de mobilité (gares, routes, voies ferrées), de gestion de l'eau et de l'assainissement.

Conséquences sur le réseau d'eau potable, les installations de traitement des eaux usées et les installations de gestion des déchets

Les inondations ont une incidence sur les installations qui structurent le réseau d'eau potable (usine de production/traitement, réservoir d'eau ou château d'eau, station de pompage, station de surpression) dont certaines seraient directement situées en zone inondable lors d'épisodes de débordement de cours d'eau et de ruissellement d'occurrence centennale (scénario 1 et 2 – Tableaux 7 et 8). D'autres installations peuvent aussi être indirectement affectées à cause d'une coupure électrique (Figure 21).

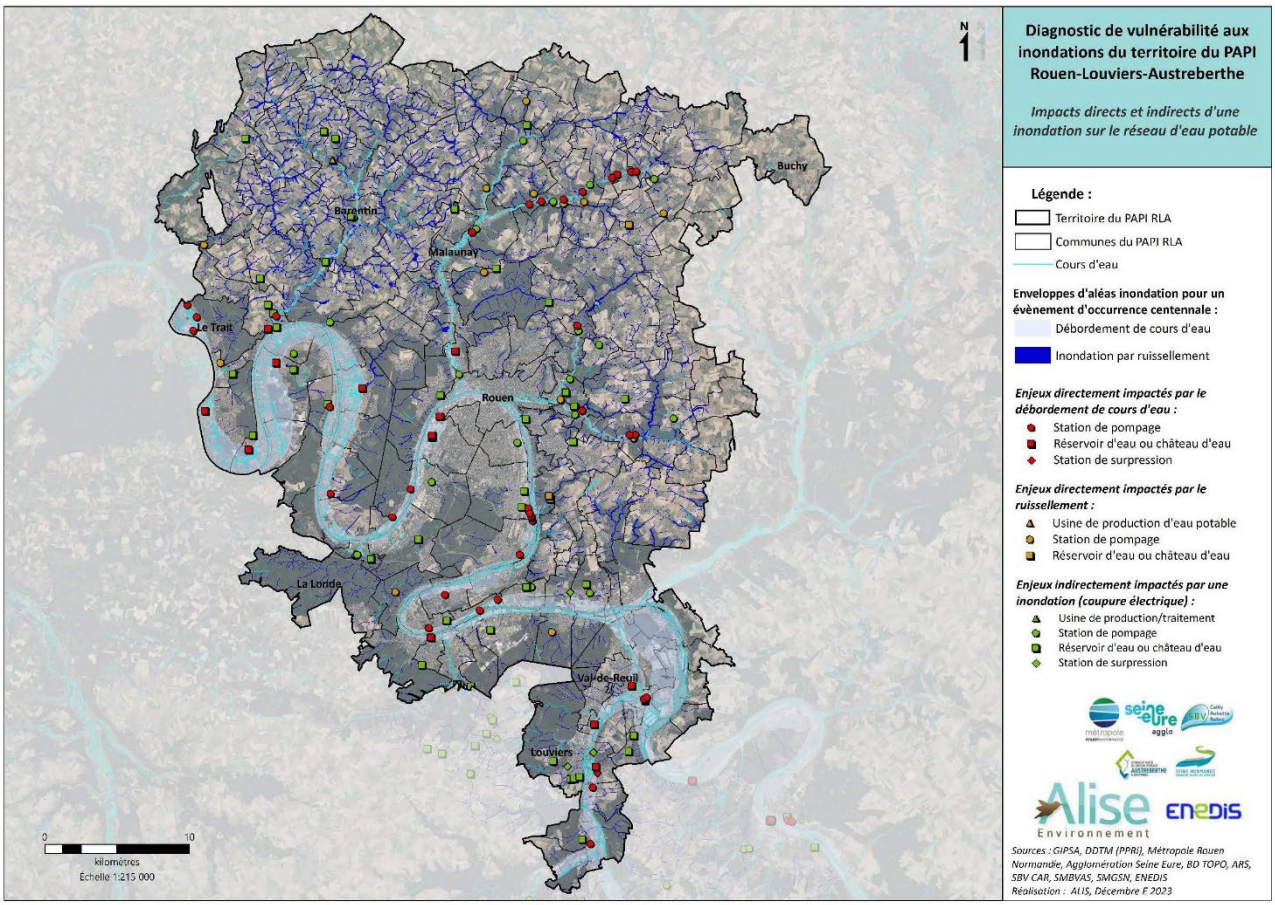


Figure 21 : Installations structurant le réseau d'eau potable exposées au risque d'inondation – Source : ALISE Environnement, 2023, pour le diagnostic du PAPI RLA.

De plus, comme évoqué précédemment, les inondations causées par les débordements de la Seine peuvent aussi perturber les rejets des installations de traitement des eaux usées et des stations d'épuration, voire même menacer certaines installations qui sont situées en zone inondable (Figure 22). Lorsque ce phénomène survient, le rejet direct d'eaux non traitées dans le milieu peut se produire. La quantification de ces eaux non traitées peut éventuellement être estimée de façon très grossière grâce à la connaissance des capacités des différentes installations. Mais la difficulté demeure dans le fait que d'un côté les réseaux d'assainissement seront très probablement submergés et déborderont directement sur le territoire inondé, et que d'un autre côté des by-pass des stations d'épuration seront mis en service. Cela rend très compliqué une tentative de quantification de rejet.

Entre 10 et 20 STEP sur le périmètre du PAPI Rouen-Louviers-Austreberthe, soit entre 690 000 équivalent habitants (EH) à 865 000 EH, sont exposées aux débordements de la Seine (fréquent, moyen ou rare[3]). Pour les autres scénarios de débordement des affluents de la Seine (Eure, Austreberthe, Cailly, Aubette, Robec), il s'agit d'1 ou 2 STEP concernées pour chaque scénario (entre 86 600 et 123 000 EH respectivement pour des débordements moyen et rare de l'Eure, 45 200 EH pour des débordements de l'Austreberthe, et 11 300 EH pour Cailly, Aubette, Robec). Le ruissellement peut potentiellement concerner une dizaine de STEP mais pas au cours d'un même évènement, généralement localisé (environ 11 600 EH).

[3] La fréquence des débordements décrite ici correspond aux trois scénarios d'évènements utilisés pour réaliser les cartes des surfaces inondables du Territoire à Risques Importants d'Inondation (TRI) Rouen Louviers Austreberthe. Le débordement fréquent correspond à un évènement avec une période de retour entre 10 et 30 ans, un débordement moyen désigne un évènement avec une période de retour d'au moins 100 ans, et un débordement rare désigne un évènement avec une période de retour d'au moins 1 000 ans.

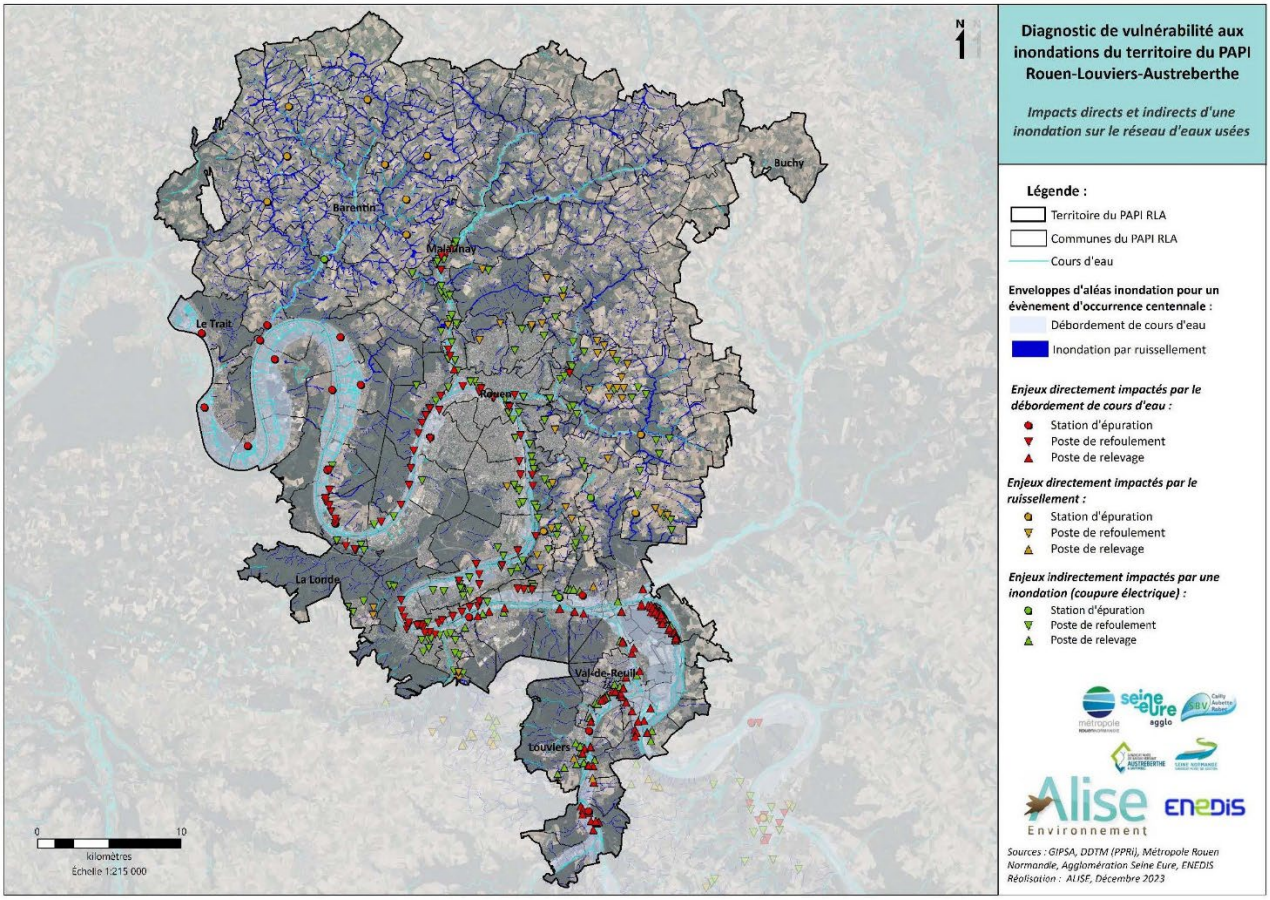


Figure 22 : Installations de traitement des eaux usées exposées au risque d'inondation – Source : ALISE Environnement, 2023, pour le diagnostic du PAPI RLA.

Les inondations entrainent généralement une production de déchets de différentes natures qui contribue à la pollution des milieux : déchets d'ameublement, déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE), déchets dangereux, déchets d'activités de soin, déchets en mélange, véhicules hors d'usage (VUH), déchets du bâtiment. Les quantités sont variables selon les types ; mais il semble que ces quantités sont à même d'encombrer les filières sur des temps longs pour toutes les filières de traitement. Des pollutions (ICPE, STEP) peuvent être aussi potentiellement émises durant les inondations, y compris pour des scénarios fréquents, surtout pour ceux de la Seine mais la problématique concerne tous les cours d'eau. Par ailleurs, la Seine elle-même transporte des déchets : ceux présents sur ses berges qui sont mobilisés par les crues et ceux qui viennent de l'amont ; notamment des plastiques qu'il parait nécessaire de retenir avant qu'ils n'atteignent l'océan.

Le tableau 11 présente les quantités estimées de déchets des ménages, par type, en fonction des aléas sur le territoire de la Métropole.

Tableau 11 : Quantités estimées de déchets produits par les ménages inondés dans la Métropole Rouen Normandie – Source : Étude des risques de pollutions menée par ARTELIA en 2023 dans le cadre de l'étude 1.6 du PAPI RLA.

	Déchets ameublement (T)	DEEE (T)	Déchets dangereux (T)	Déchets de soin (T)	Déchets en mélange (T)	Déchets Véhicule hors d'usage (T)	Déchets Bâtiment - Inertes (T)	Déchets Bâtiment - DIB (T)	Bâtiment - Dangereux (T)	Déchets Bâtiment - DEEE (T)	*TOTAL déchets hors Bâtiment (T)*	*TOTAL Déchets Bâtiment (T)*	TOTAL Déchets (T)
Métropole Rouen Normandie													
Débordement Seine fréquent	3 211,3	685,5	47,3	6,9	6 663,9	4 287,1	1 403,6	5 991,5	474,9	42,3	*14 902*	*7 912*	22 814
Débordement Seine moyen	5 460,2	1 165,6	80,4	13,1	11 330,5	7 289,3	2 489,9	10 537,8	969,4	104,7	*25 339*	*14 102*	39 441
Débordement Seine rare	14 499,6	3 095,2	213,6	46,0	30 088,5	19 356,8	8 219,5	35 115,9	3 333,8	552,0	*67 300*	*47 221*	114 521
Débordement Cailly Aubette Robec	2 000,8	427,1	29,5	3,9	4 151,9	2 671,0	11,8	974,0	177,5	16,8	*9 284*	*1 180*	10 464
Débordement Austreberthe	223,5	47,7	3,3	0,5	463,7	298,3	3,0	192,6	30,6	4,5	*1 037*	*231*	1 268
Ruissellement	1 926,0	411,1	28,4	3,7	3 996,6	2 571,1	-	755,5	99,3	12,3	*8 937*	*867*	9 804

Les débordements de la Seine pourraient y générer environ 23 000 tonnes de déchets par les ménages pour une crue fréquente, plus de 40 000 tonnes pour une crue moyenne et jusqu'à 115 000 tonnes pour une crue rare. D'autre part, les débordements du Cailly, de l'Aubette et du Robec sont susceptibles de générer près de 12 000 tonnes de déchets de la part des ménages sur le territoire du PAPI RLA, dont 10 500 tonnes à l'échelle du territoire de la Métropole. Puis, les inondations liées aux crues de l'Austreberthe sur le territoire de la Métropole produisent potentiellement 1 300 tonnes de déchets. Enfin, le cumul des épisodes de ruissellement peut générer environ 10 000 tonnes de déchets par an sur le territoire.

Concernant les activités économiques, il n'existe pas de méthode d'estimation des déchets des activités mais des ordres de grandeur ont été étudiés dans le cadre du PAPI. En considérant l'hypothèse qu'une crue de Seine rare (évènement d'occurrence millénale) génèrerait potentiellement 3 ans de production de déchets, et que les activités, les ménages, et les voieries et les espaces verts ou naturels contribuent respectivement au 1/3 du total des déchets produits, alors les déchets des entreprises pourraient représenter 200 000 tonnes de déchets, soient 20-25 tonnes par entreprise. Ce calcul reste très approximatif car toutes les entreprises ne sont pas susceptibles de produire la même quantité de déchets en fonction de l'activité, de la taille et de la hauteur d'eau.

Par ailleurs, les déchets post-inondation sont souvent peu valorisés car mal triés et rapidement dirigés vers l'enfouissement. Or cette filière est déjà trop utilisée (34% au-dessus des objectifs pour la région Normandie), et la gestion non anticipée des déchets d'inondation mettrait en difficulté cette filière qui se doit d'accueillir les déchets pour lesquels il n'y a pas de meilleure alternative, ce qui n'est pas forcément le cas des déchets post-inondation.

Concernant la gestion des déchets, les installations principales du territoire d'étude – composées des différents sites du SMEDAR de Grand-Quevilly et Petit-Quevilly, dont l'unité de valorisation énergétique - sont exposées. Ces sites sont soumis à des crues assez rares (au-delà de la centennale, avec une hauteur d'eau de 2m pour la millénale) qui vont avoir tendance à être plus fréquentes dans le contexte du changement climatique. Le territoire de la Métropole est particulièrement exposé avec 7 déchetteries situées en zone d'aléa. Des installations des filières bois et papiers, qui pourront être largement sollicitées pour la gestion des déchets post-inondation sont aussi exposées (Figure 23). À cela s'ajoute des problématiques qui peuvent venir impacter la gestion des déchets, qu'il s'agisse de déchets post-inondation ou produits quotidiennement sur les zones non inondées du territoire :

- Les axes de transport coupés, et notamment les franchissements de cours d'eau, désorganisant les circuits de collecte ainsi que les transports entre les installations de gestion des déchets ;
- L'indisponibilité du personnel qui peut être directement affecté par les inondations.

Inondation à Bardouville en 2020 © Maîtres d'ouvrage du PAPI RLA

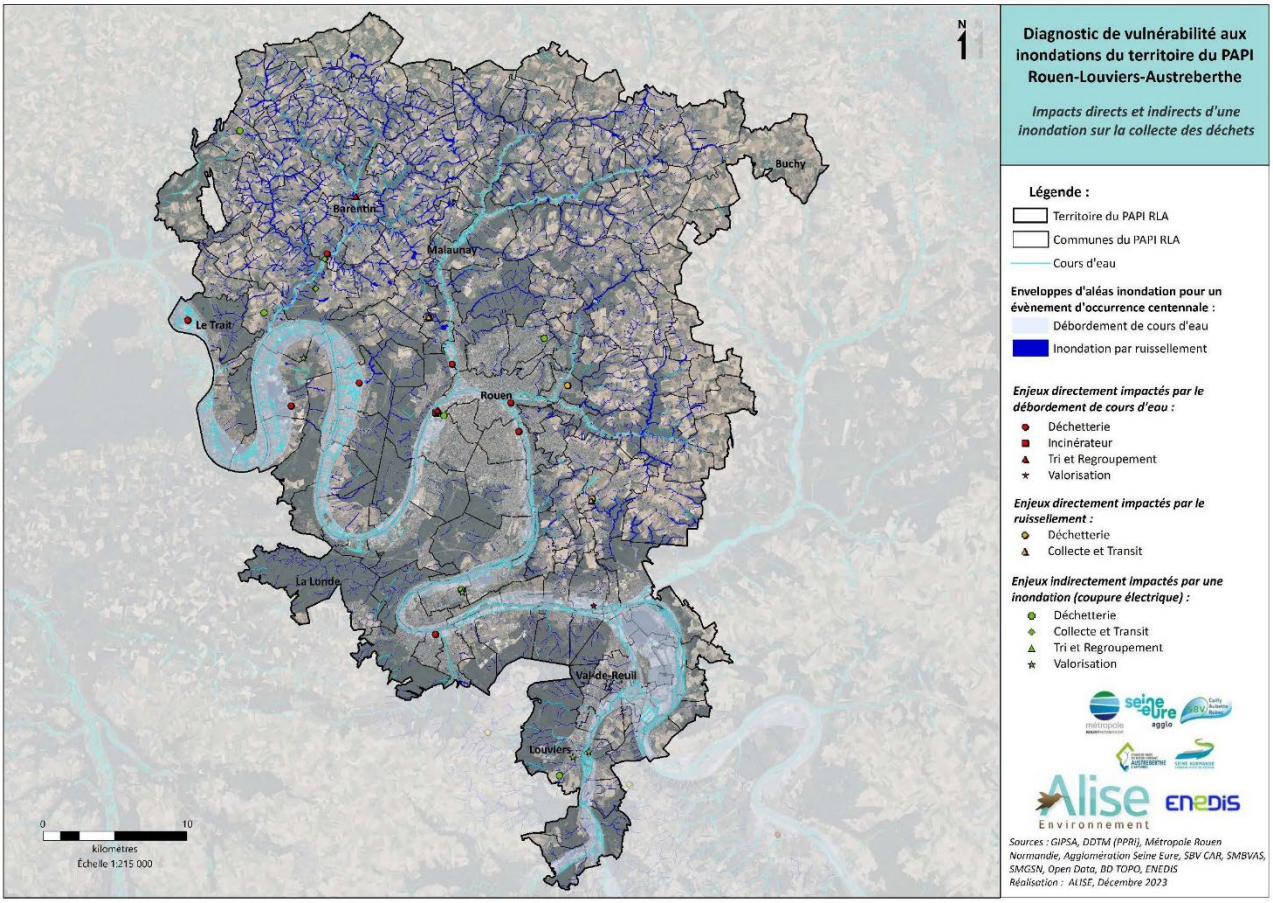


Figure 23 : Exposition aux inondations des installations de gestion des déchets – Source : ALISE Environnement, 2023, pour le diagnostic du PAPI RLA.

Influence du changement climatique sur les inondations et l'élévation du niveau marin

Le changement climatique aura une incidence sur les régimes hydrologiques et hydrogéologiques, du fait de la modification du régime des précipitations et de l'augmentation de l'évapotranspiration en relation avec l'augmentation des températures. Les projections actuelles tablent sur une stabilisation des cumuls de précipitations moyens annuels, mais avec des constrates saisonniers plus marqués (augmentation en hiver, diminution en été) et une plus grande variabilité en termes d'intensité.

L'augmentation des températures à l'échelle planétaire engendre aussi une fonte des glaces et une dilatation thermique des océans, contribuant au phénomène d'élévation du niveau marin. Le marégraphe du Havre a déjà enregistré une augmentation moyenne du niveau marin de l'ordre de 1,69 mm/an (+ /- 0,4 mm/an) depuis 1938 et de 2,19 mm/ an (+ /- 1,5 mm/an) depuis 1993 (Pirazzoli, 2008 ; DREAL HN, 2011). Au final, cela représente en moyenne + 13 cm depuis 1938.[4]

Inondations par débordement de la Seine avec l'élévation du niveau marin

Concernant les débordements de la Seine, le Groupement d'Intérêt Public Seine-Aval (GIP SA) a développé et affiné depuis 2012 un modèle numérique de l'estuaire de la Seine qui simule son fonctionnement et les phénomènes de débordements. Les premières modélisations ont montré comment l'élévation se propagerait en estuaire de Seine selon trois débits de la Seine et deux coefficients de marée de 78 et 106 (Lemoine, 2015 - Figure 24). La propagation de l'élévation du niveau marin dans l'estuaire est modulée par le débit de la Seine et est plus importante avec un débit et un coefficient de marée faibles.

[4] Source : Groupement d'Intérêt Public Seine-Aval à partir des données du réseau SONEL.

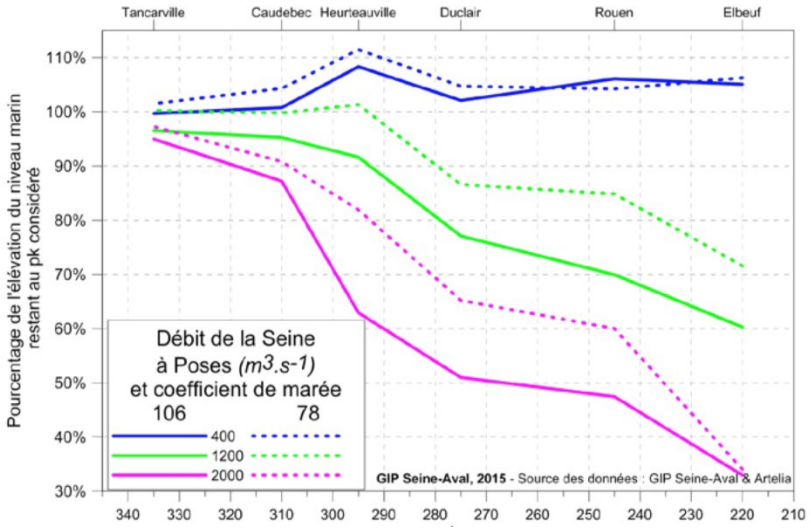


Figure 24 : Impact de l'élévation du niveau marin sur les niveaux de pleine mer avec des coefficients de 78 et 106 calculés pour des débits différents de la Seine dans l'estuaire. – Sources : Lemoine, 2015. Pk = point kilométrique

Pour une hausse de 1 mètre du niveau de la mer au Havre :

- Pour des débits proches des débits moyens de la Seine à Poses (400 m³/s), l'élévation du niveau marin serait intégralement retranscrite, voire amplifiée à Rouen, c'est-à-dire que l'eau s'élèverait de + 1 m à Rouen pour les deux coefficients.

- Pour un débit de 1 200 m³/s, la propagation de l'élévation du niveau marin jusqu'à Rouen serait de 70 % (+ 0,70 m) pour un coefficient de 106, et environ 85 % (+ 0,85 m) pour un coefficient de 78.

- Lors d'une crue de la Seine (débit de 2000 m³/s), une moindre part serait retranscrite à Rouen, c'est-à-dire que l'eau s'élèverait de +50 cm à Rouen (pour un coefficient de 106) et de +60 cm (pour un coefficient de 78).

Les modélisations récentes prenant en compte une rehausse du niveau de 1m du fait du changement climatique mettent en évidence l'aggravation à venir de la vulnérabilité du territoire face au risque d'inondation par débordement de la Seine sur de nombreux secteurs. Par exemple, les modélisations de la tempête de décembre 1999 mettent en évidence une augmentation de 8 000 ha des surfaces inondées avec 1 m d'élévation du niveau marin (19 000 ha contre 11 000 ha) (Figure 25).

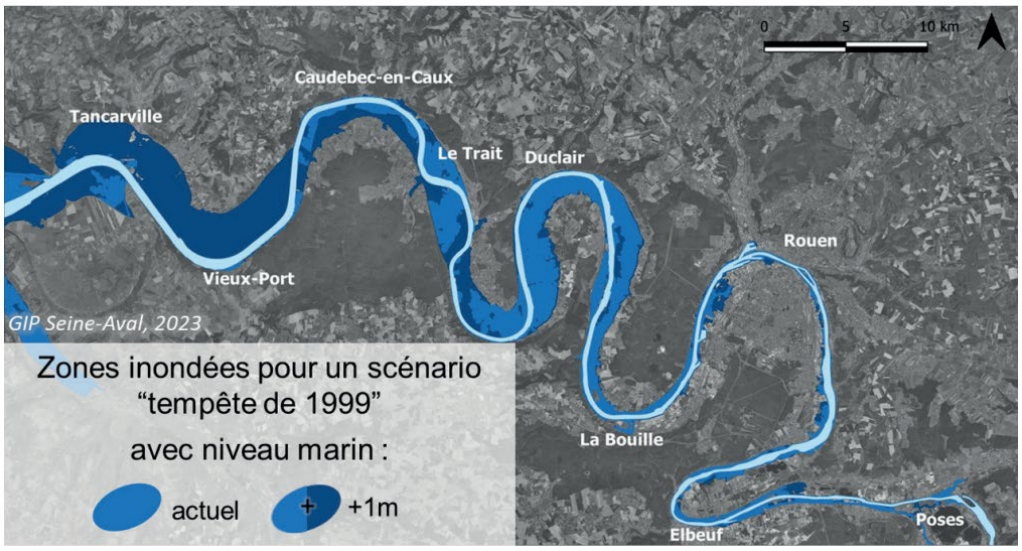


Figure 25 : Modélisation des zones inondées lors de la tempête de 1999 avec et sans élévation du niveau marin de +1 mètre – Source : GIP Seine-Aval, « Tout s'explique – Les inondations en estuaire de Seine », 2023.

Inondations par débordement des affluents

Pour les débordements des autres cours d'eau, les effets du changement climatique n'ont pas été pris en compte dans les modélisations des aléas des Plans de Prévention des Risques d'Inondation adoptés récemment. Pour ces cours d'eau, il n'y a pas d'impact connu lié à l'élévation du niveau marin et aux tempêtes à la différence de la Seine. Il peut cependant y avoir d'autres impacts liés à une plus grande fréquence d'évènements pluvieux intenses ou à l'augmentation des pluies hivernales, mais leur évaluation précise n'est pas possible au stade actuel des connaissances.

Inondations par ruissellement

Concernant les problématiques de ruissellement, les effets du changement climatique n'ont pas été pris spécifiquement en compte. Pour le ruissellement, la hausse de la fréquence des évènements pluvieux intenses peut avoir des effets sur la période de retour des épisodes de ruissellement (et de fait sur l'efficacité des ouvrages de régulation des ruissellements et des eaux pluviales).

Inondations par remontée de nappe

Les effets du changement climatique pourraient faire évoluer à la baisse le niveau moyen des nappes, tout en augmentant la fréquence des épisodes de niveaux hauts, lors des périodes de précipitations intenses. L'étude menée actuellement sur la nappe de la craie sur le territoire de la Métropole et du Syndicat du Bassin Versant Cailly Aubette Robec (SBVCAR) permettra de mieux qualifier d'éventuels effets liés sur l'aléa d'inondation.

Inondation à Elbeuf en 2018 © Agence de l'Eau Seine Normandie

Les représentations et les attitudes des populations locales vis-à-vis du changement climatique et des risques induits

La psychologie sociale s'intéresse au vécu et aux relations que nous entretenons avec les autres, à l'intérieur des groupes ou des cadres sociaux dans lesquels nous vivons. Les études menées dans ce domaine montrent que le changement climatique est principalement décrit à travers ses effets les plus marqués et donc les plus perceptibles (réchauffement, sécheresse, tempêtes). La représentation sociale du changement climatique s'avère alors influencée et apparait fortement stéréotypée et peu empreinte de vécu (Vallée, 2018).

La responsabilité humaine dans l'évolution actuelle du climat est reconnue mais il existe un décalage entre ce que pensent les individus, les intentions et les comportements qu'ils manifestent en situation (*green gap*). Depuis une quarantaine d'années, de nombreuses recherches étudient les facteurs influençant les comportements vers des démarches pro-environnementales telles que le modèle du Community-Base Social Marketing. Il ressort que le recours aux incitations (notamment financières) ou aux campagnes de sensibilisation montre des limites importantes sur la sphère comportementale. Aussi, de nouveaux modèles plus orientés vers l'action ont été développés et montrent leur « efficacité » dans le champ de l'environnement : il s'agit de la théorie de l'engagement, des modèles de communication engageante, d'implémentation d'intention, d'identification de l'action ou de normes sociales.

Une étude récente a été menée sur le territoire de la Métropole Rouen Normandie sur la perception et la maitrise des risques climatiques et de leurs conséquences (et non de la croyance en l'existence du changement climatique, bien que les deux soient liées) (Ray et Codou, 2023)[5]. La perception des risques climatiques est entendue comme la probabilité de rencontre avec le danger. Les risques relèvent ainsi d'une représentation, d'une construction intellectuelle (psychologique et sociale). Ainsi, chaque personne va s'imaginer rencontrer le flux du danger avec une occurrence et une gravité dépendant de leurs émotions, leurs motivations, le modelage identitaire, la culture, etc. Etudier cette perception permet de faire un état des lieux sur le niveau de préparation de la population, d'identifier d'éventuels freins au changement de comportement, d'adapter la communication institutionnelle, de comprendre le *greengap*, et de placer les citoyens au coeur des questions de sécurité et d'environnement et d'initier une acculturation aux risques climatiques.

La première partie de l'étude documente les antécédents de la perception des risques climatiques et met en exergue les conclusions qui ressortent de la littérature scientifique sur les comportements pro-environnementaux relevant de l'adaptation et de l'atténuation, ainsi que les principaux critères qui favorisent l'acceptabilité sociale des politiques publiques visant la préservation de l'environnement et la lutte contre le changement climatique.

La perception des risques climatiques peut être conceptualisée comme un construit bi-dimensionnel impliquant une perception des risques pour la société et pour soi. Ces deux types de perception ne se rejoignent pas systématiquement. En effet, nous avons tendance à plus considérer les risques pour la société que les risques pour soi.

Les principaux facteurs des perceptions des risques climatiques sont :

- **La distance psychologique** ou la mise à distance de la menace par rapport à soi. Cela renvoie à des mécanismes cognitifs qui nous amènent à percevoir le changement climatique comme éloigné et abstrait. Ce facteur se décompose en trois dimensions : temporelle (« c'est pour dans longtemps »), spatiale (« en France et en Normandie, nous serons épargnés »), et sociale (« cela concerne des gens différents de moi »). Afin de favoriser une « bonne » perception des risques, c'est-à-dire lorsque la perception subjective des personnes se rapproche des menaces réelles objectivées par un consensus scientifique, il s'agira donc de réduire cette distance psychologique.

[5] Les éléments décrits ci-après sont issus de la synthèse de cette étude.

- **L'expérience personnelle** d'avoir vécu un épisode météorologique extrême marquant et l'interprétation que l'on fait de cet évènement et de la relation que l'on lui associe avec le changement climatique.
- **Les connaissances sur le sujet**, aussi bien sur les impacts du changement climatique à l'échelle globale que locale ;
- **L'attachement au lieu** concerne le lien subjectif que l'on entretient avec un lieu (forêt, rivière, quartier, etc..). Ce lien peut permettre d'être plus vigilant aux risques auxquels est exposé ce territoire et favorise les comportements de préservation.
- **Les affects,** c'est-à-dire le ressenti face aux risques. Par exemple, illustrer un épisode de canicule avec des enfants jouant gaiement dans une fontaine éloigne probablement la population d'une juste compréhension des enjeux.
- **Les normes sociales**. Plus une personne perçoit que son entourage et/ou les personnes significatives pour elle reconnaissent et agissent face au changement climatique, plus la perception des risques climatiques sera importante.

Deux types de comportements peuvent être mis en avant pour illustrer l'action face au dérèglement climatique : les comportements d'atténuation et les comportements d'adaptation. Les déterminants de la perception des risques susmentionnés sont pour la plupart également des prédicteurs des comportements. En complément, nous pouvons également mentionner :

- **L'efficacité perçue**. Plus les personnes déclarent se sentir efficaces dans la lutte contre le changement climatique, plus elles expriment l'intention de s'engager dans des actions proenvironnementales. On peut distinguer deux dimensions de l'efficacité perçue individuelle : (i) l'efficacité perçue de la réponse, c'est-à-dire la perception que le comportement va pouvoir être efficace, produire les résultats escomptés et (ii) l'auto-efficacité, c'est-à-dire la croyance dans sa capacité à pouvoir produire le comportement. Ces deux dimensions sont des déterminants fondamentaux des comportements d'adaptation.
- **Les émotions face à la possibilité d'agir** (et non face aux changements climatiques). Les émotions agréables anticipées (e.g., joie, satisfaction, fierté) par les participants lorsqu'ils se projettent dans des actions pro-environnementales prédisent les intentions de comportements pro-environnementaux futurs.
- **L'investissement personnel et l'identité sociale**. La question de l'investissement personnel renvoie nécessairement à des éléments identitaires. En effet, ce qui compte pour les personnes, ce qui constitue « l'important pour soi » et que l'on peut définir comme des objectifs désirables ou des « priorités psychologiques », reflète des éléments de l'identité des personnes. A ce titre, l'identification à des groupes sociaux pro-environnementaux est un puissant prédicteur du changement comportemental.

La littérature scientifique met aussi en avant les critères d'acceptabilité sociale des mesures de politiques publiques en faveur du climat. Ils sont au nombre de quatre :

- **La perception d'équité** qui se réfère au jugement qui évalue le caractère juste ou injuste d'une mesure ou d'une politique. Parmi les types d'équité étudiés, l'équité collective (i.e., à quel point la mesure est juste compte tenu des spécificités et des besoins des différents groupes sociaux) semble avoir un effet bien plus important que l'équité individuelle (i.e., à quel point une politique est perçue comme équitable pour un individu donné) sur l'acceptabilité sociale d'une mesure
- **La perception d'efficacité** qui correspond à la croyance qu'une politique donnée peut atteindre le but désiré.
- **La confiance envers les institutions** en charge d'appliquer la politique en question ;
- **La perception du problème**, qui renvoit donc à la perception du changement climatique.

Le schéma suivant synthétise les variables d'intérêts soulevés par la littérature scientifique pour appréhender la perception des risques, les critères des comportements et des politiques pro-environnementaux acceptés socialement (Figure 26).

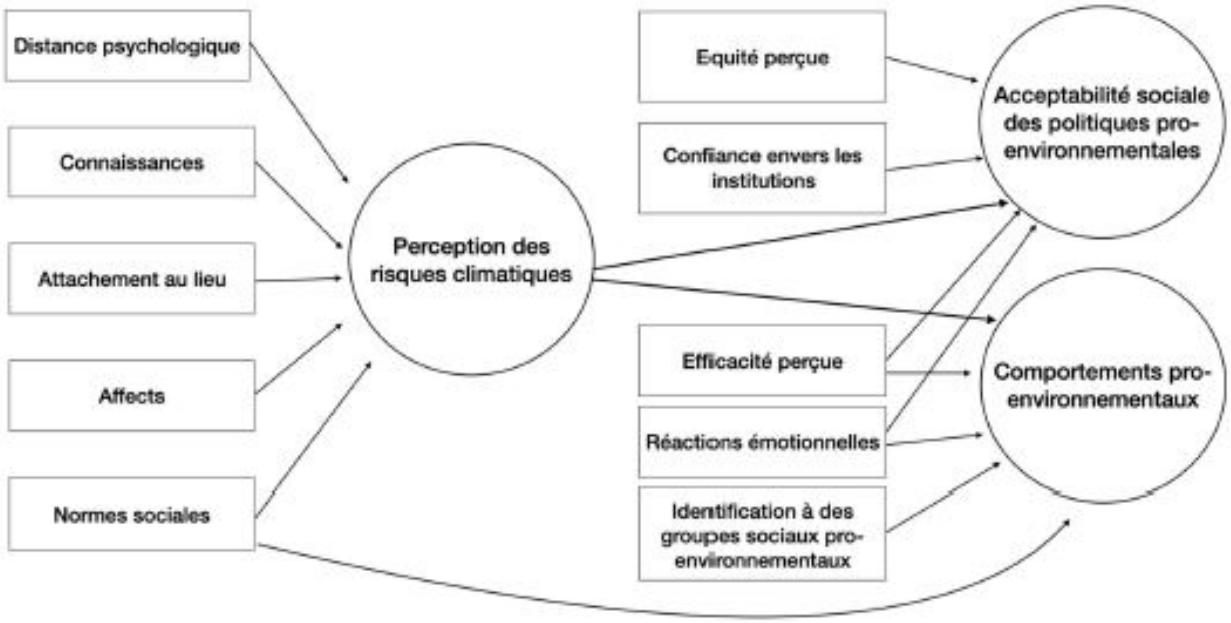


Figure 26 : Synthèse des variables d'intérêts abordées dans la revue de littérature scientifique – Source : Ray et Codou, 2023

Pour optimiser la perception des risques climatiques, il est possible d'influencer plusieurs de ces déterminants (distance psychologique, connaissances, attachement au lieu) en territorialisant le visage du changement climatique. Autrement dit, rendre actuel, concret et local les conséquences du changement climatique.

Dans un second temps, l'étude a comparé les perceptions des risques chez une population ayant une expertise sur les risques climatiques sur le territoire de la Métropole et chez une population non-experte, riveraine de la Métropole. Un état des lieux quantitatif de la perception des risques climatiques chez des riverains de la Métropole a ensuite été réalisé. Ces investigations ont permis d'aboutir à plusieurs conclusions.

Tout d'abord, il ressort l'importance de rendre disponibles des représentations concrètes, locales, territorialisées du changement climatique. Dans cette idée, il semble important d'aider les personnes à créer des associations entre le changement climatique et l'occurrence des canicules, des sécheresses et des inondations sur le territoire. Cela semble particulièrement plus crucial pour les inondations qui ont l'air de fonctionner plus « en marge » de la représentation des conséquences du changement climatique que les canicules et les sécheresses.

En complément de ces éléments, qui viennent en somme parler de la nécessité de réduire des composantes hypothétiques et géographiquement distantes de la représentation du changement climatique, il semble crucial d'actualiser la représentation du changement climatique. Il s'agit donc de donner à voir les conséquences du changement climatique comme déjà existantes. Autrement dit, l'enjeu est de sortir d'une perceptive prévisionniste et d'ancrer le discours dans le passé (i.e., ce qui s'est déjà passé, par exemple en termes de perte de biodiversité), dans le présent et dans un futur proche. En effet, il est probable que les prévisions à 2050 ou 2100 facilitent grandement la construction de représentations hypothétiques et temporellement lointaines.

L'efficacité perçue apparaît comme l'un des enjeux les plus déterminants. S'appuyer sur des récits qui cadrent les actions individuelles comme contribuant ou appartenant à un mouvement collectif plus large pourraient

permettre de dépasser la démobilisation associée à la perception d'impuissance individuelle. Cela s'inscrit aussi dans une littérature actuelle qui souligne que les personnes semblent percevoir (à juste titre) le caractère peu plausible des messages visant à renforcer la perception d'efficacité individuelle (Hornsey et al., 2021). L'enjeu est donc de donner à voir des dynamiques collectives en lieu et place de messages centrés sur des enjeux individuels. Autrement dit, il s'agit de subsumer les actions individuelles à l'intérieur d'un mouvement collectif. En cohérence avec ces éléments, il semblerait bénéfique d'ancrer davantage l'identité normande dans des valeurs biophiles. En effet, le groupe des Normands est assez faiblement associé à ces valeurs. Cela laisse supposer qu'il existe une marge importante de progression pour développer cette composante de l'identité normande.

En outre, il semble exister une focalisation importante, au moins visible dans le discours des experts, autour de la nécessité de l'information et de la sensibilisation. Or, la littérature et *a fortiori* les résultats de ce travail rendent compte de la faible importance de l'information objective « pure ». En effet, les scores de connaissances n'apparaissent pas associés aux différents scores de perception des risques. S'il reste possible que la mesure ne capture pas tout à fait ce que nous souhaitions mesurer, notons que le niveau auto-rapporté d'expertise possède également peu de pouvoir prédictif. En revanche, les aspects davantage subjectifs et expérientiels comme le vécu affectif ou la distance psychologique et, de manière un peu moins consistante, l'expérience personnelle, possèdent quant à eux une réelle puissance explicative de la perception des risques. Ainsi, il s'agirait de penser des modes de transmission de l'information qui s'appuieraient autant sur l'expérience subjective des personnes que sur la réalité objective de la menace. Deux types de modes de communication peuvent être mobilisés pour faire face à ce défi :

- La communication engageante : ce type de communication vise à pallier les limites de stratégies de communication exclusivement basée sur la persuasion. Elle se conçoit comme une manière d'impliquer personnellement l'auditeur. En somme, la communication engageante vise à conférer le statut d'acteur à l'audience cible (par opposition à un statut de simple récepteur).
- La communication visuelle et narrative : ces formats de communication visent à rendre les informations sur le changement climatique plus pertinentes sur le plan personnel. Plus « impactants », ils ont tous l'avantage de faire appel aux affects, élément qui est très fréquemment présent dans les recommandations de la littérature actuelle et cohérents avec les résultats de ce travail. À titre d'exemple, Jones et al. (2017) ont montré la pertinence de concevoir des interventions qui réduisent la distance psychologique en donnant à voir, à travers des contenus visuels, les conséquences actuelles (i.e., réduction de la distance temporelle) du changement climatique et à niveau local (i.e., réduction de la distance spatiale). Dans la même lignée, des travaux récents défendent l'intérêt de l'image et/ou de la « fiction climatique » comme outil de communication (e.g., Rong, 2023 ; voir aussi Hornsey et al., 2021) ou encore démontrent de l'intérêt de la réalité virtuelle dans l'éducation à l'environnement et aux risques (Queiroz et al., 2023).

Puis, un autre enseignement de l'étude montre que les personnes précaires, représentées dans l'étude quantitative par les participants se rapportant à une classe sociale modeste, rapportent davantage de perceptions des risques de canicules. Cela est probablement à mettre en lien avec les conditions d'habitats de ces personnes, qui les rendent plus vulnérables à souffrir des fortes chaleurs. Compte tenu de la faible participation des personnes précaires au changement climatique (OXFAM, 2023), l'enjeu pour cette frange de population est davantage l'adoption des comportements d'adaptation et de mise en sécurité que l'adoption des comportements d'atténuation. Ces comportements visés gagneraient vraisemblablement à être cadrés en termes de gains qu'en termes de pertes. D'abord, parce qu'il est admis que l'être humain présente une aversion à la perte et d'autant plus, car ces personnes peuvent percevoir une déprivation relative importante, et donc être moins encline à devoir produire davantage d'efforts ou à se soumettre à davantage de contraintes. Des messages centrés sur les gains en termes de qualité de vie et de santé seraient donc à privilégier plutôt que des messages sur les risques qui seraient évités par les comportements visés. L'importance des discours centrés sur les gains est d'ailleurs ressortie des entretiens.

Le discours expert fait apparaître, parmi nombre d'éléments, l'absolue nécessité de prendre en compte l'interdépendance entre les différents types de risques. Néanmoins, ils décrivent des pratiques encore très sillotées. Ce fait évoque deux éléments. D'abord, les experts ont, pour la plupart, une culture scientifique verticale. Les normes et les pratiques de la recherche sont encore très monodisciplinaires. La question de la formation des étudiants, dont certains seront les experts de demain, apparait donc comme centrale avec la nécessité d'inscrire très tôt dans le parcours de formation des approches pluri et interdisciplinaires. En outre, et sans attendre la prochaine génération d'experts, il apparait nécessaire de penser et de mettre en place des espaces de travail interdisciplinaires, sur le modèle de la plateforme multirisque mise en place à l'Université de Rouen Normandie.

Par ailleurs, il ressort des résultats que, pour les non-experts, l'interdépendance des risques est peu conceptualisée. Or, il serait possible de s'appuyer sur les perceptions pré-existantes des risques sur le territoire pour y « greffer » la perception d'autres risques (e.g., environnementaux, climatiques). Les résultats de ce travail, ainsi que des précédents rapports (e.g., Daudé & Grancher, 2022), montrent que les risques climatiques sont jugés comme bien moins préoccupants pour le territoire que les risques industriels. Dès lors, il pourrait être judicieux de s'appuyer sur la représentation existante des risques industriels, qui semble elle bien installée, pour y associer, dans une perspective multirisque, la perception des risques climatiques. Ce point de recommandation est également défendu dans les rapports de Grancher et al. (2022) et de Lenel et Sénant (2022), qui font mention de la nécessité d'articuler les risques naturels et industriels.

Enfin, la perception des risques de feu de forêt est extrêmement peu présente dans le discours des non-experts. Quand ils ont été cités, les risques d'incendie étaient associés à une distance psychologique forte (i.e., le sud est concerné, pas nous). Or, sur un territoire comme la Seine- Maritime comportant près de 20 % de forêts, ce risque va augmenter et ce d'autant plus dans un contexte où la culture locale du risque n'inclue que peu la représentation de l'incendie. Ainsi, il semble nécessaire que la culture locale s'ajuste à cette nouvelle configuration des risques, c'est-à-dire parvienne à faire exister cette perception chez les habitants de la Métropole Rouen Normandie tout en fournissant les comportements de prévention adéquats.

En conclusion, et bien que ces résultats nécessitent d'être consolidés par d'autres études, l'ensemble de ces éléments confirme la nécessité de développer une culture du risque plurielle sur le territoire. Celle-ci devrait intégrer, ou même prendre comme point de départ, les représentations que les personnes se font du changement climatique. Il apparait donc indispensable de développer une connaissance locale des conséquences liées au changement climatique. Ce registre de connaissance pourrait s'appuyer à la fois sur une dimension identitaire (être normand) et également sur un sentiment d'attachement à un lieu ou à un territoire. Cette territorialisation du visage du changement climatique permettrait également de faciliter l'émergence de connexions psychologiques entre des expériences personnelles (e.g., avoir subi une inondation) et les conséquences du changement climatique, contextualisées au sein de l'anthropocène. Les missions d'éducation à l'environnement, tant au niveau scolaire qu'au niveau professionnel, l'exemplarité des hiérarchies économiques et politiques, et le rôle des artistes pour dépeindre et permettre de se projeter vers un avenir désirable sont autant de prérequis au développement de cette culture des risques climatiques répondant aux besoins d'atténuation et surtout d'adaptation.

