



INSTITUTION INTERCOMMUNALE DES WATERINGUES

Etude prospective

ADAPTATION AUX CONSEQUENCES PREVISIBLES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LE TERRITOIRE DES WATERINGUES

Phases 2 et 3 : Changement
climatique et impacts sur le territoire

| Résumé – V1 | TAM

CONTEXTE ET OBJECTIFS

Suite au diagnostic du fonctionnement des waterings, établi dans le cadre de l'élaboration du PAPI du delta de l'Aa, la Commission Mixte Inondation a recommandé la réalisation d'une étude prospective sur l'avenir de ce système. Celle-ci doit s'inscrire dans une réflexion plus large sur les enjeux et les moyens de **l'adaptation du territoire** du bassin versant de l'Aa au changement climatique - dont les effets prévisibles seront considérés à deux horizons 2050 et 2100 - en considérant les quatre facteurs de risque qui lui sont liés :

- les **submersions marines** générées par les tempêtes en mer du nord,
- les **inondations continentales** aggravées par le relèvement du niveau marin,
- le **ruissellement** généré par des épisodes pluvieux intenses,
- la **raréfaction de la ressource en eau** souterraine et en eau de surface.

L'étude doit donc permettre en premier lieu d'évaluer la robustesse du bassin de l'Aa et notamment de son système de protection contre les inondations face à l'évolution attendue des paramètres de forçage hydro-climatiques - en tenant compte des incertitudes au stade actuel des connaissances ; et d'élaborer une stratégie visant à le rendre **plus résilient et durable** face à ces évolutions en proposant des réponses techniques, des orientations d'aménagement et des procédures de gestion de crise.

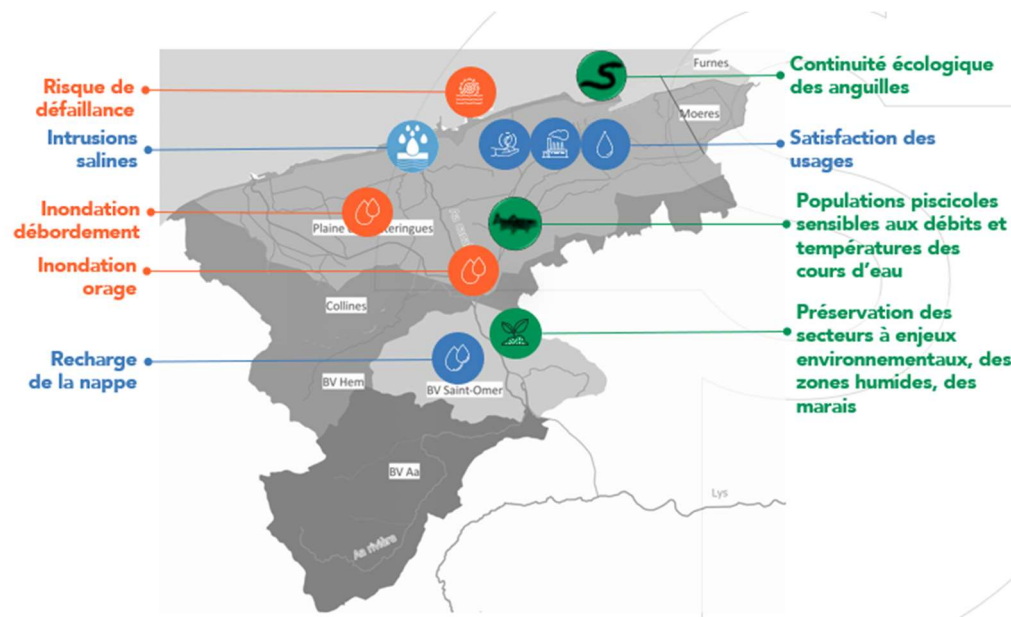
Dans ce cadre, il s'agit de manière plus spécifique d'évaluer l'efficacité du programme d'actions du PAPI, de préciser les modalités de gestion de l'eau en période de crise, et de contribuer à la révision de la Stratégie Locale de Gestion du Risque Inondations (SLGRI).

Par ailleurs et de façon liée, la mission doit permettre de poursuivre les réflexions sur les évolutions possibles et nécessaires de la gouvernance du territoire pour faire face à ces thématiques. Elle vise enfin à dégager des perspectives pour une gestion équilibrée de la ressource en eau sur le territoire.