Forêt et biodiversité

Constat scientifique sur les forêts

Occupant un tiers de la surface du territoire, les forêts de la Métropole Rouen Normandie assurent de nombreuses fonctions : **écologique** (réserve de biodiversité, puits de carbone), **économique** (production de bois, emplois locaux), **sociale** (accueil du public, loisirs récréatifs) et **patrimoniale** (identité paysagère du territoire). Appréhender les impacts du changement climatique sur cet écosystème suppose donc de considérer cette multifonctionnalité ainsi que les nombreux enjeux qui l'accompagnent (Kazmierczak et al., 2020).

Le changement climatique a déjà une incidence sur le hêtre et le chêne pédonculé, deux espèces locales pour lesquelles les conditions environnementales semblent limiter de plus en plus leur croissance dans le sud-ouest de la Normandie (Charru, 2012). À l'avenir, il n'y a plus de doute que la répétition des sécheresses durant la saison de végétation, une augmentation trop importante de la température, et des éléments nutritifs limités dans le sol (phosphore notamment), pèseront sur la croissance des espèces et affecteront sensiblement la santé et la régénération des forêts (Kazmierczak et al., 2020).

Le changement climatique rend aussi crédible le risque d'incendie de végétation et de forêt. En effet, environ 20 épisodes de feux ont été répertoriés depuis 1990, et leur fréquence semble augmenter depuis 2017 (Figure 27).

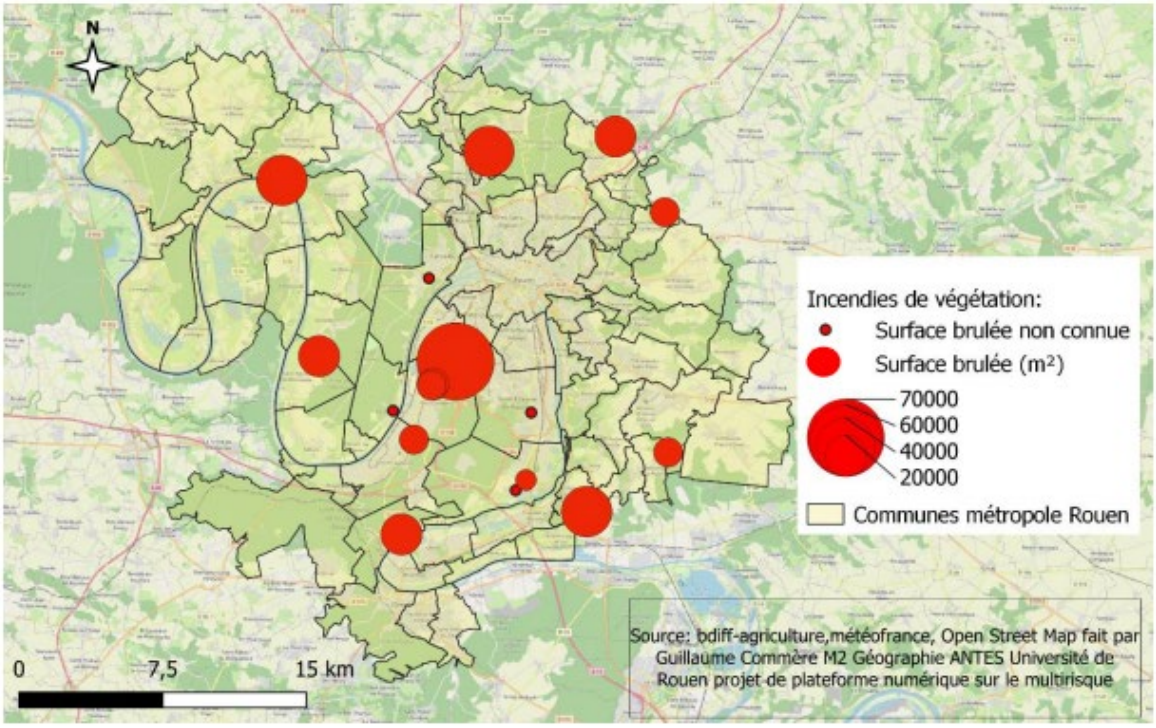


Figure 27 : Carte des incendies de végétation recensés dans la Métropole - Source : BDIFF-agriculture, articles journalistiques (Paris Normandie, Actu 76), carte réalisée par Guillaume Commère (Université Rouen Normandie) dans le cadre de la plateforme multirisque élaborée par l'Université Rouen Normandie, 2022.

L'année 2022 a aussi montré que ce risque s'imposait désormais à la Normandie comme en témoignent les feux qui se sont produits dans l'Eure (+ 800 ha brûlés) ou à Montigny, une commune limitrophe de la Métropole (+ 20 ha brûlés). À l'avenir, les projections climatiques du DRIAS montrent une sensibilité plus importante des massifs forestiers du nord de la France au risque d'incendie de forêt (Figure 28).

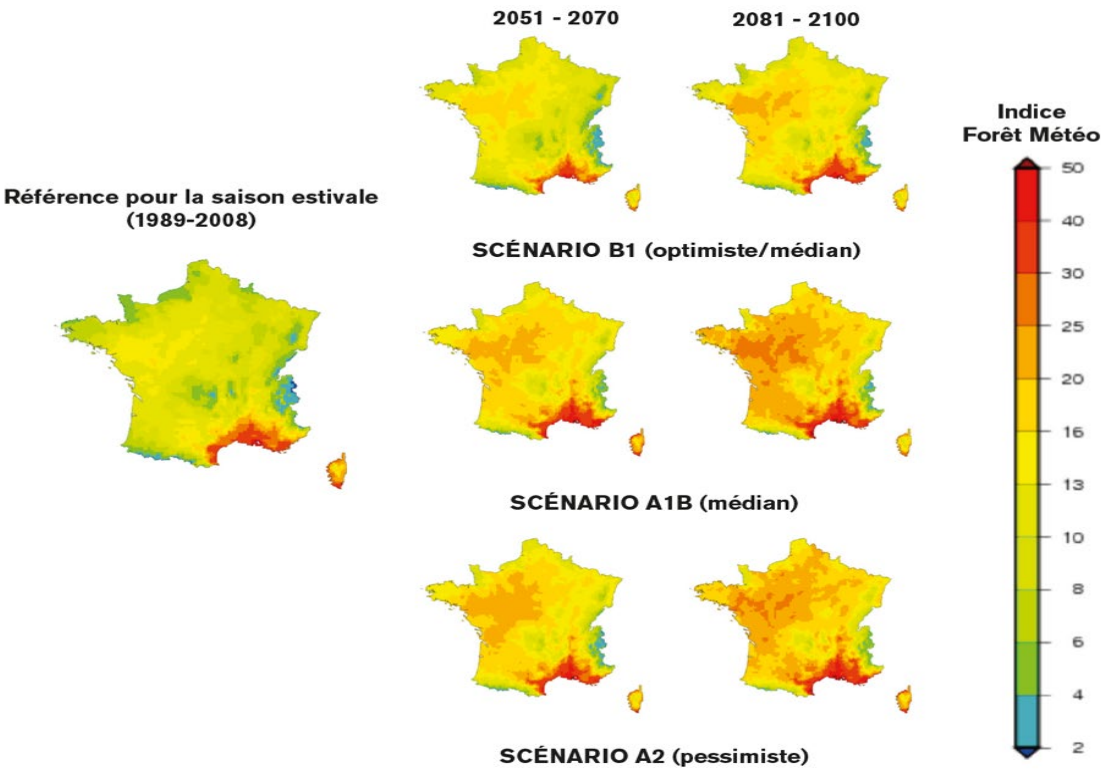


Figure 28 : Projections des risques d'incendie de forêt en France métropolitaine selon trois scénarios de changement climatique – Source : modèle ARPEGE V4.6 étiré de Météo-France et projections du projet DRIAS

L'adaptation au risque d'incendie de forêt est donc désormais incontournable pour améliorer la résilience de l'écosystème forestier, d'autant plus que ce risque n'est pas couvert par le régime d'indemnisation des catastrophes naturelles mais par d'autres garanties qui doivent être incluses dans les contrats de dommages aux biens. En outre, l'adaptation de l'écosystème forestier doit aussi prendre en compte d'autres risques susceptibles d'affecter l'écosystème (tempêtes, prolifération de ravageurs, installation d'espèces exotiques envahissantes).

Le déplacement des isothermes est également plus rapide que la migration naturelle des essences. Il est très probable que les espèces forestières du sud de la France remonteront vers le nord, suggérant que les paysages forestiers actuels subiront des changements profonds dans un climat plus chaud et sec. Changements qui pourraient être accélérés par des modifications des pratiques sylvicoles. Ces pressions liées aux modifications climatiques et à l'exploitation de la ressource en bois auront des impacts sur la recomposition des cortèges floristiques et faunistiques, et pourront contraindre l'adaptation des massifs forestiers aux nouvelles conditions climatiques sur un temps long.

De telles perspectives interrogent la capacité de certaines espèces à survivre d'un point de vue écologique, ainsi que sur leur gestion en sylviculture à long-terme. Quatre espèces locales (hêtre, chêne pédonculé, chêne sessile, pin sylvestre), et trois autres dont les populations sont moindres mais semblant montrer des affinités à la chaleur et dont les propriétés du bois sont appréciées (sapin Douglas, chêne pubescent, robinier faux-acacia) montrent des réponses variées.

Constat scientifique sur la biodiversité à l'échelle locale

Les effets généraux du changement climatique sur la biodiversité

La biodiversité est définie par la variété du vivant à différentes échelles (du gène aux écosystèmes), et par la diversité des interactions entre les êtres vivants, eux-mêmes, et avec leurs écosystèmes.

Au-delà de sa valeur intrinsèque, la biodiversité procure des biens et des services indispensables et irremplaçables à l'humanité, également appelés services écosystémiques (nourriture, combustibles, eau

douce, matériaux de construction, médicaments, oxygène, pollinisation, fertilité des sols, régulation du climat (séquestration et stockage du carbone …), etc.). Ces caractéristiques font de la biodiversité et des milieux naturels des atouts incontournables dans la lutte contre les effets des changements climatiques. Mais depuis les dernières décennies la biodiversité subit une régression massive et alarmante, à un rythme tel que les scientifiques s'accordent à dire que nous sommes à l'aube d'une sixième extinction de masse. À l'échelle planétaire, 68 % des populations de vertébrés ont disparu en moins de 50 ans, 41 % des amphibiens risquent de disparaître à brève échéance et 40 % des insectes sont en déclin (IPBES 2019 ; UICN 2022 ; WWF, 2022). En France, 8% des espèces ont disparu et 78% des habitats sont dans un état de conservation défavorable (ONB, 2023). La biodiversité a déjà fait face à plusieurs crises, mais celle-ci se caractérise par un rythme d'extinction très rapide, 10 à 10 000 fois plus rapide que le rythme naturel et elle n'est causée que par une seule espèce : l'espèce humaine (IPBES, 2019). Au rythme actuel, 75 % des espèces sont amenées à disparaître d'ici 500 ans alors que les crises précédentes se sont déroulées sur plusieurs milliers, voire millions d'années.

Les principales causes de cet effondrement sont aujourd'hui bien identifiées et hiérarchisées (IPBES, 2019) :

- la destruction et l'artificialisation des milieux naturels (responsable de 34 % des pertes sur le siècle dernier),
- la surexploitation des ressources naturelles et le trafic illégal d'espèces (23 % des pertes),
- le changement climatique global (14 % des pertes),
- les pollutions des océans, des eaux douces, du sol et de l'air (14 % des pertes),
- l'introduction d'espèces exotiques envahissantes (11 % des pertes).

Le changement climatique est donc aujourd'hui la troisième cause de disparition de la biodiversité, et pourrait devenir la première dans les décennies à venir. Le changement climatique engendre des modifications profondes dans les écosystèmes à la fois de façon directe par l'augmentation des températures atmosphériques, l'augmentation de la fréquence des évènements extrêmes (sécheresses, canicules, inondations, feux de forêts, etc.), la modification du régime des pluies et des vents, ou encore la baisse des jours de froid. Chacun de ces paramètres a un effet sur la physiologie des espèces et leur capacité à survivre dans un secteur donné. De façon plus indirecte, le changement climatique peut entrainer la destruction d'habitats (submersion et inondation d'habitats liés à l'élévation du niveau de la mer, érosion des sols), et amplifier les effets des autres causes de déclin de la biodiversité (propagation d'espèces exotiques envahissantes et de pathogènes, concentration des polluants dans l'eau, etc). Le changement climatique est également susceptible d'augmenter la pression sur la biodiversité par les effets des réponses adaptatives des sociétés humaines comme la surexploitation de la ressource en bois (en substitution aux énergies fossiles), l'implantation d'infrastructures liées aux énergies renouvelables sur des milieux naturels, l'intensification des cultures de biocarburants, ou encore l'étalement urbain sur les zones les plus habitables de la planète.

Face à ces modifications profondes des écosystèmes, les réponses possibles des espèces sont :

- la migration, l'évolution des aires de répartition des populations, vers des conditions climatiques plus adaptées,
- l'adaptation phénologique,
- l'évolution génétique,
- l'extinction.

Les cortèges d'espèces et les milieux tels que nous les connaissons aujourd'hui sont voués à être profondément perturbés et recomposés sur les décennies à venir. La disparition des espèces, la dégradation des milieux, et la rupture des relations interspécifiques compromettent profondément le fonctionnement et la résilience des écosystèmes, et par conséquence leur capacité à fournir des services écosystémiques. Les milieux dégradés seront notamment moins à même de capter et stocker le carbone, et en cas de dégradation forte pourraient devenir des émetteurs de gaz à effet de serre (dioxyde de carbone et méthane). C'est le cas pour la dégradation des zones humides ou des sols forestiers et la baisse de l'activité photosynthétique.

Le changement climatique a un impact sur la biodiversité, qui a elle-même un effet sur le climat, local mais également global. Les deux crises majeures du climat et de la biodiversité sont étroitement imbriquées et ne pourront se résoudre indépendamment.

La biodiversité de la Métropole Rouen Normandie

Le territoire de la Métropole Rouen Normandie bénéficie d'un patrimoine naturel encore riche et diversifié, malgré la présence d'un gros pôle urbain et industriel (le premier de Normandie) (Douville, 2024). Elle le doit en grande partie à la Seine, omniprésente sur le territoire, et qui au cours des temps géologiques a contribué à façonner les paysages, diversifier les milieux naturels et enrichir la flore et la faune du territoire. En érodant le plateau crayeux du bassin parisien, avec une orientation Sud-Est à Nord-Ouest elle joue le rôle d'un corridor naturel et favorise l'arrivée d'espèces plus méridionales ou continentales. Les activités humaines, passées et présentes, ont également très fortement impacté la biodiversité du territoire, pour le meilleur (diversification des milieux : création de mares, pelouses pâturées, boccages, etc.) et pour le pire (destruction, fragmentation et pollution des milieux, introduction d'espèces exotiques envahissantes, banalisation des cortèges, etc). La combinaison de ces facteurs se traduit sur le terrain par une diversité importante de contextes (géologiques, micro-climatiques, pédologiques, d'usage, etc.) favorisant la présence d'une richesse de milieux et d'espèces relativement remarquables pour un territoire restreint du nord-ouest de l'Europe.

Les milieux

Il n'est pas possible de lister l'ensemble des milieux de la Métropole accueillant de la faune et de la flore sauvages. Seuls les milieux les plus caractéristiques constituant la trame et la richesse naturelles de la Métropole Rouen Normandie sont repris ici (Figure 29) :

- Les iles et les berges de la Seine, qui accueillent des habitats de forêts alluviales, des vasières et des milieux aquatiques, dont une partie est protégée au niveau européen. Ils se répartissent le long des 96 km de la Seine.
- Les coteaux crayeux, accueillant des habitats de pelouses et éboulis, également protégés au niveau européen, dont la superficie est estimée à 300 ha,
- Les terrasses alluviales, formation géomorphologique exceptionnelle pour tout le quart nord/ouest de l'Europe, accueillant des milieux de pelouses et de landes silicicoles, dont la superficie est estimée à 600 ha,
- Les boisements forestiers, situation exceptionnelle pour une agglomération urbaine, occupent plus de 30 % du territoire, soit environ 25 000 ha. Ils sont un véritable atout pour l'atténuation et l'adaptation aux effets du changement climatique et hébergent des milieux remarquables comme les forêts fraiches de pentes, les hêtraies à houx et jacinthes, habitats également protégés au niveau européen.
- Les zones humides, accueillant des formations de prairies, marais, reliques tourbeuses, pour partie protégées au niveau européen, occupant environ 3 300 ha. Il s'agit de réservoirs importants de biodiversité et des atouts incontournables pour la régulation des inondations, le captage et le stockage du carbone.
- Le réseau de mares, disséminées sur l'ensemble du territoire et estimées à plus de 1000, les mares sont des refuges pour la faune et la flore et contribuent à maintenir de la connectivité entre les milieux humides sur le territoire.
- Les parcelles agricoles à plantes messicoles, ces espèces sont inféodées aux cultures et ont co-évoluées avec les moissons. Le territoire de la Métropole constitue pour le quart nord-ouest de la France un réservoir en ce qui concerne ces espèces.
- Des grottes à chauve-souris, espèces protégées aux niveaux national et européen.

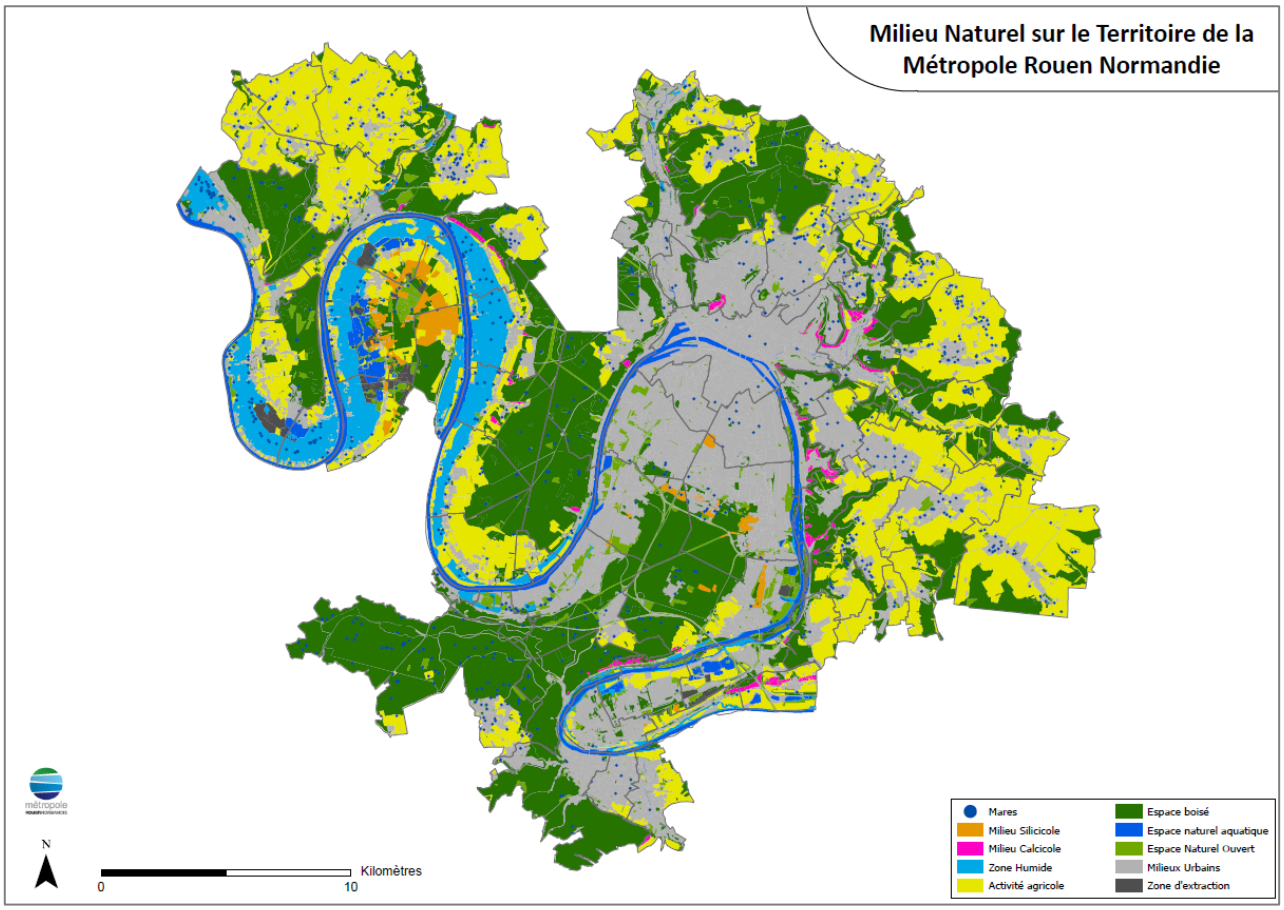


Figure 29 : Occupation du sol des principaux milieux naturels de la Métropole Rouen Normandie – Source : Métropole Rouen Normandie, 2023.

Les milieux naturels du territoire présentant un intérêt écologique ou un enjeu de conservation font l'objet de plusieurs classements (Figure 30).

- 528 ha sont ainsi classés en ZNIEFF de type I[6], soit 0,8 % du territoire (6 % au niveau régional), et 26 802 ha en ZNIEFF de type II, soit près de 40 % du territoire (23 % au niveau régional). Les ZNIEFF de type I portent sur des secteurs présentant un fort intérêt patrimonial pour le territoire, comme des prairies humides, des pelouses calcicoles, des mares, des stations d'espèces forestières, assez bien réparties sur le territoire en dehors des zones urbanisées (elles sont la plupart du temps incluses dans une ZNIEFF de type II). Les ZNIEFF de type II concernent des secteurs plus grands comme les ensembles forestiers de la Londe, Roumare ou les Marais du Mesnil-sous-Jumièges.
- En termes de protection de la biodiversité, 20 440 ha du territoire font partie d'une aire protégée (soit 30,79 %) dont 78,5 ha (soit 0,12 %) sont en protection forte (les objectifs nationaux à l'échéance 2030 sont d'atteindre 10 % d'aire en protection forte et 30 % en protection).

[6] ZNIEFF (Zone naturelle d'intérêt écologique faunistique et floristique), zone terrestre, fluviale, ou marine, qui a été identifiée, décrite, et cartographiée parce qu'elle présente un intérêt faunistique, floristique ou écologique.
ZNIEFF de type I : secteurs de superficie souvent limitée, contenant des espèces animales ou végétales d'une grande valeur patrimoniale
ZNIEFF de type II : grands ensembles naturels riches et peu modifiés, ou qui offrent des potentialités écologiques importantes.

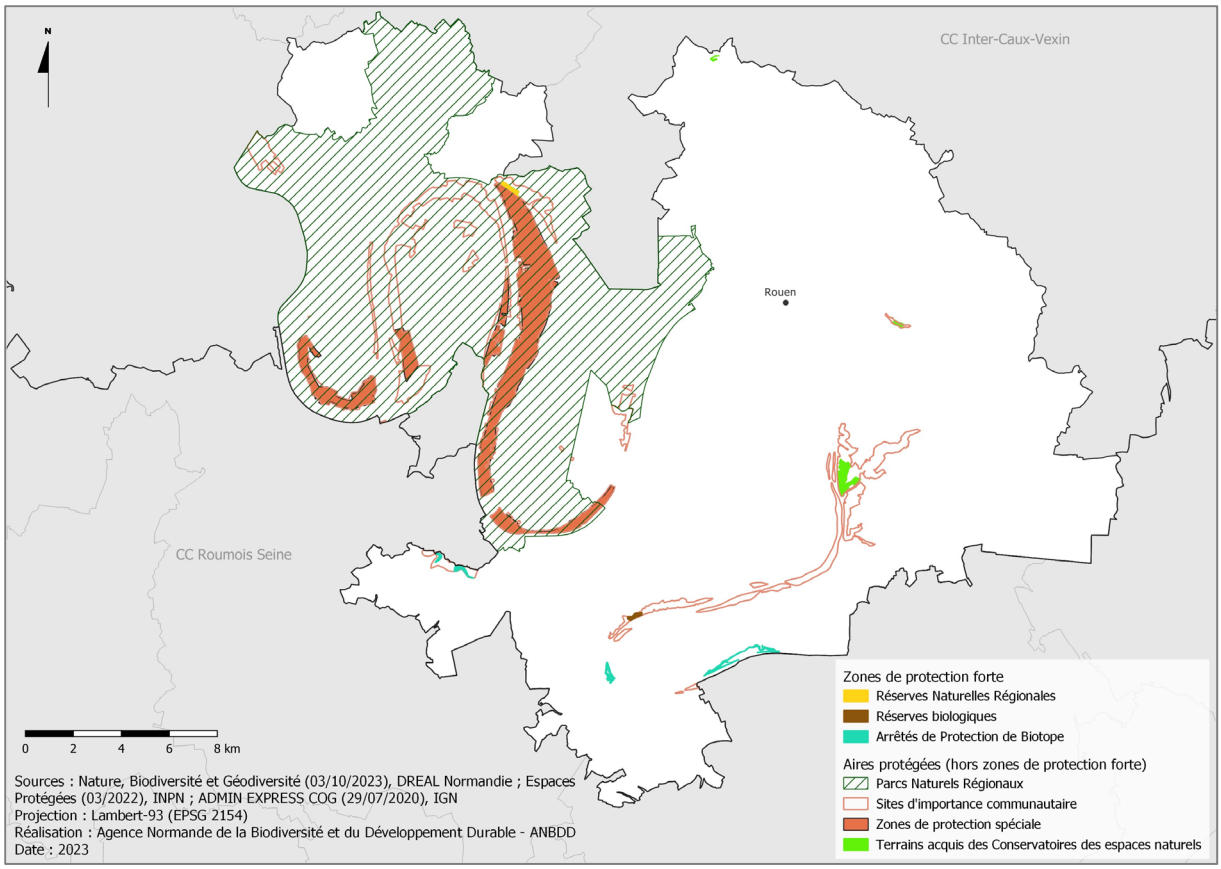


Figure 30 : Zones protégées au titre de la biodiversité sur le territoire de la Métropole Rouen Normandie – Source : ANBDD, 2023

Les espèces

Un des principaux indicateurs utilisé pour mesurer la biodiversité à l'échelle planétaire est la diversité spécifique. En ce qui concerne la Métropole Rouen Normandie, 237 532 données d'observations de taxons, tous groupes et toutes périodes confondues, sont recensées en 2023 dans la base de données ODIN[7] et DIGITALE[8]. Ce qui correspond à 5 658 espèces, toutes périodes confondues, dont 4 383 sont considérées comme contemporaines (présences avérées sur les 20 dernières années). 70 % de ces espèces relèvent de la faune, 29 % de la flore et 1 % d'autres groupes (Figure 31 - ODIN/ANBDD, 2023 ; CBNBL, 2022 ; CBNBL, 2021).

Ces résultats ne sont pas et ne peuvent pas être exhaustifs, mais ils peuvent servir de référence pour les futures évaluations de la biodiversité du territoire. Ils permettent par ailleurs d'attester du bon niveau de connaissance naturaliste sur le territoire, car la Métropole constitue le deuxième EPCI normand présentant le plus grand nombre de données recensées sur ODIN (10 % des observations référencées dans ODIN le sont sur le territoire de la Métropole Rouen Normandie).

[7] Outil de Diffusion de l'Information Naturaliste de Normandie porté par l'ANBDD.
[8] Système d'information sur la flore et la végétation développé par le CBNBL.

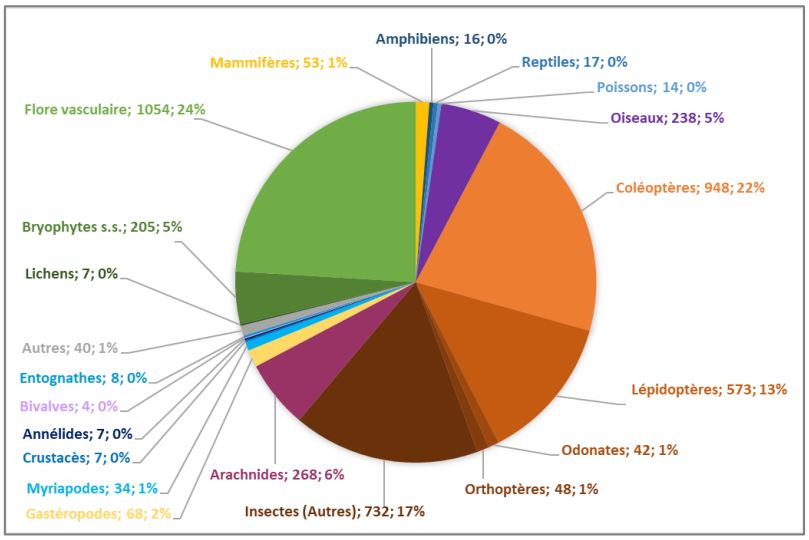


Figure 31 : Répartition de la richesse spécifique connue du territoire de la Métropole Rouen Normandie, 2023. Nombre d'espèces contemporaines après 2002 pour la faune / après 2005 pour la flore vasculaire / après 1990 pour les bryophytes au sens large. – Sources : ODIN/ANBDD, 2023 ; CBNBL, 2022 ; CBNBL, 2021.

Les cortèges d'espèces sont majoritairement d'affinités européennes tempérées typique des plaines, avec de fortes influences atlantiques, comme le reste de la Normandie.

Le territoire se distingue cependant par des incursions d'espèces d'affinités plus méridionales. Ces espèces, dont l'aire de répartition naturelle est plutôt centrée sur le bassin méditerranéen au sens large, bénéficient de la présence des substrats secs, très filtrants et bien exposés des coteaux crayeux ou des terrasses alluviales de la Seine. Elles sont également favorisées par l'influence des axes de la vallée de Seine et de son principal affluent l'Eure, qui orientés sud-est/nord-ouest ont permis aux espèces thermophiles (voire d'affinités plus continentales) de se maintenir et de migrer vers le nord et l'ouest. Le territoire de la Métropole se caractérise déjà comme l'un des principaux ilots d'espèces thermophiles de la région, comme l'illustre par exemple la carte de répartition des espèces méridionales de scarabées au sens large (Figure 32).

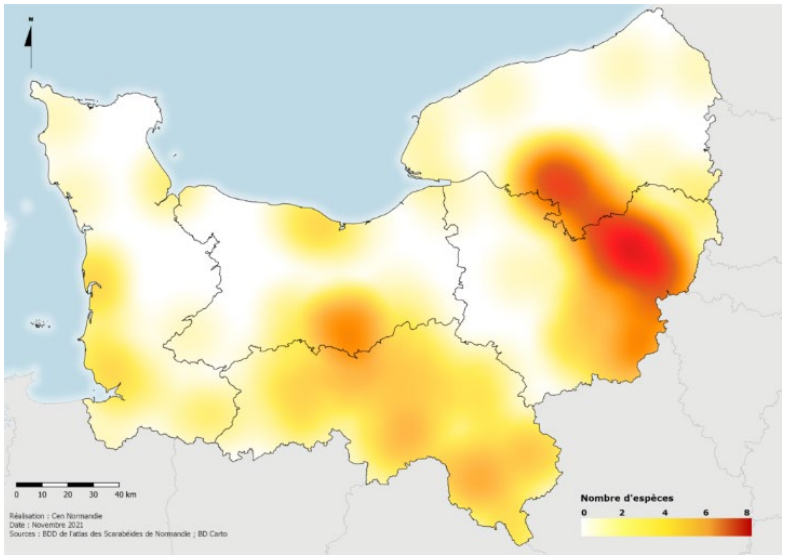
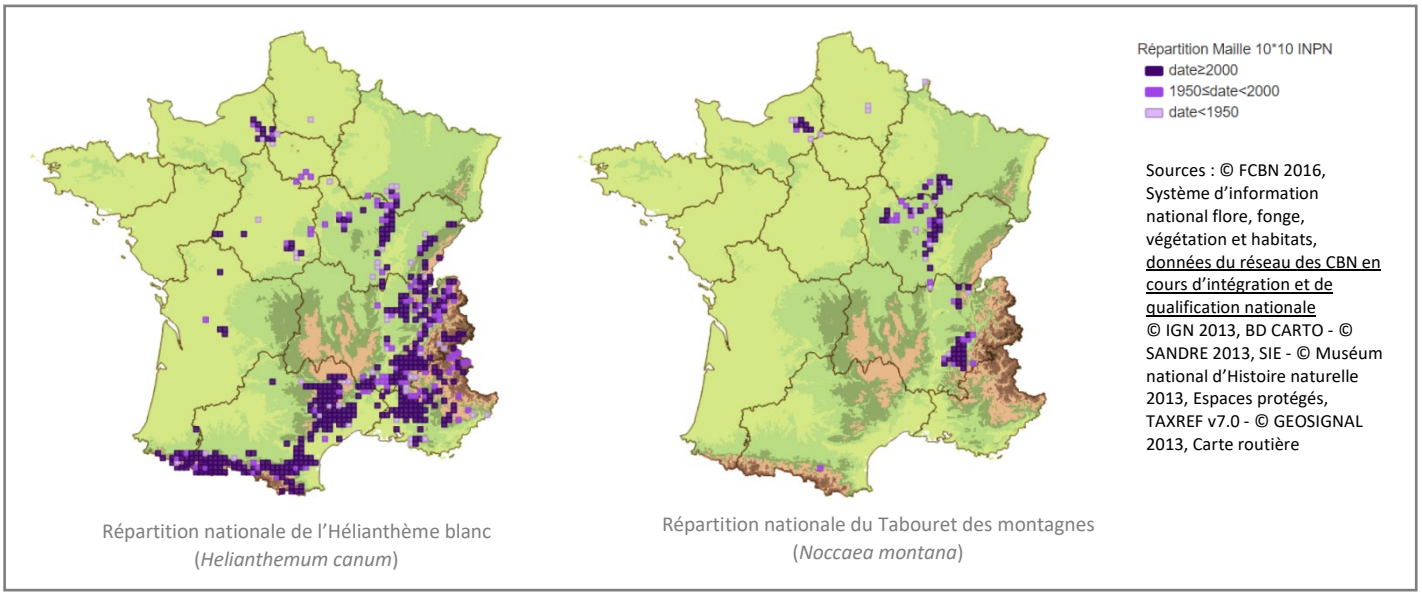


Figure 32 : Répartition des espèces de Scarabéides d'affinité méridionale en Normandie. – Source : CENN 2021.

Ce contexte biogéographique particulier permet au territoire de la Métropole Rouen Normandie d'accueillir un grand nombre d'espèces en limites nord/ouest de leur aire de répartition naturelle (Figure 33). Ces espèces présentent un intérêt patrimonial élevé, leur situation d'isolement ou de "frontière" apporte une diversité génétique au sein des populations, garante du maintien des capacités d'adaptation des espèces face aux changements à venir, et tout particulièrement aux changements climatiques. Les espèces situées aux

limites de leur aire de répartition figurent pour la plupart parmi les plus vulnérables des cortèges, mais elles constituent des réservoirs génétiques à préserver en priorité.



Répartition nationale de l'Hélianthème blanc (*Helianthemum canum*)

Répartition nationale du Tabouret des montagnes (*Noccaea montana*)

Figure 33 : Deux espèces de plantes en limite nord-ouest de leur aire de répartition sur le territoire de la Métropole Rouen Normandie

Le territoire compte également des espèces d'affinités plus septentrionales, boréales ou montagnardes, qui occupent naturellement les secteurs les plus nordiques de notre hémisphère. Ces espèces sont les plus menacées par les augmentations de températures à venir, tout particulièrement celles qui se trouvent en limite de leur aire de répartition. À titre d'exemple, on peut citer la Vipère péliade (*Vipera berus*), autrefois commune sur le territoire mais en très forte régression aujourd'hui et fortement menacée (Figure 34). Alors qu'elle était encore commune il y a une vingtaine d'année sur les milieux les plus chauds du territoire (comme les coteaux calcaires), elle se réfugie aujourd'hui dans les secteurs les plus frais et les plus humides.

Figure 34 : Répartition de la Vipère péliade sur l'ouest de l'Europe – Source : UICN

La Métropole Rouen Normandie compte parmi ses cortèges une grande originalité avec la présence de deux des trois espèces micro-endémiques (espèces dont l'aire de répartition est limitée à un territoire très restreint) de la Région Normandie : la Violette de Rouen (*Viola hispida*) et l'Ibéride intermédiaire (*Iberis intermedia* subsp*. Intermedia*). Cette situation est unique en France pour une région de plaine et de latitude élevée. Le territoire ayant longtemps été soumis à des climats très froids jusqu'à la fin des dernières

glaciations (- 10 000 ans avant J.-C.), ces deux espèces, dites périglaciaires, constituent des témoins de ces paléoclimats antérieurs. Ces espèces sont particulièrement menacées, et la responsabilité de la Métropole Rouen Normandie est forte vis-à-vis de leur sauvegarde. Leurs populations très vulnérables se maintiennent grâce à des mesures de protection mises en œuvre depuis 1998 pour la Violette de Rouen et 2006 pour l'Ibéride intermediaire. Elles témoignent du fait qu'il est possible de conserver des espèces, même liées à des climats plus froids lorsque des mesures adéquates sont mises en place.

Les menaces

Le territoire de la Métropole Rouen Normandie n'échappe pas aux pressions qui pèsent sur la biodiversité. À titre d'exemple, 18 % de la flore indigène connue du territoire a disparu. Ce taux est très élevé en comparaison du taux régional qui s'établit à 9 %, et 27 % de la flore restante est menacée de disparition (CBNBL, 2022). La disparition des milieux du fait de l'artificialisation des sols est la principale pression exercée sur la biodiversité sur le territoire. Entre 2008 et 2018, 860 ha ont été artificialisés, les forêts et les milieux naturels ont perdu 350 ha et les terres agricoles 510 ha (Figure 35). La surexploitation des ressources agricoles et forestières engendre également des pertes de biodiversité avec la mise en place localement de pratiques intensives, qui aboutissent à la destruction des sols et des espèces. La Métropole est également concernée par la pollution diffuse, avec la dissémination de produits phytosanitaires, la contamination des milieux par les plastiques, les hydrocarbures, les rejets médicamenteux, etc. Ce sont notamment entre 100 et 200 tonnes de déchets plastiques qui sont rejetés à la mer via la Seine tous les ans, un afflux de déchets et de pollutions diffuses (hydrocarbures, pesticides, etc.) qui peut être plus colossal encore avec les inondations. Actuellement, 40% des masses d'eau de surface de la Métropole sont en bon état écologique d'après l'état des lieux de 2019 mais aucune de ces 15 masses d'eau n'est projetée en bon état écologique pour 2027.

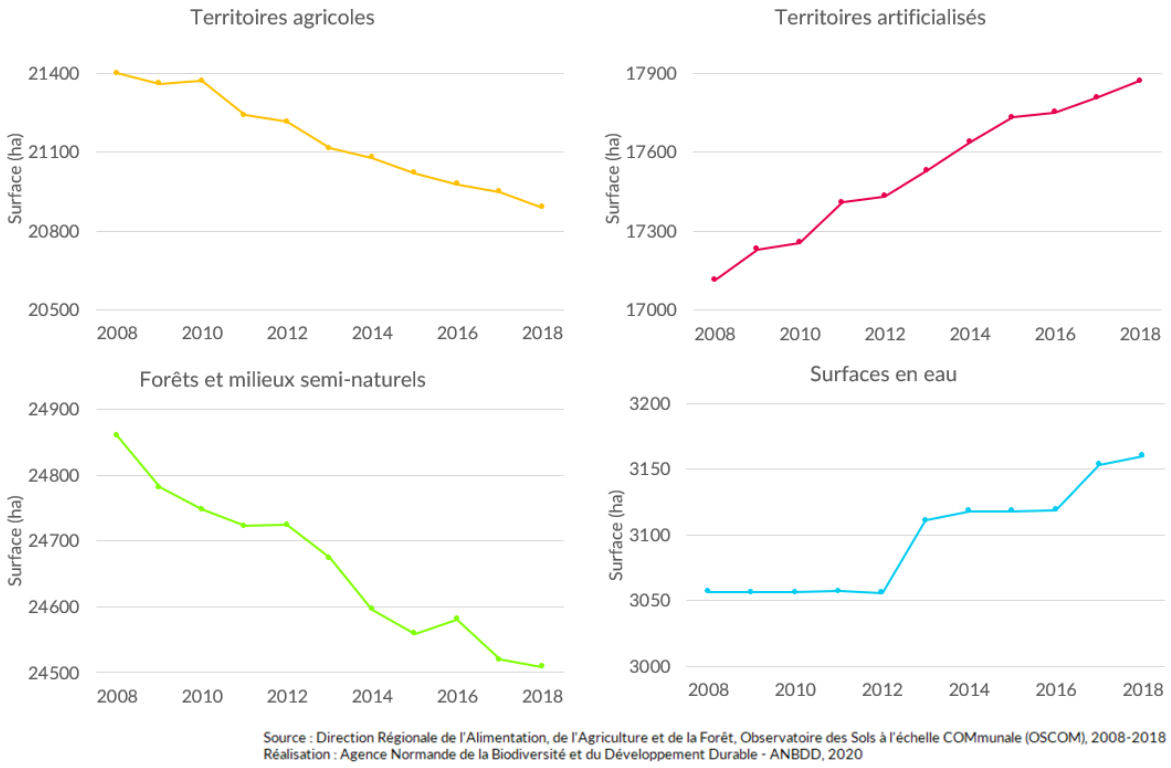


Figure 35 : Évolution de l'occupation des sols de la Métropole Rouen Normandie entre 2008 et 2018.

Les effets du changement climatique sur la biodiversité

Les effets du changement climatique semblent déjà observables sur la biodiversité de la Métropole et de la Région, mais il est encore difficile de corréler directement ces observations aux changements climatiques en l'absence d'études scientifiques spécifiques.

Des modifications dans la phénologie des espèces sont observables. À titre d'exemple, les hirondelles des fenêtres arrivent 18 jours plus tôt au printemps qu'il y a 50 ans en Normandie (GONm, 2020). Les phases d'hibernation des hérissons sont aussi réduites (GMN, 2021). De nouvelles espèces thermophiles sont également arrivées sur le territoire. L'Anax napolitain, libellule considérée comme absente il y a 20 ans, est aujourd'hui fréquemment observée sur le territoire de la Métropole et dans toute la Normandie. L'ensemble des odonates thermophiles sont d'ailleurs en forte progression en Normandie (Figure 36). Une première observation de la Torilis des champs, une autre espèce thermophile, a été faite sur la commune des Authieux en 2022 (CBNBL).

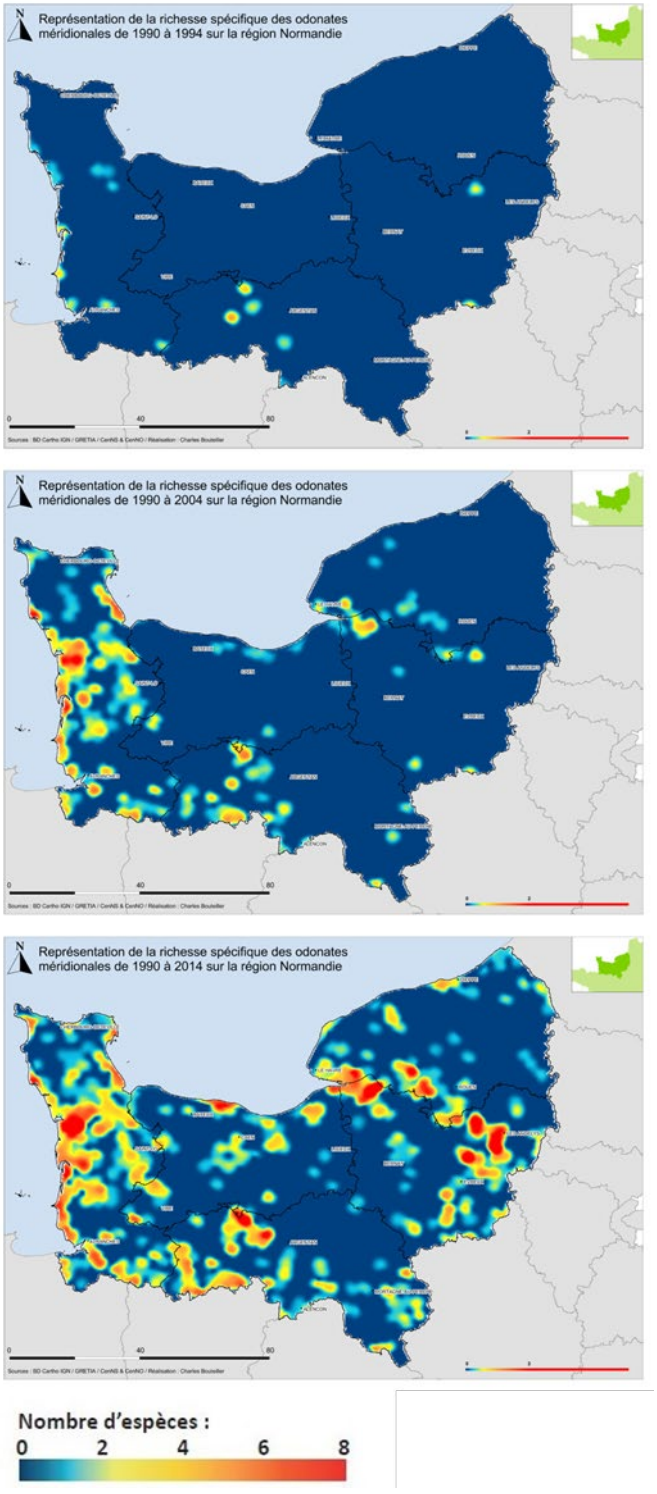


Figure 36 : Évolution de la répartition des espèces d'affinités méridionales par périodes – Sources : CEN et GRETIA, 2020.

À l'inverse, des espèces d'affinités septentrionales sont en régression sur le territoire, comme la Grenouille rousse, ou la Vipère péliade. En ce qui concerne les amphibiens, les espèces d'affinités septentrionales semblent plus vulnérables que celles d'affinités méridionales (Figure 37). Cependant, du fait de la raréfaction et de la fragmentation de leurs habitats, il est difficile de complètement imputer ces tendances au changement climatique.

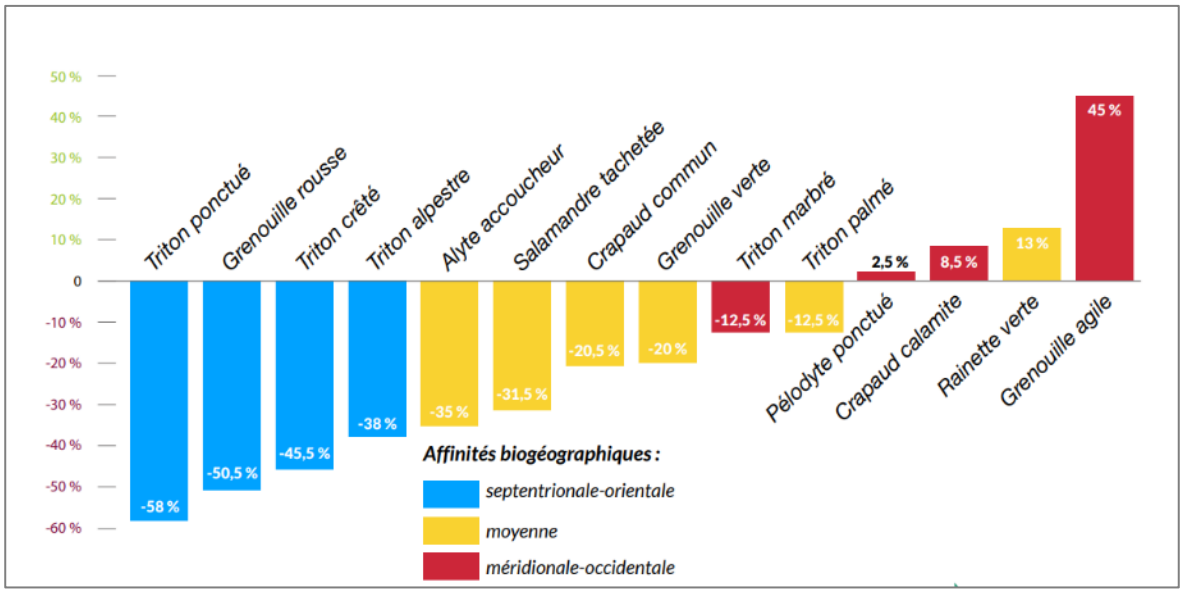


Figure 37 : Taux d'évolution des amphibiens en Normandie de 2007 à 2018 et précision de leurs affinités biogéographiques – Source : OBHeN, ANBDD, 2020.

Si ces exemples semblent significatifs, il n'est pas possible aujourd'hui de quantifier et d'analyser ces mouvements d'espèces. La mise en place d'atlas avec des listes d'espèces et des cartes à l'échelle de la Métropole pour les différents groupes suivis, avec les dates des premières et des dernières observations sur le territoire permettrait de mieux appréhender les effets du changement climatique. Ils constitueraient également un bon indicateur pour le suivi des continuités écologiques et des éventuelles ruptures.

L'arrivée de nouvelles espèces pourraient être bénéfique à la biodiversité du territoire. L'augmentation de la température constitue un frein à l'installation d'un grand nombre d'espèces sur les secteurs nord de l'Europe. Mais en l'absence d'études approfondies sur la capacité de maintien des espèces locales et des effets de la concurrence interspécifique que cela va engendrer, il n'est pas possible de répondre à cette question. À ce jour, les nouvelles espèces du territoire sont des espèces ubiquistes et communes, qui présentent moins d'intérêt que nombre d'espèces à forte valeur patrimoniale du territoire. Ce sont l'ensemble des espèces d'affinités septentrionales et boréales qui sont tout particulièrement menacées.

Tous les milieux seront impactés, mais à des degrés divers. Parmi les plus vulnérables, les formations de vasières et de boisements alluviaux le long des berges de la Seine seront fortement impactées, du fait des étiages ou des inondations plus importantes. D'autant plus que ces habitats ont très peu de solutions de repli. Les marais et les prairies humides seront également confrontés à deux difficultés : des phases d'inondation plus importantes, qui sont défavorables à un grand nombre d'espèces, provoquant leur asphyxie, et des phases de sécheresses également plus importantes, auxquelles un grand nombre d'espèces ne pourra résister. L'assèchement des zones de reliques tourbeuses encore présentes sur le territoire pourrait engendrer de nouvelles sources d'émissions de gaz à effet de serre. L'assèchement des mares en été sera également néfaste aux espèces inféodées aux milieux aquatiques. L'augmentation de la température des cours d'eau, à mettre en parallèle avec la baisse de l'oxygène dissous, sera défavorable à toutes les espèces des eaux froides, telles que certains poissons migrateurs. Les milieux forestiers, dont les espèces structurantes (les arbres) ont des temps de régénération longs et de faibles vitesses de migration, seront également fortement impactés. Des habitats typiques des zones atlantiques comme les hêtraies à jacinthe

ou les boisements frais de pente à scolopendre sont particulièrement menacés de disparition. À ce jour, aucune étude ne permet de dire que certains milieux pourraient être avantagés. Même les coteaux calcicoles, où les espèces sont habituées à des conditions de températures et de sécheresses élevées, pourraient ne pas être épargnés. Des températures très élevées, amplifiées par les phénomènes d'albédo (Fréchet et al., 2023), pourraient être létales à certaines espèces. En Aquitaine, des études sur des milieux similaires ont montré des dépérissements d'espèces vivaces, au profit d'espèces pionnières, modifiant profondément l'habitat (Cistude nature, 2021).

Les mesures à prendre

La réduction des pressions sur la biodiversité (arrêt de l'artificialisation et de la surexploitation des sols, réduction des polluants, etc.), et la restauration des milieux naturels et de leurs fonctionnalités seront primordiales et déterminantes pour favoriser la résilience des milieux face aux changements déjà en cours et à venir.

L'enjeu principal reste également de limiter au maximum les émissions de gaz à effet de serre, et l'augmentation des températures. Chaque dixième de degrés d'augmentation évités correspond à des espèces et des milieux « sauvés ».

Le patrimoine naturel du territoire, composé pour partie de reliques périglaciaires (témoignage de l'histoire climatique de la région), d'espèces et de milieux de conditions froides, fraîches, ou de conditions atmosphériques humides, sera particulièrement affecté par les changements à venir. Des mesures spécifiques sont à prévoir pour ces milieux et ces espèces. Le développement du projet « Sentinelles du climat » (programme scientifique aujourd'hui développé en Normandie) sur le territoire est à envisager. Ce programme porte sur le suivi des espèces (et de leurs milieux) les plus menacées par les changements climatiques, les projections sur l'évolution de leurs écosystèmes et la recherche des modalités d'adaptation locale ou de zones de repli.

Le renforcement du réseau des corridors écologiques, adaptés à chaque trame augmentera les chances d'adaptation et de déplacement des espèces. Les corridors sont à travailler à l'intérieur du territoire de la Métropole, les deux gros îlots urbains du territoire (Rouen et Elbeuf) constituant des barrières infranchissables pour de nombreuses espèces, mais également en dehors du territoire (travail en cohérence avec la trame verte et bleue régionale à mettre en place) afin d'assurer une continuité et l'accueil des espèces thermophiles. Des protocoles de suivis adaptés sur des espèces témoins du bon fonctionnement de ces déplacements seraient à développer et à mettre en place.

Les solutions fondées sur la nature (SFN) doivent être privilégiées pour accompagner l'adaptation du territoire et des populations aux futurs changements climatiques. Les SFN sont des actions qui s'appuient sur les services rendus par les écosystèmes pour répondre aux défis que posent les changements globaux aux sociétés humaines (lutte contre les changements climatiques et les risques naturels, préservation de la santé et du bien-être, de la sécurité alimentaire et de l'approvisionnement en eau…). Il paraît nécessaire de définir à l'échelle de la Métropole des SFN à mettre en place, tout particulièrement dans la lutte contre les inondations, la préservation des zones humides, des zones exondées et des zones d'expansion des crues. Cet exercice sera notamment fondamental dans un contexte d'élévation du niveau marin et de ses effets dans la vallée de Seine (l'adaptation de la gestion des îles et des berges de la Seine et des principaux cours d'eau, des mares exondées).

Le changement climatique affecte également les aires naturelles protégées de la Métropole. Les gestionnaires sont confrontés à la nécessité d'intégrer les enjeux climatiques, d'adapter les pratiques de gestion, les objectifs de préservation, les protocoles de suivis, etc. Afin de les accompagner dans cette démarche, il pourrait être bénéfique de se rapprocher (ou d'intégrer) la communauté scientifique développée dans le cadre du projet Natur'Adapt piloté par Réserves Naturelles de France (de 2018 à 2023), ou tout du moins adopter les outils déployés dans le cadre de ce programme, afin d'élaborer des diagnostics

de vulnérabilité et des plans d'adaptations plus ciblés. Des aires protégées « pilotes » à l'échelle de la Métropole pourraient être identifiées pour le déploiement de ces outils. Les enseignements tirés de la gestion des aires protégées seront des références pour la gestion de l'ensemble des milieux naturels du territoire. Par ailleurs, le réseau des aires protégées serait à renforcer sur le territoire en mettant l'accent sur les espèces et les milieux les plus vulnérables aux changements climatiques.

L'implantation d'un réseau d'îlots de fraîcheur et de biodiversité en ville serait à travailler sur différentes strates (herbacées, aquatiques, boisées). La mise en œuvre d'ilot de fraicheur pour des espèces sauvages, telles que les amphibiens, qui ne peuvent réguler leur propre température, est également à envisager notamment par l'implantation ou la restauration de haies « climatiques », de points d'eau résistants à l'augmentation de la température sur les secteurs les plus stratégiques.

Enfin, aux effets du changement climatique s'ajoutent les conséquences de la prolifération des espèces exotiques envahissantes (EEE). Qualifié par les scientifiques (UICN, GISP) de « duo mortel » pour les milieux naturels, il est indispensable de faire la part des choses entre l'arrivée de nouvelles espèces thermophiles en expansion d'aires de répartition qui viendront enrichir les cortèges locaux, et des EEE qui pourraient contrecarrer la résilience et l'installation de nouveaux équilibres naturels. Les mesures de lutte contre les EEE deviendront de plus en plus pressantes pour préserver la biodiversité locale.

Enjeux de santé publique et de qualité de l'air

Dans son 5ème rapport d'évaluation (2013-2014), le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a confirmé que la santé humaine était sensible au changement climatique. Le climat agit sur la santé des populations, directement via les épisodes extrêmes (canicules, sécheresses, inondations, tempêtes…), et indirectement suite à leur action sur les écosystèmes dans lesquels les individus évoluent (émergence de nouvelles maladies, mauvaises récoltes…). Selon les Nations Unies, environ 20 000 décès ont été observés en France en lien avec ces évènements extrêmes ces deux dernières décennies. Les évènements extrêmes peuvent également avoir une incidence sur d'autres déterminants sociaux de la santé (perte de revenus ou d'un habitat suite à une inondation par exemple).

Profil épidémiologique de la Métropole Rouen Normandie

Le territoire est classé comme « densément peuplé » par l'Insee (737,9 hab/km² en 2017) et compte environ 490 000 habitants. En 2018, le nombre de naissances domiciliés était de 6 030, et le nombre de décès était de 4 542[9]. L'espérance de vie y est de 84,8 ans pour les femmes, et 77,5 ans pour les hommes[10]. Parmi les principales causes de décès dans le territoire pour la période 2009-2015, les tumeurs figurent en première position suivies des maladies circulatoires (cardio-vasculaires), des morts violentes ou d'accidents (accidents de transport, suicides, homicides, et autres causes externes de décès) et des maladies respiratoires (Figure 38). Néanmoins, en termes d'affections de longue durée (ALD) nécessitant un traitement thérapeutique long et coûteux, les maladies cardio-vasculaires arrivent en tête dans le territoire, suivies des tumeurs et des maladies endocriniennes pour la période 2008-2014[11].

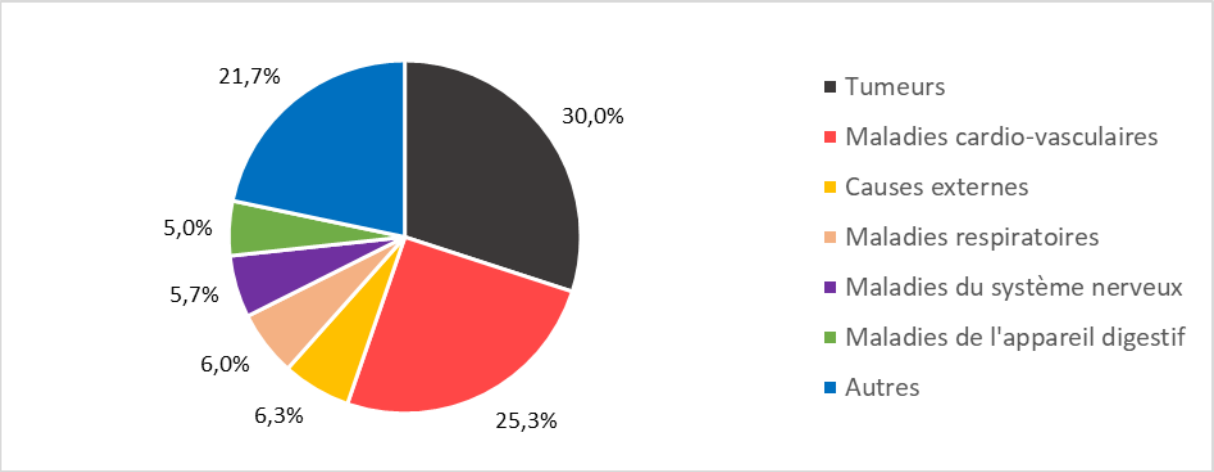


Figure 38 : Principales causes de décès dans la Métropole Rouen Normandie entre 2009 et 2015 – Source : Inserm cépiDc, État des lieux sanitaire de la Métropole Rouen Normandie, Observatoire régional de la Santé et du Social de Normandie (2019).

En termes d'accessibilité aux soins, l'accessibilité potentielle localisée (APL)[12] représente en moyenne 4,6 consultations pour un médecin généraliste accessibles par an et par habitant. Cette valeur est supérieure à la moyenne régionale. Cependant, il existe des disparités entre les communes rurales et péri-urbaines de l'ouest du territoire où l'APL est beaucoup plus faible, en comparaison avec les communes plus urbaines du centre-est. La proportion de médecins généralistes, de pharmacies et d'hôpitaux est également plus faible

[9] Source Insee, état civil en géographie au 1er janvier 2019

[10] Source : Observatoire régional de la Santé et du Social de Normandie, Etat des lieux sanitaire de la Métropole Rouen Normandie, 2019, 32p.

[11] Sources : CCMSA, Cnamts, CNRSI

[12] L'APL mesure l'adéquation spatiale entre l'offre et la demande de soins de premier recours à une échelle communale et en lien avec les territoires limitrophes. Cet indicateur prend notamment en compte les disparités d'offre de soins à travers la densité de professionnels de santé et le temps nécessaire à un patient pour rejoindre son médecin. Pour plus d'informations, consulter Barlet, M., Coldefy, M., Collin, C., & Lucas-Gabrielli, V. (2012). L'accessibilité potentielle localisée (APL) : une nouvelle mesure de l'accessibilité aux médecins généralistes libéraux.

dans les communes de l'ouest du territoire comparé aux communes du centre et de l'est (Figure 39). Ces écarts peuvent très probablement s'expliquer par les différences de densité de population, qui est plus importante dans les communes du centre et de l'est du territoire, plus peuplées, et où les services et les structures de santé sont proportionnellement plus implantés.

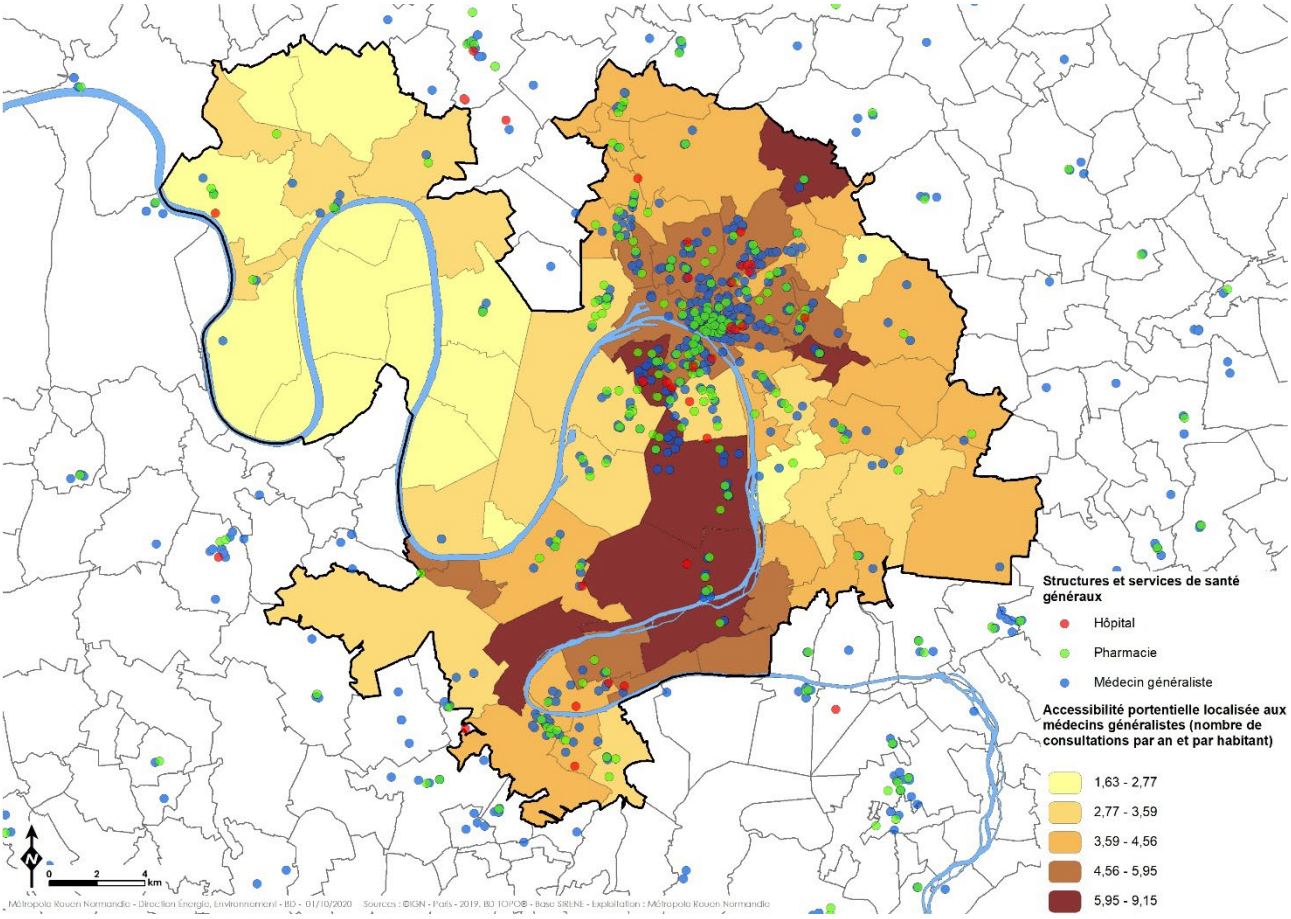


Figure 39 : Localisations des structures et des services de soins généraux et accessibilité potentielle localisée aux médecins généralistes dans la Métropole Rouen Normandie et les communes limitrophes. Sources : SNIIR-AM 2018, EGB 2018, CNAM-TS ; populations par sexe et âge 2016, distancier METRIC, INSEE, DREES

Impacts directs du changement climatique sur la santé

Les projections climatiques montrent une augmentation des températures et des jours de chaleur, et induisent des risques sanitaires plus graves en période estivale. Des étés particulièrement mortifères comme ce fut le cas pour l'été 2003 pourraient donc se reproduire plus fréquemment dans les prochaines décennies notamment si le réchauffement venait à s'amplifier. Plus récemment, Santé Publique France a relevé une surmortalité relative de + 9,6 % et +27,8 % respectivement lors des canicules de 2019 et 2020 pour les départements ayant été concernés par les dépassements des seuils d'alerte (dont la Seine-Maritime pour les deux années)[13]. De plus, les différences thermiques entre la ville et la campagne vont vraisemblablement s'accroître dans les prochaines décennies en raison du phénomène d'îlot de chaleur urbain. Les risques sanitaires déjà très forts en journée du fait des très fortes chaleurs – synonymes de forte déshydratation – se poursuivraient durant la nuit qui demeurerait étouffante, impliquant une réduction notable de la durée et de la qualité de la récupération physiologique pour les citadins (INVS, 2003 ; Besancenot, 2004 ; Cantat, 2010).

En particulier, le nombre de nuits anormalement chaudes ou les nuits tropicales sont susceptibles de considérablement augmenter en France métropolitaine. L'INSEE et Météo-France indiquent qu'environ 1

[13] Bulletins de Santé Publique France sur les étés 2019 et 2020 en Normandie.

habitant sur 7 sera exposé aux anomalies de chaleur les plus fréquentes d'ici 2050 (Fontès-Rousseau, Lardellier, Soubeyroux, 2022). La Normandie sera relativement épargnée par cette tendance en raison de la proximité de la région avec le littoral, mais une hausse des journées et des nuits anormalement chaudes en toute saison, et des nuits tropicales l'été, reste malgré tout à prévoir. En effet, dans la Métropole Rouen Normandie, les scénarios du DRIAS indiquent une légère augmentation des nuits anormalement chaudes l'été de 3 à 6 jours en moyenne à court-terme (2021-2050) pour trois scénarios (optimiste (RCP 2.6), médian (RCP 4.5) et pessimiste (RCP 8.5)) et une stabilisation des occurrences des nuits tropicales. Cette tendance se stabiliserait ensuite à moyen-terme (2041-2070) et à long-terme (2071-2100) pour les deux premiers scénarios. En revanche, dans le cas d'un scénario de fortes émissions et concentrations de gaz à effet de serre (RCP 8.5), le nombre de nuits anormalement chaudes en période estivale augmenterait en moyenne à 11 jours à moyen-terme, et à 25 jours à long-terme. Plus de la moitié de ces nuits chaudes seraient des nuits tropicales (6 et 14 jours en moyenne respectivement à moyen et long-terme) (Tableau 12).

RÉFÉRENCE				NOMBRE DE NUITS ANORMALEMENT CHAUDES ET DE NUITS TROPICALES				
1976-2005				Période				
H	P	E	A	Saison	Hiver	Printemps	Eté	Automne
8 0	4 0	3 1	4 0	Nombre de nuits anormalement chaudes (jours) Nombre de nuits tropicales (nuits < 20°C)				

		HORIZONS											
		2021-2050				2041-2070				2071-2100			
SCÉNARIOS	RCP	H	P	E	A	H	P	E	A	H	P	E	A
SCÉNARIO OPTIMISTE	2.6	12 0	7 0	6 2	8 0	13 0	9 0	6 2	9 0	12 0	9 0	6 2	8 0
SCÉNARIO MODÉRÉ	4.5	12 0	9 0	7 3	9 0	13 0	11 0	8 4	12 0	18 0	12 0	9 4	16 0
SCÉNARIO PESSIMISTE	8.5	15 0	9 0	7 2	12 0	20 0	13 0	11 6	16 0	31 0	23 0	25 14	31 1

Tableau 12 : Évolution historique et future du nombre moyen de nuits anormalements chaudes et de nuits tropicales dans la Métropole Rouen Normandie - Source : DRIAS, 2020, Chedru, 2022.

À l'inverse, l'évolution future des mortalités hivernales ne montre pas de tendances claires car les conclusions de la littérature scientifique divergent sur ce sujet.

Impacts indirects du changement climatique sur la santé

Dans un deuxième temps, les nouvelles conditions climatiques associées à des facteurs anthropiques (mobilités humaines, commerce international, etc..), ont aussi un impact sur les écosystèmes et la biodiversité, et favorisent le développement ou l'expansion d'espèces nuisibles à la santé humaine telles que la tique et la chenille processionnaire du chêne qui sont actuellement présentes sur le territoire de la Métropole, ou encore le moustique tigre et la chenille processionnaire du pin qui s'en approchent de plus en plus.

Depuis son introduction en France en 2004, la progression du moustique tigre est très rapide (Figure 40). Il est donc très fort probable qu'il parvienne à coloniser prochainement le territoire de la Métropole de Rouen, et que les habitants soient exposés aux maladies qu'il véhicule (zika et dengue) (Ladner et al., 2020). Selon l'Agence Régionale de la Santé de Normandie, le moustique tigre a été détecté pour la première fois durant l'été 2023 à Bois-Guillaume. Il reste à déterminer s'il s'agit d'une détection sporadique ou d'une installation pérenne.

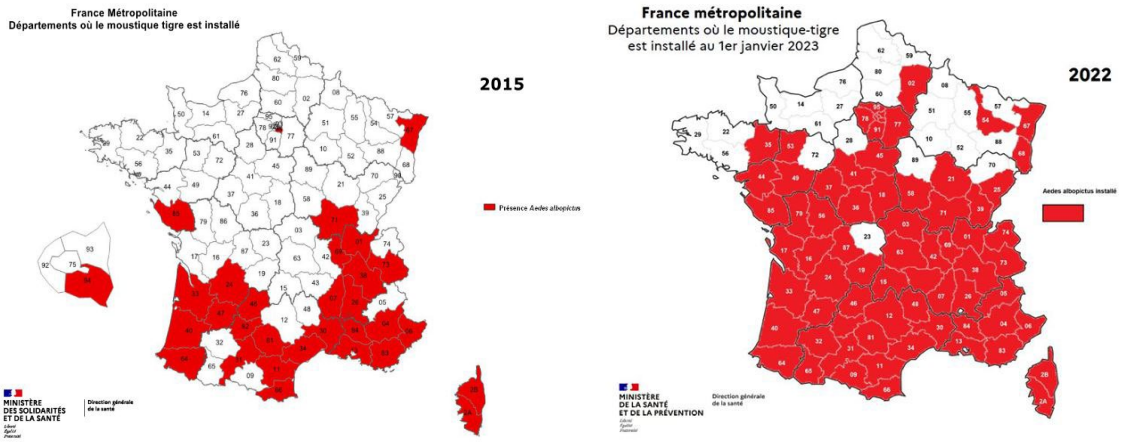


Figure 40 : Evolution de la présence du moustique tigre en France métropolitaine en 2015 et en 2020 – Source : Ministère des Solidarités et de la Santé, Direction Générale de la Santé, 2023.

D'autres enjeux sanitaires sont également en relation avec l'évolution de la ressource en eau et de sa qualité, et du risque inondation. Ce risque engendre notamment des dégâts matériels et des traumatismes aussi bien physiques sur le moment présent, que psychiques sur la période post-crise (par exemple stress ou dépression suite à une perte de revenus ou la dégradation d'un habitat). La vulnérabilité des équipements de santé (Figure 41) et des établissements de secours et de gestion de crise (casernes de pompiers, gendarmerie, etc - Figure 42) a aussi été étudiée dans le cadre du diagnostic du PAPI RLA. Sur le territoire de la Métropole, pour un aléa débordement de cours d'eau d'occurrence centennale, 41 établissements de santé et 2 sites de gestion de crise sont identifiés comme vulnérables. Dans le cas d'une inondation par ruissellement d'occurrence centennale, il s'agit de 16 équipements de santé et de 2 sites de gestion de crise (voir scénarios 1 et 2 – Tableaux 7 et 8).

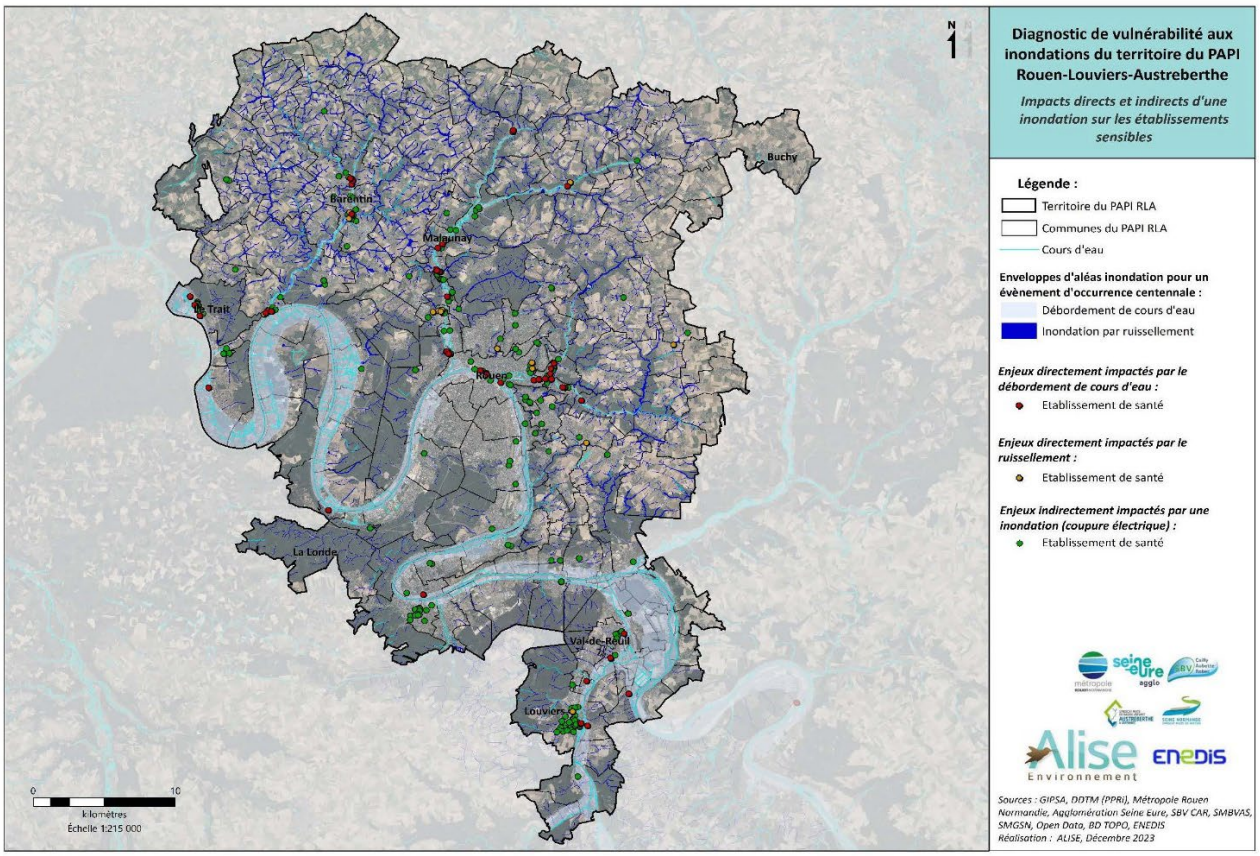


Figure 41 : Établissements de santé exposés au risque d'inondation – Source : ALISE Environnement, 2023, pour le diagnostic du PAPI RLA.

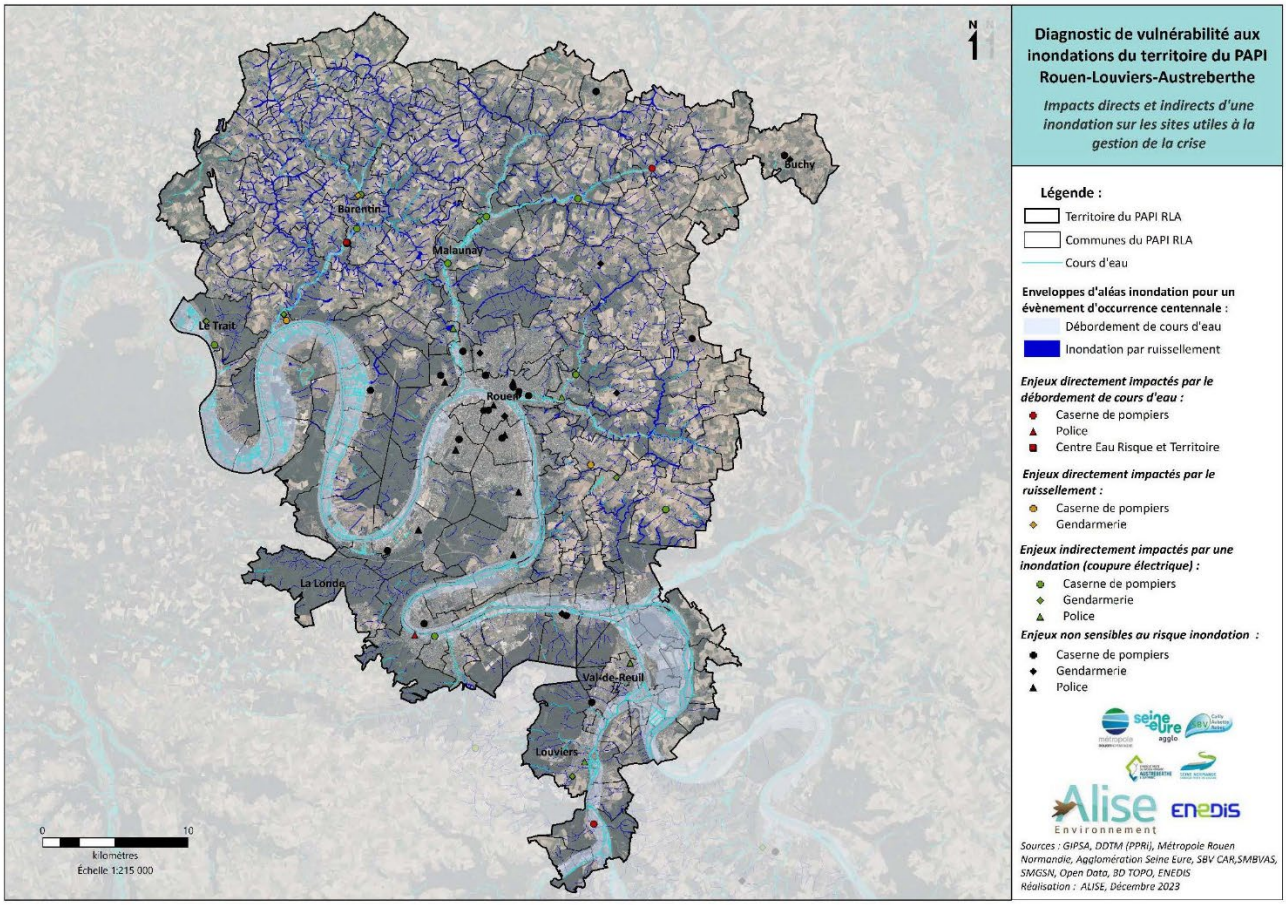


Figure 42 : Établissements de gestion de crise exposés au risque d'inondation – Source : ALISE Environnement, 2023, pour le diagnostic du PAPI RLA.

Enfin, le changement climatique a une influence sur les inégalités sociales de santé du territoire de la Métropole. En effet, certaines populations sont plus à risques selon l'âge, le lieu de résidence, l'état de santé initial, le travail en extérieur ou encore selon le niveau de revenu. La compréhension et l'application d'un message de santé publique afin de protéger sa santé et celle des autres, aussi appelé littératie en santé, est aussi un critère important qui diffère au sein de la population.

L'aggravation des conséquences sanitaires de la dégradation de la qualité de l'air en lien avec le changement climatique

La question du lien entre le changement climatique et la qualité de l'air ne se pose pas uniquement en termes d'impact du climat sur la qualité de l'air mais également en termes d'émissions de polluants atmosphériques générateurs de gaz à effet de serre. Le rôle joué par le climat sur la qualité de l'air demeure complexe en raison de la variabilité des facteurs météorologiques et des actions visant à réduire les émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre. Il convient de distinguer les polluants atmosphériques qui affectent la santé humaine et l'environnement, des gaz à effet de serre qui contribuent au réchauffement de la Terre, bien que certains polluants participent aux deux phénomènes comme l'ozone troposphérique (O3) (Pierrefixe et Guégan, 2015). Celui-ci se forme par la réaction chimique de polluants précurseurs, à savoir le méthane (CH4), les oxydes d'azote (NOx), le monoxyde de carbone (CO) et les composés organiques volatils (COV), avec le rayonnement solaire et la chaleur.

D'autre part, la pollution de l'air a aussi des impacts déjà mesurables sur la santé humaine. Une évaluation quantitative des impacts sur la santé (EQIS) a étudié le fardeau à minima de la pollution aux particules fines ($PM_{2,5}$) sur la santé de la population du territoire pour la période 2015-2016. Ainsi, si les concentrations de particules fines avaient été de 5 µg/m³ en moyenne annuelle en 2015-2016, environ 400 décès auraient été évités en moyenne par an sur le territoire selon les niveaux de pollution observés (soit environ 9 % de la

mortalité totale des personnes âgées de 30 ans et plus). Ce fardeau représente aussi une perte d'espérance de vie d'environ 1 an. Par ailleurs, si les niveaux de pollution sur cette période avaient respecté la valeur seuil de l'OMS de 2005 (10 µg/m³ en moyenne annuelle), qui est aussi l'objectif affiché par le PCAET de la Métropole à l'horizon 2030, environ 110 décès en moyenne par an auraient pu être différés. D'autre part, même si les résultats de l'EQIS pour les effets à court-terme (hospitalisations, passages aux urgences) paraissent moindres en comparaison avec les effets à long-terme, ils montrent que les jours de pollution aux particules fines dépassant les valeurs guides de l'OMS peuvent affecter sensiblement les personnes de tous les âges. Cette étude présente cependant plusieurs limites, et il paraît donc indispensable de considérer ces résultats avant tout comme des ordres de grandeur, et ne couvrant pas l'ensemble des effets de la pollution de l'air qui peuvent être nombreux et non systématiquement comptabilisés dans les indicateurs sanitaires étudiés (Kazmierczak, 2022).

L'amélioration de la qualité de l'air est donc bénéfique pour la santé humaine et la lutte contre le changement climatique, même si des réactions chimiques antagonistes peuvent renforcer le réchauffement du climat. C'est le cas notamment des émissions de dioxyde de soufre (SO_2) qui favorisent un refroidissement de l'atmosphère. Leur réduction participe donc au réchauffement du climat (GIEC, 2014).

De manière générale, la qualité de l'air de la Métropole s'améliore depuis une dizaine d'années comme en témoignent les réductions des concentrations et des émissions de polluants atmosphériques depuis les années 2010 (Figure 43 – Legrand et al., 2020).

Malgré tout, il existe encore des axes d'amélioration vis-à-vis des émissions d'ammoniac qui stagnent sur le territoire et peuvent former des particules fines par réactions chimiques dans l'atmosphère avec les oxydes d'azote et de soufre. De plus, des épisodes de pollutions peuvent se produire ponctuellement, et des polluants atmosphériques peuvent aussi être « importés » d'autres régions ou pays via la circulation des vents. Ce fut notamment le cas en mars 2015 où un épisode majeur de pollution de particules fines (PM_{10}) a été observé dans plusieurs pays d'Europe de l'Ouest (Allemagne, France, Belgique, Pays-Bas et Royaume-Uni).

Les particules fines (PM_{10} et $PM_{2,5}$) et le dioxyde d'azote (NO_2) représentent encore un enjeu de qualité de l'air en zone urbaine et péri-urbaine, notamment près des axes routiers (Figure 44). L'ozone troposphérique (O_3) est aussi un enjeu en été où des pics de pollution peuvent facilement se produire. Sa concentration dans l'air reste élevée et tend à augmenter. Ce polluant peut avoir un effet sur les écosystèmes, en particulier sur les cultures dont les rendements peuvent être affectés[14].

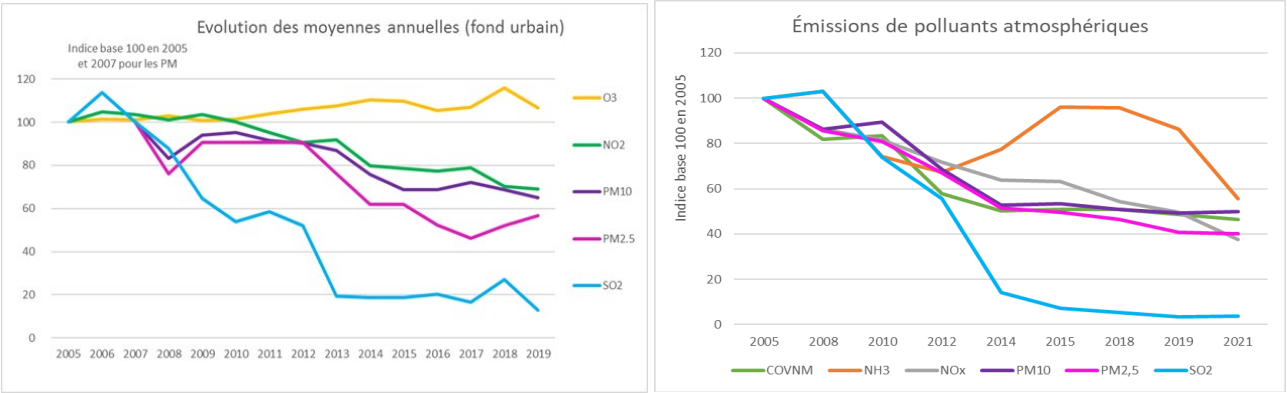


Figure 43 : À gauche, évolution des concentrations moyennes annuelles des principaux polluants sur le territoire de la Métropole Rouen Normandie. À droite : évolution des émissions annuelles de polluants atmosphériques sur le territoire entre 2005 et 2019 – Source : pour le graphique de gauche, ATMO Normandie, 2020 ; pour le graphique de droite, ORECAN – Atmo Normandie – Inventaire version 4.1.0 – Format de rapportage PCAET_ORECAN.

[14] https://www.atmonormandie.fr/article/effets-sur-lenvironnement

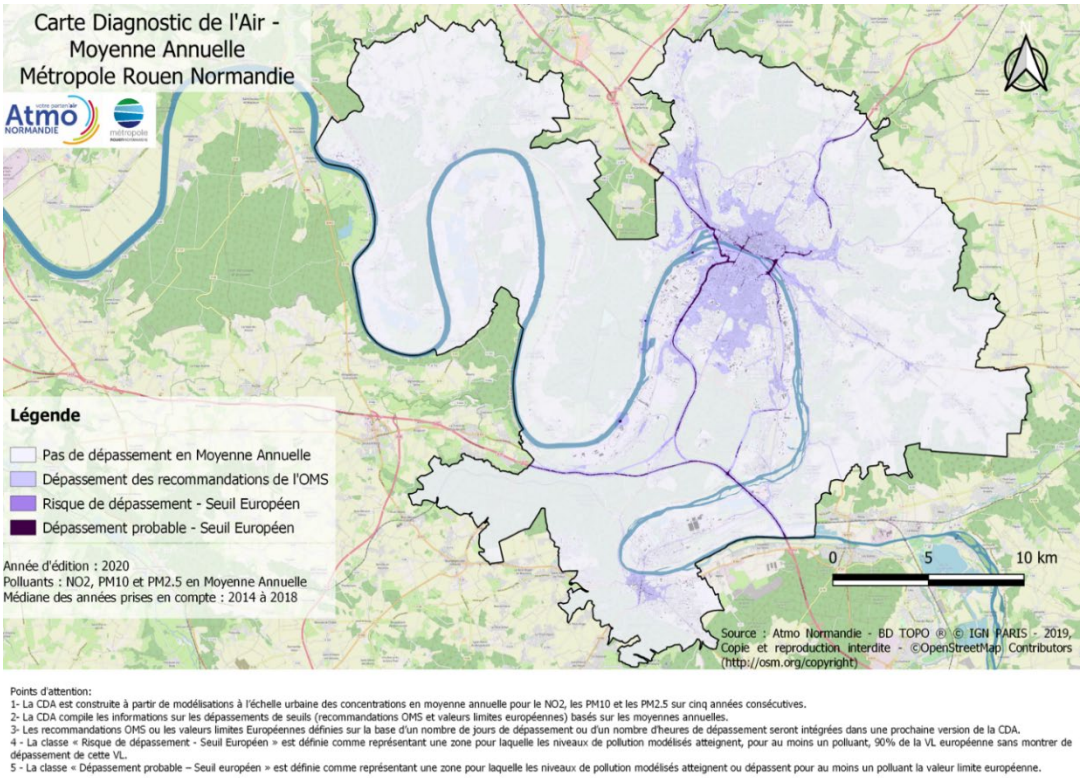


Figure 44 : Carte Diagnostic de l'Air réalisée par Atmo Normandie en 2020. Elle s'appuie sur les anciens seuils de l'OMS de 2005.

Les études à l'échelle de l'Europe FP7 IMPACT2C et IMPACT3C ont estimé l'impact sur la qualité de l'air d'un réchauffement moyen du climat de +2°C et de +3°C à l'horizon 2050 par rapport à la période 1971-2000, et en prenant aussi en compte les réglementations européennes actuelles et la diminution maximale des émissions (Fortems-Cheiney et al., 2016 ; Fortems-Cheiney et al., 2017). Pour une augmentation de + 3°C (scénario pessimiste – RCP8.5), les modèles montrent une augmentation des concentrations d'ozone de fond et des pics de pollution en été en France. Ces phénomènes seraient plus importants que pour un réchauffement de +2°C. En effet, les concentrations d'ozone seraient accentuées par les concentrations mondiales de méthane qui doubleraient, ainsi que par les émissions de polluants hors d'Europe. Par conséquent, les efforts réalisés pour réduire les émissions européennes des polluants précurseurs de l'ozone pourraient être annihilés par un réchauffement de +3°C dans le cas d'un scénario pessimiste. Les conséquences seraient variables en Europe, où les régions du sud-est seraient les plus affectées. Ces projections correspondraient aux seuils d'alerte de la règlementation actuellement en vigueur.

À l'inverse, les concentrations hivernales diminueraient dans le nord de la France avec un réchauffement du climat de +2°C et +3°C, en raison d'un adoucissement des hivers entraînant une baisse des besoins en chauffage, et donc des émissions de polluants induites. L'augmentation de la température moyenne pourrait aussi favoriser une évaporation plus importante des particules fines. Des incertitudes demeurent quant aux concentrations de particules au printemps, qui est une période propice aux émissions de nitrates d'ammonium issues du travail des sols agricoles et du trafic routier.

Enfin, des températures et une concentration en CO_2 plus élevées pourraient favoriser la production et la libération de pollens et d'allergènes dans l'air (GIEC, 2014 ; Bélanger et al., 2019 ; Fontana et Wüthrich, 2019), ainsi que l'implantation d'espèces très allergisantes comme l'ambroisie, déjà repérée dans certaines communes de la Métropole. Ces perspectives pourraient supposer un risque d'allergie plus important pour les habitants.

Au-delà de ces évolutions, il faudra constamment renforcer les mesures de réduction des émissions et des concentrations de polluants atmopshériques et des gaz à effet de serre qui seront les plus bénéfiques pour la qualité de l'air.

Mobilités

La Métropole Rouen Normandie se caractérise par une diversité de typologie de territoires allant de zones urbaines très denses, à des territoires peu denses, engendrant de fait des mobilités très variées selon les secteurs et s'appuyant sur plusieurs catégories de modes de transport (Figure 45) : l'aérien, le fluvial, le maritime, le routier, le ferroviaire, le transport par câble, les transports en commun, le vélo, les engins de déplacement personnels comme les trottinettes, sans oublier la marche à pied. Tous ces modes de transport peuvent être mobilisés dans le cadre des déplacements des personnes et des marchandises (Savary, 2023).