L'étude se déroule en 5 phases :

- Phase 1 : Etat des lieux et mise en évidence des spécificités du territoire
- Phase 2 : Définition et validation des hypothèses sur les effets prévisibles du changement climatique et des scénarios d'évolution à évaluer
- Phase 3 : Evaluation détaillée des solutions envisageables
- Phase 4 : Propositions d'orientations stratégiques
- Phase 5 : Définitions des compléments d'études et recommandations.

Les phases 2 et 3 ont consisté à préciser les impacts du changement climatique sur le territoire et travailler sur les solutions envisageables pour y faire face. C'est sur cette base que la stratégie d'adaptation sera construite.



Quels enjeux sur le territoire demain ?

LES CHIFFRES A RETENIR

LES DONNEES SOURCES : DU GLOBAL AU LOCAL

Le portail DRIAS met à disposition les données régionalisées :

- ✓ Données pour trois horizons temporels 2021-2040 / 2040-2060 / 2081-2100
- ✓ Incertitudes socioéconomiques intégrées à travers trois scénarios d'émission de gaz à effets de serre RCP2.6, RCP4.5 et RCP8.5
- ✓ Indicateurs de températures et précipitations notamment
- ✓ 54 points sur le bassin versant de l'Aa

→ Projections localisées utilisées pour une prospective ajustée au bassin versant de l'Aa

Des évolutions climatiques contrastées :

- ✓ Augmentation du cumul des précipitations hivernales, de +2% à +19% à horizon moyen, et +11% à +35% à horizon lointain
- ✓ Diminution des précipitations estivales, jusqu'à -11% à horizon moyen, et -4% à -15% à horizon lointain
- ✓ élévation du niveau marin, de +30 cm à horizon moyen, et +50cm à +70cm à horizon lointain
- ✓ élévation de la température moyenne journalière estivale, de +1.3°C à +2.2°C à horizon moyen, et +1.3°C à +3.8°C à horizon lointain

→ Risque d'inondation accru en hiver, difficultés de gestion de la ressource intensifiées en été

Des tendances d'évolution territoriale à l'horizon 2050 :

- ✓ Augmentation de la population de 2,5%
- ✓ Consommation foncière de 1500 hectares
- ✓ Augmentation de la consommation agricole et industrielle, et baisse de la consommation domestique

→ Besoins en eau croissants et développement de l'urbanisation qui accentue les phénomènes

LE RISQUE INONDATION, PREMIER ENJEU SUR LE TERRITOIRE

Impacts sur le fonctionnement hydraulique du système des Wateringues :

- ✓ Diminution de la capacité d'évacuation des apports de crue de 10% à 30% en fonction des événements et des ouvrages, du fait de la réduction de la durée d'évacuation par tirage gravitaire
- ✓ Augmentation des débordements et des inondations, notamment jusqu'à +20 cm dans l'Audomarois

- ✓ Augmentation des volumes de pompage annuels de +32% à +67% pour faire face à l'augmentation des précipitations hivernales et la diminution de la capacité d'évacuation
- ✓ Impact sur la robustesse des équipements électromécaniques du fait de leur sollicitation accrue

→ Vulnérabilité accrue des enjeux du territoire ; doublée d'une augmentation des dépenses énergétiques qui pourra amener à limiter les pompages.

Inondation par submersion marine

- ✓ Augmentation de la fréquence des événements caractéristiques du fait de l'élévation du niveau marin
- ✓ Un événement de période de retour 50 ans aujourd'hui aura une période de retour de 4 ans en 2050 en considérant une élévation du niveau marin de 30 cm (RCP4.5 et RCP8.5), de 0.25 ans (3 mois) en 2100 en considérant une élévation du niveau marin de 70 cm (RCP8.5)

→ Augmentation de la fréquence des événements, prise en compte dans les études spécifiques aux systèmes d'endiguement.