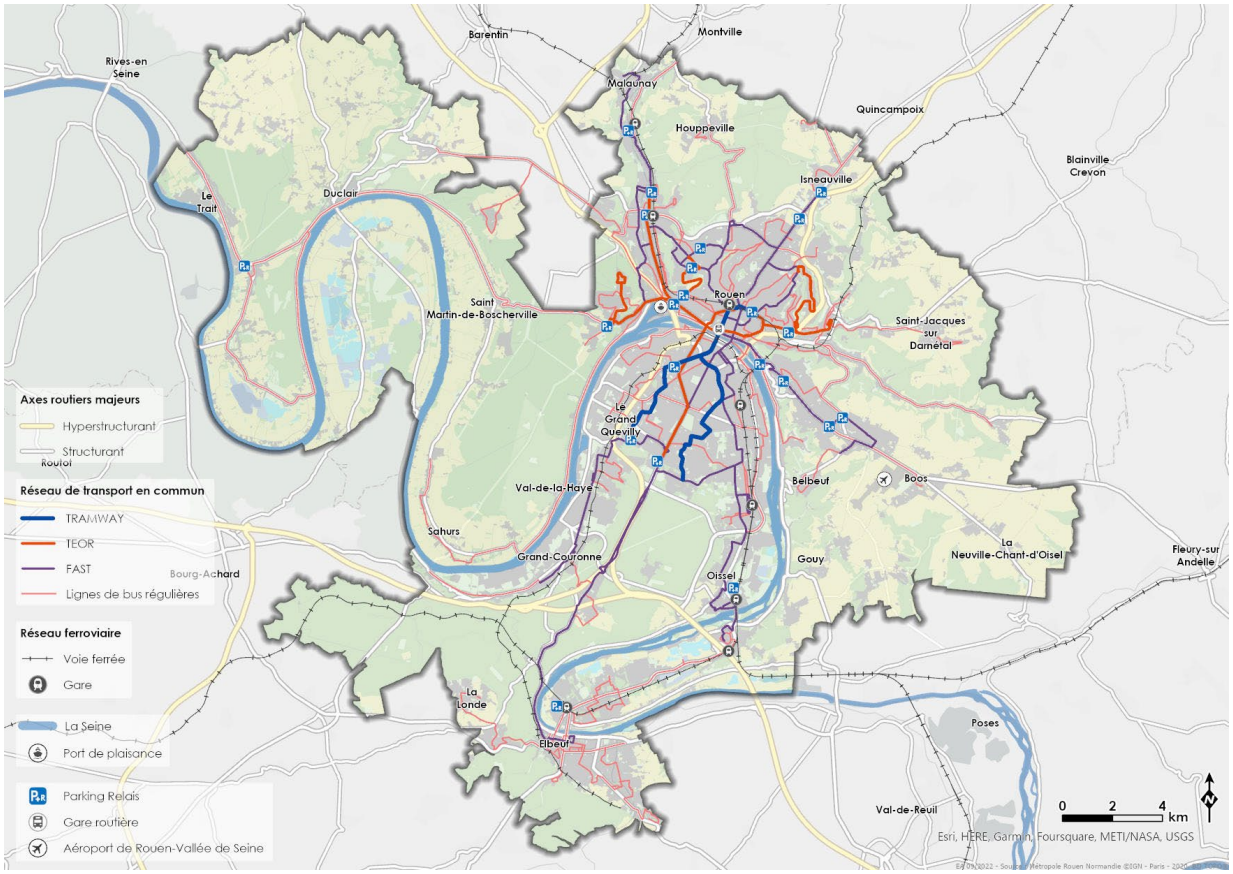


Figure 45 : Panorama des mobilités et des infrastructures de desserte dans la Métropole Rouen Normandie – Source : Métropole Rouen Normandie, 2022.

Panorama des mobilités sur le territoire

Le panorama global des mobilités sur le territoire de la Métropole a été réalisé en 2017 dans le cadre d'une enquête ménages déplacement (EMD). Celle-ci montre que 1,67 million de déplacements internes et d'échanges sont réalisés quotidiennement sur la Métropole, soit une moyenne de 3,67 déplacements quotidiens par jour et par personne. À l'inverse, 13,6 % des habitants ne se déplacent pas chaque jour. Les déplacements recensés ont une moyenne unitaire de 4,28 km et 16 min de trajet. La voiture individuelle représente un peu plus de la moitié des déplacements, tandis que la marche et les transports en commun en constituent respectivement presque un tiers et 11 %. La part modale du vélo est quant à elle marginale (Figure 46).

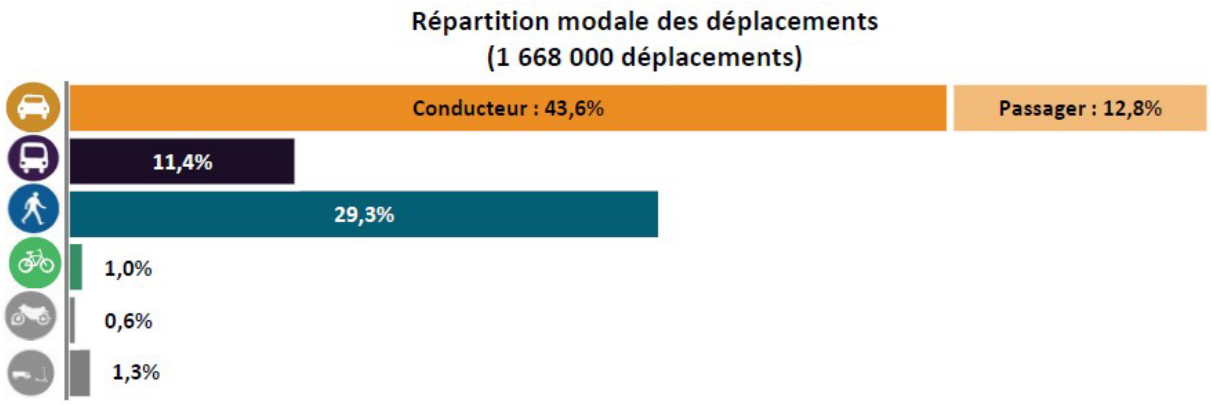


Figure 46 : Répartition modale des déplacements sur le territoire de la Métropole Rouen Normandie - Source : Cerema, 2018

Vulnérabilités physiques des infrastructures de transport

Ce panorama synthétique des mobilités permet d'appréhender les deux principales vulnérabilités des mobilités au changement climatique à court et long terme identifiées par la littérature scientifique et les études menées par le Cerema (Savary, 2022). La première est d'ordre physique et matérielle, et renvoie à la sensibilité des infrastructures de transport aux aléas et aux catastrophes. L'augmentation des températures et la fréquence plus importante des aléas de type inondation, canicule, sécheresse pourraient notamment avoir un impact sur les infrastructures et les ouvrages d'art routiers (fragilisation des couches de roulement classiques, inondations des trémies proches de la Seine), ferroviaires (dilatation des rails et fragilité des caténaires en période de forte chaleur, inondations des stations de métro suite à de fortes pluies et ruissellements), et la navigation fluviale (augmentation du niveau marin, crues plus fréquentes, ou à l'inverse étiages plus sévères l'été).

Le diagnostic des vulnérabilités aux inondations réalisé dans le cadre du diagnostic du PAPI RLA a permis de mettre en exergue l'exposition du réseau routier, de transport en commun (arrêts de bus), et du réseau ferroviaire ainsi que des gares (ALISE Environnement, 2023). Pour un débordement de cours d'eau d'occurrence centennale (scénario 1 – Tableau 7), 171 km de routes, 261 arrêts de bus, 66 km de voies ferrées et 2 gares seraient situés en zone inondable. Pour un épisode de ruissellement d'occurrence centennale (scénario 2 – Tableau 8), il s'agit de 224 km de routes, 147 arrêts de bus, 4 km de voies ferrées et 1 gare qui seraient aussi affectés par une inondation (Figure 47 et Figure 48).

À gauche, destuction d'une route suite à une coulée de boue à Saint-Paër en 2000 © Syndicat Mixte de Bassin Versant Austreberthe Saffimbec. À droite, inondation des routes à La Bouille © Syndicat Mixte de Gestion de la Seine Normande.

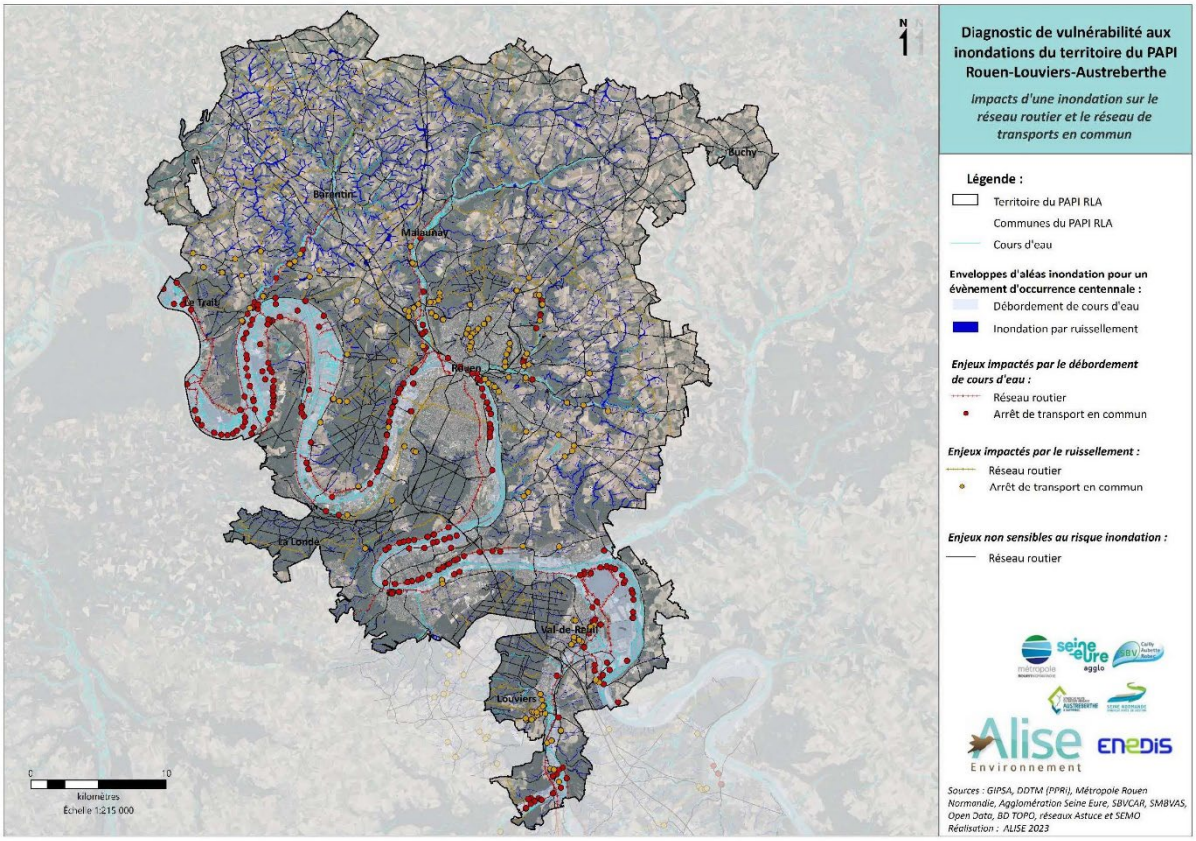


Figure 47 : Exposition des routes et des arrêts de transport en commun au risque d'inondation – Source : ALISE Environnement, 2023, pour le diagnostic du PAPI RLA.

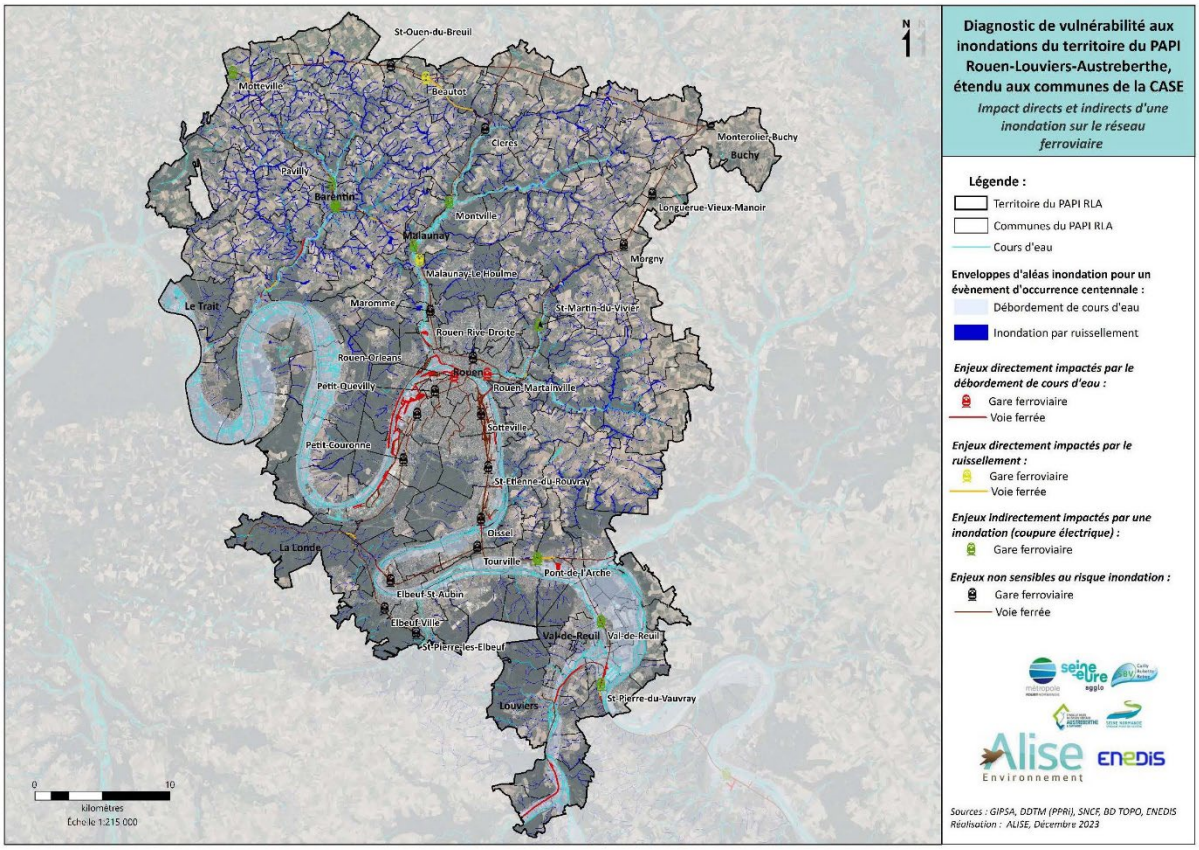


Figure 48 : Exposition des voies ferrées et des gares au risque d'inondation – Source : ALISE Environnement, 2023, pour le diagnostic du PAPI RLA.

Le retour d'expérience de l'incendie du pont Mathilde à Rouen en 2012 a permis notamment de montrer l'incidence d'une catastrophe et de la rupture sur une longue durée d'une grande infrastructure de transit et de franchissement de la Seine. Lors de cette période, le réseau routier disponible a été sujet à d'importantes sollicitations engendrant des congestions récurrentes et des situations de blocage complet de la circulation au coeur de l'agglomération dès le moindre incident (panne par exemple) sur l'un des axes routiers. Au travers de différents dispositifs de recueils de données et d'enquêtes auprès des usagers, l'étude menée par le Cerema entre 2013 et 2015 a permis de constater les évolutions suivantes pour la traversée de la Seine :

- une poursuite de l'utilisation de la voiture pour 77 % des usagers,
- un report modal de 7,9 % vers les transports en commun, de 2,8 % vers la marche à pied et de 0,4 % vers le vélo,
- une baisse de la mobilité en traversée de Seine de l'ordre de 10 %,
- l'absence de fortes contestations de la population en raison probablement de la fatalité de cet incident et de ses conséquences.

Vulnérabilités fonctionnelles des mobilités

Les dégâts sur les ouvrages d'arts et les infrastructures de mobilité peuvent donc engendrer des conséquences plus ou moins importantes sur les flux de mobilités. Cette seconde vulnérabilité d'ordre fonctionnelle des mobilités renvoie donc à la capacité des réseaux de substitution et des modes de transport à absorber le report modal qui résulte d'une perturbation majeure. Dans le cas de l'accident du Pont Mathilde, les reports modaux ont pu être possibles grâce notamment au maintien des voies dédiées à la circulation des transports en commun sur le pont Corneille, à la présence de voies cyclables sur les ponts Corneille et Jeanne d'Arc, et enfin à la mise en service quelques semaines avant l'incident de rames de tramway plus capacitaires. En outre, l'accident du Pont Mathilde a aussi mis en évidence l'obstacle majeur que représente la Seine pour la fluidité des mobilités.

Dans le cadre du premier Plan National d'Adaptation au Changement Climatique (PNACC), le Cerema a élaboré en 2014 une méthodologie d'analyse des enjeux d'un réseau de transport routier pour laquelle l'agglomération de Rouen a servi de support à la réflexion. S'appuyant sur son modèle statique multimodal des déplacements développé dans les années 2010, le Cerema a pu mettre en place une démarche automatique aboutissant d'une part à la désignation des tronçons routiers présentant les plus forts enjeux de transports ; ces axes routiers doivent faire l'objet d'une attention particulière dans le maintien de leur viabilité ; d'autre part, d'un réseau routier plus étendu, qui participe à la résilience globale du système de transport, en permettant d'absorber les éventuels reports de trafic en cas de défaillance du réseau principal.

Le pont Mathilde à Rouen après l'incendie en 2012 © Cerema

Les résultats mettent en évidence que les enjeux les plus importants concernent les grandes infrastructures de transit (A13), les grandes voies pénétrantes urbaines à fort trafic (l'A150, la N138, et dans une moindre mesure, l'A28, la N338, et la RD18E), et les troncs communs ou les jonctions de routes supportant des structures de trafic très hétérogènes (exemples : jonction RN31/A28, jonction RD6014/RD6015) (Figure 49). Cette analyse montre ici le caractère systémique d'un réseau routier d'agglomération, dont le niveau de trafic ne suffit pas à caractériser à lui seul l'enjeu d'une infrastructure donnée. Par exemple l'A150, avec un trafic compris entre 50 000 et 60 000 véhicules par jour, ressort comme ayant plus d'enjeux que le pont Mathilde qui supporte quant à lui plus de 80 000 véhicules par jour. Là encore, cela s'explique par la quantité et la qualité des itinéraires de substitution existants qui sont bien inférieures pour l'A150 que pour le pont Mathilde.

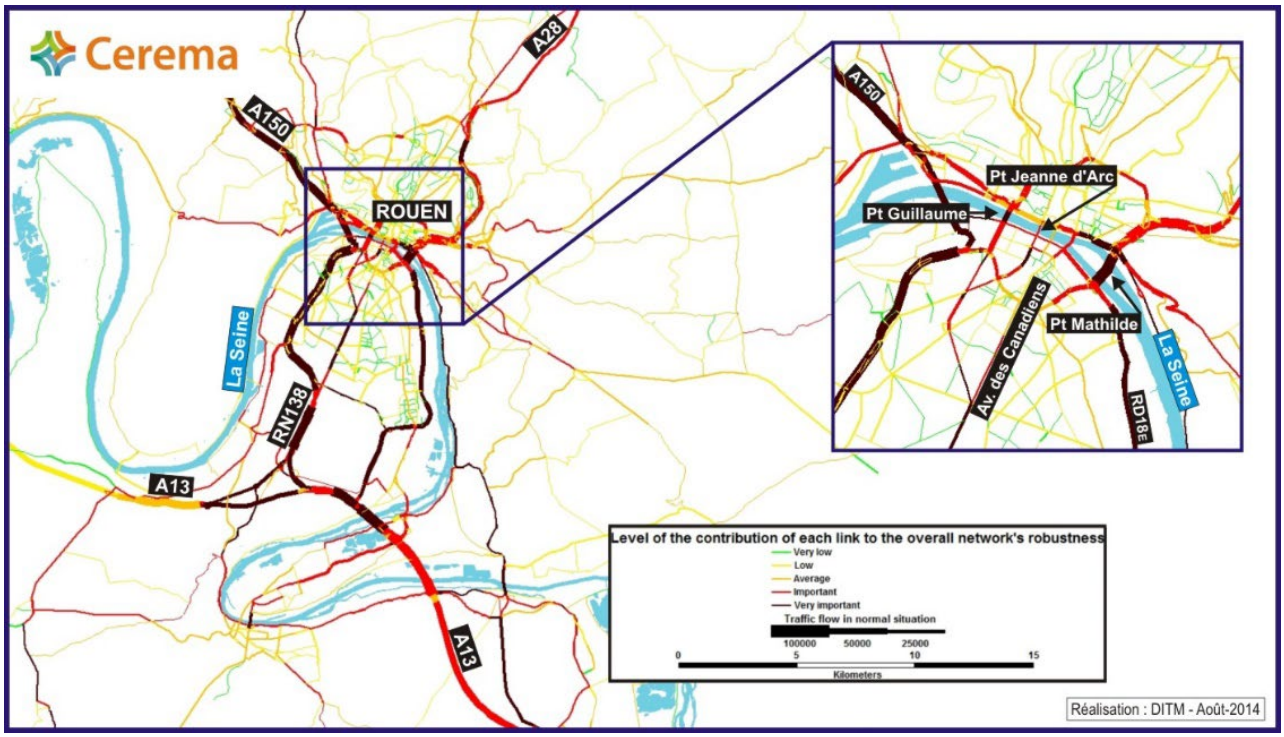


Figure 49 : Niveau de participation de chaque tronçon au niveau de résilience global du réseau routier – Source : Savary, Anselme, Combes, et Hombourger, 2014.

Leviers d'action pour l'atténuation et l'adaptation des mobilités au changement climatique

Afin de répondre à ces vulnérabilités, et aussi pour réduire la contribution du secteur des transports au changement climatique qui représentait plus d'un tiers des émissions de gaz à effet de serre dans la Métropole en 2021 (Figure 57), des premiers leviers d'action pour l'atténuation et l'adaptation existent tels que (Cerema, 2018) :

- le développement des transports en commun et des mobilités douces et actives (vélo, marche, etc.) accompagné d'infrastructures connectées et sécurisées (pistes cyclables notamment),
- le développement de l'intermodalité et du covoiturage, du transport fluvial et ferré de marchandises et de la logistique du dernier kilomètre,
- le rapprochement des zones de production et de consommation,
- l'optimisation des processus de construction, d'entretiens et d'exploitation des infrastructures (mise en oeuvre d'enrobés à faible température pour le renouvellement des chaussées)
- la réalisation de travaux de renforcement, ou à défaut d'anticipation des réparations prévisionnelles en cas d'événement. Lorsque l'adaptation ne sera que trop difficilement envisageable, il conviendra alors d'identifier les alternatives possibles. Les référentiels techniques des nouvelles constructions, mais également des véhicules, devront être adaptés.
- l'adaptation des conditions de travail et des horaires aux aléas extrêmes.

Architecture

Parmi les effets du changement climatique que le GIEC de la Métropole Rouen Normandie prévoit pour le territoire, les augmentations de la fréquence et de l'intensité des jours de chaleur, des sécheresses, des fortes pluies et des inondations auront sans doute le plus d'impact sur l'architecture des édifices et le confort intérieur des logements (Kabra, Arab et Fleury, 2022). De manière générale, l'évaluation quantitative de la vulnérabilité ou des coûts de l'inaction ne peut être actuellement estimée à l'échelle locale par manque de connaissance sur le parc immobilier et par manque de méthodologie adéquate. Malgré tout, plusieurs effets de ces aléas peuvent être caractérisés.

Effets de l'aléa vague de chaleur

L'aléa vague de chaleur peut notamment entraîner des dilatations thermiques différentielles impactant la structure (charges non prévues) et le second œuvre (fissuration des bétons, dilatation des composants métalliques, craquelure des enduits), et engendrer un inconfort particulièrement important pour les occupants et des risques pour la santé (dégradation de la qualité de l'air, surchauffe, effet de serre), pouvant nécessiter un recours plus fréquent à la climatisation (Kabra, Arab et Fleury, 2022). Comme évoqué en première partie, cet aléa pourrait devenir plus fréquent sur le territoire et impliquerait sans doute le plus l'architecture dans toutes ses dimensions tout en ayant le plus d'impact humain potentiel. Il paraît donc indispensable d'anticiper dès à présent les conséquences sur le bâti, et de les prendre en compte dans la production architecturale à travers les projets d'aménagement et de renouvellement urbain.

Effets de l'aléa sécheresse/retrait-gonflement des argiles

L'aléa sécheresse/retrait-gonflement d'argiles se manifeste de plusieurs manières sur le bâti : dégradation des fondations superficielles et des éléments de construction en contact avec le sol, fissurations en façade et autour des ouvertures, dislocation des dallages et des cloisons intérieures, désolidarisation des éléments jointifs (garage, perrons, terrasses) (Kabra, Arab et Fleury, 2022). Les dégradations peuvent avoir un impact significatif sur le confort avec une altération de l'isolation thermique, des problèmes de fermeture de portes ou de fenêtres, ou d'autres problèmes au niveau des sols. La dégradation d'une habitation pourrait aussi engendrer une dépréciation par ses occupants ou les acteurs de l'immobilier.

Sur le territoire, les risques de retrait-gonflement d'argiles sont faibles à modérés, et se situent principalement sur les flancs des coteaux des plateaux nord et est de la Métropole et sur quelques communes à l'ouest autour de la commune de Duclair (Figure 50).

Fissurations de façades en brique suite à un tassement différentiel à Darnétal dans la zone d'exposition modérée. – Source : Kabra, Arab et Fleury, 2022.

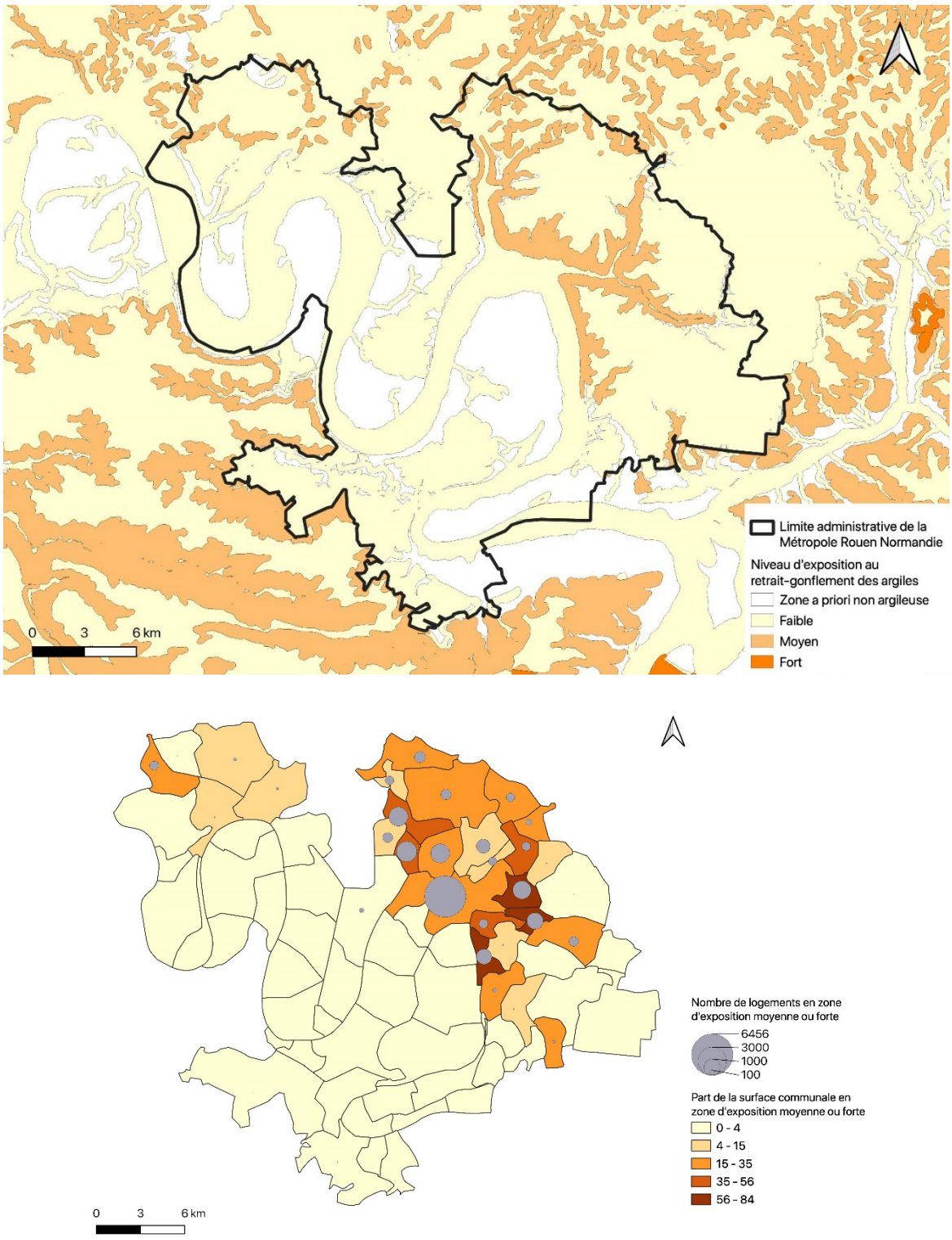


Figure 50 : En haut, carte d'exposition à l'aléa retrait-gonflement des argiles sur le territoire de la Métropole Rouen Normandie – Source : Géorisques, BRGM, 2019. – En bas : nombre de logements (cercles gris) et part de la surface communale situés en zone d'exposition moyenne ou forte au retrait-gonflement d'argiles. Source : BRGM, 2019 ; Fideli, 2017, CGDD/SDES, 2021. Traitements : Métropole Rouen Normandie, 2023. Les données sont disponibles sur le site du Ministère de la Transition Écologique et de la Cohésion des Territoires : https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/nouveau-zonage-dexposition-au-retrait-gonflement-des-argiles-plus-de-104-millions-de-maisons

Malgré tout, la grande majorité du territoire semble être épargnée par ce phénomène car plus de 60% des maisons individuelles et des surfaces sont situées dans des zones d'exposition faible (environ 51 720 maisons), et plus de 20% (maisons individuelles et surfaces) sont situées dans des zones *a priori* non

argileuses, soit environ 38 500 maisons. Moins de 15% des maisons individuelles du territoire de la Métropole seraient situées dans des zones d'exposition moyenne ou forte, soit environ 18 300 maisons (Tableau 13).

Tableau 13 : Nombre de maisons individuelles selon les zones d'exposition au retrait-gonflement des argiles, agrégées pour la Métropole Rouen Normandie – Sources : BRGM, 2019 ; Fideli, 2017 ; SDES, 2021 ; Traitements : Métropole Rouen Normandie, 2023.

Exposition au retrait-gonflement d'argiles (2019)	Maisons individuelles		Surface	
	En nombre	En %	En km²	En %
Métropole Rouen Normandie	**108 450**	**100,0**	**664,3**	**100,0**
Zone d'exposition moyenne ou forte	**18 294**	**13,1**	**58,9**	**11,8**
dont maisons construites avant 1921	8 104	4,6	-	-
dont maisons construites entre 1921 et 1945	2 206	1,0	-	-
dont maisons construites entre 1946 et 1975	3 590	2,7	-	-
dont maisons construites après 1976	4 394	4,9	-	-
Zone d'exposition faible	**51 722**	**62,5**	**456,3**	**66,3**
dont maisons construites avant 1921	14 930	17,1	-	-
dont maisons construites entre 1921 et 1945	2 369	1,8	-	-
dont maisons construites entre 1946 et 1975	11 442	13,1	-	-
dont maisons construites après 1976	22 981	30,4	-	-
Zones a priori non argileuses	**38 434**	**24,4**	**149,1**	**21,9**

Les projections climatiques portant sur l'évolution des sécheresses et des vagues de chaleurs, ainsi que des fortes précipitations pourraient amplifier les cycles annuels de sécheresse et réhydratation des sols (Gourdier et Plat, 2018), et induire un risque relativement plus important de ce phénomène sur le territoire de la Métropole, en particulier dans les communes où l'exposition est actuellement moyenne à forte. Des investigations supplémentaires seraient nécessaires afin de caractériser plus précisément ce phénomène sur le territoire, et d'évaluer si les zones actuellement faiblement exposées le seront plus fortement à l'avenir.

Effets de l'aléa inondation

Concernant l'aléa inondation, les dégâts sur le bâti peuvent être aussi nombreux et divers : détérioration des matériaux par contact prolongé de l'eau ou par remontées par capillarité (gonflements, moisissures, décollement des revêtements, altération des isolants), endommagement des revêtements de sol et des muraux, des cloisons et des menuiseries, détérioration des installations sensibles (compteurs électriques, chauffage, eau courante), déformation voire effondrement des parois, affouillement des fondations par érosion du sol, désolidarisation entre la structure et les fondations sous l'effet de la poussée d'Archimède, endommagement suite aux impacts d'objets transportés par le courant (Kabra, Arab et Fleury, 2022).

La localisation des habitations en zone inondable constitue l'un des principaux critères de vulnérabilité. Là aussi, le diagnostic du PAPI RLA a permis d'estimer la vulnérabilité des bâtiments situés en zone inondable pour des évènements de débordement de cours d'eau et de ruissellement d'occurrence centennale (voir scénarios 1 et 2 – Tableaux 7 et 8). Pour l'aléa débordement de cours d'eau, il s'agit de 19 462 bâtiments de plain-pied, 9 065 logements, 3 bâtiments patrimoniaux, 24 bâtiments remarquables et 278 bâtiments d'activités (industrielles, commerciales, hors agricoles). Pour l'aléa ruissellement, il s'agit de 4 168 bâtiments de plain-pied, 2 797 logements, 1 bâtiment patrimonial, 3 bâtiments remarquables et 6 bâtiments d'activités (hors agricoles).

Avec l'élévation du niveau marin, l'évolution des phénomènes des fortes pluies et des ruissellements occasionnés, et l'évolution de l'urbanisation, il est probable que le périmètre des zones inondables s'élargisse sur le territoire, exposant davantage d'habitants et d'activités économiques et sensibles (écoles, hôpitaux, etc.) à cet aléa.

Pratiques d'urbanisme et d'aménagement du territoire

Vulnérabilités résultant de l'étalement urbain et de l'artificialisation du territoire

Produit de la combinaison de phénomènes économiques et sociaux successifs amplifiés depuis la fin de la Seconde Guerre mondiale (reconstruction, « baby-boom », début des premiers congés payés, développement économique, démocratisation de la voiture et développement de la société de consommation, etc.), l'étalement urbain aggrave directement ou indirectement plusieurs effets du changement climatique sur le territoire et ses habitants. Les études préalables au PLU de la Métropole Rouen Normandie ont montré que 2,3 % du territoire métropolitain a été urbanisé entre 1999 et 2015, ce qui représente la disparition d'environ 1 550 hectares d'espaces naturels, agricoles et forestiers, soit 97 hectares en moyenne par an (Figure 51). L'artificialisation de ces espaces a réduit les capacités des puits de carbone naturels et a aggravé la vulnérabilité du territoire aux aléas climatiques, et à deux phénomènes dont les manifestations en milieu urbain sont particulièrement marquantes : les îlots de chaleur urbains et le risque inondation (Fréchet et al., 2023).

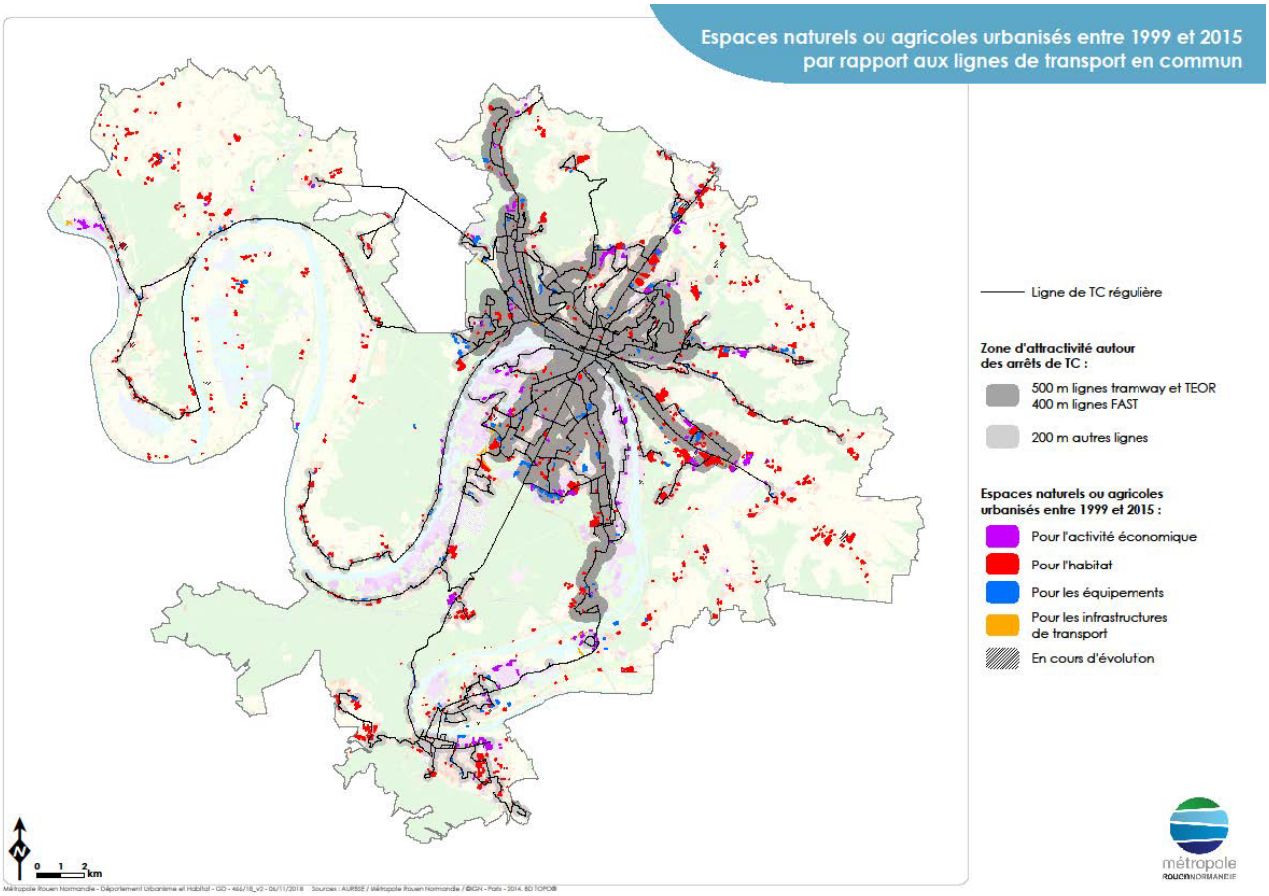


Figure 51 : Évolution de l'étalement urbain selon les usages entre 1999 et 2015 dans la Métropole Rouen Normandie. Source : PLU (2020). RP, Tome 1, Diagnostic territorial, p. 256

L'îlot de chaleur urbain

Le phénomène d'îlot de chaleur urbain est en étroite relation avec la concentration des activités humaines dans les zones urbaines dont les propriétés physiques amplifient la sévérité des épisodes caniculaires. Il se caractérise par un écart de température pouvant s'élever de 2°C à 4°C la nuit entre les centres d'agglomération généralement denses, la périphérie, et la campagne. Cette différence s'explique selon plusieurs paramètres et leurs différentes combinaisons dont les principales sont les formes urbaines (orientation et hauteur du bâti, volumes…), le comportement des matériaux sur l'espace public, l'absence ou la rareté de la végétation ou d'eau libre permettant le rafraîchissement de l'air, et les émissions de chaleur anthropiques issues du trafic automobile ou de la climatisation par exemple (Figure 52).

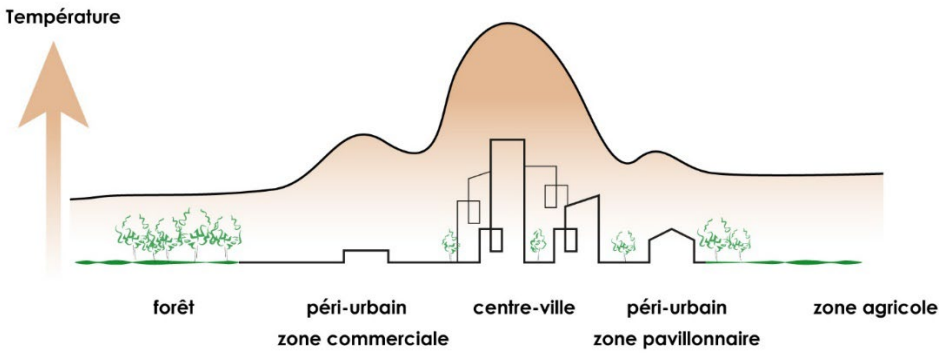


Figure 52 : Schéma simplifié de l'îlot de chaleur urbain – Source : Fréchet et al., 2023.

Une récente étude menée par le bureau d'études Solénéos dans le cadre de la révision du SCOT-AEC a permis de cartographier l'îlot de chaleur urbain à l'échelle de la Métropole Rouen Normandie. Elle s'appuie sur la réalisation de simulations numériques de 11 quartiers aux caractéristiques morphologiques différentes (densité de bâti, hauteur des bâtiments, taux de végétalisation) pour lesquels le comportement thermique a été modélisé au cours d'une période de canicule avec des conditions atmosphériques semblables à celles de 2003. À partir de la contribution à l'îlot de chaleur de chacun de ces quartiers, un modèle multilinéaire a été construit avec comme paramètres les caractéristiques morphologiques précitées des 11 quartiers simulés, et a abouti à une cartographie globale du territoire métropolitain (Figure 53).

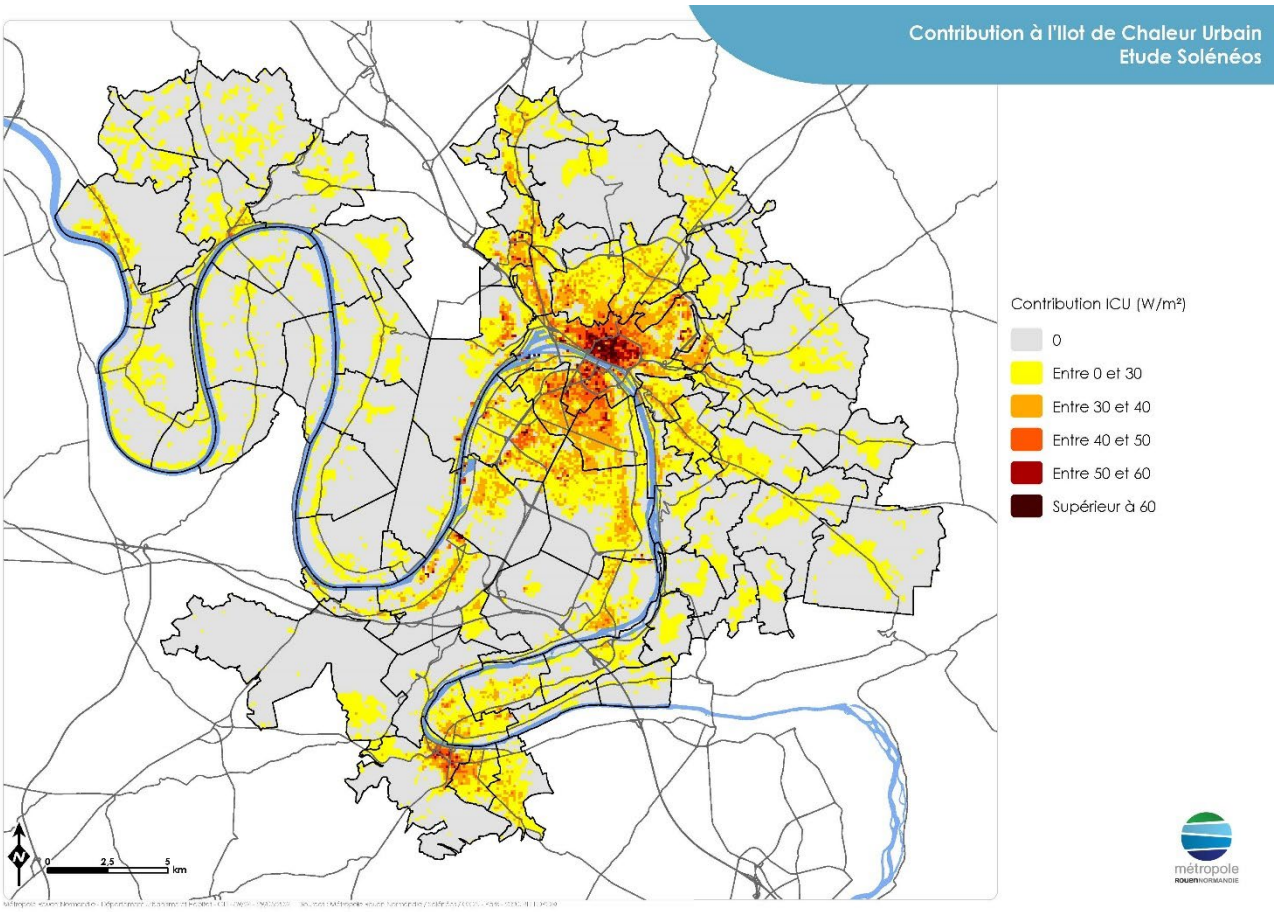


Figure 53 : Cartographie de la contribution à la surchauffe urbaine de la Métropole Rouen Normandie – Source : Étude menée par Solénéos dans le cadre de la révision du SCOT-AEC de la Métropole Rouen Normandie, 2024.

La cartographie de la contribution à l'îlot de chaleur urbain fournit une information concernant l'intensité avec laquelle chaque maille du modèle (1 hectare) réchauffe l'air durant une nuit d'une période de canicule.

Il s'agit donc de la caractérisation de la source de l'îlot de chaleur, là où le calcul de la température de l'air (et de sa différence avec la température en zone rurale) fournit une information sur l'impact de cette contribution et ses conséquences. Les valeurs affichées permettent donc d'identifier où se situent les zones urbaines qui sont principalement responsables de l'îlot de chaleur urbain (agglomérations de Rouen et d'Elbeuf). Il est aussi important d'interpréter cet indicateur en termes de densité de contribution au phénomène. En effet, les zones urbaines sont très contributrices mais elle se situent aussi à proximité de zones très faiblement contributrices. Elles ont donc peu de risque *a priori* d'afficher une élévation de température conséquente. En revanche, une accumulation de zones sensiblement contributrices en milieu urbain dense aura une incidence sur l'augmentation de la température de l'air. Ces masses d'air se voient alors être transportées, y compris éventuellement vers des zones ne contribuant que faiblement, voire pas du tout au phénomène. La production de cet indicateur paraît donc plus pertinente pour permettre d'orienter des stratégies visant à réduire l'îlot de chaleur.

Les pistes d'amélioration existantes visent à réduire la vulnérabilité du territoire aux îlots de chaleur en favorisant des pratiques d'urbanisme plus appropriées pour lutter contre ce phénomène. Elles peuvent être réparties en deux types de mesures :

- les mesures « préventives », pour empêcher ou limiter le rejet de chaleur et la formation des îlots de chaleur urbain en agissant sur la planification urbaine et des mobilités, l'aménagement de l'espace public, d'espaces végétalisés et de plans d'eau, ou encore la conception des bâtiments ;
- d'autres mesures plutôt « curatives », qui agissent temporairement et à une échelle très localisée pour atténuer les effets néfastes de la chaleur (jets d'eau par exemple).

Une urbanisation favorisant le risque inondation

D'autre part, une partie des vulnérabilités du territoire de la Métropole au risque inondation est le résultat de l'application de critères d'urbanisation qui ne prenaient pas en compte les problématiques environnementales et climatiques. En effet, l'artificialisation des sols empêche toute infiltration, et la constructibilité dans les zones inondables et l'étalement urbain surchargent les ouvrages hydrauliques en aval (Figure 54).

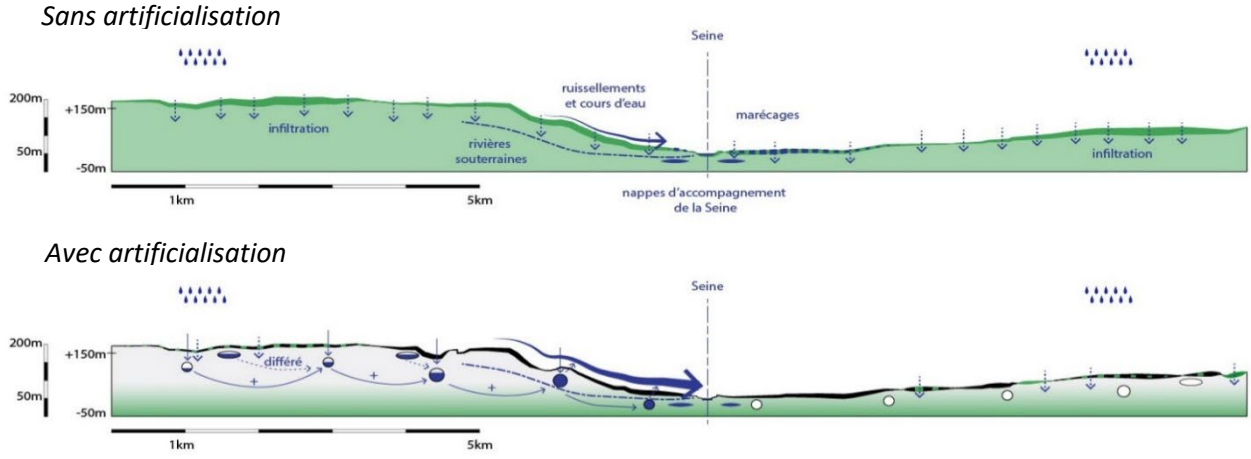


Figure 54 : Fonctionnement schématique en coupe du ruissellement sur l'agglomération rouennaise avec et sans artificialisation des sols. – Source : Fréchet et al., 2023.

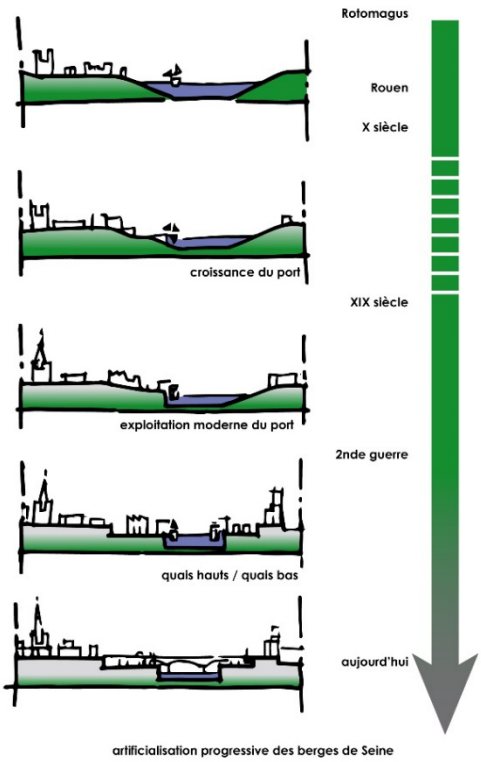


Figure 55 : Artificialisation progressive des berges de la Seine à Rouen – Source : Fréchet et al., 2023.

Cette vulnérabilité pourrait s'accroître selon la fréquence des épisodes de précipitations extrêmes cumulée avec les phénomènes de marées et l'élévation du niveau de la mer qui se transpose sur les niveaux d'eau dans l'estuaire de la Seine. À Rouen, l'évolution du risque est aussi liée à l'artificialisation progressive des berges de la Seine au fil du temps (Figure 55). Au-delà des aspects pratiques et économiques, ces aménagements forment une barrière et déconnectent le fleuve avec son lit naturel. Outre l'aspect négatif sur la biodiversité, l'artificialisation des berges oblige à canaliser les différents déversements, comme les eaux de ruissellement et les rivières. Ces canalisations de la Seine et des différentes eaux forment un entonnoir délocalisant les débordements du fleuve qui peuvent être, dans les zones non urbanisées, absorbés en partie par les berges naturelles, les nappes d'accompagnement et les marécages (rive gauche/au centre du méandre de la Seine). Sans changement majeur sur les modes d'occupation des sols, les conséquences et la sévérité de ces évènements s'accentueront vraisemblablement avec le changement climatique.

Plusieurs secteurs et services essentiels à la population sont en première ligne, et leur rupture ou leur inaccessibilité pourrait entrainer un isolement temporaire de certains quartiers. Par exemple, des réseaux de transport peuvent être fermés, comme en témoigne l'inondation de plus en plus fréquente des trémies des quais. Le ramassage des déchets peut aussi être entravé en raison de la difficulté d'accès de certaines zones ou encore de l'indisponibilité des agents qui seraient bloqués par les inondations. Les réseaux électriques et de télécommunication présentent aussi des fragilités. Selon les niveaux d'eau, les stations d'épuration et les réseaux d'assainissement étant limités par leur dimensionnement, le surplus d'eau ne pouvant être accueilli, peut se déverser directement dans les cours d'eau, engendrant des pollutions considérables dans les milieux (accumulation de déchets, produits chimiques entrainés par les inondations et contaminant les milieux, turbidité, etc.).

Plusieurs pistes d'amélioration existent notamment pour limiter les risques d'inondation à travers l'aménagement du territoire. Dans un premier temps, il s'agit de changer de paradigme sur la gestion des pluies et considérer l'eau comme une ressource précieuse et limitée. En effet, l'eau de pluie ne doit plus être considérée comme un « déchet », et tout ne peut pas et ne devrait pas aller à l'égout. Il est aussi possible d'adapter l'existant en désimperméabilisant les sols partout où cela est possible afin de favoriser l'infiltration de l'eau et des pluies à leur point de chute pour réduire les ruissellements, ou en déployant des dispositifs de récupération des eaux de pluie. Dans ce sens, la perméabilité des espaces publics pourrait être renforcée, de même que la prise en compte de l'eau dans les projets d'aménagement et la conception des ouvrages de manière générale. À l'échelle plus fine, l'adaptation du bâti existant constitue aussi une solution supplémentaire afin de réduire l'ampleur matérielle, financière et sanitaire des sinistres. Enfin, la restauration des zones humides et le développement des zones d'expansion des crues, outre les bénéfices sur la biodiversité, permettraient une meilleure gestion du risque inondation au sein l'estuaire.

Agriculture

Effets généraux du changement climatique sur la production agricole locale

Le changement climatique n'est pas toujours synonyme d'une diminution de la production agricole puisque des gains en matière de rendements sont prévus et même déjà observés en Seine-Maritime (lin textile, betteraves sucrières, blé tendre, maïs ensilage) en raison de la stimulation de la photosynthèse par l'augmentation de la concentration du dioxyde de carbone, et l'allongement des périodes de production, notamment en verger et en maraîchage (Figure 56 – Diomard et Chéron, 2022).

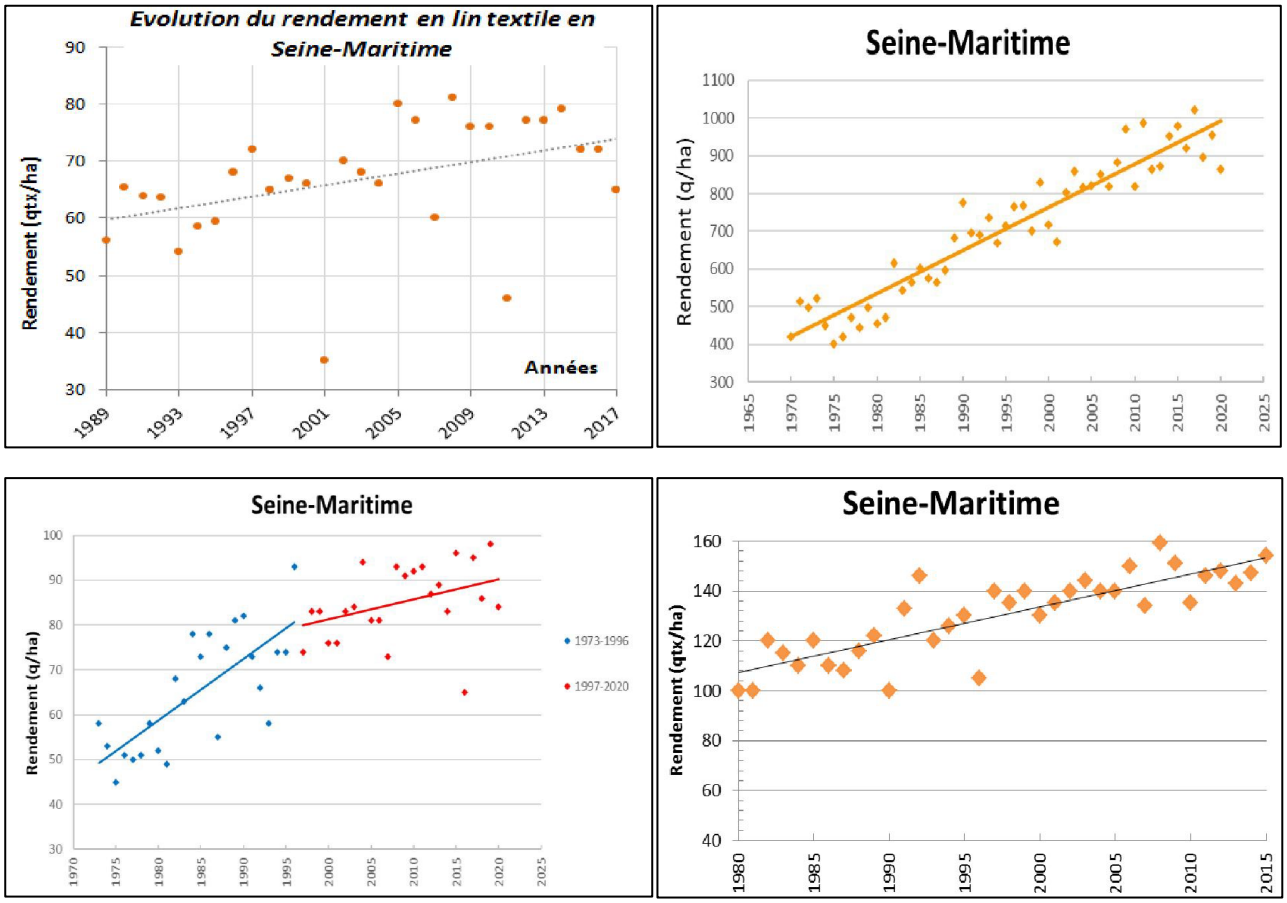


Figure 56 : En haut à gauche, évolution des rendements en lin textile en Seine Maritime de 1989 à 2017. En haut à droite, rendements en betterave industrielle de 1970 à 2020 en Seine-Maritime. En bas à gauche, rendements départemental en blé tendre d'hiver de 1973 à 2020. En bas à droite, rendements en maïs ensilage en Seine Maritime de 1980 à 2015. – Source : Diomard et Chéron, 2022.

En revanche, des phénomènes d'augmentation de la température sont aussi responsables de brûlures et d'échaudages impactant négativement les rendements des cultures. De même, l'augmentation des jours de chaleur (> ou = 25°C) a une incidence sur l'inconfort des animaux (Diomard et Chéron, 2022). Ainsi, sur le territoire de la Métropole Rouen Normandie, les effets du changement climatique sur l'agriculture sont globalement modérés au regard des tendances observées durant les dernières décennies (Ben Othmen et Bruynat, 2023).

Le secteur est actuellement davantage sous pression de facteurs anthropiques (émissions de polluants atmosphériques, départ en retraite des agriculteurs, perte continue des surfaces de prairies permanentes en raison de l'étalement urbain, intensification des pratiques, etc.). D'autres effets du changement climatique à venir, tels que la fréquence plus importante des jours de chaleur et des sécheresses aura des répercussions considérables sur la réserve hydrique des sols, ainsi que sur les cultures et les pâturages. En outre, l'élévation du niveau marin dans l'estuaire et l'évolution du risque inondation renforceront la vulnérabilité des exploitations agricoles. Selon le diagnostic du PAPI RLA, 521 installations agricoles (bâtiments d'activité, serres, silos, etc.) sont vulnérables au débordement de cours d'eau pour un évènement d'occurrence

centennale, et 63 installations pour une pluie d'occurrence centennale (voir scénarios 1 et 2 – Tableaux 7 et 8) (Figure 57). Des mesures d'adaptation à l'échelle locale sont capables de contrebalancer les effets négatifs et d'éviter des mesures radicales de rupture de la gestion des systèmes agricoles.

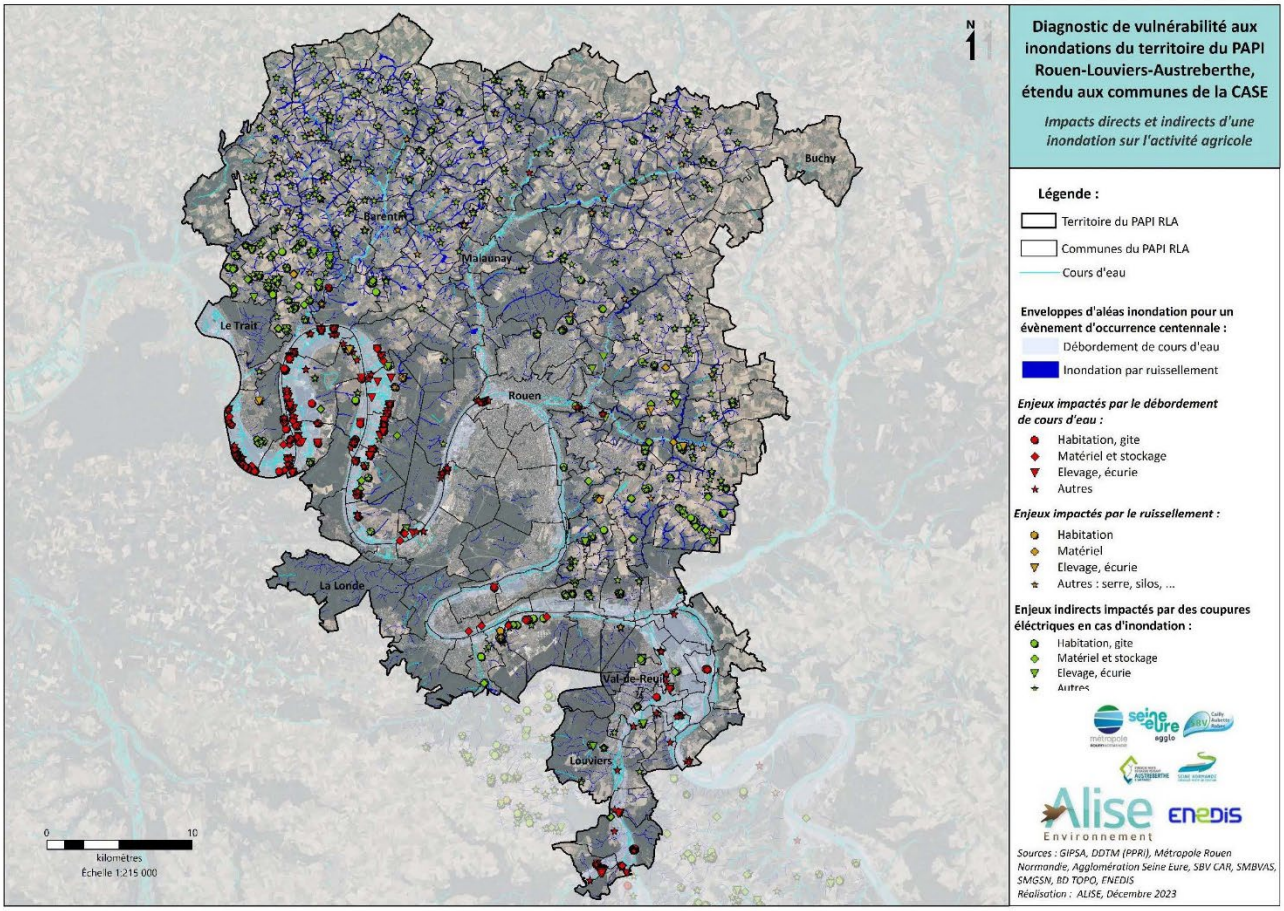


Figure 57 : Les activités agricoles exposées au risque d'inondation sur le territoire du PAPI RLA – Source : ALISE Environnement, 2023, pour le diagnostic du PAPI RLA.

Inondations à Duclair en mai 2000 © DREAL Normandie (ex-DIREN)

Perceptions des agriculteurs locaux sur le changement climatique

Dans ce contexte, les agriculteurs qui opèrent sur le territoire de la Métropole Rouen Normandie restent des interlocuteurs privilégiés. Une enquête auprès de 70 agriculteurs opérant sur le territoire a été menée en 2021 afin de mieux comprendre leurs valeurs et leurs attitudes (l'accent mis sur les préoccupations environnementales versus la maximisation des profits) qui forgent leur perception du changement climatique qui, à son tour, a un impact sur leur volonté et leur décision de mettre en œuvre des mesures d'adaptation. Elle a permis d'identifier les caractéristiques communes des agriculteurs et de les classer en plusieurs profils : les « Résilients » (24% de l'échantillon), les « Négativistes » (22%), les « sceptiques vis-à-vis de la réglementation » (19%), les « Indépendants » (18 %) et les « défenseurs du péri-urbain » (10 %) (Figure 58).

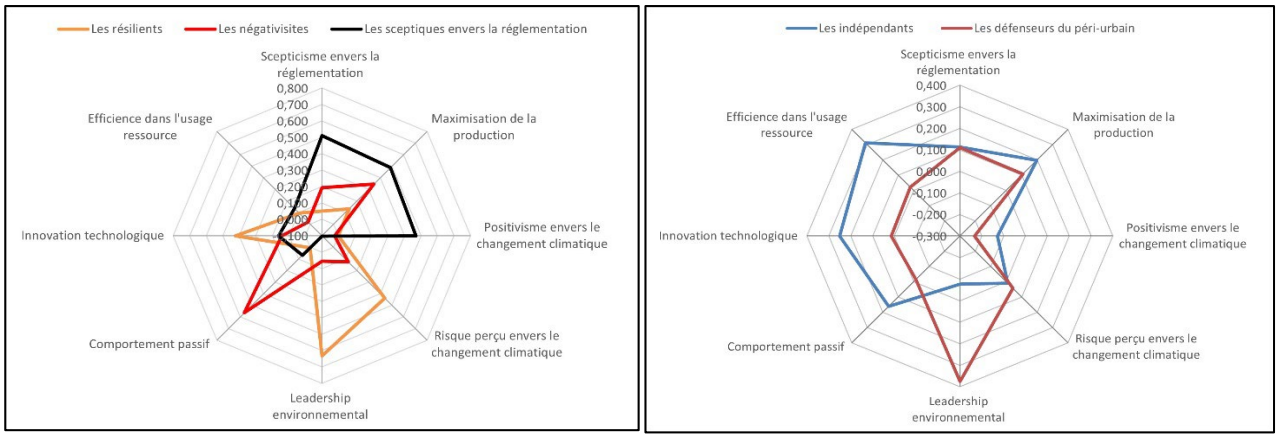


Figure 58 : À gauche, les caractéristiques des profils d'agriculteurs résilients, négativistes et sceptiques vis-à-vis de la réglementation. À droite, les profils des agriculteurs indépendants et les défenseurs du péri-urbain.

Les agriculteurs du groupe « Résilient » qui ont déjà subi une perte de production attribuée au changement climatique sont les plus susceptibles de jouer un rôle de premier plan dans la mise en oeuvre de mesures d'adaptation. Dans ce groupe, nous retrouvons des agriculteurs qui ont déjà commencé à s'adapter avec leurs propres armes en investissant dans des dispositifs comme l'irrigation de précision, les serres pour abriter les fruits rouges et les nouvelles technologies même si celles-ci demeurent peu abordables et difficilement maitrisables par le plus grand nombre. Parmi les « Résilients », on retrouve aussi des pionniers en matière d'essai de nouvelles variétés économes en eau à l'instar du sorgho. Ces agriculteurs ont décidé de privilégier des variétés résistantes aux stress hydrique et thermique, et tolérantes aux pathogènes favorisés par les températures élevées. Certains ont même commencé à avancer leurs dates de semis et de récoltes pour éviter des épisodes sensibles en période de sécheresse. D'autres agriculteurs parmi les groupes « Négativistes », les « Indépendants » et les « Sceptiques envers la réglementation » constatent déjà l'impact des sécheresses et du dérèglement des saisons sur leur activité, mais n'admettent pas encore sa lecture et son interprétation au travers du prisme du changement climatique. Enfin, les « défenseurs du péri-urbain » accordent une grande importance à la préservation des ressources du sol et de la biodiversité locale à proximité des zones urbaines. Ceci pourrait être interprété comme l'expression d'un sens de responsabilité prononcé et d'un comportement pro-environnemental. Ces agriculteurs sont cependant moins enclins que les « Résilients » à essayer de nouvelles variétés de cultures comme moyen de s'adapter au changement climatique. En effet, les deux groupes diffèrent considérablement en ce qui concerne leur perception du risque lié au changement climatique.

Au regard de ces résultats, il paraît donc indispensable d'appuyer la stratégie de communication locale et de conseil auprès des agriculteurs pour inciter à l'adaptation et muter vers des systèmes plus résilients aux aléas climatiques sur le territoire de la Métropole Rouen Normandie où l'agriculture peut représenter un puits de carbone non négligeable. En effet, cibler les leviers de résilience à différentes échelles de la parcelle, de l'exploitation, du territoire et des filières, est nécessaire pour une adaptation optimale aux contraintes et aux opportunités du changement climatique.

Usages énergétiques, production d'énergie renouvelable et distribution d'énergie

La sobriété, l'efficacité énergétique et le développement des énergies renouvelables constituent les trois champs d'action de lutte contre le réchauffement climatique relatifs à l'énergie. À l'échelle de la Métropole Rouen Normandie, le réchauffement climatique influe directement sur les moyens de production et les modes de consommation de l'énergie, ainsi que sur les actions mises en place à travers le PCAET qui reprend lui-même les orientations stratégiques et opérationnelles du Schéma directeur des énergies (SDE) finalisé en 2017 (Figure 59). Il en résulte des conséquences sur la production, la consommation et la distribution de l'énergie dans la Métropole. L'étude des influences directes et indirectes du réchauffement climatique constitue donc un enjeu important à prendre en compte afin d'adapter le secteur énergétique local à long-terme. Sur le plan énergétique, le plan d'action du PCAET s'articule autour du développement des énergies renouvelables, des mobilités et de la rénovation énergétique des logements et des bâtiments tertiaires. Ces trois axes sont eux-mêmes dépendants des ressources naturelles disponibles (comme la ressource en bois-énergie par exemple), qui elles-mêmes dépendent également de l'ampleur du changement climatique et de la fréquence des évènements extrêmes (feux de végétation diminuant la ressource en bois). Finalement, le secteur énergétique est affecté directement par le dérèglement climatique et aussi indirectement au travers de la stratégie énergétique de la Métropole.

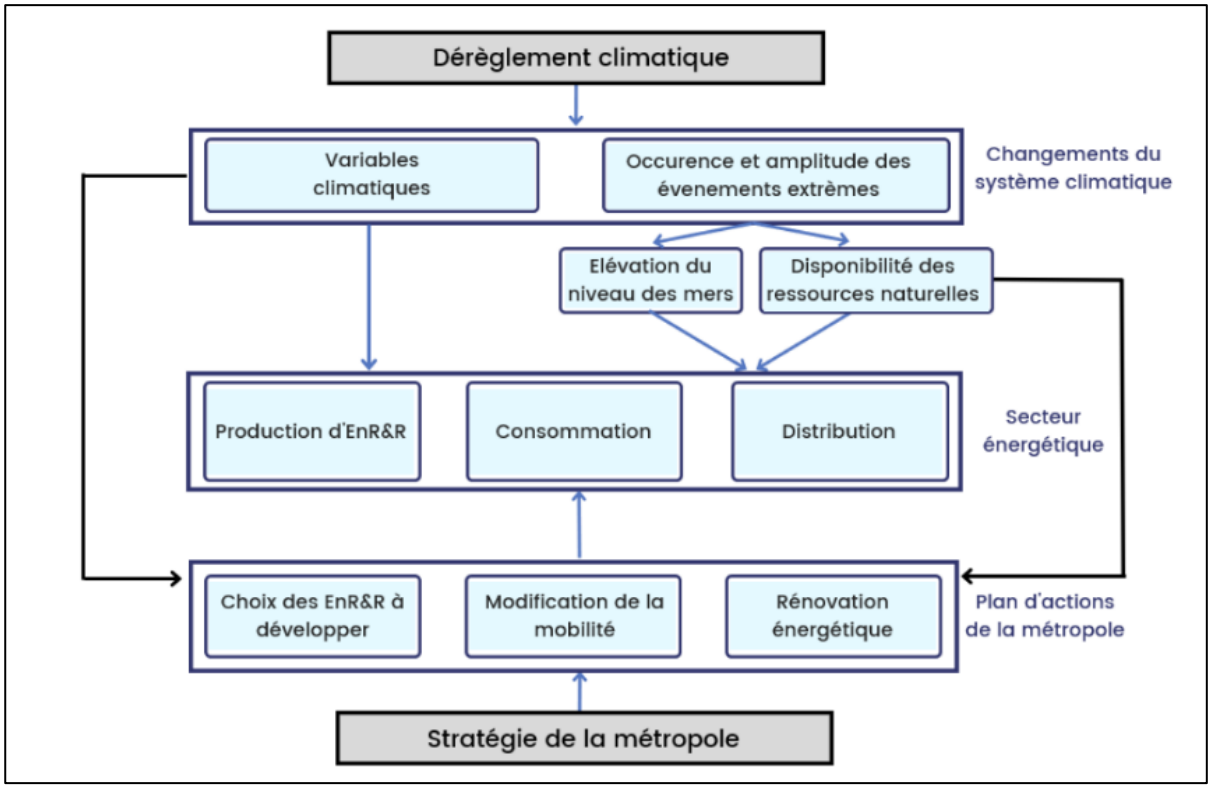


Figure 59 : Modes d'impact du réchauffement climatique sur le secteur énergétique de la Métropole Rouen Normandie – Source : Renou et al., 2024.

La transition vers une consommation plus sobre en énergie et vers des énergies renouvelables implique aussi des enjeux majeurs pour la décarbonation du territoire. Selon l'Observatoire Régional de l'Energie, du Climat et de l'Air de Normandie (ORECAN), les secteurs industriel, routier et résidentiel sont les plus énergivores et les plus émetteurs de gaz à effet de serre dans le territoire de la Métropole (Figures 60 et 62). De même, ces émissions se retranscrivent aussi vis-à-vis du mix énergétique. Les sources d'énergies fossiles (produits pétroliers, gaz naturel, hors combustion), qui concentrent actuellement la majorité du mix énergétique (91%), représentent logiquement les principales émissions de gaz à effet de serre (Figure 61). Tandis que les énergies renouvelables ne contribuent que marginalement à ces émissions. Le développement des énergies renouvelables apparaît donc incontournable pour réduire l'impact carbone des activités.

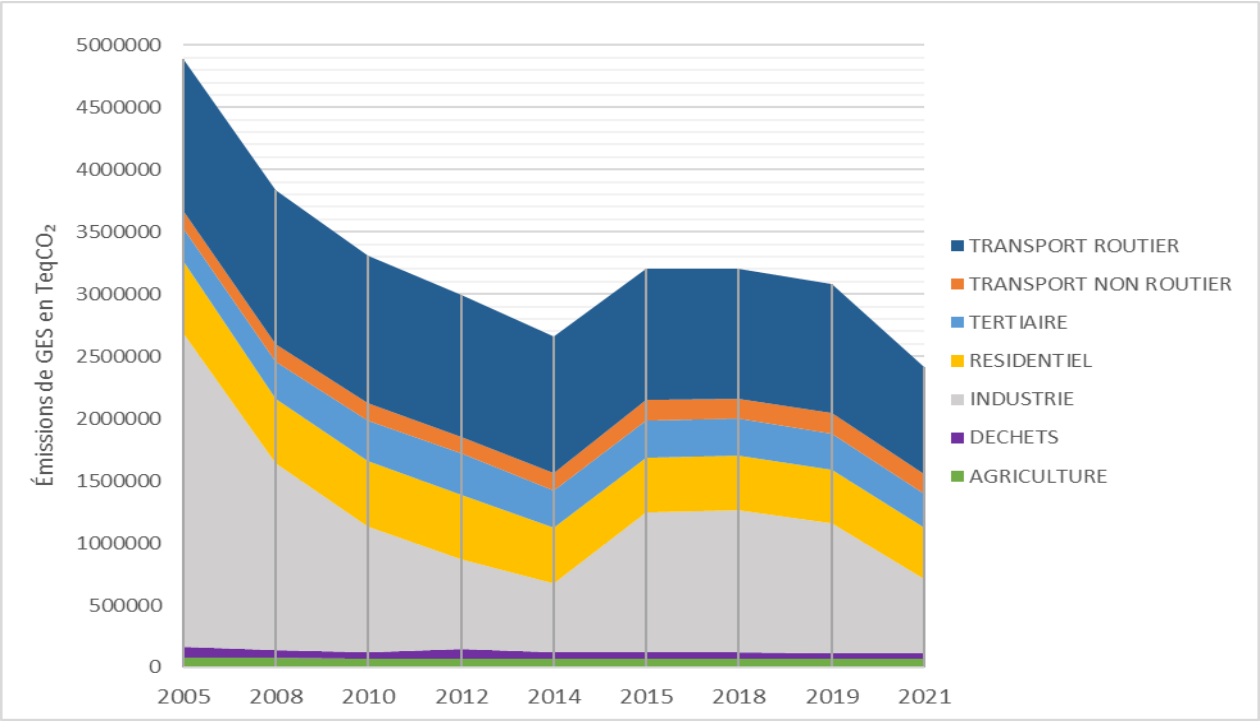


Figure 60 : Émissions de gaz à effet de serre sur le territoire de la Métropole Rouen Normandie de 2005 à 2021 – Source : ORECAN – Atmo Normandie – Inventaire version 4.1.0 et ORECAN – Biomasse Normandie – version 12_21 (Transport routier) – Biomasse Normandie – version v1.0 (Transport non routier) – Biomasse Normandie – version 09.19 (Séquestration Carbone) – Format de rapportage PCAET_ORECAN

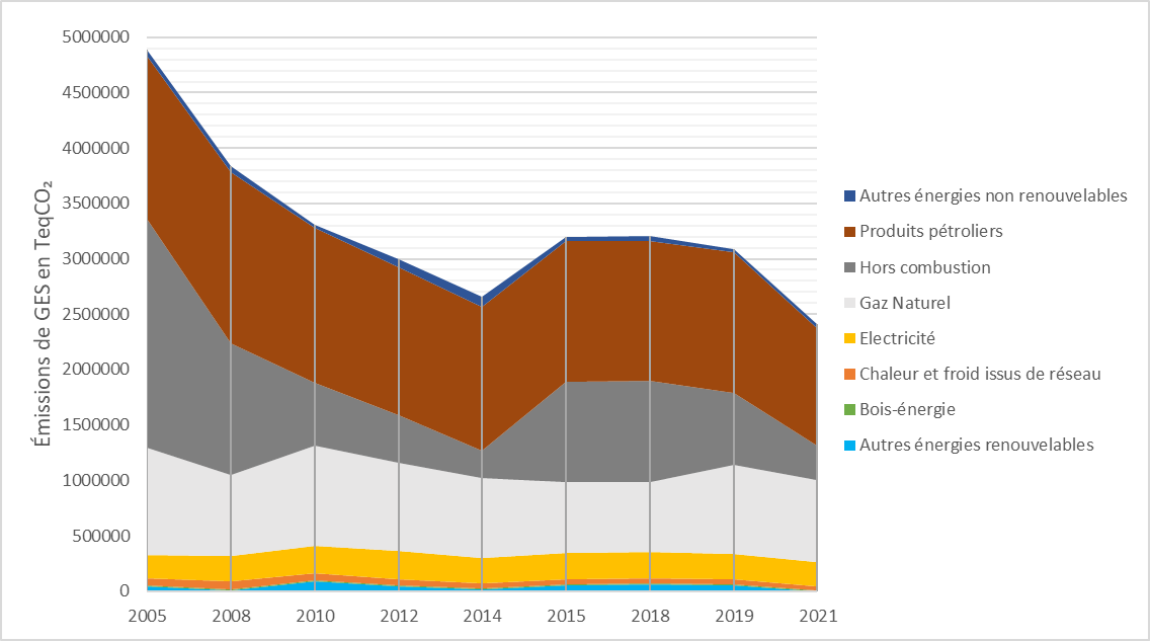


Figure 61 : Émissions de gaz à effet de serre des sources d'énergie utilisées sur le territoire entre 2005 et 2021 - Source : ORECAN – Atmo Normandie – Inventaire version 4.1.0 et ORECAN – Biomasse Normandie – version 12_21 (Transport routier) – Biomasse Normandie – version v1.0 (Transport non routier) – Biomasse Normandie – version 09.19 (Séquestration Carbone) – Format de rapportage PCAET_ORECAN

Constituant désormais le fer de lance de la politique climatique française pour respecter l'Accord de Paris sur le climat de 2015 via son inscription dans la Stratégie nationale bas carbone, et reprise par la Métropole de Rouen dans le cadre de son engagement dans la démarche « Cities Race to Zero » en 2020, la neutralité carbone implique néanmoins une transformation radicale et très rapide, en moins de trois décennies, des modes de production et de consommation de l'énergie, ainsi que du mix énergétique composé principalement de combustibles d'origine fossile (pétrole, gaz naturel, charbon). L'ampleur de cette

transformation ne doit donc pas être sous-estimée et requiert des études et des concertations approfondies sur les investissements financiers et techniques à engager, et les conséquences environnementales, sociales et économiques qu'ils induisent à court, moyen et à long terme (Veyrenc, 2023).

Impacts sur les usages et les consommations d'énergie

La Métropole vise la réduction de 70 % de la consommation énergétique de son territoire par rapport à 2005, à travers notamment une rénovation massive des bâtiments vers un niveau moyen « BBC – Bâtiment basse consommation », ou encore le développement des mobilités actives (vélo, marche, trottinettes, etc.), de l'électromobilité, et du covoiturage. D'autres enjeux spécifiques ont été identifiés sur le secteur industriel, le plus énergivore, et qui est traité plus spécifiquement par un plan d'action élaboré au sein du réseau européen UrbenPact, et du groupe local Urbact.

Actuellement, les chiffres de l'ORECAN montrent une tendance à la stagnation de la consommation d'énergie jusqu'en 2019, suivie d'une baisse en 2021 probablement liée à la crise de la COVID 19. Les efforts pour atteindre les objectifs du PCAET vont donc s'accroître au fil du temps si la consommation d'énergie de tous les secteurs n'est pas réduite (Figure 62).

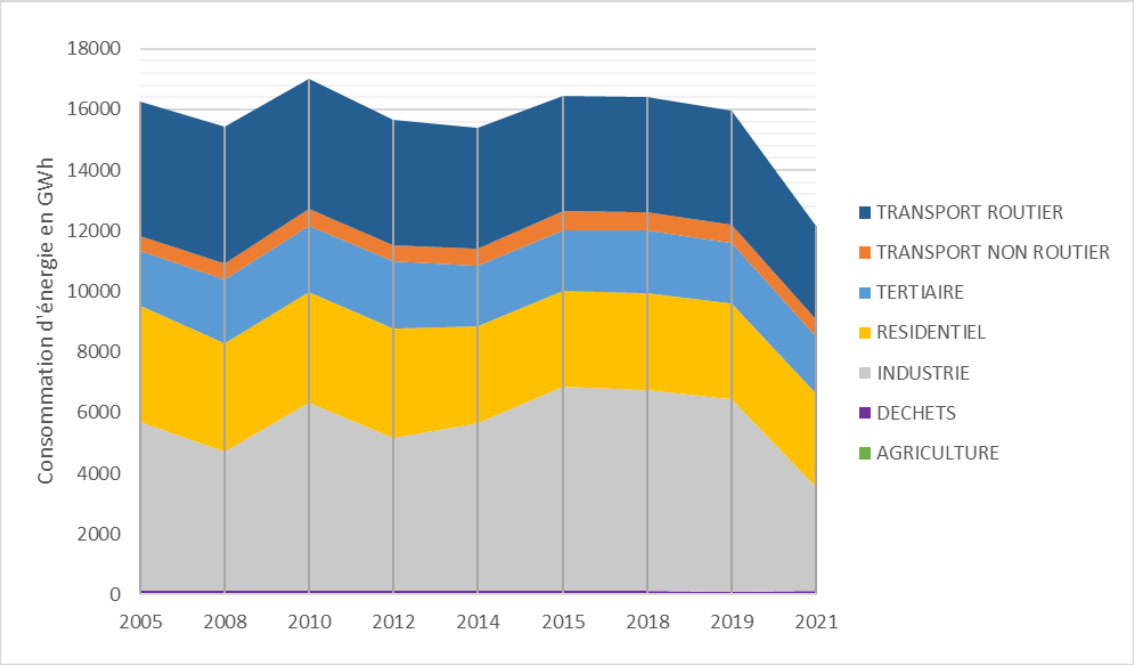


Figure 62 : Consommation d'énergie par secteurs d'activité dans la Métropole Rouen Normandie entre 2005 et 2021. – Source : ORECAN – Atmo Normandie – Inventaire version 4.1.0 et ORECAN – Biomasse Normandie – version 12_23 – Biomasse Normandie – version v1.0 (Transport non routier) – Format de rapportage PCAET_ORECAN

Diminution des besoins de chauffage l'hiver

Il est déjà observé des modifications au niveau de certains usages tels que le chauffage ou la climatisation. Depuis le début des années 1980, Météo-France observe une diminution d'environ 5% en moyenne par décennie de degrés-jours sur le territoire de l'ex région Haute-Normandie (station Rouen-Boos). Sur la dernière décennie, la valeur moyenne se situe autour de 2000 degrés-jour, soit 500 degrés-jour en moins depuis les années 1970 (Figure 63). Cette baisse des besoins de chauffage pourrait résulter de la diminution du nombre de jours de froid (-23 occurrences/an en moyenne à Rouen) et de l'augmentation de la température moyenne (+2,2 °C mesurés à Rouen-Boos) sur la période 1970-2020 (Cantat, et al., 2020).

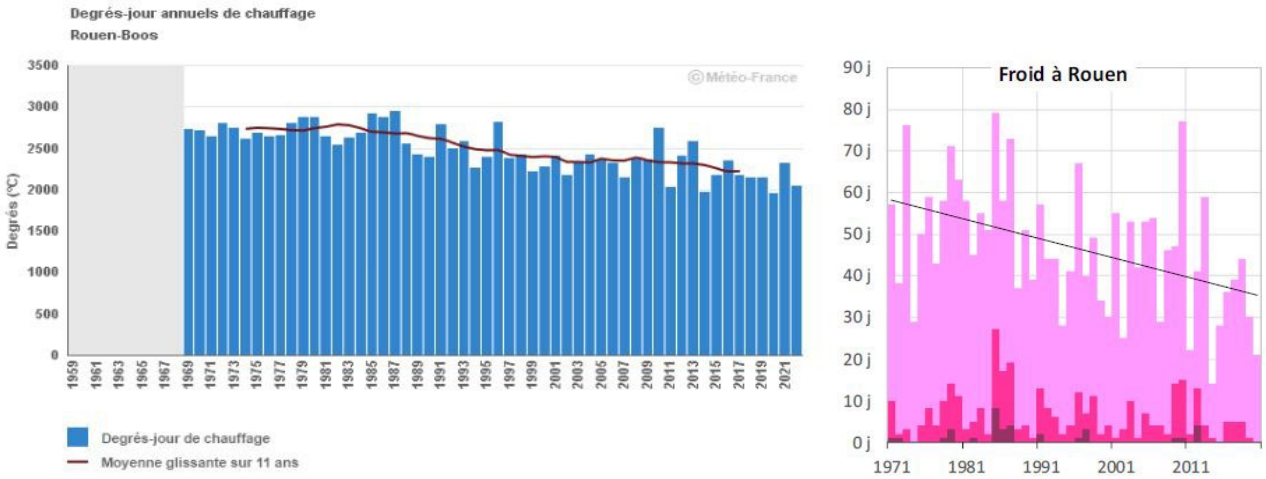


Figure 63 : À gauche, évolution des degrés-jour annuels de chauffage mesurés à la station Rouen-Boos entre 1969 et 2022. Sources : Climat HD de Météo-France. À droite, évolution du nombre de jours de froid (T° minimale journalière de l'air inférieure ou égale à 0°C en rose, à -5°C en parme et à -10°C en violet à Rouen-Boos entre 1971 et 2020. – Source : Données Météo-France traitées et analysées par le GIEC Normand (Cantat, et al., 2020).

La baisse des besoins de chauffage pourrait se poursuivre dans les années et les décennies à venir sur le territoire de l'ancienne Haute-Normandie, en raison de l'augmentation de la température et de la diminution des épisodes de froid. Météo-France montre notamment une baisse continue des degrés-jour annuels de chauffage jusqu'au milieu du siècle par rapport à la période de référence 1976-2005, quel que soient les scénarios climatiques. À partir de 2050, l'évolution des besoins en chauffage diffère avec une stabilisation dans le cas d'un scénario de faibles émissions de gaz à effet de serre (RCP 2.6), tandis qu'une baisse de plus d'un tiers serait possible d'ici 2100 dans le cas d'un scénario de fortes émissions et d'un réchauffement du climat important (RCP 8.5) (Figure 64).

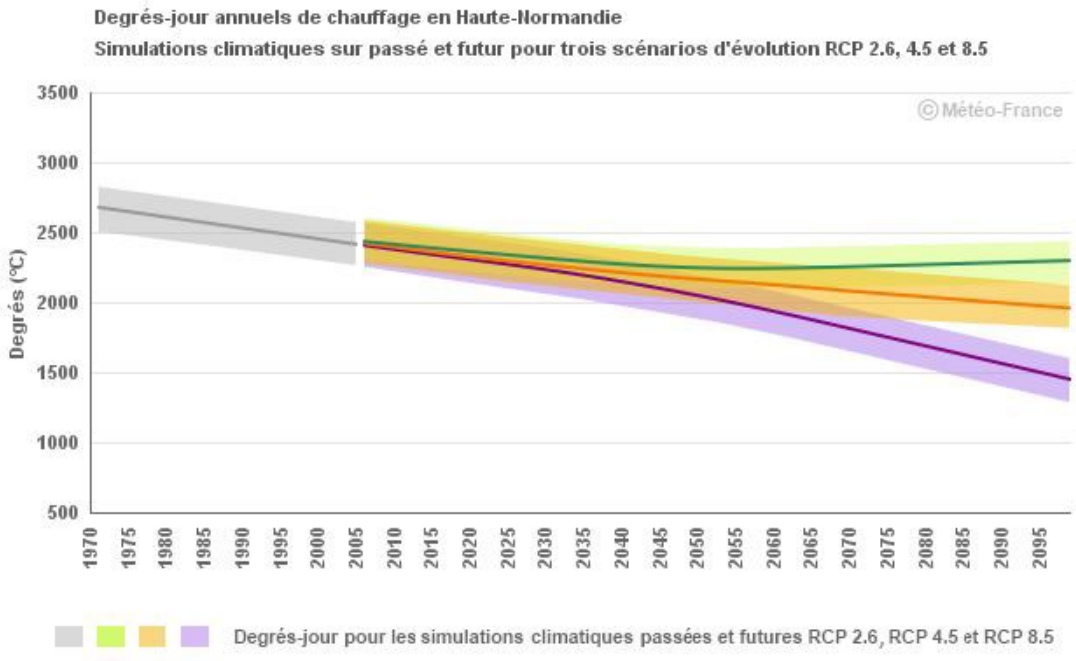


Figure 64 : Évolution attendue des degrés-jour annuels de chauffage en Haute-Normandie selon des simulations du climat passé et futur et trois scénarios d'évolution des émissions de gaz à effet de serre (RCP 2.6, RCP 4.5 et RCP 8.5) – Source : Climat HD de Météo-France

Augmentation des besoins en climatisation l'été

À l'inverse, l'augmentation globale de la température et des jours de chaleur va entrainer une augmentation des besoins en climatisation notamment en période estivale. À l'échelle nationale, RTE estime que la

réduction de la consommation de chauffage pendant l'hiver sera quasiment annulée par la hausse de la consommation de climatisation l'été. Selon les mesures de Météo-France, dans l'ancienne Haute-Normandie, même si les besoins en climatisation sont actuellement peu significatifs, ils augmentent depuis les années 1960 et sont corrélés aux années où les jours de chaleur (température > ou = à 25°C) et de canicules ont été particulièrement sévères (Figure 65).

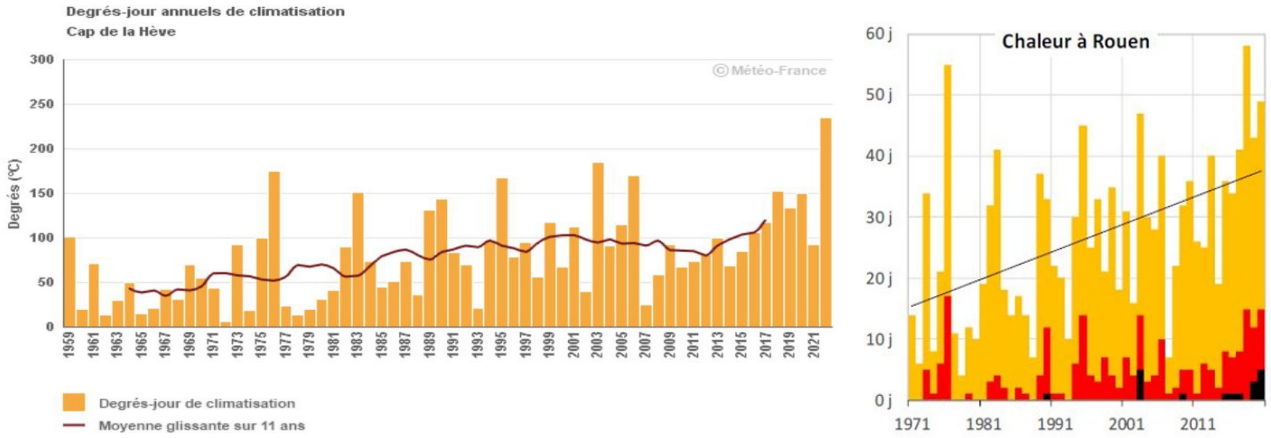


Figure 65 : À gauche, évolution des degrés-jour annuels de climatisation mesurés à la station du Cap de la Hève près du Havre entre 1959 et 2022 – Source : Climat HD de Météo-France. À droite, évolution du nombre de jours de chaleur (T° maximale journalière de l'air supérieure ou égale à 25°C (en orange), supérieure ou égale à 30°C (en rouge), et supérieure ou égale à 35°C (en noir)) à Rouen-Boos entre 1971 et 2020. – Source : Données Météo-France traitées et analysées par le GIEC Normand (Cantat, et al., 2020).

À l'avenir, Météo-France montre une augmentation des besoins futurs en climatisation pour les scénarios avec des émissions modérées de gaz à effet de serre (RCP 4.5) et de fortes émissions (RCP 8.5) pour lesquels la température moyenne annuelle augmenterait aussi respectivement entre +2°C et +4°C d'ici la fin du siècle. Tandis que les besoins en climatisation seraient maitrisés dans le scénario RCP 2.6 où les gaz à effet de serre sont drastiquement réduits, et où le réchauffement climatique est contenu à 1°C par rapport à la période de référence 1976-2005 à l'échelle de l'ex région Haute-Normandie (Figure 66). Ces projections sont à nouveau corrélées avec celles portant sur les jours de chaleur décrites dans la première partie de ce diagnostic.