Inondation par ruissellement

- ✓ Selon le rapport du GIEC, chaque degré supplémentaire de réchauffement équivaut à une augmentation de 7% des précipitations lors des tempêtes et orages

→ Exposition de plus en plus marquée des enjeux socio-économiques tels que les habitations et parcelles agricoles au ruissellement au pied des collines de l'Artois et de Flandre

LE PARTAGE DE LA RESSOURCE EN EAU, SECOND ENJEU DU TERRITOIRE

- ✓ Pour un événement centennal les besoins supplémentaires en eau non pourvus par le milieu sont évalués à 5.8 Mm³ en situation actuelle.
- ✓ +43% de besoins supplémentaires non pourvus par le milieu (8.3 Mm³) à horizon moyen pour le scénario RCP 8.5 ;
- ✓ +77% de besoins supplémentaires non pourvus par le milieu (10.2 Mm³) à horizon lointain pour le scénario RCP 8.5.

→ Une augmentation des besoins limitée par l'augmentation des apports hivernaux, mais qui reste marquée pour les différents scénarios

→ Entre un principe de sobriété, fondé sur un changement de pratiques, et un principe directeur de protection, fondé sur des aménagements visant à préserver les pratiques et usages actuels, la stratégie est en cours d'élaboration.

DU MODELE GLOBAL AU MODELE REGIONAL

Le modèle global permet de définir le climat de grande échelle (Global Climate Model – GCM) ; les projections ainsi obtenues sont utilisées dans un modèle local (Regional Climate Models – RCM) qui intègre les caractéristiques locales ou régionales telles que la topographie, l'indice terre/mer, le type de surface, la couverture du sol...

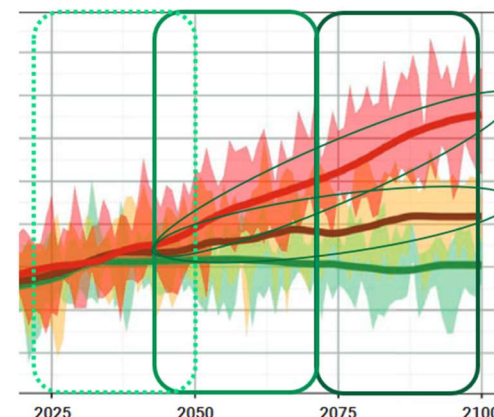
Le portail DRIAS de Météo France présente les données régionalisées des projections climatiques les plus récentes produites par les acteurs de la recherche sur le climat en France. Les paramètres et indicateurs sont représentés à une résolution de 8 km sur toute la France métropolitaine. Ce portail fournit, pour chaque point sélectionné, les résultats des simulations climatiques selon les modèles, les scénarios et les horizons de simulation choisis : les résultats utilisés dans cette étude sont relatifs à un ensemble de 54 points situés sur le bassin versant de l'Aa.

Le choix des scénarios pris en considération pour évaluer les changements climatiques se base sur les cinquième et sixième rapports d'évaluation du GIEC. Les scénarios RCP (Radiative Concentrations Pathways ou Profils Représentatifs d'évolution) présentés dans ces rapports sont au nombre de quatre, et représentent quatre possibles évolutions des émissions de GES. Les quatre scénarios sont : RCP2.6, RCP4.5, RCP 6.0, RCP8.5. Ces scénarios correspondent respectivement à des perturbations du bilan radiatif de 2.6, 4.5, 6 et 8.5 W/m².

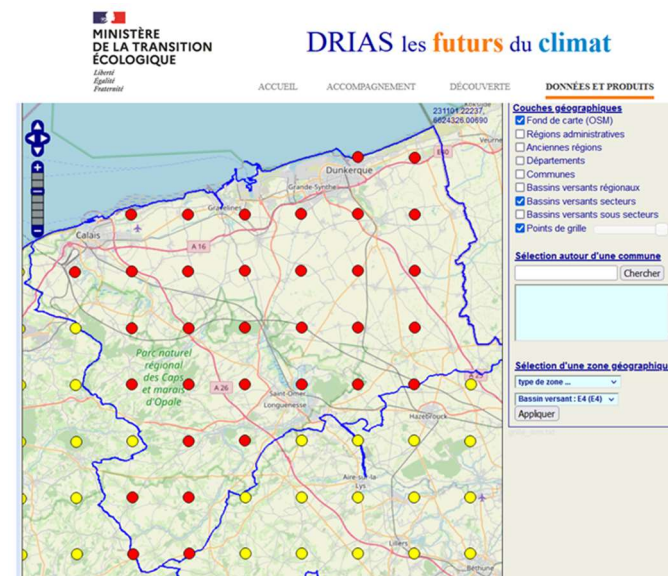
Dans le cadre de cette étude **deux scénarios** ont été choisis pour simuler le climat futur : le **RCP4.5** et le **RCP8.5**.