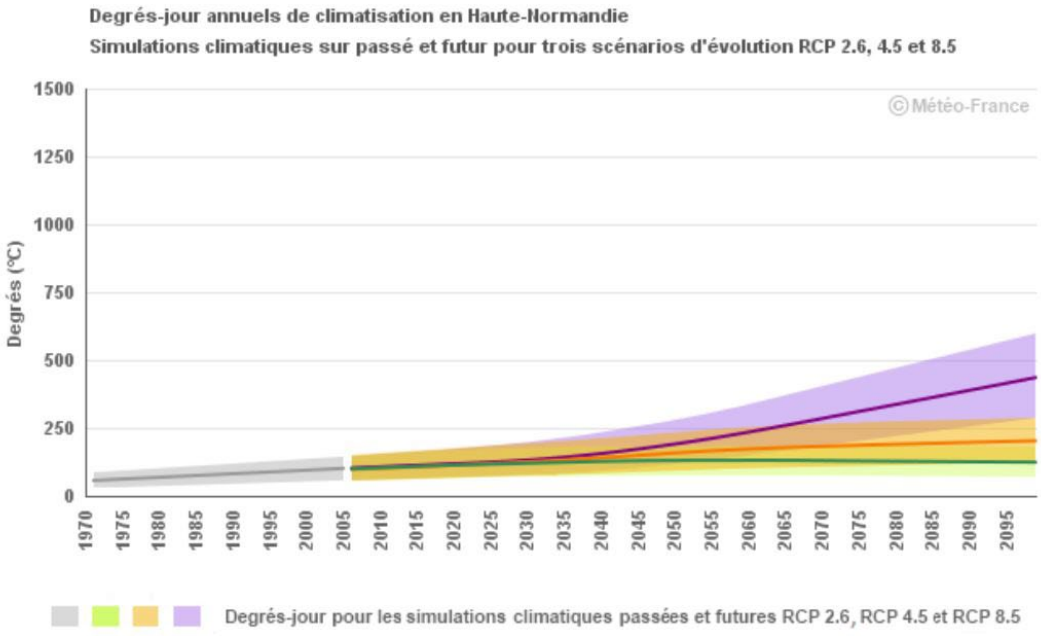


Figure 66 : Évolution des degrés-jour annuels de climatisation en Haute-Normandie selon des simulations du climat passé (1976-2005) et futur pour trois scénarios climatiques optimiste (RCP 2,6), médian (RCP 4,5) et pessimiste (RCP 8,5) – Source : Climat HD de Météo-France

Impacts sur la consommation d'électricité

Actuellement, la consommation d'électricité de la France est fortement sensible à l'évolution des températures. Par exemple, en hiver, en-dessous de 15°C, une baisse de la température de 1°C engendre une augmentation moyenne de la consommation d'électricité de l'ordre de 2 400 MWh. En été, la consommation d'électricité est moins thermosensible comparé à d'autres pays du sud de l'Europe tels que l'Espagne ou l'Italie où le déploiement des appareils de climatisation est plus important (RTE, 2021 - Figure 67).

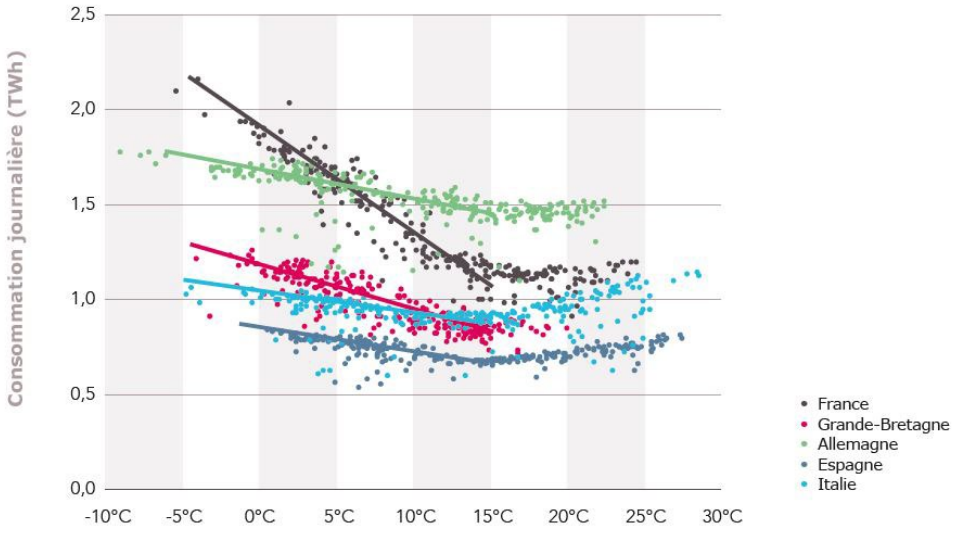


Figure 67 : Consommation journalière d'électricité en fonction de la température dans plusieurs pays européens en 2020 - Source : RTE, 2021.

En raison de l'augmentation des températures moyennes, minimales et maximales, des jours de chaleurs, et de la diminution des jours de froids, le changement climatique va avoir un impact sur la consommation d'électricité issue du chauffage en hiver et de la climatisation en été en France (RTE, 2021). La tendance à l'électrification des équipements de chauffage et de climatisation engendre aussi un « effet parc », ainsi qu'une augmentation de la consommation d'électricité. Néanmoins, cet effet est contrebalancé par l'amélioration de l'isolation thermique du bâti et de la performance des systèmes de chauffe, et par la diminution des besoins de chauffage en hiver. Inversement, la consommation liée à la climatisation devrait augmenter et viendrait compenser les diminutions des besoins de chauffage en hiver (RTE, 2021). En somme, la consommation cumulée de climatisation et de chauffage en France serait similaire en 2050 par rapport à la situation actuelle, mais serait répartie différemment dans l'année, avec une consommation plus importante en été et relativement plus faible en hiver. Il est donc probable que cette tendance à l'échelle nationale se transpose aussi sur le territoire de la Métropole Rouen Normandie (Renou et al., 2024).

Production d'énergie rénouvelable

Le SDE a mis en lumière une part écrasante des énergies fossiles dans la production d'énergie locale (91 % contre 7% de bois-énergie et 2% de chaleur fatale industrielle). Pour inverser cette tendance, le PCAET de la Métropole vise à multiplier la production d'énergie renouvelable par 2,5 (jusqu'à 3 000 GWh/an), et à atteindre un mix énergétique composé à 100 % d'énergie renouvelable, dont 42% de l'énergie produite proviendrait de sources locales. Les énergies dont le potentiel de développement semble le plus important sont le bois-énergie (26% du mix en 2050), la récupération de chaleur fatale industrielle ou de récupération (7%), le photovoltaïque (5%), ou encore la méthanisation (4%). Selon l'ORECAN, la production d'énergie renouvelable locale suit une trajectoire favorable à l'atteinte des objectifs du PCAET d'un territoire « 100% ENR », même si la production peut être plus aléatoire certaines années (2011 ou 2019) (Figure 68). De plus, le suivi exact de cette évolution reste difficile en raison du secret statistique qui protège les données de plusieurs filières comme le biogaz et le bois cogénération. La production illustrée comme suit est donc sous-estimée.

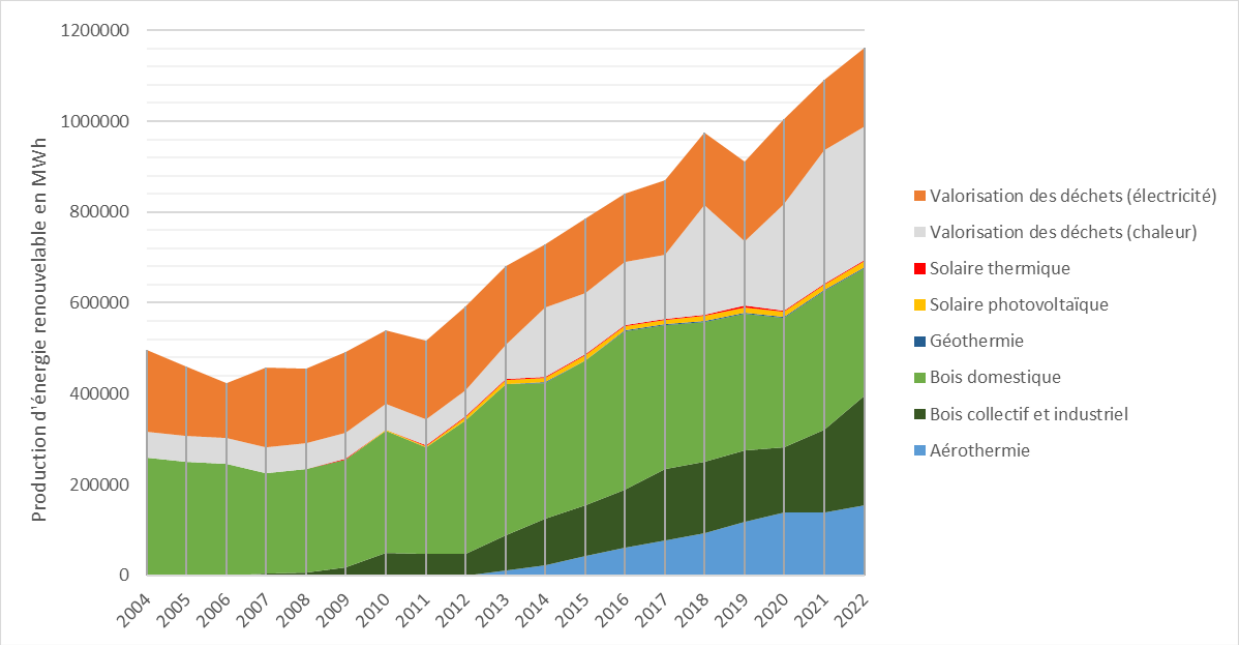


Figure 68 : Production d'énergie renouvelable dans la Métropole Rouen Normandie entre 2004 et 2021 - Source : ORECAN – Biomasse Normandie – 2022_v1.0

Impacts sur le bois-énergie

L'augmentation globale de la température contraint de plus en plus la croissance de certaines espèces forestières locales, et des dépérissements ponctuels pourraient entrainer une baisse des ressources en bois exploitables pour le bois-énergie. Les forêts sont également sensibles aux catastrophes climatiques (canicules, feux de forêts, sécheresse…) dont l'occurrence augmentera vraisemblablement avec le réchauffement climatique en Normandie (Cantat, et al., 2020 ; Laignel et Nouaceur, 2023 ; Kazmierczak et al., 2020). Ces catastrophes pourraient engendrer un pic de récolte de bois dû à l'ensemble des bois morts et dévastés, mais qui serait suivi aussi d'une baisse drastique de la ressource disponible. Actuellement, le bois-énergie est l'une des ressources d'énergie renouvelable les plus abordables sur le plan économique mais l'intermittence de la disponibilité de la ressource aura probablement des conséquences sur son prix (FNCOFOR, 2016 ; Kazmierczak, et al., 2020).

Impacts sur la récupération de chaleur fatale industrielle ou de récupération

La localisation du SMEDAR et de l'Unité de Valorisation Énergétique (UVE) les rendent sensibles aux crues de la Seine et aux inondations. Dans le cadre d'une élévation du niveau marin qui se retranscrirait dans l'ensemble de l'estuaire de la Seine, ces sites pourraient être sujets à des inondations et des crues plus fréquentes de la Seine (ARTELIA & GIP Seine-Aval, 2013 et 2014 ; Fisson et al., 2014 ; Lemoine J.-P., 2015 ; ARTELIA, 2022). À long terme (2100), le risque inondation pourrait interroger la pérennité de ces sites à leur emplacement actuel, et remettre en cause en partie la production d'énergie renouvelable issue de ce procédé.

Les gisements des combustibles solides de récupération (CSR) concernant les déchets d'activités économiques, les ordures ménagères résiduelles, le tout-venant des déchetteries et les refus des chaînes de tri des matériaux recyclables, ne sont pas influencés par le dérèglement climatique, comme pourraient l'être les ressources végétales méthanisables. Par ailleurs, le procédé de combustion n'est pas non plus impacté, excepté par des risques d'inondation potentiels du SMEDAR. En revanche, la quantité de déchets produits pourrait tendre vers la baisse au regard des objectifs nationaux en la matière. En effet, la loi relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire du 10 février 2020 impose aux collectivités de réduire leur production de déchets de 15% en 2030 par rapport à 2010. Dans la Métropole Rouen Normandie, le volume de déchets produits reste important mais diminue lentement (561 kg/hab en 2022).

Impacts sur la production d'énergie photovoltaïque

L'un des effets du réchauffement climatique à l'échelle locale pourrait être l'augmentation du nombre de jours d'ensoleillement et du rayonnement solaire (GIEC, 2013 ; Laignel et Noauceur, 2023). Le rayonnement solaire est la quantité d'énergie solaire reçue par unité de surface et de temps. Une étude de la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL, 2020) sur le profil environnemental de la Normandie ne présente pas de chiffres précis pour la Métropole Rouen Normandie mais fait un état des lieux du rayonnement sur des territoires voisins tels que Lisieux, Évreux, ou encore Fécamp. Les valeurs étant sensiblement similaires pour ces territoires, nous avons fait l'hypothèse que Rouen suivait la même évolution (Tableau 14).

Tableau 14 : Estimation de l'évolution de la saisonnalité du rayonnement solaire à Rouen en W/m² selon deux scénarios de changement climatique de faibles émissions (RCP 2,6 – optimiste) et de fortes émissions (RCP 8.5 – pessimiste) – Source : Renou et al., 2024.

	1976-2005	Horizon 2100	
	Référence	RCP 2.6	RCP 8.5
Hiver	41	42	39
Printemps	143	151	159
Été	200	229	239
Automne	81	83	90
Annuel	**116,3**	**126,3**	**129,3**

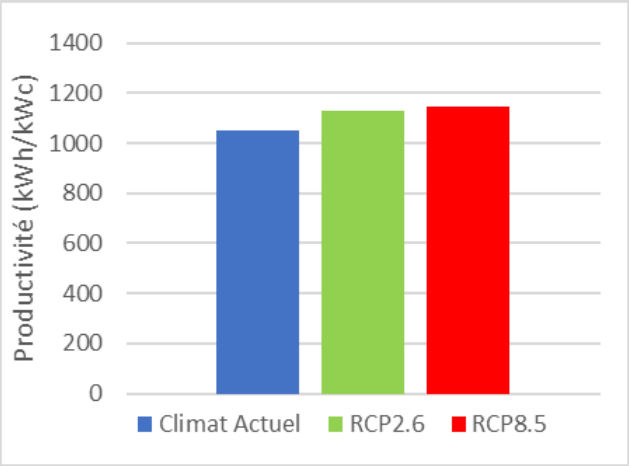


Figure 69 : Influence du réchauffement climatique sur la productivité annuelle des panneaux photovoltaïques en fonction des scénarios RCP à l'horizon 2100 – Source : Renou et al., 2024.

Dans le cas d'un scénario de faibles émissions de gaz à effet de serre (RCP2.6) et de fortes émissions (RCP8.5), l'ensoleillement moyen pourrait atteindre respectivement 126,3 W/m² ou 129,3 W/m² contre 116,3 W/m² pour la période de référence (1976-2005). En considérant la productivité des panneaux photovoltaïques proportionnelle à l'évolution de l'ensoleillement, la capacité de production des panneaux solaires augmenterait, même si l'augmentation de la température pourrait légèrement atténuer cette tendance. En effet, à partir de 25°C, et pour chaque degré supplémentaire, le rendement du panneau photovoltaïque diminue de 0,5% (Dezurarche, 2019 ; Peters et Buonassisi, 2019). L'augmentation des températures avec un nombre de jours chauds croissant pourrait donc affecter légèrement la production d'énergie photovoltaïque. Les phénomènes d'îlots de chaleur urbains accentués par l'augmentation du nombre de jours de chaleur et de canicules en Normandie, et par extrapolation dans l'agglomération rouennaise, pourraient également augmenter la sensibilité des installations photovoltaïques sur les toitures des logements. Malgré tout, dans le cas d'une augmentation globale de la température de 1 à 4°C à l'horizon 2100 en fonction des scénarios, la baisse de rendement reste marginale comparée au gain de productivité dû au rayonnement. À l'horizon 2100, il est donc probable que les effets du réchauffement climatique augmenteront la productivité des panneaux photovoltaïques entre 1 129 à 1 144 kWh/kWc installés en fonction des scénarios. Cela représente une augmentation entre 7,5 et 9 % de la productivité du photovoltaïque (Figure 69). Toutefois, cette tendance est à nuancer dans la mesure où ces effets restent limités en moyenne, et seront de faible amplitude et inférieurs à la variabilité interannuelle naturelle jusqu'à l'horizon 2050. Selon RTE, le changement climatique aurait donc moins d'impact sur la production d'énergie solaire que l'accroissement de la dépendance de l'équilibre entre l'offre et la demande à cette source d'énergie (RTE, 2021).

Enfin, les centrales au sol potentiellement constructibles dans les friches situées dans les zones industrielles le long de la Seine pourraient être davantage vulnérables aux inondations d'ici la deuxième moitié du XXIe siècle en raison notamment de l'élévation du niveau de la mer, comme c'est le cas pour le SMEDAR. Cette évolution pourrait avoir une influence importante dans les études de faisabilité des projets et le développement de nouvelles centrales au sol sur le territoire.

Effets du changement climatique sur le potentiel de méthanisation

Les méthanisations résultant des activités agricoles et des boues des stations d'épuration (STEP) pourraient s'avérer sensibles au changement climatique. La méthanisation dite « agricole » est impactée par la variabilité de croissance des végétaux, dont ceux permettant le phénomène de production de biométhane. Tandis que la méthanisation des boues des STEP est potentiellement impactée par les aléas climatiques (canicules, variabilité des précipitations, sécheresse, inondations) et les tendances de long-terme du changement climatique (hausse des températures, variabilité des régimes pluviométriques) suivant la localisation des STEP. Ces aléas peuvent aussi engendrer des dysfonctionnements dans les processus biologiques effectués par les STEP (Programme Solidarité Eau, 2018).

Vulnérabilités des infrastructures de distribution de l'énergie

Selon le SDE, deux types de réseau électrique parcourent le territoire de la Métropole pour la distribution de l'énergie : le réseau de distribution haute tension A (HTA) avec une tension comprise entre 15 et 30 kV et le réseau de distribution Basse Tension (BT) avec une tension de 230 ou 400 V. Le réseau HTA constitué de 2 019 km de câbles distribue l'énergie électrique provenant des 17 postes sources situés sur le territoire et desservant les 3 696 postes de transformation HTA/BT. Le réseau BT constitué de 2 748 km de câble fait quant à lui la liaison entre les postes de transformation et les particuliers consommateurs d'électricité.

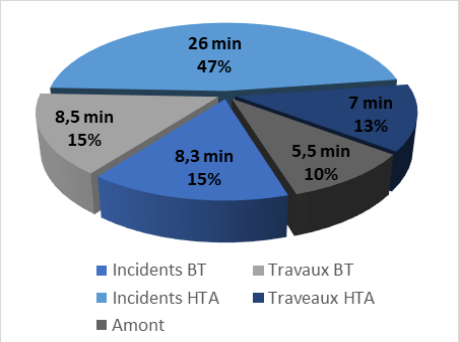


Figure 70 : Temps de coupure (critère B) en fonction de la cause et du réseau – Source : SDE de la Métropole.

Le critère B mesure le temps moyen de coupure d'électricité subit par les consommateurs. Il permet de repérer les secteurs touchés par une coupure et d'identifier la cause et la ligne du réseau à l'origine de cette coupure. Sur le territoire de la Métropole, environ 50 % du temps de coupure provient d'incidents sur le réseau HTA avec un temps de coupure moyen de 26 minutes contre 8,3 minutes pour le BT. Le réseau en amont des postes sources (réseau de transport) ne représente que 10 % du temps de coupure. Les coupures ne sont pas homogènes sur le territoire car les communes desservies par le réseau en régime rural à l'ouest de la Métropole sont généralement les plus concernées (Figure 70).

Sensibilité des infrastructures de distribution de l'électricité

Les infrastructures du réseau électrique sont exposées aux aléas climatiques et leur adaptation apparaît désormais comme un enjeu incontournable. Cette exposition se vérifie à l'échelle de la Métropole au niveau des réseaux HTA et BT qui présentent plusieurs vulnérabilités différentes selon leur localisation en milieu rural ou urbain et selon les aléas climatiques (canicules, inondations, tempêtes, orages, etc.). Les câbles aériens nus (615 km) sont vulnérables aux aléas atmosphériques tels que les tempêtes, les vents violents, les chutes de neiges ou de branches d'arbres. Les câbles souterrains à papier imprégné (CPI - 311 km), principalement situés en milieu urbain, sont moins vulnérables aux tempêtes. Ils sont aussi isolés et protégés contre les infiltrations d'eau et les inondations y compris au niveau des raccords car les boîtiers sont étanches. En revanche, comme les câbles à neutre périphérique situés en milieu rural (CNP - 386 km), ils sont sensibles aux épisodes de forte chaleur qui peuvent engendrer des claquages électriques pouvant atteindre 16,5 % du réseau en régime urbain et 4,9 % en régime rural.

Le réseau électrique est le plus vulnérable aux inondations à partir des étapes de distribution. En effet, les postes de transformation HTA et BT présentent un risque d'ennoiement, c'est-à-dire un court-circuit provoqué par le contact avec l'eau. Sur les 15 postes sources qui alimentent la Métropole en électricité, 5 sont situés sur des zones potentiellement inondables et plusieurs alimentent des centres médicaux importants et des industries (Figure 71). Les postes qui les abritent ne sont pas étanches et doivent de plus être aérés, facilitant l'introduction d'eau en cas d'inondation. Néanmoins, les postes de transformation peuvent fonctionner dans 60 cm à 1 m d'eau. Les transformateurs, eux, sont partiellement étanches : le bobinage et les branchements HTA (63 000 V) peuvent résister à l'eau contrairement aux branchements MT (20 000 V) et BT (230 V) (Ministère de la transition écologique, 2020).

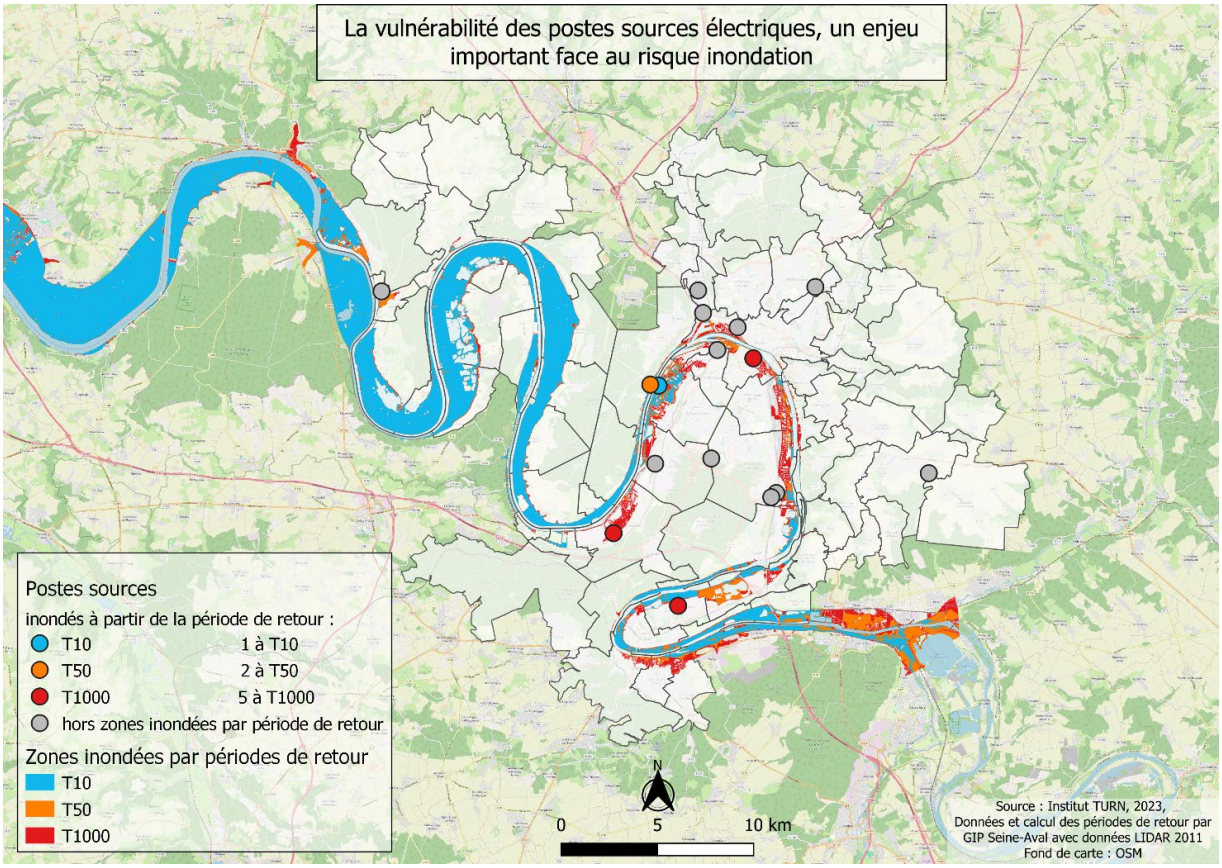


Figure 71 : Vulnérabilité des postes sources au risque inondation par débordement de la Seine selon plusieurs périodes de retour (10 ans, 50 ans, 1000 ans) – Source : plateforme multirisque élaborée par l'Université Rouen Normandie, Laignel, Geffroy, et Champion, 2023.

En cas d'inondation, le territoire peut être affecté directement au niveau des biens et des personnes situés au sein de l'enveloppe de vulnérabilité, mais aussi indirectement, avec des conséquences qui s'étendent au-delà de l'enveloppe de vulnérabilité.

Dans le cadre du diagnostic des vulnérabilités aux inondations servant au diagnostic du PAPI (ALISE Environnement, 2023), un travail avec l'Agence Maitrise d'Ouvrage réseaux d'Enedis a permis d'identifier les zones sensibles potentiellement impactées par une défaillance électrique en s'appuyant sur une enveloppe de vulnérabilité qui cumule les scénarios 1 et 2 de deux aléas d'occurrence centennale : débordement de cours d'eau et ruissellement (Tableaux 7 et 8). La zone étudiée (territoire du PAPI RLA et Communauté d'agglomération Seine-Eure – CASE) comprend 371 259 clients, et l'aléa engendre la coupure d'alimentation en électricité de 99 067 clients, soit 27% des clients. Parmi ces clients, 71 867 le sont car ils sont inondés et 27 220 sont coupés alors qu'ils ne sont pas inondés (impacts indirects). Pour le territoire de la Métropole Rouen Normandie, environ 50 000 clients subiraient une coupure électrique, dont 37 000 seraient inondés, et 13 000 ne seraient pas inondés (Figure 72).

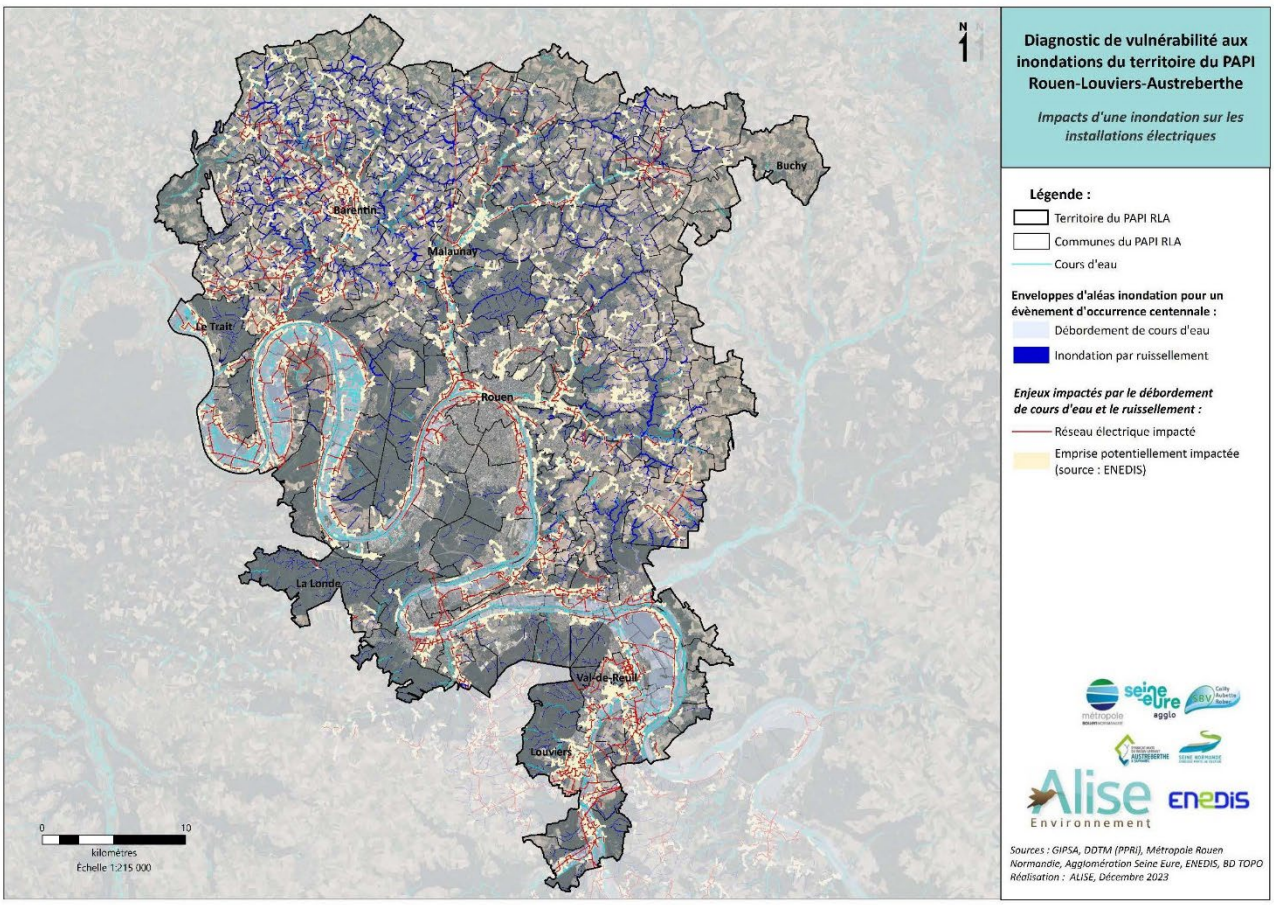


Figure 72 : Exposition des installations électriques au risque d'inondation – Source : ALISE Environnement, 2023, pour le diagnostic du PAPI RLA.

En outre, le risque de claquage électrique serait à surveiller de près dans la mesure où le nombre de jours de chaleur et de canicules pourrait augmenter quel que soient les scénarios de changement climatique (Laignel et Nouaceur, 2023). Les fortes températures peuvent aussi provoquer la dilatation des câbles et leur rapprochement vers le sol (RTE, 2021). Pour assurer la sécurité des populations environnantes, l'intensité des lignes est réduite à un certain seuil. Ainsi, plus la température extérieure est élevée, moins la marge d'élévation en température causée par les transits d'électricité est importante. Cet effet pourrait être amplifié avec l'augmentation des températures moyennes, et nécessitent donc d'être pris en compte dans le dimensionnement des réseaux électriques aériens.

L'intégration de « l'effet parc » causé par l'électrification des équipements, et d'un niveau plus élevé de production d'énergie renouvelable intermittente, pourra susciter des interrogations vis-à-vis de la capacité des réseaux à assurer un équilibre entre l'offre et la demande en électricité en permanence. De nos jours, les risques pour le système électrique sont les plus importants lors d'une vague de froid et d'une indisponibilité des réacteurs nucléaires. D'ici 2050, le système électrique sera plus dépendant aux énergies renouvelables et les risques pourraient être plus importants lors de périodes sans vent combinée à une vague de froid sur l'ensemble de l'Europe (RTE, 2021). Néanmoins, le risque d'un blackout généralisé demeure très rare car de nombreux leviers existent pour répondre à un déséquilibre entre l'offre et la demande d'électricité : recours à des moyens posts marchés tels que l'interruption de grands sites industriels rémunérés en contrepartie, importations d'électricités d'autres gestionnaires européens, réduction de la tension sur les réseaux de distribution, et délestages ciblés et tournants des consommations non essentielles.

Vulnérabilité des réseaux de distribution du gaz

En 2022, les canalisations classées dans la catégorie des réseaux sensibles représentent 7,7 % du réseau de gaz de la Métropole et sont majoritairement en fonte ductile. L'infiltration d'eau semble être le principal

problème pour ces réseaux. Pour pallier la corrosion par l'eau, les réseaux sont maintenant fabriqués en polyéthylène haute densité PE100. Mais, de manière générale, tous les types de conduites (basse pression et moyenne pression A, B, C) peuvent encourir un défaut d'étanchéité à la suite d'une rupture ou de fragilisations par une déstabilisation du sol (Ministère de la Transition Écologique, 2020).

Les postes de détente sont également sujets aux inondations. Quand ils sont disposés dans des armoires de rue, les évents sont disposés en hauteur pour ne pas être atteints par l'eau. En revanche, ils sont parfois enterrés et donc plus facilement inondables. Lorsque l'eau atteint les évents, elle entraîne en effet une augmentation de pression. Le risque d'une conséquence désastreuse est limité puisque les installations de sécurité détectent l'augmentation de pression et déclenchent une coupure d'alimentation. Néanmoins une augmentation trop importante de pression peut provoquer des dommages aux appareils et des inflammations (Ministère de la Transition Écologique, 2020).

Vulnérabilité des réseaux de chaleur

Hormis la localisation des sites de production de chaleur renouvelable (UVE, chaleur fatale industrielle) en zone inondable, aucune étude ne semble mettre en lumière de potentielles vulnérabilités physiques des réseaux de chaleur de la Métropole Rouen Normandie au changement climatique. Les réseaux actuels sont conçus pour être étanches à l'eau et isolés.

Conséquences économiques des aléas climatiques

Les effets du changement climatique sur le domaine économique sont potentiellement nombreux mais restent encore difficilement quantifiables entièrement à l'échelle de la Métropole Rouen Normandie. Quelques indicateurs et hypothèses en relation avec les phénomènes extrêmes peuvent néanmoins être mis en exergue, même s'il s'agit d'une liste non exhaustive.

Conséquences économiques des catastrophes naturelles et enjeux assurantiels

Selon France Assureurs (2021), en excluant les tempêtes Lothar et Martin de 1999, l'historique des indemnisations versées par les assureurs à la suite de dommages causées par les aléas naturels montre une « inflation » des indemnisations versées en France depuis 1989. Cette augmentation des indemnisations est de plus en plus élevée depuis ces dernières années, passant de 2 milliards en moyenne entre 1990 et 2009 (hors tempêtes de 1999), à 2,8 milliards en moyenne entre 2010 et 2019 et 3,8 milliards en moyenne entre 2016-2019 (Figure 73).

Figure 73 : Évolution des indemnisations versées par les assureurs suite à des évènements climatiques extrêmes en France. – Source : France Assureurs, 2021.

En France, trois grands dispositifs assurantiels couvrent les conséquences économiques engendrées par les catastrophes naturelles ou les évènements climatiques extrêmes :

- le régime d'indemnisation des catastrophes naturelles (CatNat) créé par la loi du 13 juillet 1982 qui assure notamment les dégâts liés aux inondations (par ruissellement, débordement de cours d'eau, remontée de nappes), les phénomènes liés à l'action de la mer (submersion marine, chocs mécaniques des vagues), les phénomènes de sécheresse et les retraits-gonflement des sols argileux, les mouvements de terrain (y compris les cavités souterraines telles que celles présentes sur le territoire métropolitain), les avalanches, les séismes, le volcanisme, les vents cycloniques dont les vitesses sont supérieures à 145 km/h en moyenne sur 10 minutes, ou à 215 km/h en rafales. Fondé sur les principes de solidarité nationale et de responsabilité, le régime couvre les particuliers, les entreprises, et les collectivités via une extension de garantie obligatoire dans leur contrat d'assurance de dommages. Il s'agit d'un système mixte dans lequel interviennent les assureurs privés et publics (l'Etat), à travers la Caisse Centrale de Réassurance (CCR) qui réassure les assureurs et offre une garantie illimitée de la part de l'Etat.
- la garantie Tempête Grêle Neige (TGN) qui assure les dommages matériels provoqués par les effets des vents violents, le choc de la grêle et le poids de la neige ou de la glace sur les toitures, et l'humidité causée par l'infiltration de pluies dans les habitations.

- L'assurance Multirisque Climatique des Récoltes (MRC) permet d'assurer les dommages des catastrophes naturelles sur les récoltes.[15]

Le changement climatique va renforcer les évènements extrêmes et les dégâts qu'ils engendrent sur les biens des particuliers, des entreprises ou des collectivités. Ainsi, des enjeux assurantiels forts se posent pour les compagnies d'assurance qui étudient désormais l'évolution de la sinistralité[16] avec l'évolution future du climat.

Dans la partie qui suit, il est proposé plusieurs indicateurs pour analyser les coûts des dommages déjà mesurés des catastrophes naturelles et leur évolution probable avec le changement climatique selon le stade actuel des connaissances.

État des lieux des dommages assurés dans le cadre du régime d'indemnisation CatNat

Bilan des catastrophes naturelles sur le territoire de la Métropole Rouen Normandie

De 1983 à 2023, 661 arrêtés de catastrophes naturelles ont été pris au total par les communes du territoire de la Métropole et publiés au Journal Officiel (Figure 74). Parmi les évènements les plus représentés figurent les inondations sous plusieurs formes (crues, ruissellements, remontées de nappes, coulées de boue), et les mouvements de terrain dans une seconde mesure. Comme le montre le précédent graphique (Figure 73), l'année 1999 a été particulièrement coûteuse en raison des nombreux dégâts et des dommages engendrés par les tempêtes du siècle. En outre, trois premiers arrêtés de sécheresse ont aussi été pris en 2023.

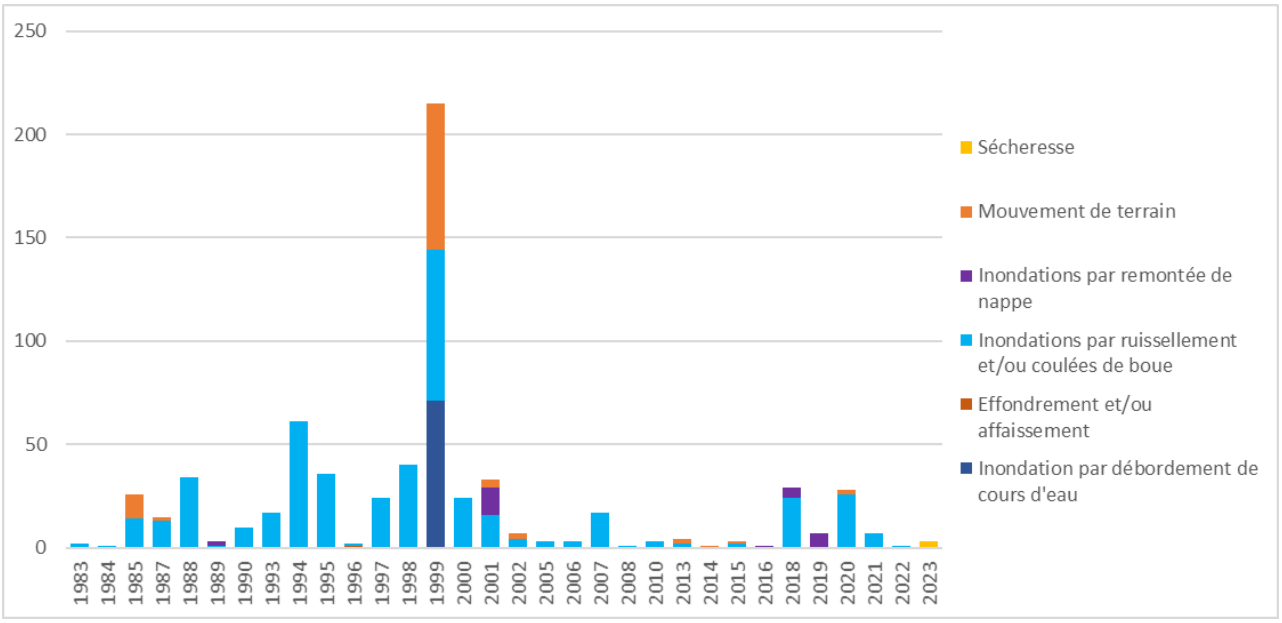


Figure 74 : Bilan des arrêtés de catastrophes naturelles entre 1983 et 2023 sur le territoire de la Métropole Rouen Normandie - Source : Base GASPAR, 2024.

En raison de ces antécédents, ces risques sont identifiés dans la plupart des communes de la Métropole dans le Document Départemental sur les risques majeurs (DDRM) (Figure 75).

[15] Faute de données disponibles à l'échelle de la Métropole Rouen Normandie ou supra (département, région), l'évolution des indemnisations de ce dispositif ne sera pas étudiée.

[16] Dans le secteur de l'assurance, il s'agit du ratio financier entre le montant des sinistres à dédommager et celui des primes encaissées.

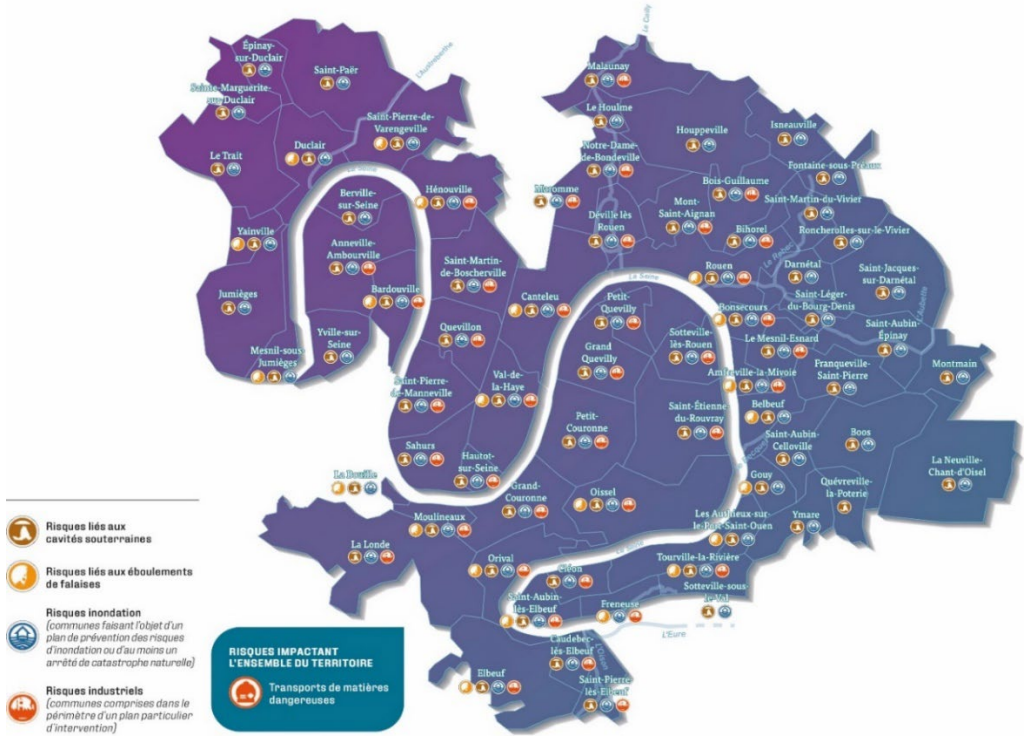


Figure 75 : Risques majeurs (cavités, éboulements de falaises, inondations, industriels) identifiés dans le Document départemental sur les risques majeurs (DDRM). Cette carte est complétée pour les mouvements de terrain par les études réalisées dans le cadre de l'élaboration du Plan local d'urbanisme intercommunal.

Les inondations

Suite à un épisode d'inondation, le retour à un état normal peut être relativement long du fait de la perturbation de la vie économique et sociale. Les activités abritées par les locaux en rez-de-chaussée peuvent être durablement impactées à la fois par les dégâts matériels importants qui empêchent une reprise rapide de l'activité et entraînent des pertes économiques, mais également par la perturbation des réseaux (voies d'accès, eau, électricité, assainissement) en milieu urbain (Salagnac 2014 ; OID 2020b). À la suite d'une inondation, le remplacement à neuf des matériaux et la reconstruction partielle, voire en totalité, des ouvrages dégradés, peuvent entraîner un coût de réparation élevé (Kabra et al., 2022).

Les inondations constituent le principal risque pris en charge par le régime des catastrophes naturelles avec des indemnisations cumulées entre 1982 et 2020 supérieures à 21 milliards d'euros au niveau national, ce qui représente 53 % du coût total assuré des indemnisations versées[17]. Le coût global des dommages assurés est évalué entre 350 et 450 millions d'euros annuels en 2020 en France (Kabra et al., 2022).

Récemment, la Caisse Centrale de Réassurance (CCR) a estimé les coûts par commune des sinistres liés aux catastrophes naturelles ayant engendrées des inondations pour le marché de l'assurance sur la période 1995 – 2019[18]. À l'échelle de la Métropole Rouen Normandie, le coût cumulé des sinistres engendrés par les inondations sur cette période peut s'élever à plusieurs centaines de milliers, voire plusieurs plusieurs millions

[17] Chiffres de la Caisse Centrale de Réassurance. https://catastrophes-naturelles.ccr.fr/-/chiffres-cl%C3%A9s-1982-2020

[18] Ces coûts ne concernent que les biens assurés autres que les véhicules terrestres à moteur. Ils sont obtenus par extrapolation d'un échantillon représentatif à l'ensemble du marché et ont été revalorisés en euros 2019 sur la base de l'évolution des primes acquises « catastrophe naturelle ». Selon la CCR, La base de données des sinistres, utilisée pour établir ces coûts, est de plus en plus représentative du marché de l'assurance au fil des années. Pour les exercices récents, cette base représente une part de marché d'environ 50%. Cependant, même si cette part du marché est significative, les indicateurs calculés par la CCR qui vont être présentés ici sont estimés en fonction de l'échantillon des données disponibles à la date de leur production et ne reflète donc pas l'exacte réalité de la sinistralité. Les données de portefeuille et de sinistres sont extrapolées à l'ensemble du marché de l'assurance. Un indicateur de représentativité moyenne des données de sinistralité disponibles est fourni pour chaque commune.

d’euros dans une dizaine de communes au nord de la Métropole (Figure 76). En outre, les coûts par habitant peuvent aussi être relativement élevés, notamment dans les communes situées en zones périurbaine ou rurale au nord et à l’est de Duclair et de Rouen.