- ✓ **Le scénario « modéré » RCP2-4,5** ne prévoit une réduction des émissions qu'à partir de la deuxième moitié du siècle et il est donc cohérent avec les engagements pris par les nations qui ont signé l'accord de Paris. Il correspond à une augmentation de la température égale à 2.7°C en 2100 à l'échelle mondiale.
- ✓ **Le scénario « le plus pessimiste » RCP5-8,5** implique une hausse de la température de 4.4°C à l'échelle mondiale due à l'augmentation des émissions et à l'utilisation, prioritairement, des combustibles fossiles.

Les résultats des simulations climatiques GIEC sont ceux présentés pour l'horizon **horizon moyen 2040-2060** et l'**horizon lointain 2081-2100**.



Horizons temporels et scénarios d'émission de gaz à effets de serre considérés



Interface du portail DRIAS : grille de 8 km de résolution spatiale sur le bassin de l'Aa

A QUELLES EVOLUTIONS CLIMATIQUES SE PREPARER ?

A Lille, sur les 56 dernières années, les cumuls pluviaux « hivernaux », d'octobre à mars, ont augmenté significativement de 18% à 24% ; la température y a augmenté de 2,0°C entre 1955 et 2017. A Dunkerque, les relevés indiquent une hausse du niveau de la mer de 9 cm entre 1957 et 2017.

Comment ces paramètres vont-ils évoluer jusqu'à cette fin de siècle ? Sont présentées ici les évolutions des paramètres climatiques à prendre en compte pour les enjeux inondations et ressource en eau.

Concernant les inondations, les paramètres climatiques ont été analysés sur la **période hivernale** (décembre à février), saison au cours de laquelle les crues observées sont les plus fréquentes.

Augmentation du cumul des précipitations hivernales

- ✓ A horizon moyen (2041-2060) : +2% (scénario « modéré ») à +19% (scénario « pessimiste ») ;
- ✓ A horizon lointain (2071-2100) : +11% (scénario « modéré ») à +35% (scénario « pessimiste »).

Elévation du niveau marin

- ✓ A horizon moyen (2041-2060) : +30 cm (scénarios « modéré » et « pessimiste ») ;
- ✓ A horizon lointain (2071-2100) : +50cm (scénario « modéré ») à +70cm (scénario « pessimiste »).

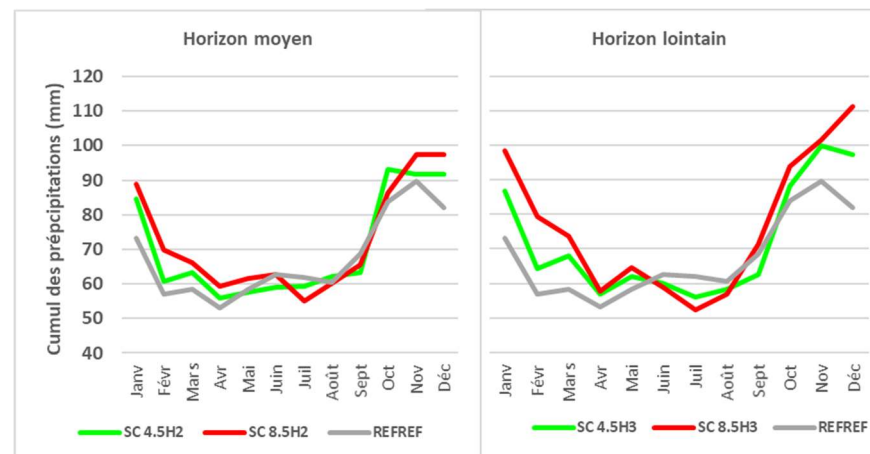
Concernant l'enjeu de la ressource en eau, les paramètres climatiques ont été analysés sur la **période estivale** (juin à septembre).

Diminution du cumul des précipitations estivales

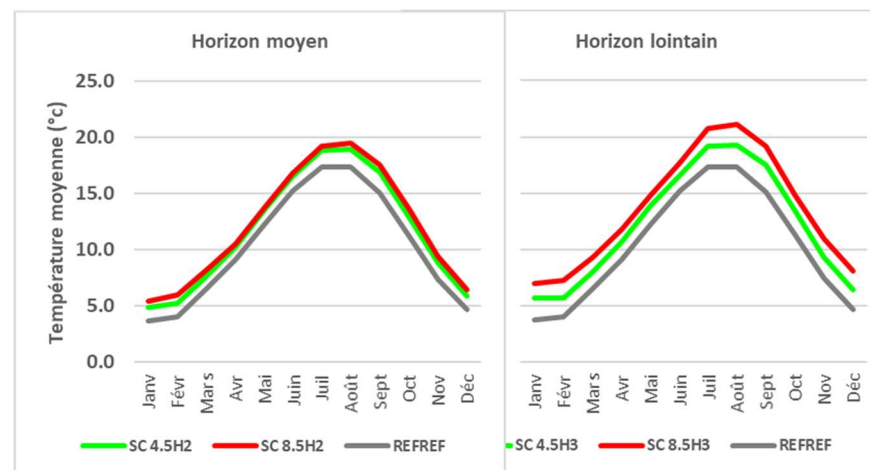
- ✓ A horizon moyen (2041-2060) : jusqu'à -11% (scénario « pessimiste ») ;
- ✓ A horizon lointain (2071-2100) : -4% (scénario « modéré ») à -15% (scénario « pessimiste »).

Elévation de la température moyenne journalière estivale

- ✓ A horizon moyen (2041-2060) : +1.3°C (scénario « modéré ») à +2.2°C (scénario « pessimiste ») ;
- ✓ A horizon lointain (2071-2100) : +1.3°C (scénario « modéré ») à +3.8°C (scénario « pessimiste »).



Projections du cumul des précipitations mensuelles sur le bassin de l'Aa



Projections de la température quotidienne moyenne sur le bassin de l'Aa

DES EVOLUTIONS DU TERRITOIRE QUI VIENNENT ACCENTUER LES PHENOMENES

Les mutations territoriales sont considérées à l'horizon 2050 pour plusieurs facteurs : population, urbanisation et consommation d'eau.

Une **augmentation de la population** d'environ 2,5% est envisagée à l'horizon 2050, d'après les prévisions de l'INSEE.

La **consommation foncière** envisagée liée aux extensions urbaines est *a minima* de l'ordre de **1500 ha à l'horizon 2040** à l'échelle des 3 principaux SCoTs du territoire (horizon temporel variable selon les SCoTs), pour l'habitat et les zones de développement économique, pour environ 100 ha par an. Elle est particulièrement marquée sur le territoire des SCoT **Flandre-Dunkerque** et **Pays du Calaisis**, moins sur celui du Pays de Saint-Omer.

L'augmentation des surfaces urbanisées d'ici 2050 pourra avoir des conséquences en termes :

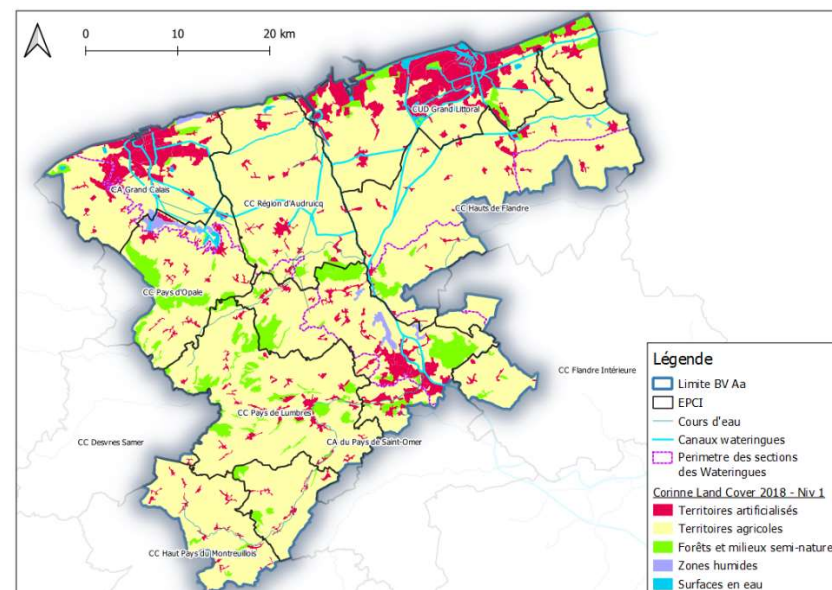
- ✓ d'augmentation de l'imperméabilisation, et donc du ruissellement et des volumes à gérer et à évacuer (selon l'imperméabilisation et le type de gestion des eaux pluviales associés) ;
- ✓ de besoins en eau, pour la consommation d'eau potable ou les industries ;
- ✓ de réduction des zones naturelles d'expansion des crues et d'augmentation de la vulnérabilité du territoire.