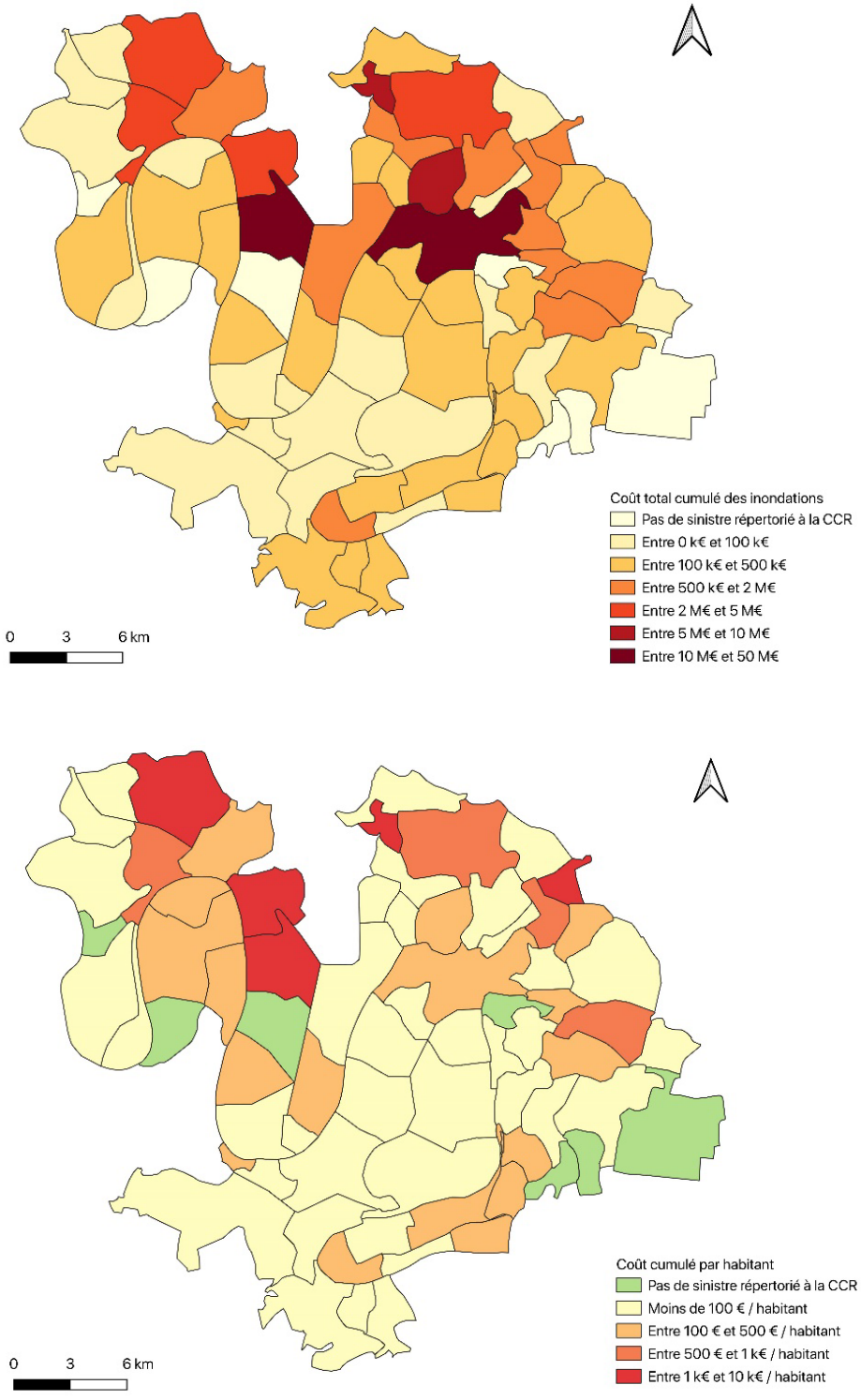


Figure 76 : En haut, coûts cumulés par commune des sinistres engendrés par les inondations (inondation et/ou coulée de boue, inondation par remontée de nappe, inondation par submersion marine) et indemnisés par les assureurs au titre du régime des Catastrophes Naturelles sur la période 1995 - 2019. En bas, coûts par commune des sinistres de type inondation indemnisés par les assureurs au titre du régime des Catastrophes Naturelles sur la période 1995 – 2019 et rapportés au nombre total d'habitants de la commune (Recensement de la population INSEE de 2019). – Source : Caisse Centrale de Réassurance, Observatoire National sur les Risques Naturels, 2023. Traitements : Métropole Rouen Normandie, 2023.

Très exposées au risque inondation par ruissellement, ces communes sont aussi celles où la fréquence moyenne des sinistres liés aux inondations[19] est la plus élevée sur la période 1995-2019 (Figure 77). En revanche, la fréquence moyenne des sinistres inondations n'est pas systématiquement corrélée avec le nombre de reconnaissances de l'état de catastrophe naturelle de type inondation recensées entre 1995 et 2019. En effet, la plupart des communes où la fréquence moyenne des sinistres est faible (entre 0 et 1 ‰) recensent un nombre de reconnaissances de l'état de catastrophe naturelle de type inondation parfois plus important que les communes où les fréquences moyennes des sinistres sont les plus élevées (plus de 10 ‰).

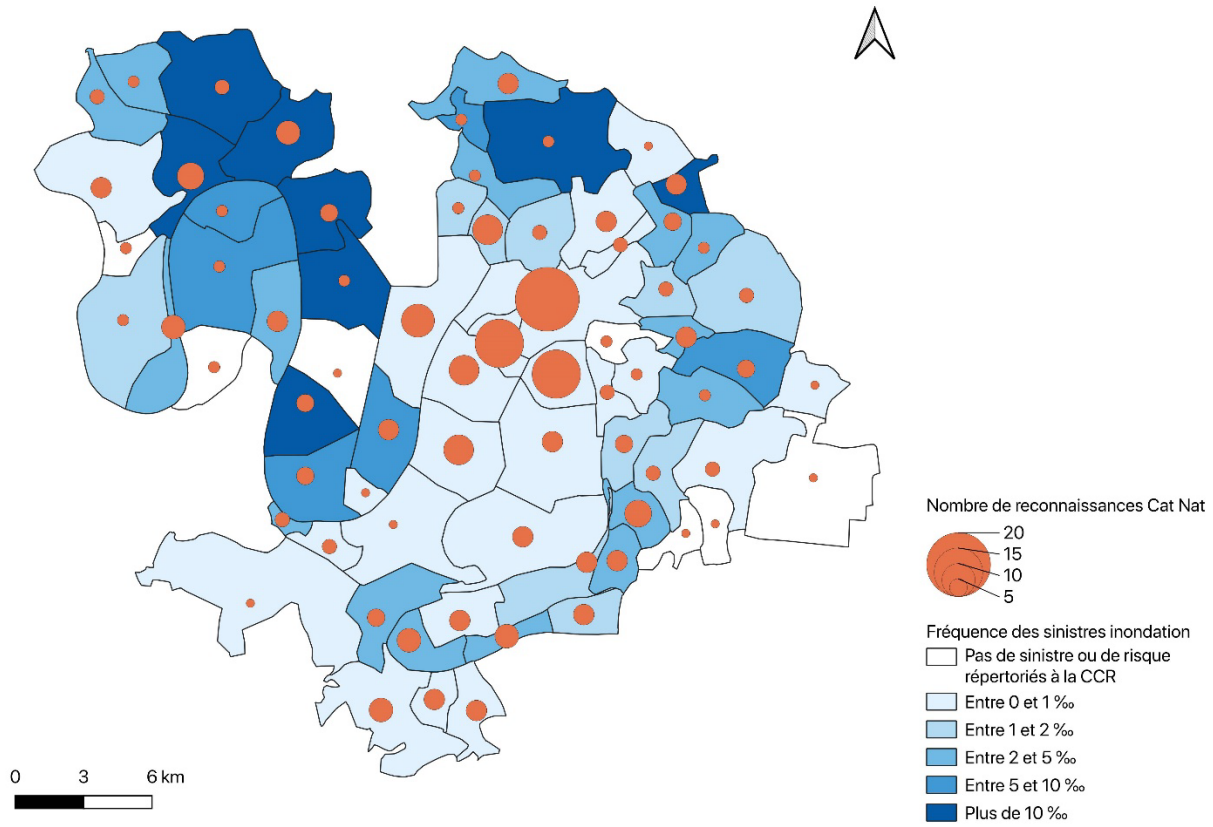


Figure 77 : Fréquence moyenne des sinistres inondations (inondation et/ou coulée de boue, inondation par remontée de nappe, inondation par submersion marine), calculée sur la période 1995 - 2019 pour le marché de l'assurance. Les fréquences sont obtenues en calculant le rapport entre le nombre de sinistres et le nombre de risques assurés dans la commune, les deux extrapolés pour l'ensemble du marché. Cercles proportionnels : Nombre de reconnaissances de l'état de catastrophe naturelle de type inondation par commune entre 1995 et 2019. – Source : Caisse Centrale de Réassurance ; Traitements : Métropole Rouen Normandie, 2023.

Le ratio sinistres/primes, qui permet de mettre en relation la gravité des dommages assurés avec les enjeux assurés, montre aussi qu'une dizaine de communes concentrent des enjeux d'assurance très forts. En effet, plus le ratio est élevé, plus les sinistres indemnisés sont importants par rapport aux primes collectées par les assureurs, et peut induire des difficultés de rentabilité pour ces-derniers. Il n'est pas improbable que les biens des particuliers, des entreprises et des collectivités locales situés dans les communes où le ratio dépasse 100% rencontrent des difficultés pour être assurés à l'avenir. Il s'agit peu ou prou des mêmes communes où les coûts des sinistres sont les plus élevés et où la fréquence moyenne des sinistres est la plus forte (Figure 78).

[19] La fréquence des sinistres est le rapport entre le nombre de sinistres et le nombre de risques assurés dans la commune.

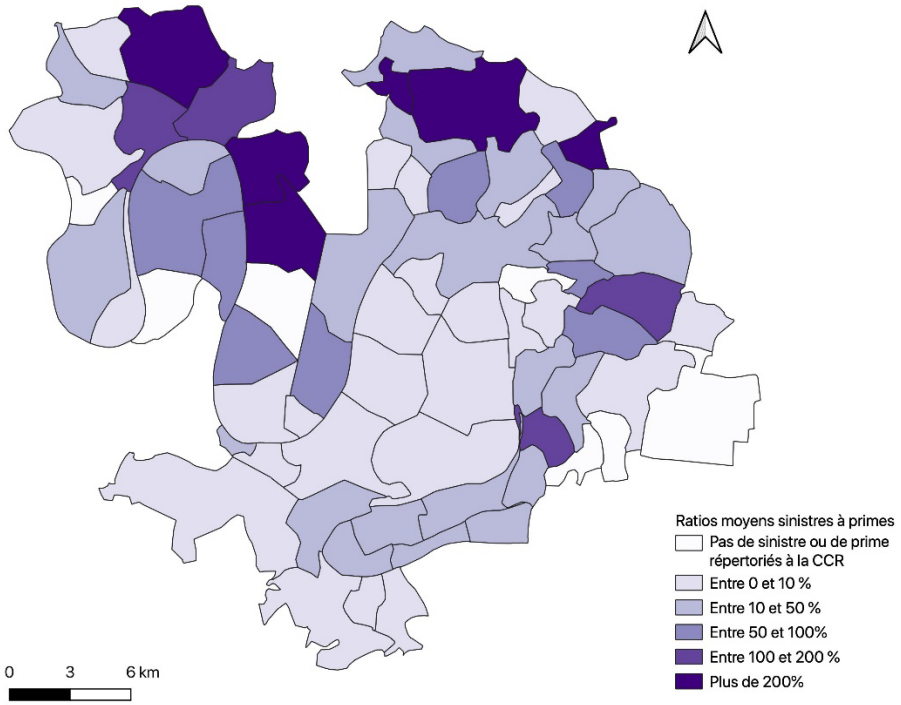


Figure 78 : Ratios moyens sinistres à primes par commune sur la période 1995-2019 pour le marché de l'assurance. Ces ratios sont calculés à partir des coûts des sinistres inondations et des primes acquises (corrigées des variations du taux de surprime Cat Nat et du taux de prélèvement au titre du fonds de prévention des risques naturels majeurs (FPRNM)) extrapolées à l'ensemble du marché pour la période 1995-2019. Seuls les sinistres rattachés à un arrêté de catastrophe naturelle sont exploités.

Avec l'urbanisation croissante des zones inondables, l'estimation des pertes potentielles des biens immobiliers et des infrastructures en Normandie associées à ce risque pourrait s'élever à plusieurs milliards d'euros, auxquels devrait s'ajouter le coût de la délocalisation des populations affectées et des activités économiques (DREAL Normandie, 2020). Avec l'élévation du niveau marin, certaines activités économiques pourraient être de plus en plus confrontées à des inondations plus régulières, telles que les entreprises et les ICPE situées en bord de Seine et de ses affluents (Figure 79). Selon le diagnostic du PAPI RLA, sur le territoire de la Métropole, parmi les entreprises (hors ICPE), 278 bâtiments d'activités (industrielles, commerciales, etc.) et 520 installations agricoles sont situées en zone inondable de débordement des cours d'eau pour un évènement d'occurrence centennale. Dans le cas d'un aléa de ruissellement d'occurrence centennale, il s'agit de 6 bâtiments d'activités et 63 installations agricoles concernées.

Les principales communes qui regroupent le plus d'ICPE sont : Rouen (91), le Grand-Quevilly (50), Saint-Etienne du Rouvray (45), Grand-Couronne (32), Sotteville-lès-Rouen (29), Canteleu (25). Parmi celles-ci, 113 sont situées en zone inondable en cas de débordement de cours d'eau pour une crue centennale, et 1 ICPE pour une pluie centennale (voir scénarios 1 et 2 – Tableaux 7 et 8). La question de leur délocalisation pourrait se poser et entrainer d'autres perturbations de la conjoncture économique locale (Figure 80).

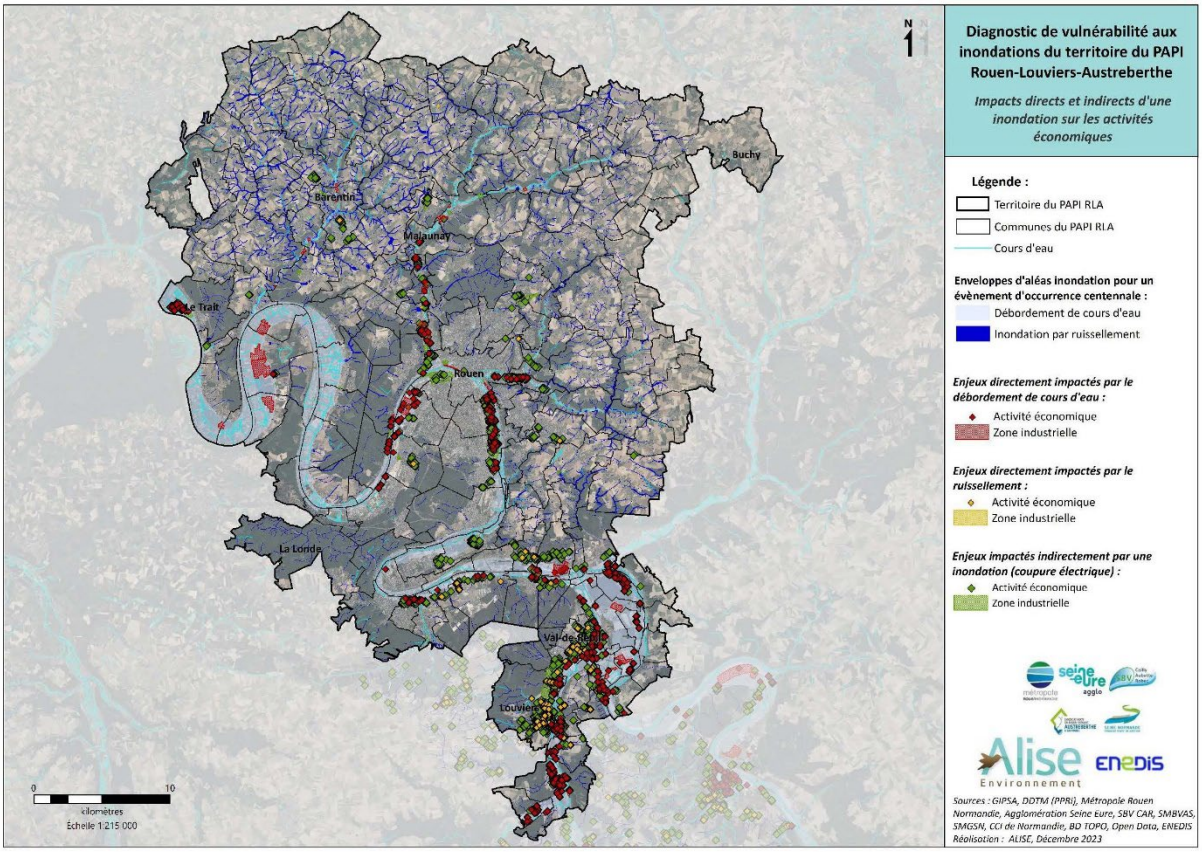


Figure 79 : Exposition des activités économiques au risque d'inondation – Source : ALISE Environnement, 2023, pour le diagnostic du PAPI RLA.

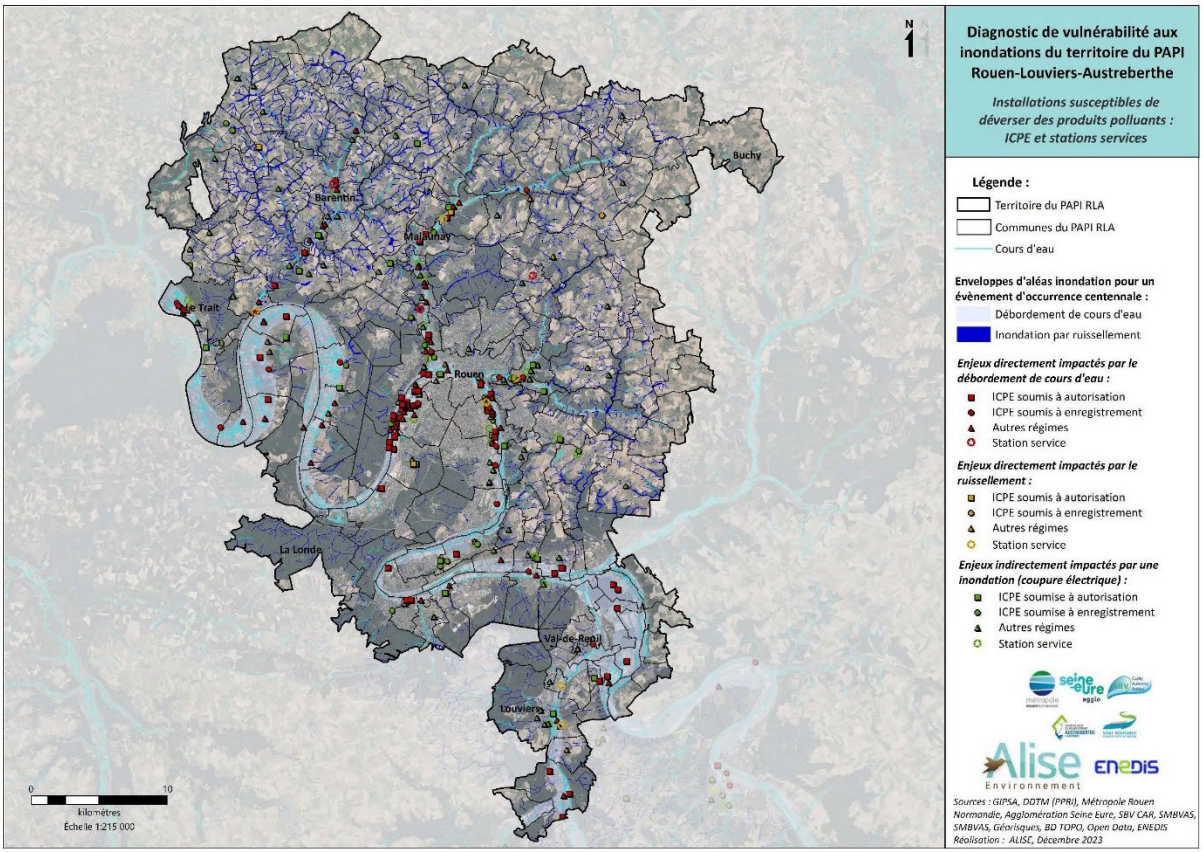


Figure 80 : Exposition des ICPE au risque d'inondation – Source : ALISE Environnement, 2023, pour le diagnostic du PAPI RLA.

Une estimation du coût des dommages pour une inondation par débordement de cours d'eau d'occurrence centennale a été réalisée dans le diagnostic des vulnérabilités aux inondations servant au diagnostic du PAPI RLA (ALISE Environnement, 2023). Cette estimation s'appuie sur une méthode d'évaluation socioéconomique des mesures de prévention des inondations proposée par le Commissariat général au développement durable dans le guide « Analyse multicritères des projets de prévention des inondations » de Juillet 2014.

Le diagnostic global de vulnérabilité aux inondations ayant été réalisé à grande échelle, il ne permet pas une analyse fine des biens impactés et donc des coûts des dommages. En effet, les données présentées correspondent au croisement d'une enveloppe d'aléa avec la présence d'enjeux ; les cotes plancher des enjeux n'étant pas connus. En ce sens, en l'absence de données sur les hauteurs d'eau potentiellement atteintes lors d'une inondation au sein des enjeux impactés, deux hypothèses ont été travaillées pour estimer le coût des dommages : une approche minimaliste (hauteur d'eau moyenne de 55 cm) et une approche maximaliste (hauteur d'eau moyenne de 105 cm) avec une submersion inférieure à 48h.

Cette analyse ne tient compte que de l'impact direct d'une inondation sur les enjeux et fait uniquement référence aux dommages sur les biens matériels. En revanche, les conséquences économiques d'un arrêt d'activité sur une industrie, une ligne ferroviaire, une entreprise, etc. ne sont pas pris en compte.

Le montant estimatif du coût des dommages pour une inondation d'occurrence centennale par débordement de cours d'eau sur le territoire du PAPI étendu aux communes de la CASE oscille entre 241 millions d'euros (scénario minimaliste) et 345 millions d'euros (scénario maximaliste). Le coût estimatif des dommages du territoire du PAPI RLA est compris entre 225 millions d'euros (hauteur d'eau + 55cm) et 323 millions d'euros (hauteur d'eau de + 105 cm). Pour la Métropole Rouen Normandie, le coût estimatif des dommages s'élève à hauteur de 127 000 000 € pour un scénario minimaliste, et 182 000 000 € pour un scénario maximaliste (Tableau 15).

Tableau 15 : Analyse des coûts estimatifs des dommages pour l'aléa débordement de cours d'eau pour une crue centennale sur le territoire du PAPI RLA étendu aux communes de la CASE, et sur le territoire de la Métropole Rouen Normandie. Scénario minimaliste (submersion de 55 cm pendant une durée < 48h) et scénario maximaliste (submersion de 105 cm pendant une durée < 48h) – Source : ALISE Environnement, 2023.

		Scénario minimaliste (submersion de 55 cm pendant une durée < 48h)								Scénario maximaliste (submersion de 105 cm pendant une durée < 48h)							
		Critères pris en compte		Territoire PAPI, étendu aux communes CASE (203 communes)		Territoire PAPI (167 communes)		Territoire MRN (71 communes)		Critères pris en compte		Territoire PAPI, étendu aux communes CASE (203 communes)		Territoire PAPI (167 communes)		Territoire MRN (71 communes)	
		Axe 1. ENJEUX « Santé humaine / population »								Axe 1. ENJEUX « Santé humaine / population »							
Sources de vulnérabilité	Indicateurs proposés associés	Règles de décision		Total en ZI		Total en ZI		Total en ZI		Règles de décision		Total en ZI		Total en ZI		Total en ZI	
Bâtiments d'habitation exposés	Logements	12671 €/Entité (dommage au bâti + au mobilier)	Moyenne bâtis et mobilier : individuel sans étage et avec étage, logement collectif	16798	212 847 458 €	15603	197 705 613 €	9065	114 862 615 €	17955 €/Entité (dommage au bâti + au mobilier)	Moyenne bâtis et mobilier : individuel sans étage et avec étage, logement collectif	16798	301 608 090 €	15603	280 151 865 €	9065	162 762 075 €
	Habitats légers de loisirs	66,9 €/m²	Surface moyenne : 500 m²	5	167 250 €	4	133 800 €	0	- €	129,8 €/m²	Surface moyenne : 500 m²	5	324 500 €	4	259 600 €	0	- €
Population / établissements publics dits sensibles	Etablissements « sensibles » pouvant présenter des difficultés d'évacuation : établissement de santé, maisons de retraite…	153€/m²	Surface moyenne : 1000 m²	58	8 874 000 €	58	8 874 000 €	41	3 136 500 €	279€/m²	Surface moyenne : 1000 m²	58	16 182 000 €	58	16 182 000 €	41	5 719 500 €
	Bâtiments, sites utiles à la gestion de crise : casernes, gendarmerie postes de police, préfectures…	Pompier : 72,7€/m² Police : 149,6€/m²	Surface moyenne : 900 m²	3	265 500 €	3	265 500 €	2	200 070 €	Pompier : 101,2€/m² Police : 243,8€/m²	Surface moyenne : 900 m²	3	401 580 €	3	401 580 €	2	310 500 €
	Bâtiments, sites importants pour la vie quotidienne : établissements publics	133,1€/m²	Surface moyenne : 300 m²	34	1 357 620 €	33	1 317 690 €	16	638 880 €	241,6€/m²	Surface moyenne : 300 m²	34	2 464 320 €	33	2 391 840 €	16	1 159 680 €
	Bâtiments, sites importants pour la vie quotidienne : établissements scolaires	99,5€/m²	Surface moyenne : 700 m²	34	2 368 100 €	27	1 880 550 €	6	417 900 €	135,0€/m²	Surface moyenne : 700 m²	34	3 213 000 €	27	2 551 500 €	6	567 000 €
	Bâtiments, sites importants pour la vie quotidienne : établissements de loisirs	99,5€/m² ***	Surface moyenne : 500 m²	32	1 592 000 €	30	1 492 500 €	14	696 500 €	135,0€/m² ***	Surface moyenne : 500 m²	32	2 160 000 €	30	2 025 000 €	14	945 000 €
	Bâtiments, sites importants pour la vie quotidienne : établissements sportifs	99,5€/m² ***	Surface moyenne : 500 m²	72	3 582 000 €	65	3 233 750 €	32	1 592 000 €	135,0€/m² ***	Surface moyenne : 500 m²	72	4 860 000 €	65	4 387 500 €	32	2 160 000 €
					231 053 928 €		214 903 403 €		121 544 465 €				331 213 490 €		308 350 885 €		173 623 755 €
		Axe 2. ENJEUX « Patrimoines culturel et naturel »								Axe 2. ENJEUX « Patrimoines culturel et naturel »							
Sources de vulnérabilité	Indicateurs proposés associés	Règles de décision		Total en ZI		Total en ZI		Total en ZI		Règles de décision		Total en ZI		Total en ZI		Total en ZI	
Dommages à l'environnement charriage de pollutions et déchets / sur-aléa technologique	Installations susceptibles de déverser des produits polluants : ICPE	18,9€/m² ***	Surface moyenne : 300 m²	158	895 860 €	153	867 510 €	113	640 710 €	26,5€/m² ***	Surface moyenne : 300 m²	158	1 256 100 €	153	1 216 350 €	113	898 350 €
	Installations susceptibles de déverser des produits polluants :	72,7€/m² ***	Surface moyenne : 100 m²	8	62 160 €	7	50 890 €	4	29 080 €	101,2€/m² ***	Surface moyenne : 100 m²	8	80 960 €	7	70 840 €	4	40 480 €
	Installations susceptibles de déverser des produits polluants : zones de stockage des déchets et déchetteries	72,7€/m² ***	Surface moyenne : 500 m²	14	508 900 €	13	472 550 €	10	363 500 €	101,2€/m² ***	Surface moyenne : 500 m²	14	708 400 €	13	657 800 €	10	506 000 €
Dommages au patrimoine culturel	Patrimoine culturel	133,1€/m² ***	Surface moyenne : 100 m²	6	79 860 €	6	79 860 €	3	84 150 €	241,6€/m² ***	Surface moyenne : 100 m²	6	144 960 €	6	144 960 €	3	72 480 €
	Bâtiments remarquables	133,1€/m² ***	Surface moyenne : 100 m²	54	718 740 €	48	638 880 €	24	319 440 €	241,6€/m² ***	Surface moyenne : 100 m²	54	1 304 640 €	48	1 159 680 €	24	579 840 €
					2 265 520 €		2 109 690 €		1 436 880 €				3 495 060 €		3 249 630 €		2 097 150 €
		Axe 3. ENJEUX « économiques et réseaux »								Axe 3. ENJEUX « économiques et réseaux »							
Sources de vulnérabilité	Indicateurs proposés associés	Règles de décision		Total en ZI		Total en ZI		Total en ZI		Règles de décision		Total en ZI		Total en ZI		Total en ZI	
Impacts sur les activités économiques	Bâtiments d'activités (industrielles, commerciales, …)	18,9€/m² (moyenne des code APE)	Surface moyenne : 300 m²	577	3 271 590 €	686	3 889 620 €	278	1 576 260 €	26,5€/m² (moyenne des code APE)	Surface moyenne : 300 m²	577	4 587 150 €	686	5 453 700 €	278	2 210 100 €
	Matériels agricoles/bâtiments d'exploitation agricole	18,9€/m² ***	Surface moyenne : 300 m²	780	4 422 600 €	756	4 286 520 €	520	2 948 400 €	26,5€/m² (moyenne des code APE)	Surface moyenne : 300 m²	780	6 201 000 €	756	6 010 200 €	520	4 134 000 €
					7 694 190 €		8 176 140 €		4 524 660 €				10 788 150 €		11 463 900 €		6 344 100 €
					241 013 638 €		225 189 233 €		127 506 005 €				345 496 700 €		323 064 415 €		182 065 005 €

*** approximation faite à partir d'enjeux relativement similaire en

Les sécheresses et les retraits-gonflements des sols argileux

Bien qu'il ne fasse ni morts ni blessés, le phénomène de retrait-gonflement des sols argileux représente la deuxième cause d'indemnisation en France au titre du régime d'indemnisation des catastrophes naturelles, après les inondations (le risque sécheresse représente 37 % de la sinistralité non-auto cumulée depuis 1982 contre 53 % pour le risque inondation). Cela représente un coût global des dommages assurés s'élevant à 1,2 milliard d'euros en 2020 selon la Caisse Centrale de Réassurance. D'un point de vue assurantiel, les coûts des sécheresses se limitent aux dommages causés au bâti en raison du retrait-gonflement des argiles ou des mouvements du sol, et le coût d'indemnité moyen du sinistre pour une maison individuelle est de l'ordre de 15 000 euros (Cribellier 2015 ; ONERC 2018 ; OID 2020c). Les dommages subis par un bâtiment construit dans une zone déclarée inconstructible par le PPR, ou dans une zone exposée au phénomène de retrait-gonflement des argiles en aléa moyen et fort sans prise en compte des prescriptions constructives, peuvent ne pas être indemnisés[20].

L'augmentation de la fréquence des sécheresses depuis les années 1990 a entraîné une extension des surfaces potentiellement affectées par les effets du retrait-gonflement des argiles (ONERC, 2018). Ainsi, les épisodes de sécheresse des années 1990-1991 et 2003-2004 ont cumulé près de 10 milliards d'euros d'indemnités en France[21]. Les dommages sont principalement localisés dans le centre et le sud de la France métropolitaine. De plus, les coûts moyens annuels ont poursuivi leur progression ces dernières années : de 350 millions d'euros sur la période 2000-2015, ils ont dépassé les 1,3 milliard d'euros sur la période 2016-2020 avec une sécheresse très importante en 2018. En prenant en compte l'effet des réformes récentes[22], la hausse de la sinistralité liée à la sécheresse est de 56%.

Actuellement, même si trois premiers arrêtés de sécheresse ont été pris par trois communes et publiés au Journal Officiel en 2023, les données du coût des dommages sur la Métropole Rouen Normandie ne sont pas disponibles.

Projections des dommages assurés dans le cadre du régime d'indemnisation CatNat

Dans une étude récente (2023a), la Caisse Centrale de Réassurance (CCR) a estimé l'évolution d'ici 2050 de la sinistralité et des dommages des biens assurés en France métropolitaine en relation avec le changement climatique selon les scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5[23]. De manière générale, tous scénarios confondus, les montants annuels moyens des dommages dus aux aléas couverts par le régime d'indemnisation vont augmenter en France avec le changement climatique d'ici 2050 en raison d'une plus grande intensité et sévérité des évènements.

De plus, le nombre d'enjeux et de biens assurés par les professionnels et les particuliers devrait aussi croître, notamment dans les zones à risques qui devraient aussi s'étendre avec l'évolution des aléas, et engendrer de ce fait des coûts de dommages plus élevés. En France, le scénario retenu par l'étude de la CCR montre une augmentation de 19% du nombre de biens assurés et de 12 % des valeurs assurées. En Seine-Maritime, le nombre de biens assurés des particuliers et des professionnels et leur valeur assurée devraient aussi progresser respectivement de l'ordre de 20 à 30 % et 10 à 15 % environ entre 2022 et 2050 (Figure 81).

Le changement climatique aura aussi un impact sur le financement du régime CatNat. Afin d'assurer un équilibre du régime d'indemnisation CatNat, une augmentation de la surprime CatNat des primes d'assurance « Dommages aux biens » dédiée au financement du régime a été préconisée par la CCR (2023a).

[20] Article L125-6 du Code des Assurances (J.O. 31 juillet 2003)

[21] https://www.ecologie.gouv.fr/sols-argileux-secheresse-et-construction

[22] Loi du 28 décembre 2021 relative à l'indemnisation des catastrophes naturelles (loi Baudu) facilitant et favorisant l'indemnisation des victimes et les politiques de prévention, Loi « 3DS » relative à la Différenciation, la Décentralisation, la Déconcentration et la Simplification, habilitant le gouvernement à améliorer la prise en charge des dommages causés par le retraitgonflement des argiles. L'ordonnance du 8 février 2023 précisant les conditions d'indemnisation des sinistres liés aux retraits-gonflement des argiles.

[23] L'étude de la CCR n'intègre pas de projections sur l'inflation d'ici 2050.

Elle devrait être de 7 points à court-terme et de 3 points supplémentaires pour tenir compte des effets du changement climatique en 2050. Cette préconisation a été récemment suivie par le Ministère de l'Economie qui a annoncé une hausse de la surprime de 12 % à 20 % en 2025, soit une hausse de 8 points[24].

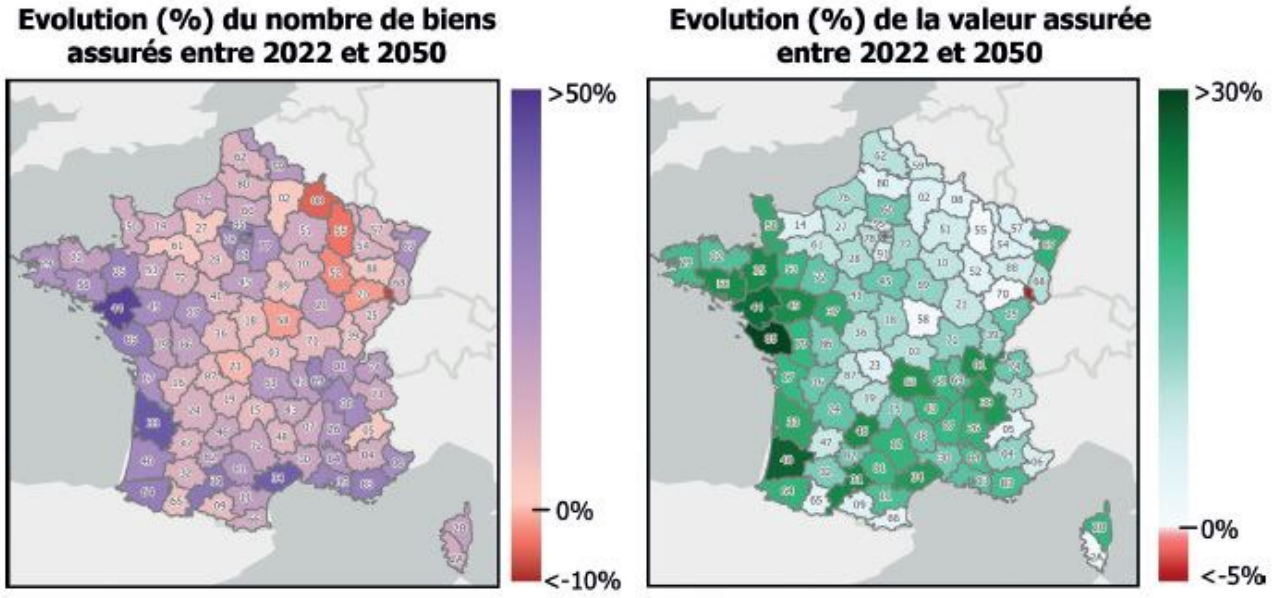


Figure 81 : Évolution du nombre de biens assurés et de la valeur assurée à l'horizon 2050 des biens assurés par les particuliers et les professionnels - Source : CCR, 2023.

Projections des coûts liés aux inondations

Cette augmentation des dommages se traduit pour chaque aléa en France. En effet, la CCR prévoit une augmentation des montants annuels moyens des dommages liés aux inondations (débordement, ruissellement) de 19 % selon un scénario RCP 4.5 et de 6 % selon un scénario RCP 8.5 par rapport au climat actuel (2023a). La différence entre les deux scénarios peut être expliquée par une sévérité moindre de l'aléa débordement dans le scénario RCP 8.5 du fait d'une diminution des cumuls des pluies fines engendrant des crues lentes dans l'arc méditerranéen. L'augmentation des biens assurés entrainerait une hausse supplémentaire des dommages de l'ordre de 43 % et 27 % respectivement selon les deux scénarios. Cette tendance semble aussi se transposer en Seine-Maritime (entre 25 à 50%) selon les deux scénarios du GIEC (Figure 82 - CCR, 2023a).

[24] https://www.lesechos.fr/finance-marches/banque-assurances/catastrophes-naturelles-bercy-decide-daugmenter-le-prix-des-assurances-2043567

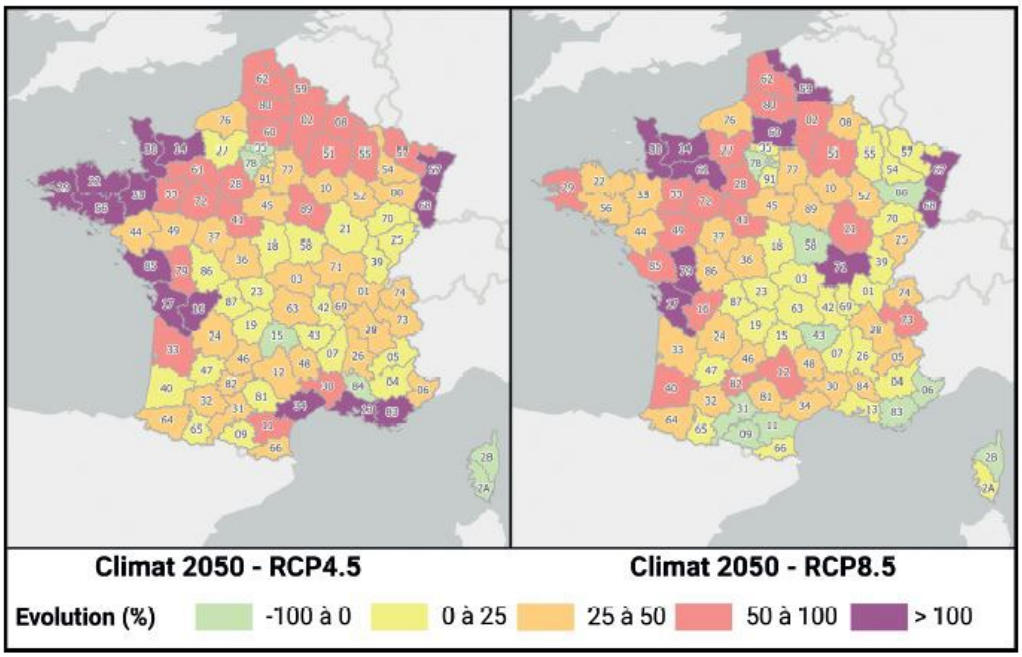


Figure 82 : Évolutions par département des montants moyens annuels des dommages résultant des inondations entre le climat actuel observé en 2023 et celui projeté en 2050 selon un scénario d'émissions modérées de gaz à effet de serre (RCP 4.5) et de fortes émissions (RCP 8.5).

Projections des coûts liés aux sécheresses et aux retraits-gonflements des sols argileux

L'évolution de la fréquence et de l'intensité des sécheresses géotechniques pourrait considérablement augmenter les dommages causés par le phénomène de retrait-gonflement des argiles. D'ici 2050, les coûts moyens annuels des dommages seraient amplifiés pour les deux scénarios, et plus particulièrement dans le scénario RCP 8.5 où les pertes annuelles moyennes seraient généralisées sur l'ensemble du territoire. Les coûts moyens annuels des dommages pourraient dépasser le milliard d'euros sur le territoire français, voire atteindre 7,5 milliards d'euros dans le cas d'un scénario RCP 8.5 en cas de sécheresse extrême. Les cycles de sécheresses pluriannuelles pourraient aussi accentuer ces coûts. Une sécheresse sur 8 ans entrainerait des coûts cumulés de 34 milliards d'euros, soit environ 4,2 milliards d'euros par an. En Seine-Maritime, ces coûts, de l'ordre de 2 millions à 5 millions d'euros (constants 2023) aujourd'hui, augmenteraient de 25 à 50% pour le scénario RCP 4.5, et de 100 à 200% pour le scénario RCP 8.5 (Figure 83, CCR, 2023a).

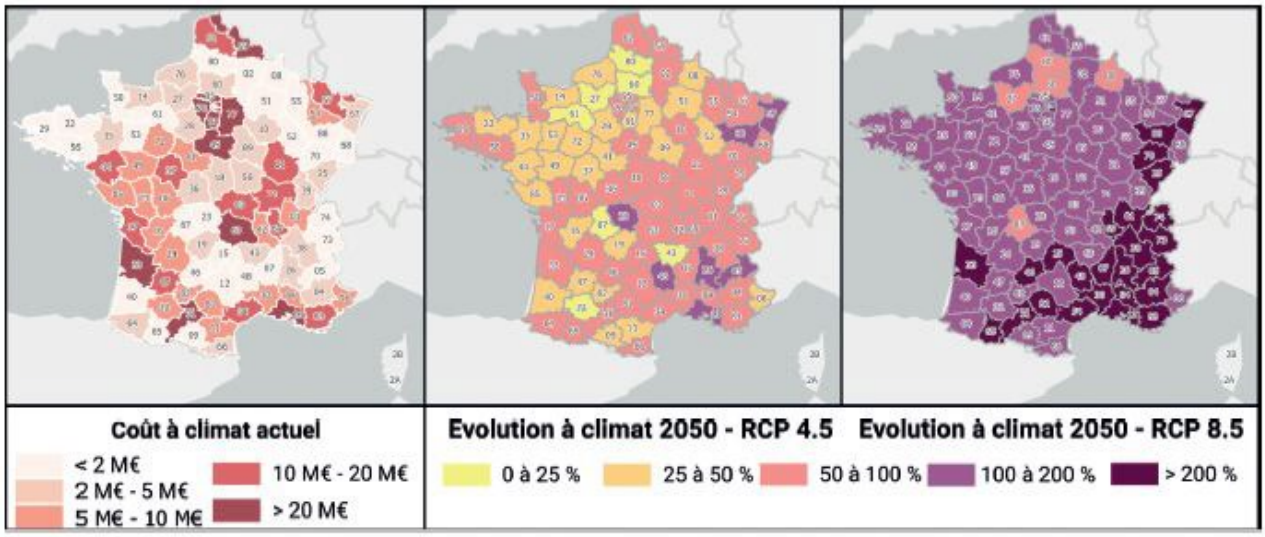


Figure 83 : Évolution par département des montants moyens annuels des dommages résultant de la sécheresse géotechnique entre le climat actuel observé en 2023 et celui projeté en 2050 selon un scénario d'émissions modérées de gaz à effet de serre (RCP 4.5 au centre) et de fortes émissions (RCP 8.5 à droite). - Source : CCR, 2023a.

État des lieux des coûts liés aux phénomènes de tempête, grêle et neige

Selon les données de France Assureurs pour la garantie TGN[25], le coût moyen cumulé en euros des dommages liés aux phénomènes de vent violent, de grêle et de neige pour les biens assurés des particuliers de Seine-Maritime est de 2 066 € sur la période 1987-2021. La fréquence des sinistres[26] engendrés est de 7,3 ‰ sur la même période.

Selon l'Inventaire Forestier National, les « tempêtes du siècle » Lothar et Martin de décembre 1999 auraient engendré 140 millions de chablis et volis en France (+/-30 %). La filière forêt-bois à l'échelle nationale en fut profondément marquée puisque trois années de récoltes de bois ont été renversées, contribuant en conséquence à une explosion de l'offre de bois et à une baisse des prix moyens. D'après le Centre Régional de la Propriété Forestière de Normandie, le prix moyen pour chaque catégorie de bois a été divisé par deux après la tempête. Bien que l'évolution des tempêtes avec le changement climatique reste incertaine, les milieux forestiers restent vulnérables à ces évènements (Kazmierczak et al., 2020).

Projections des coûts liés aux phénomènes de tempête, grêle et neige

Les projections climatiques de l'aléa tempête ne montrent pas de tendance significative sur la fréquence et l'intensité des tempêtes en Normandie. L'estimation des dommages futurs liés à l'évolution du changement climatique reste difficile pour cet aléa. Selon France Assureurs (2021), la charge pourrait atteindre 46 milliards d'euros en France entre 2020 et 2050, soit une hausse de 15 milliards (46%) par rapport à la charge estimée pour la période 1989-2019. Cette augmentation, qui ne comprend pas d'effet du changement climatique, provient de l'évolution du nombre, de la valeur et de la concentration des biens assurés des entreprises, des particuliers et des collectivités.

Bien que des projections climatiques aient montré une tendance à la baisse de la neige, et une tendance relativement à la hausse des phénomènes de fortes précipitations auxquels nous pouvons associer la grêle, il n'existe pas de projections sur l'évolution des dommages causés par ces deux aléas.

Autres conséquences économiques

Impacts économiques des canicules

De manière générale, les personnes travaillant dans des conditions thermiques difficilement supportables pour le corps humain s'exposent à des risques sanitaires potentiellement importants et voient leur productivité diminuer. Selon l'Office international du travail, un travailleur perd en moyenne environ 50 % de ses capacités à 34°C (ONERC, 2023). L'ANSES met aussi en avant que les risques professionnels sont déjà et continueront d'être affectés par le changement climatique, ses manifestations extrêmes telles que les canicules, et les modifications biologiques et chimiques de l'environnement qu'il engendre (Lafaye et al., 2018). En France, le code du travail[27] impose à l'employeur de protéger ses salariés face à ces phénomènes (modification de l'organisation du travail incluant le changement des horaires, mise à disposition d'eau fraîche, ventilation des bâtiments pour les travaux en intérieur).

En matière d'économie de la construction, les événements de forte chaleur ont pour incidence le ralentissement, voire l'arrêt des chantiers et des travaux de construction pour préserver la santé et la sécurité des travailleurs du BTP, ce qui peut entraîner des pénalités de retard de chantier (OID 2020a).

Conséquences économiques liées aux dépenses de santé

Au-delà des dégâts matériels, les inondations entraînent aussi des traumatismes pour la population aussi bien physiques (blessures, décès), que psychiques sur la période post-crise (par exemple stress ou dépression

[25] Données des dommages disponibles sur le site de l'Observatoire National des Risques Naturels : https://www.georisques.gouv.fr/articles-risques/onrn/acceder-aux-indicateurs-sinistralite

[26] Selon l'Observatoire National des Risques Naturel, la fréquence des sinistres des phénomènes de tempête, grêle et neige correspond ici au rapport entre le nombre de sinistres et le nombre de contrats souscrits dans le département. Exprimé en ‰, elle désigne le nombre de sinistres indemnisés pour 1 000 contrats assurés.