Les tendances d'évolution de la **consommation d'eau** identifiées sont les suivantes :

- ✓ une **diminution de la consommation domestique** du fait de l'évolution des comportements et de l'acquisition d'équipements ménagers économes, d'environ 23%, selon l'étude « Analyse de vulnérabilité et gestion quantitative de la ressource en eau sur le bassin Artois-Picardie » réalisée par l'Agence de l'Eau Artois Picardie
- ✓ une **augmentation des volumes consommés pour l'irrigation**, de 13% à +24% à horizon moyen en fonction des scénarios climatiques,
- ✓ une **augmentation d'environ 13% des volumes consommés par l'industrie** du fait de l'installation de nouveaux préleveurs, selon l'étude réalisée par l'Agence de l'Eau Artois Picardie.

SCOT	Période considérée	Consommation foncière à terme (toutes vocations)	Consommation foncière annuelle (toutes vocations)
Flandre-Dunkerque	2020 - 2035	525 - 675 ha	35 - 45 ha/an
Pays du Calaisis	2013 - 2028	550 ha	37 ha/an
Pays de Saint-Omer	2019 - 2039	400 ha	20 ha/an
GLOBAL		1475 – 1625 ha	92 – 102 ha/an

Consommation foncière prévue dans les SCoT (source : DOO des SCoT Flandre-Dunkerque, Pays du Calaisis et Pays de Saint Omer)



Occupation du sol actuelle

LES INONDATIONS CONTINENTALES

Le changement climatique va impacter le fonctionnement hydraulique du système des Wateringues de 4 façons :

1. Diminution de la capacité d'évacuation des apports de crue

Ces réductions de capacité vont provoquer des relèvements de lignes d'eau pouvant atteindre +50cm sur certains axes d'écoulement lors de crues majeures. Pour maintenir les capacités actuelles d'évacuation, des augmentations de débits de pompage sont à envisager prioritairement sur la station de pompage des 4 Ecluses et dans une moindre mesure les stations de pompage de Calais et Tixier. L'aménagement hydraulique des Pierrettes doit être optimisé en liaison avec celui du bassin des Chasses. Le secteur le plus difficile est celui de l'Audomarois pour lequel les solutions d'amélioration présentent des difficultés techniques.