[27] Décret du 19 décembre 2018 complété par l'instruction du 31 mai 2022

suite à une perte de revenus ou la dégradation d'un habitat). Hormis les coûts par habitant des sinistres susmentionnés qui peuvent laisser entrevoir leurs impacts individuels, il n'existe pas d'estimation du coût engendré sur les impacts psychologiques en France et à l'échelle locale. Seule une étude réalisée au Royaume-Uni a estimé le coût monétaire des impacts psychologiques des inondations, qui serait de l'ordre de 1 à 9 millions de livres sterling par an (Hames DV, 2012).

Par ailleurs, le coût sanitaire engendré par la pollution de l'air représente environ entre 71 et 100 milliards d'euros[28] par an en France (Aïchi et Husson, 2016). Bien qu'il soit difficile de transposer ces coûts à l'échelle de la Métropole Rouen Normandie, ceux-ci peuvent être potentiellement importants (et évitables).

Le rôle majeur des politiques de prévention pour limiter les dommages

Face à ces évolutions préoccupantes, le renforcement des politiques de prévention des risques climatiques paraît indispensable pour limiter la hausse des dommages (CCR, 2023a). Les mesures de prévention, comme celles mises en oeuvre dans le cadre des PPRi ou des PAPI, portent déjà leurs fruits et continueront d'atténuer les coûts des dommages d'ici 2050 (CCR, 2023b). Toutefois, ces mesures nécessiteront des moyens accrus face à l'évolution des aléas et à l'augmentation des enjeux (CCR, 2023a). Une politique de prévention des risques de ruissellement pourrait être aussi efficace pour limiter les coûts de ce phénomène particulièrement dans les zones urbaines très exposées comme c'est le cas dans la Métropole Rouen Normandie. Cette politique serait complémentaire aux politiques de prévention des inondations (CCR, 2023a).

En outre, au regard de l'évolution de l'aléa sécheresse géotechnique, la mise en oeuvre d'une politique spécifique de prévention semble incontournable. Les dispositions de la loi ELAN sur la construction de maisons neuves en zone argileuse, en vigueur depuis 2020, vont déjà dans ce sens (CCR, 2023a). Toutefois, il paraît nécessaire d'axer aussi les efforts de prévention sur les bâtiments existants exposés au risque comme c'est le cas dans les communes du nord de la Métropole Rouen Normandie. L'adaptation de l'ensemble des maisons individuelles construites entre 2013 et 2030 en zone d'aléa fort et moyen en région normande pourrait entraîner un coût d'adaptation de 150 à 240 millions d'euros, dans le cas d'une stricte application des prescriptions des PPRN (Cribellier et al., 2015). Au-delà de prendre en compte le risque de retrait-gonflement d'argiles, cette politique permettrait aussi de considérer les dégâts des sécheresses sur les cultures, les prélèvements en eau, ou encore sur la biodiversité.

Enfin, il convient de rappeler que l'adaptation des politiques de prévention face à l'évolution des aléas soulève aussi des interrogations quant au dimensionnement des investissements et des contraintes réglementaires à appliquer selon le scénario climatique choisi. Autrement dit, le choix d'un territoire local de s'adapter à un scénario climatique optimiste, médian ou pessimiste n'impliquera pas les mêmes investissements et les mêmes ressources financières à allouer (CCR, 2023a).

[28] Un coût sanitaire tangible de 3 milliards d'euros par an et un coût sanitaire intangible entre 68 et 97 milliards d'euros.

PARTIE 3 : Diagnostic général des vulnérabilités du territoire de la Métropole Rouen Normandie au changement climatique

La synthèse des impacts du changement climatique sur la Métropole Rouen Normandie a été réalisée à l'aide de l'outil TACCT élaboré par l'ADEME, et sur la base des études du GIEC de la Métropole. L'outil repose sur l'analyse de l'exposition du territoire[29] à l'évolution observée et future du climat, et l'analyse de la sensibilité[30] du territoire selon les divers impacts thématiques observés et décrits dans la Partie 2. Le croisement de ces analyses permet ensuite de déterminer les impacts observés (selon le climat actuel) et les impacts futurs (selon l'évolution future du climat), et d'identifier les enjeux pour la politique d'adaptation au changement climatique (Figure 84).

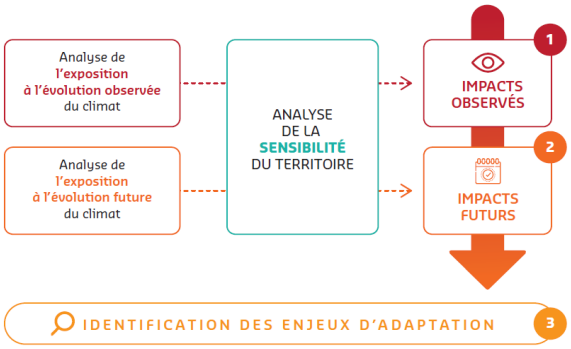


Figure 84 : Principales étapes de l'outil TACCT – Source : ADEME.

Analyse de l'exposition du territoire

L'analyse de l'évolution du climat passé et des projections climatiques décrites précédemment a montré que le territoire de la Métropole Rouen Normandie est principalement exposé à l'évolution de la température de l'air, des vagues de chaleur, des éléments pathogènes, de la température des cours d'eau, de l'élévation du niveau marin et des inondations. Le territoire est aussi exposé, de façon plus localisée, aux pluies torrentielles, aux mouvements de terrains, aux retraits-gonflements des argiles, à la variabilité interannuelle du climat et aux tempêtes (Figure 85).

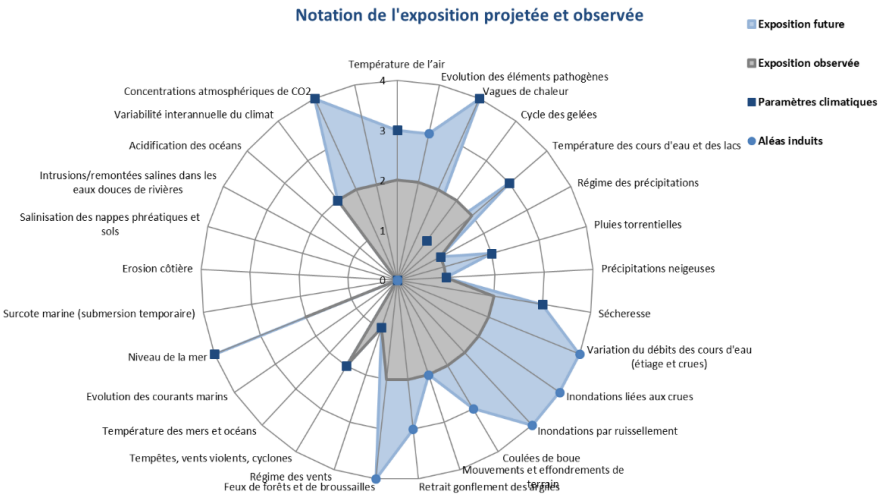


Figure 85 : Estimation de l'exposition observée (en gris) et projetée (en bleu clair) du territoire de la Métropole Rouen Normandie à partir de l'outil TACCT de l'ADEME, des études du GIEC de la Métropole, et de l'état actuel des connaissances, 2023.

[29] TACCT définit l'exposition du territoire comme « la façon dont le climat se manifeste « physiquement sur un espace géographique ». Il s'agit « d'apprécier si le territoire est faiblement, moyennement ou fortement dépendant des différents paramètres climatiques et soumis aux aléas. »

[30] TACCT définit la sensibilité par « la proportion dans laquelle le territoire exposé est susceptible d'être affecté, favorablement ou défavorablement, par la manifestation d'un aléa. » Il s'agit ici d'une notion similaire à la vulnérabilité.

D'autre part, l'indicateur d'exposition des populations aux risques climatiques[31] montre que la grande majorité du territoire est fortement exposée aux risques climatiques susceptibles d'être directement ou indirectement influencés par le changement climatique, à savoir via les inondations principalement, et les mouvements de terrain dans un second temps (Figure 86). La fréquence des phénomènes de feux de forêt et de végétation, et de sécheresse, pourrait aggraver cette exposition à l'avenir notamment dans les communes forestières où l'indice oscille actuellement entre « faible » et « moyen ». Toutefois, l'exposition n'atteint pas le niveau maximal de l'indicateur (« Très fort ») comme c'est le cas dans d'autres communes françaises.

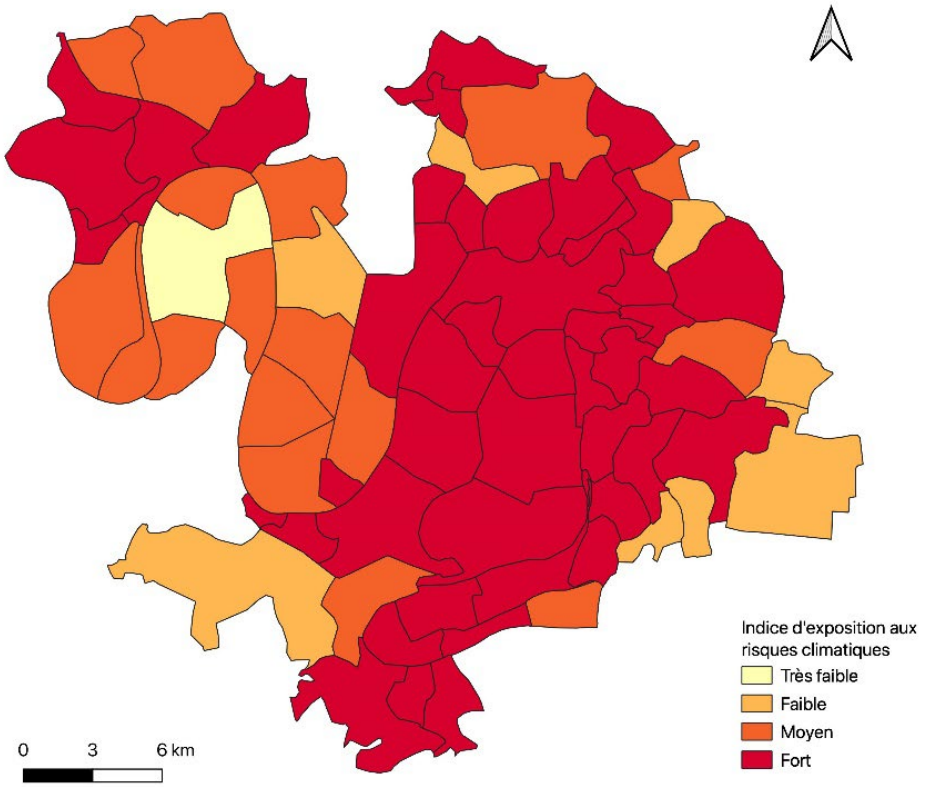


Figure 86 : Exposition de la population de la Métropole Rouen Normandie aux risques climatiques en 2022 – Source : MTECT/DGPR, Gaspar (extraction décembre 2022) ; INSEE, RP 2019 - Traitements : Métropole Rouen Normandie, 2023.

[31] Développé par l'Institut français de l'environnement en 2005, et mis à jour annuellement par le Service des données et des études statistiques (SDES) du Commissariat Général au Développement Durable, cet indicateur renseigne les risques naturels susceptibles d'être directement ou indirectement influencés par le changement climatique (les inondations, les mouvements de terrain, les cyclones et les tempêtes, les feux de forêt et les avalanches), et les confronte avec les enjeux, c'est-à-dire les populations ou les biens susceptibles d'être affectés. L'indicateur résulte du croisement entre la densité de population communale et le nombre d'aléas climatiques identifiés et déclarés par les services de l'État pour chaque commune à travers le DDRM. Ainsi, le niveau d'exposition des populations est d'autant plus fort lorsque la densité de population de la commune et le nombre d'aléas climatiques identifiés et déclarés par les services de l'Etat sont élevés. Pour plus d'informations, voir la note de méthode de calcul et la classification typologique élaborée par le SDES : https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2020-01/methodologie-risques-climatiques.pdf.

Définition des principaux impacts du changement climatique sur le territoire

Le croisement de cette exposition avec les sensibilités (ou les vulnérabilités) décrites dans la Partie 2 a permis de mettre en exergue les principaux impacts du changement climatique sur le territoire (Tableau 16)[32] :

- La prévention du risque inondation,
- La préservation de la ressource en eau (en termes de volumes et de qualité de l'eau),
- Les représentations et les attitudes des populations locales vis-à-vis du changement climatique, et la culture des risques climatiques,
- L'adaptation des forêts à l'évolution des paramètres climatiques, aux évènements extrêmes (canicules, sécheresses, feux de forêts et tempêtes) et aux ravageurs,
- La préservation de la biodiversité (préservation des milieux, des espèces, des habitats, et des services écosystémiques, réduction des pressions sur la faune et la flore, lutte contre les espèces exotiques envahissantes),
- La limitation des impacts du changement climatique sur la santé humaine,
- L'amélioration de la qualité de l'air pour limiter les impacts du changement climatique sur la santé et les milieux naturels,
- L'adaptation du bâti et de la production architecturale aux vagues de chaleur, au retrait-gonflement des argiles et au risque d'inondation,
- La lutte contre les îlots de chaleur urbains,
- L'amélioration de la gestion hydraulique en ville afin de réduire les ruissellements des pluies,
- L'adaptation des infrastructures de transport et des flux de mobilités (voyageurs, marchandises) aux aléas,
- L'adaptation des cultures et des exploitations agricoles, et l'accompagnement des agriculteurs dans leur adaptation,
- L'anticipation de changements des usages énergétiques (augmentation de la climatisation l'été, baisse des besoins de chauffage l'hiver, augmentation de la consommation d'électricité), la protection des sources d'énergies locales renouvelables et des infrastructures de distribution d'énergie,
- La limitation des dommages résultant des catastrophes naturelles

[32] N.B. : Le classement des impacts a été apprécié selon l'état des connaissances et selon la configuration de l'outil TACCT. Cette hiérarchisation permet d'avoir une vision sur les enjeux prioritaires en matière d'adaptation. Néanmoins, tous les impacts identifiés feront l'objet d'une ou plusieurs actions, quel que soit leur classement.

Tableau 16 : Estimations des impacts futurs du changement climatique sur le territoire de la Métropole Rouen Normandie – Source : Outil TACCT de l'ADEME, estimations réalisées à partir des études du GIEC de la Métropole et de l'état actuel des connaissances, 2023.

	Sensibilité faible (1)	**Sensibilité moyenne (2)**	**Sensibilité forte (3)**	**Sensibilité très forte (4)**
Exposition très forte (4)	**4**	**8** • Impacts des inondations sur la santé (décès, blessures, syndrômes post traumatiques, etc.) • Augmentation des besoins en climatisation l'été • Augmentation de la consommation d'électricité • Impacts sur les sources locales de production d'énergie renouvelable (bois-énergie, réseau de chaleur urbain, photovoltaïque, etc.) • Coûts liés aux dépenses de santé, aux pertes de bois, et aux conséquences de la chaleur sur l'activité économique • Risque de dégradation de la qualité de l'air et d'augmentation des pics de pollution notamment l'été (ozone, particules fines, etc.)	**12** • Inondation du réseau d'eau potable et des réseaux d'assainissement lors de fortes pluies et de ruissellements, et de débordements de cours d'eau • Perturbations des activités dépendantes des débits des cours d'eau (STEP, prélèvements, etc.) • Dépérissements de parcelles forestières liés aux évènements extrêmes • Vulnérabilité des installations électriques • Impacts de la chaleur sur le bâti, le confort intérieur et le cycle de vie des équipements • Impacts des inondations sur les revêtements, les matériaux et les structures des édifices • Vulnérabilité physique et matérielle des infrastructures de transport • Décès prématurés et maladies en relation avec la dégradation de la qualité de l'air • Transformation des paysages forestiers	**16** • Surmortalité et maladies aggravées par la chaleur • Amplification de l'îlot de chaleur urbain l'été • Extension des zones inondables renforçant l'exposition des populations, des emplois et des activités sensibles (ICPE, industries) • Coûts des catastrophes naturelles sur les biens des particuliers, des professionnels et des collectivités, et enjeux sur leur assurabilité • Vulnérabilité fonctionnelle des mobilités liée au report modal engendré par un aléa et au caractère systémique des réseaux de transport de l'agglomération • Afflux de déchets et pollutions engendrés par les inondations, exposition des installations de gestion des déchets aux inondations • Extinction d'espèces d'affinités septentrionales situées en limite sud de leur aire de répartition et en isolat géographique • Risque de développement de nouvelles sources émettrices de GES par la dégradation des milieux naturels et des puits de carbone
Exposition forte (3)	**3**	**6** • Restrictions d'eau et conflits d'usage de la ressource. • Augmentation de la production de pollens et des allergies • Maladies véhiculées par des espèces nuisibles et exotiques • Réduction des besoins en chauffage l'hiver • Accroissement des inégalités sociales de santé	**9** • Dépérissements de parcelles forestières liés à la prolifération de ravageurs • Impacts des aléas climatiques sur les exploitations agricoles, les rendements des cultures et le bien-être des animaux d'élevage • Disparition de milieux (vasières et boisements alluviaux en l'absence de possibilité de recul et manque d'habitat de substitution, milieux frais et humides des boisements) • Perturbation des écosystèmes aquatiques (cours d'eau, fossés) : augmentation de la température et modification de la composition chimique (baisse de l'oxygène, augmentation de la concentration en polluants)	**12** • Croissance et régénération des forêts et des espèces locales de plus en plus limitées • Pressions sur les espèces faunistisques et floristiques locales • Installation d'espèces exotiques envahissantes • Pertes de services écosystémiques • Pressions sur le patrimoine naturel et les aires protégées • Assèchement des zones humides (mares, prairies) • Impacts sur la perception et la culture des risques climatiques des acteurs du territoire et leur capacité à s'adapter • Impacts sur les changements de comportement
Exposition moyenne (2)	**2**	**4** • Maladies liées à la contamination des eaux • Impacts du retrait-gonflement d'argiles sur le bâti	**6** • Impact sur la qualité des eaux (turbidité, pollutions chimiques ou microbienne, etc.) • Traitement des eaux brutes plus lourd et couteux	**8** • Risque de coupures d'électricité lors d'un aléa climatique majeur (tempête, canicule, inondation)
Exposition faible (1)	**1**	**2**	**3**	**4**

Relations entre les vulnérabilités identifiées et les compétences et les politiques de la Métropole Rouen Normandie

Du fait de sa transversalité et des imbrications complexes entre différents secteurs, le plan d'adaptation de la Métropole, dont ce diagnostic constitue la première brique, s'appuiera sur les compétences et les politiques de la collectivité déjà mises en œuvre. D'autres acteurs interviennent également pour répondre aux impacts soulevés dans ce diagnostic. Le tableau suivant présente un panorama global de la coordination à étudier entre ces politiques, les compétences et les acteurs.

Tableau 17 : Compétences et politiques mobilisables par la Métropole et d'autres collectivités ou organismes pour répondre aux impacts potentiels du changement climatique recensés sur le territoire.

Thématiques	Impacts potentiels du changement climatique recensés	Compétences mobilisables par la collectivité pour y répondre	Politiques et projets existants sur le territoire	Autre organisme compétent pour lutter contre les impacts	Partenaires de la collectivité susceptibles de l'accompagner pour réduire ces impacts
Ressources en eau/Inondation	Perturbations des activités dépendantes des débits des cours d'eau (STEP, prélèvements, etc.)	Distribution de l'eau potable, Traitement des eaux usées	Stratégie de protection de la ressource en eau, Schéma Directeur de l'Assainissement	Agence de l'Eau Seine Normandie (AESN), Délégataire de service public	AESN
	Restrictions d'eau et conflits d'usage de la ressource	Distribution de l'eau potable	Stratégie de protection de la ressource en eau	AESN	AESN
	Impact sur la qualité des eaux (turbidité, pollutions chimiques ou microbienne, etc.)	GEMAPI, Traitements des eaux usées		AESN, ARS, DREAL, Syndicats mixtes des bassins versants	AESN
	Traitement des eaux brutes plus lourd et couteux	Distribution de l'eau potable			AESN
	Afflux de déchets et pollutions engendrés par les inondations, exposition des installations de gestion des déchets aux inondations	GEMAPI, collecte et prévention des déchets, Urbanisme	PAPI, Prévention des déchets	SMEDAR, Déchetteries	AESN
	Inondation du réseau d'eau potable et des réseaux d'assainissement lors de fortes pluies et de ruissellements, et de débordements de cours d'eau	Distribution de l'eau potable, Traitement des eaux usées, Urbanisme	Schéma Directeur de l'Assainissement	AESN, DSP	AESN
Forêt	• Croissance et régénération des forêts et des espèces locales de plus en plus limitées • Dépérissements de parcelles forestières liés aux évènements extrêmes et à la prolifération de ravageurs • Transformation des paysages forestiers	Environnement	Charte Forestière	Région Normandie, Département de Seine-Maritime, ONF, CRPF, PNR, SDIS 76	Conservatoire des espaces naturels, ANBDD
Milieux et écosystèmes	• Pressions sur les espèces faunistisques et floristiques locales • Installation d'espèces exotiques envahissantes • Pertes de services écosystémiques • Pressions sur le patrimoine naturel et les aires protégées, • Assèchement des zones humides (mares, prairies) • Disparition de milieux (vasières et boisements alluviaux en l'absence de possibilité de recul et manque d'habitat de substitution, milieux frais et humide des boisements) • Perturbation des écosystèmes aquatiques (cours d'eau, fossés) : augmentation de la température et modification de la composition chimique (baisse de l'oxygène, augmentation de la concentration en polluants) • Extinction d'espèces d'affinités septentrionales situées en limite sud de leur aire de répartition et en isolat géographique • Risque de développement de nouvelles sources émettrices de GES par la dégradation des milieux naturels et des puits de carbone	Environnement, GEMAPI	Charte Biodiversité, Charte Forestière	Région Normandie, Département de Seine-Maritime, Syndicats mixtes des bassins versants, ONF, CRPF, communes (gestion des espaces verts)	Conservatoire des espaces naturels, ANBDD, Conservatoire Botanique National, Museum d'Histoire Naturelle, etc.

Santé/Qualité de l'air	• Surmortalité et maladies aggravées par la chaleur • Accroissement des inégalités sociales de santé	Urbanisme, environnement, logement	PLUi, SCOT, PCAET, PAPI, Contrat Local de Santé (CLS), projets d'aménagement, espaces publics	ARS et DREAL (PRSE	Santé Publique France, CHU de Rouen, autres hôpitaux et professionnels de santé
	Impacts des inondations sur la santé (décès, blessures, syndrômes post traumatiques, etc.)	Urbanisme		AESN, ARS, DREAL, Syndicats mixtes des bassins versants	
	Maladies liées à la contamination des eaux	Distribution de l'eau potable	Stratégie de protection de la ressource en eau, CLS	ARS et DREAL (PRSE)	
	Maladies véhiculées par des espèces nuisibles et exotiques	Environnement	Charte Biodiversité, CLS, PACTE	ARS et DREAL (PRSE) Communes	Santé Publique France, CHU de Rouen, autres hôpitaux et professionnels de santé, Atmo Normandie
	Décès prématurés et maladies en relation avec la dégradation de la qualité de l'air	Environnement, urbanisme, mobilités	PCAET, CLS, PLUi, projets d'aménagement, PDM	Préfecture	
	Augmentation de la production des pollens et des allergies	Environnement, urbanisme	PCAET, CLS, PLUi, projets d'aménagement	Communes	
	Risque de dégradation de la qualité de l'air et d'augmentation des pics de pollution notamment l'été (ozone, particules fines, etc.)	Environnement	PCAET, PDM, PLUi, PACTE	Préfecture	Atmo Normandie
Agriculture	Impacts des aléas climatiques sur les exploitations agricoles, les rendements des cultures et le bien-être des animaux d'élevage	Agriculture	Charte Agricole, Projet Alimentaire Territorial	Agriculteurs	Chambre d'Agriculture de Normandie
Energie	• Réduction des besoins en chauffage l'hiver • Augmentation des besoins en climatisation l'été • Augmentation de la consommation d'électricité	Coordinatrice de la transition énergétique	SDE, PCAET	RTE, ENEDIS, ENGIE	Energies Metropole
	Impacts sur les sources locales de production d'énergie renouvelable (bois-énergie, réseau de chaleur urbain, photovoltaïque, etc.)			CRPF, ONF, FNCOFOR	Energies Metropole, SEM ASER
	Vulnérabilité des installations électriques	Autorité organisatrice de la distribution de l'énergie		RTE, ENEDIS	
	Risque de coupures d'électricité lors d'un aléa climatique majeur (tempête, canicule, inondation)				
Aménagement du territoire	Extension des zones inondables renforçant l'exposition des populations, des emplois et des activités sensibles (ICPE, industries)	Urbanisme, GEMAPI	PLUi, SCOT, PCAET, PAPI, projets d'aménagement	AESN, DREAL, Syndicats mixtes des bassins versants	CAUE, ENSAN, Agence d'Urbanisme de Rouen et des Boucles de Seine et Eure
	Amplification de l'îlot de chaleur urbain l'été	Urbanisme, Logements, Environnement	PLUi, SCOT, PCAET, PLH, projets d'aménagement		
Architecture	• Impacts de la chaleur sur le bâti, le confort intérieur et le cycle de vie des équipements • Impacts du retrait-gonflement d'argiles sur le bâti • Impacts des inondations sur les revêtements, les matériaux et les structures des édifices			Bailleurs sociaux, propriétaires privés	
Mobilités	Vulnérabilité physique et matérielle des infrastructures de transport		PDM	Région, Département	
	Vulnérabilité fonctionnelle des mobilités liée au report modal engendré par un aléa et au caractère systémique des réseaux de transport de l'agglomération	Autorité organisatrice des mobilités	PDM	Région, Département	
Enjeux assurantiels	Coûts des catastrophes naturelles sur les biens des particuliers, des professionnels et des collectivités, et enjeux sur leur assurabilité	Urbanisme	PLUi	Communes	
	Coûts liés aux dépenses de santé, aux pertes de bois, et aux conséquences de la chaleur sur l'activité économique	Environnement	CLS		Santé Publique France
Psychologie sociale	Impacts sur la perception et la culture des risques climatiques des acteurs du territoire et leur capacité à s'adapter	Environnement, Développement économique	PACTE, PCAET	Communes	ADEME, GIEC de la Métropole
	Impacts sur les changements de comportement	Environnement, Solidarité	PACTE	Communes	ADEME

Bibliographie

Agence Normande de la Biodiversité et du Développement Durable, 2022. Surface en aires protégées terrestres en Normandie. ANBDD, 15 p. (Les indicateurs biodiversité de Normandie)

Aïchi L, Husson JF, Commission d'enquête sur le coût économique et financier de la pollution de l'air - rapport n°610 du Sénat, 2016 - Disponible à partir de l'URL : http://www.senat.fr/commission/enquete/cout_economique_et_financier_de_la_pollution_de_lair.html

ALISE Environnement (2023). Diagnostic global de vulnérabilité aux inondations du territoire du Programme d'actions de prévention des inondations Rouen-Louviers-Austreberthe (PAPI RLA). Phases 1 et 2. 186 p.

ARTELIA & GIP Seine-Aval, 2013. Définition de scénarios et modélisation des niveaux d'eau pour la gestion du risque inondation dans l'estuaire de la Seine - Rapport de l'objectif B : Elaboration de scénarios pouvant déclencher les inondations, en combinant différents événements selon leur occurrence. 22p. et annexes.

ARTELIA & GIP Seine-Aval, 2014. Définition de scénarios et modélisation des niveaux d'eau pour la gestion du risque inondation dans l'estuaire de la Seine - Rapport de l'objectif D : Modélisation de la ligne d'eau pour différents scénarios. 35p. et annexes.

ARTELIA, 2022. Modélisation des inondations en estuaire de la Seine : dynamique et emprise des inondations. Etude réalisée pour le GIP Seine-Aval.

ARTELIA, 2023. Étude des risques de pollution liés aux inondations. Rapport d'étude pour la Métropole rouen Normandie dans le cadre du Programme d'études préalables du PAPI Rouen Louviers Austreberthe. 148 p.

Bélanger D., Gosselin P., Bustinza R., Campagna C., Changements climatiques et Santé Publique : Prévenir, Soigner et s'adapter, Presses de l'Université Laval, 2019, 236 p.

Ben Othmen M.A., Bruynat M.-P. (2023). Les impacts du changement climatique sur l'agriculture dans la Métropole Rouen Normandie. Rapport du GIEC Local pour la Métropole Rouen Normandie. 28p.

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

Caisse Centrale de Réassurance (2023). Conséquences du changement climatique sur le coût des catastrophes naturelles en France à horizon 2050. 48 p.

Caisse Centrale de Réassurance (2023). Efficacité des plans de prévention des risques d'inondation sur le coût des dommages assurés : estimation des impacts passés, présents et futurs. 36 p.

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.

Cantat O., Laignel B., Nouaceur Z., Costa S., 2020. Changement climatique et Aléas météorologiques. Rapport GIEC normand, 39 p.

Cerema. (2018). Adapter la mobilité d'un territoire au changement climatique. Cerema.

Cerema. (2018). Enquête ménages déplacements 2016-2017 - Aire urbaine de Rouen et Communauté d'agglomération Seine Eure - Synthèse des résultats.

Charru, M. (2012). La productivité forestière dans un environnement changeant : caractérisation multi-échelle de ses variations récentes à partir des donnéesde l'Inventaire Forestier National (IFN) et interprétation environnementale (Doctoral dissertation).

Chedru A, 2022. Synthèse des changements climatiques et des aléas météorologiques dans la Métropole Rouen Normandie. 58p.

Cléré E., Buchet J., 2022. Bilan floristique et stratégie de préservation de la flore menacée du territoire de la Métropole Rouen Normandie. Conservatoire botanique national de Bailleul, France, 61 p. et annexes. Bailleul.

Cribellier M-P., Gresselin F., 2015. Changement climatique en Normandie : Territorialisation des impacts et enjeux. DREAL Haute et Basse-Normandie.

Conservatoire Botanique National de Bailleul (CBNB), 2021. Liste des bryophytes (mousses, hépatiques et anthocérotes) citées dans les Hauts-de-France (02, 59, 60, 62, 80) et en Normandie orientale (27, 76). Référentiel taxonomique et référentiel des statuts. Version 3.2b. DIGITALE (Système d'information floristique et phytosociologique) [Serveur]. Bailleul : Conservatoire botanique national de Bailleul, 1994-2021 (date d'extraction : 15/06/2021).

Conservatoire des Espaces Naturels (CEN) Normandie, GRETIA, 2020. Peuplement des odonates en Normandie. ANBDD, 19 p. (Les indicateurs biodiversité de Normandie)

Daudé, E. & Grancher, D. (2022). Culture(s) du risque industriel dans la MRN [Rapport de Synthèse, Idees Normandie Université, Laboratoire de Géographie Physique]

Dezurarche C., « Futura Planète », 22 08 2019. [En ligne]. Available: https://www.futura-sciences.com/planete/actualites/energie-renouvelable-rechauffement-climatique-menace-production-energie-solaire-77319/. [Accès le 05 05 2022].

Diomard I., Chéron E. (2022). Etat des lieux sur le changement climatique et ses incidences agricoles en région Normandie. Chambres d'agriculture de Normandie. Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement cLimatiquE (ORACLE). 156p.

Douville C. (2024). Effets du changement climatique sur les milieux naturels et la biodiversité locale de la Métropole Rouen Normandie. Rapport du GIEC de la Métropole Rouen Normandie (document de travail).

DREAL de 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.

DREAL Normandie, « Profil environnemental de la Normandie - Le climat en Normandie : présentation et évolution », 2020.

Ducharne, A., Théry, S., Billen, G., Benoit, M., Brisson, N., Garnier, J., et al., 2004. Influence du changement climatique sur le fonc-tionnement hydrologique et biogéochimique du bassin de la Seine. Rapport intermédiaire du contrat PIREN-Seine.

Ducharne, A., Habets, F., Déqué, M., Evaux L, Hachour A, Lepaillier A, Lepelletier T, Martin E, Oudin L, Pagé C., Ribstein P., Sauquet E., Thiéry D., Terray L., Viennot P., Boé J., Bourqui M., Crespi O., Gascoin S., Rieu J.. Impact du changement climatique sur les Ressources en eau et les Extrêmes Hydrologiques dans les bassins de la Seine et la Somme. Rapport final du projet RExHySS, 2009.

Ducharne A., Perrin C., 2013. Le changement climatique sur le bassin Seine-Normandie. – Avis du Conseil Scientifique au Comité de Bassin Seine-Normandie, 6 p.

Fédération Nationale des Communes Forestières (FNCOFOR) (2016). « Plan d'Approvisionnement Territorial (PAT) de la Métropole Rouen Normandie, Programme AMI Bois ».

Fisson C., Lemoine J.-P., Gandilhon F., 2014. Définition de scénarios et modélisation des niveaux d'eau pour la gestion du risque inondation dans l'estuaire de la Seine - Synthèse. Etude réalisée par ARTELIA pour le compte du GIP Seine-Aval, 31p.

Fontana, M., & Wüthrich, B. (2019, August). Pollution atmosphérique, climat et allergies. In Forum Médical Suisse (Vol. 19, No. 3536, pp. 580-583). EMH Media.

Fontès-Rousseau C., Lardellier R. (Insee), Soubeyroux J.-M. (Météo-France), « Un habitant sur sept vit dans un territoire exposé à plus de 20 journées anormalement chaudes par été dans les décennies à venir », Insee Première, n°1918, août 2022, 4p.

Fortems-Cheiney, A., G. Foret, G. Siour, R. Vautard, S. Szopa, G. Dufour, A. Colette, G. Lacressonniere, and M. Beekmann : A 3°C global warming annihilates the benefit of European emission reductions on air quality, article en préparation pour Nature Climate Change, 2016.

Fortems-Cheiney A., Foret G., Siour G., Vautard R., Szopa S., Dufour G., Colette A., Lacressonniere G., and Beekmann M. : A 3°C global RCP8.5 emission trajectory cancels benefits of European emission reductions on air quality, Nature Communications, June 2017.

France Assureurs, (2021). Impact du changement climatique sur l'assurance à l'horizon 2050. 32 p.

Fréchet C., Tullifer L., Balducci V. (2023). Les pratiques d'urbanisme et l'aménagement du territoire de la Métropole Rouen Normandie à l'épreuve des défis posés par le changement climatique. Rapport du GIEC Local pour la Métropole Rouen Normandie, 44p.

Groupe Ornithologique Normand (GONm), 2020. Évolution des comportements migratoires d'espèces d'oiseaux sensibles en Normandie, ANBDD, 11p. (Les indicateurs biodiversité de Normandie)

Gourdier, S. & Plat, E. Impact du changement climatique sur la sinistralité due au retrait-gonflement des argiles. in Journées Nationales de Géotechnique et Géologie de l'Ingénieur (JNGG) (2018).

Grancher, D., Daudé, E. & Delamre, M. (2022). Attentes de la population et opportunités de la mise en place d'une convention riveraine sur les nuisances et les risques industriels dans la Métropole de Rouen Normandie [Rapport de Synthèse, Idees Normandie Université, Laboratoire de Géographie Physique].

Hames DV, S. Climate change risk assessment for the health sector. London, United Kingeom: 2012.

Hornsey, M., Chapman, C. & Oelrichs, D. (2021). Why it is so hard to teach people they can make a difference: climate change efficacy as a non-analytic form of reasoning. Thinking & Reasonning, 2-18. https://doi.org/10.1080/13546783.2021.1893222

INPN 2021. La biodiversité en France - 100 chiffres expliqués sur les espèces. UMS PatriNat (OFB-CNRS-MNHN), Paris, 52 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

IPBES, 2019. Rapport d'évaluation mondial sur la biodiversité et les services écosystémiques de la Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques. ES Brondizio, J. Settele, S. Díaz et HT Ngo (éditeurs). Secrétariat de l'IPBES, Bonn, Allemagne. 1148 p.

IPBES, 2019. Résumé destiné aux décideurs politiques du rapport d'évaluation mondial sur la biodiversité et les services écosystémiques de la Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques. S. Díaz, J. Settele, ES Brondízio, HT Ngo, M. Guèze, J. Agard, A. Arneth, P. Balvanera, KA Brauman, SHM Butchart, KMA Chan, LA Garibaldi, K. Ichii, J. Liu, SM Subramanian,

GF Midgley, P. Miloslavich, Z. Molnár, D. Obura, A. Pfaff, S. Polasky, A. Purvis, J. Razzaque, B. Reyers, R. Roy Chowdhury, YJ Shin, IJ Visseren-Hamakers , KJ Willis et CN Zayas (éd.). Secrétariat de l'IPBES, Bonn, Allemagne. 56 p.

IPCC/GIEC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2013. Changements climatiques 2013. Les éléments scientifiques. Résumé à l'intention des décideurs. 34 p.

IPCC/GIEC, 2014: Changements climatiques 2014: Incidences, adaptation et vulnérabilité Résumés, foire aux questions et encarts thématiques. Contribution du Groupe de travail II au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Publié sous la direction de Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea et L.L. White].

IPCC/GIEC, 2021 : Climate Change 2021 : The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391 pp. doi :10.1017/9781009157896.

Jones, C., Hine, D., & Marks, A. (2017). The Future is Now : Reducing Psychological Distance to Increase Public Engagement with Climate Change. Risk Analysis, 37(2). http://doi.org/10.1111/risa.12601

Kabra L. S., Arab N., et Fleury F. (2022). Les impacts du changement climatique sur l'architecture dans la Métropole Rouen Normandie. Rapport du GIEC Local pour la Métropole Rouen Normandie, 32p.

Kazmierczak L., Laignel B., Charrier F., 2019. La ressource en eau et le risque inondation dans la Métropole rouennaise : constat et analyse prospective dans un contexte de changement climatique. Rapport du GIEC local pour la Métropole Rouen Normandie, 24 p.

Kazmierczak L., Aubert M., Charrier F., et al. (2020). Les forêts de la Métropole Rouen Normandie face au changement climatique. Rapport du GIEC local pour la Métropole Rouen Normandie, 40 p.

Kazmierczak L. (2022) Évaluation quantitative des impacts sur la santé de la pollution de l'air aux particules fines PM2,5 avec une exposition mesurée dans la Métropole Rouen Normandie – Période d'étude 2015-2016 – Rapport complet. 24 p.

Ladner J., Legrand C., Kazmierczak L., Charrier F. et al., 2020. Les enjeux de santé publique dans un contexte de changement climatique à l'échelle de la Métropole Rouen Normandie. Rapport du GIEC local pour la Métropole Rouen Normandie, p. 24.

Lafaye M., Adam-Poupart A., Chalvet-Monfray K., Cohen J.-C, Gauquelin T., et al.. Évaluation des risques induits par le changement climatique sur la santé des travailleurs : Avis de l'Anses Rapport d'expertise collective. [0] Saisine n° 2013-SA-0216, Anses. 2018. hal-01790561

Laignel B., Dupuis E., Durand A., Dupont J.P., Hauchard E., Massei N. (2006). Erosion balance in the loamy watersheds of the Western Paris Basin from the continuous measurement in the surface water. C. R. Geoscience, 338, 556-564

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., Nouaceur Z., 2023. Évolution du climat à l'échelle de la Métropole Rouen Normandie. Rapport du GIEC local pour la Métropole Rouen Normandie, 32 p.

Legrand C., Kazmierczak L., Charrier F., 2020. Les impacts du changement climatique sur la qualité de l'air dans la Métropole Rouen Normandie. Rapport du GIEC local pour la Métropole Rouen Normandie, 12 p.

Lemoine J.-P., 2015. Analyse par modélisation de l'impact de l'élévation du niveau marin sur les niveaux de pleine mer dans l'estuaire de la Seine, Étude réalisée par le GIP Seine-Aval, 34p.

Lenel, P. & Sénant, M. (2022). « On préfère ne pas y penser » : rapport au risque et aux nuisances des habitants de la Métropole de Rouen [Rapport final ; Institut pour une Culture de Sécurité Industrielle].

Massei N., Wang H.Q., Dupont J.P., Rodet J., Laignel B., (2003). Assessment of direct transfer and resuspension of particles during turbid floods at a karstic spring. Journal of Hydrology, 275, 109-121.

Ministère de la Transition Écologique (2020). « Chiffres clés de l'énergie », 2020.

Mouhri A., Motelay-Massei A., Massei N., Fournier M., Laignel B. (2008). Polycyclic aromatic hydrocarbon transport processes on the scale of a flood event in the rural watershed of Le Bebec, France. Chemosphere, 73, 443-450.

OBHEN, URCPIE Normandie, 2020. Les amphibiens de Normandie. ANBDD, 23 p. (Les indicateurs biodiversité de Normandie)

Observatoire de l'Immobilier Durable, 2020a. Fiche aléa vague de chaleur. https://www.taloen.fr/ressources/4d9c4ec1-1777-4f03-8126-d0791304d7f4

Observatoire de l'Immobilier Durable, 2020b. Fiche aléa inondations. https://www.taloen.fr/ressources/7ff9e5ca-f0bc-42d4-b2bf-278ff9a59a3b

Observatoire de l'Immobilier Durable, 2020c. Fiche aléa sécheresse et RGA. https://www.taloen.fr/ressources/03cd90c0-b65d-4f4fa3c7-a2c3162e5070

Observatoire régional de la Santé et du Social de Normandie, Etat des lieux sanitaire de la Métropole Rouen Normandie, 2019, 32p.

ONB, 2023. La biodiversité française en déclin : 10 ans de chiffres-clés par l'Observatoire national de la biodiversité, ONB, 7 p.

ONERC, 2018. Les événements météorologiques extrêmes dans un contexte de changement climatique. Rapport au premier ministre et au Parlement. La Documentation Française, Paris.

ONERC, 2023. Les vagues de chaleur dans un contexte de changement climatique. Rapport à la Première Ministre et au Parlement. La Documentation Française, Paris.

Oxfam. (2023). Inégalités climatiques : les 1% les plus riches émettent autant de CO2 que deux tiers de l'humanité. Communiqué de Presse

Peters I. M., et Buonassisi T., *The Impact of Global Warming on Silicon PV Energy Yield in 2100*, Massachussets Institute of Technology, 2019.

Pierrefixe, S., & Guégan, J. F. (2015). Changement climatique: menaces sur notre santé !. Science et Santé, 28, 20-35.

Pirazzoli P.A., 2008. Évolution et projections du niveau moyen des mers et des phénomènes de surcotes : les hypothèses pour analyser les effets sur l'estuaire de la Seine et le littoral. Séminaire de lancement de l'expertise collective sur le changement climatique, GIP Seine Aval, juin 2008, Maison de l'Université de Rouen, http://seine-aval.crihan.fr.

Programme d'actions de prévention des inondations Rouen-Louviers-Austreberthe (PAPI RLA). Diagnostic. 2023. 180 p.

Programme Solidarité Eau, « Les services d'eau et d'assainissement face au changement climatique. Quels impacts ? Comment agir ? » 2018, 76 p. [En ligne]. Available : https://www.pseau.org/outils/ouvrages/ps_eau_les_services_eau_et_assainissement_face_au_changement_climatique_2018.pdf

Queiroz, A., Fauville, G., Abeles, A., Levett, A., & Bailenson, J. (2023). The Efficacy of Virtual Reality in Climate Change Education Increased with Amount of Body Movement and Message Specificity. Sustainability, 15(7), 5814. https://doi.org/10.3390/su15075814

Ray, F.-A. & Codou, O. (2023). Perception et maitrise des risques climatiques dans la Métropole Rouen Normandie : éclairage psychosocial. Rapport complet. Décembre 2023. 123 p.

Renou B., Boulot R., Kazmierczak L. (2024). Les effets du dérèglement climatique sur le secteur énergétique dans la Métropole Rouen Normandie. Rapport du GIEC de la Métropole Rouen Normandie (document de travail). 50p.

Réseau de Transport d'Électricité (RTE), 2021. « Climat et système électrique » in *Futurs énergétiques 2050*, Chapitre 8. 44p.

Rong, M. (2023). Climate Fiction: A Promising way of Communicating Climate Change with the General Public. Studies in Social Science & Humanities, 2(2). https://doi.org/10.56397/SSSH.2023.02.04

Salagnac J.-L., Marchand D., Florence C., Delpeche P., Axès J-M., 2014. Impacts des inondations sur le cadre bâti et ses usagers. Rapport final. CSTB.

Savary, M., Anselme, T., Combes, F., & Hombourger, E. (2014). Assessing road network's disruption due ti climate change : testing a methodology based on static traffic assignment model. European Transport Conference.

Savary M. (2022). Analyse synthétique des effets du changement climatique sur les mobilités dans la Métropole Rouen Normandie. Rapport du GIEC Local pour la Métropole Rouen Normandie, 24p.

Stauth, S., Cléré, E., Prey, T., Lagrandie, J., 2021. État des lieux des Bryophytes de Normandie : nombre de données et nombre d'espèces de Bryophytes en Normandie, pour l'Observatoire de la Biodiversité de Normandie. CPIE du Cotentin, Conservatoires botaniques nationaux de Brest et de Bailleul, 23 p. + annexes.

UICN, 2022. La Liste rouge de l'UICN des espèces menacées. Version 2022-2, Union Internationale pour la Conservation de la Nature. https://www.iucnredlist.org.

Valdès D., Dupont J.P., Massei N., Laignel B., Rodet J. (2005). Analysis of karst hydrodynamics through comparison of dissolved and suspended solids transport. C. R. Geoscience, 337, 15, 1365-1374.

Valdès D., Dupont J.P., Laignel B., Ogier S., Leboulanger T., Mahler B.J. (2007). A spatial analysis of structural controls on karst groundwater geochemistry at a regional scale. Journal of Hydrology, 340, (3-4): 244-255.

Valdès D., Dupont J.P., Laignel B., Slimani S., Delbart C. (2014). Infiltration processes in karstic chalk investigated through a spatial analysis of the geochemical properties of the groundwater : the effect of the superficial layer of clay-with-flints. Journal of Hydrology, 519, 23-33.

Vallée B., 2018. Représentations et attitudes des populations locales vis-à-vis du changement climatique. Rapport du GIEC local pour la Métropole Rouen Normandie, 8 p.

Veyrenc T. (2023). Retours sur les Futurs énergétiques 2050. In : Annales des Mines-Responsabilité et environnement. Cairn/Softwin. p. 9-13.

WWF, 2022. Rapport Planète Vivante 2022 - Pour un bilan « nature » positif. Almond, R.E.A., Grooten, M., Juffe Bignoli, D. & Petersen, T. (Eds). WWF, Gland, Suisse, 115 p.

RÉDACTION ET CONTRIBUTIONS :
Les services techniques de la Métropole Rouen Normandie avec la participation des experts du GIEC de la Métropole Rouen Normandie.

CONTACT
Charlotte Célestin
Responsable de projets PCAET
Département Urbanisme et Habitat
06 89 84 98 75
charlotte.celestin@metropole-rouen-normandie.fr

Métropole Rouen Normandie
Le 108 • 108 allée François Mitterrand
CS 50589 • 76006 ROUEN CEDEX
Plus d'informations :
www.metropole-rouen-normandie.fr
www.notrecop21.fr