2. Augmentation des débordements et des inondations

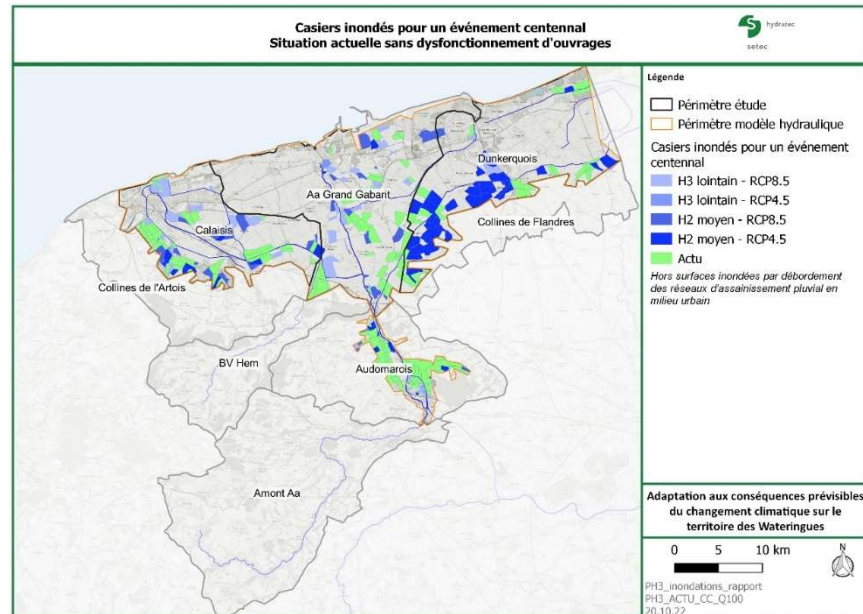
Les inondations supplémentaires générées par le changement climatique vont avoir un impact modéré sur les inondations de lieux habités. Les impacts les plus importants seront concentrés dans le secteur de Saint-Omer pour lequel l'élévation moyen des niveaux de crue atteindra +20 cm à terme, sachant que ce secteur est déjà inondé lors de crues non exceptionnelles.

3. Augmentation des volumes de pompage annuels

L'augmentation des volumes de pompage annuels est comprise entre +32% et +67% selon le scénario climatique : c'est important, d'autant plus que le coût de l'énergie va continuer à augmenter dans les années à venir.

4. Impact sur la robustesse des équipements

Les estimations ci-dessus sont basées sur une hypothèse d'équipements totalement opérationnels. Les crues récentes ont montré que ce n'est pas toujours le cas, et les indisponibilités provoquent une réduction de la capacité d'évacuation des crues et donc des risques d'inondation accrus. Le changement climatique va aggraver ce risque technologique en raison des plus fortes sollicitations des équipements de vannes et de pompage en fréquence et en durée au cours d'une crue. Il est primordial d'assurer un programme de maintenance et de modernisation des équipements existants pour maintenir la robustesse du système d'évacuation à son niveau de qualité actuel.



Casiers inondés pour une crue centennale en situation actuelle et avec changement climatique

SUBMERSION MARINE ET EROSION LITTORALE

Concernant le risque de submersion marine, les risques de défaillance seront accrus par l'aggravation des niveaux marins et des surcotes lors des tempêtes de la mer du nord.

En considérant les références caractéristiques et statistiques locales, une analyse prospective a été réalisée afin de quantifier l'évolution de la période de retour de différents événements.

A Calais, un événement de période de retour 50 ans aujourd'hui aura une période de retour :

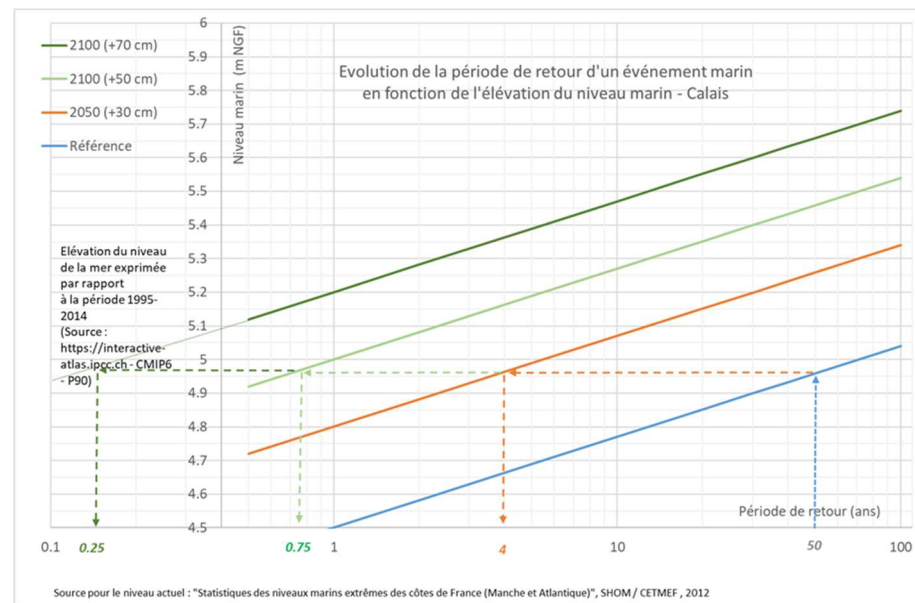
- ✓ de 4 ans en 2050 en considérant une élévation du niveau marin de 30 cm (RCP4.5 et RCP8.5) ;
- ✓ de 0.75 ans (9 mois) en 2100 en considérant une élévation du niveau marin de 50 cm (RCP4.5) ;
- ✓ de 0.25 ans (3 mois) en 2100 en considérant une élévation du niveau marin de 70 cm (RCP8.5).

A noter que la cote de l'événement de période de retour 50 ans actuel sans surcote est celle retenue dans l'étude de danger en cours (4.95 m NGF).

A Dunkerque la cote retenue dans l'étude de danger en cours est 5.00mNGF, soit une période de retour :

- ✓ de 100 ans en 2050 en considérant une élévation du niveau marin de 30 cm (RCP4.5 et RCP8.5) ;
- ✓ de 20 ans en 2100 en considérant une élévation du niveau marin de 50 cm (RCP4.5) ;
- ✓ de 5 ans en 2100 en considérant une élévation du niveau marin de 70 cm (RCP8.5).

Ces comparaisons n'intègrent cependant pas la houle, qui pourrait évoluer en lien avec plusieurs paramètres : modifications de la plage, changement du niveau du fond, déplacement du jet stream...



Evolution de la période de retour d'un événement marin en fonction de l'élévation du niveau marin à Calais

DIMINUTION DES DEBITS ET ACCROISSEMENT DES TENSIONS SUR LE MILIEU NATUREL

La **baisse des précipitations** va entraîner une diminution de la ressource en eau sur le territoire. A laquelle contribuera l'augmentation des températures, qui entrainera une augmentation de l'**évapotranspiration**.

La diminution du débit favorisera l'augmentation de la température de l'eau, avec des **conséquences directes sur la qualité physico-chimique de l'eau** : diminution de la quantité d'oxygène suite à l'augmentation de la température, moindre dilution et une évacuation plus limitée des substances rejetées du fait de la baisse des débits augmentant ainsi leur concentration dans certaines portions de cours d'eau, et entraînant une altération de la qualité de l'eau...

La **biodiversité sera directement impactée** par cette dégradation de la qualité de l'eau : diminution de l'activité des poissons suite à l'élévation de la température, développement d'algues microscopiques, épisodes d'asphyxie, etc. Les étiages auront pour conséquence de modifier la végétation dans les milieux aquatiques, le développement de certaines espèces, l'augmentation de l'eutrophisation. Le saumon, le chabot, la truite fario adulte notamment représentent des espèces sensibles à la réduction des débits.

L'augmentation des températures et l'augmentation de l'évaporation vont accentuer les pressions sur les milieux humides. Dans le cas des **zones humides des plaines intérieures**, l'augmentation de l'évapotranspiration, si elle n'est pas compensée par un accroissement de la pluviométrie, entraînera la réduction du niveau d'eau. Cette réduction intensifiera les risques liés à l'eutrophisation mais également les **risques d'étiage en aval**. Les habitats naturels humides seront affectés par un **assèchement progressif des sols** qui engendrera probablement des modifications importantes dans les communautés végétales et animales et dans le fonctionnement des écosystèmes.

Les étiages répétés, aggravés par les prélèvements humains, contribueront à la **fragmentation voire l'assèchement des milieux humides**.

L'étude Explore 2070 avait conclu à une diminution du débit mensuel minimal pour une année de l'Aa variable selon les scénarios climatiques : de -41% en à -15%, entre le climat de référence (1961-1990) et des simulations en climat futur (2046-2065). Cette évolution entrainera une augmentation de la fréquence d'atteinte des seuils de vigilance et d'alerte, fixés par l'arrête cadre DREAL Nord-Pas-de-Calais et du débit de crise fixé dans le SDAGE de l'AEAP 2022-2027.



Vallée de l'Aa (source : SmageAa)

BILAN GLOBAL BESOIN RESSOURCE

Pour une **sécheresse de période de retour 100 ans**, les besoins supplémentaires en eau non pourvus par le milieu (« déficit hydrique ») s'élèvent à **5.8 Mm3 en situation actuelle**. Dans la perspective du changement climatique, du fait de l'augmentation de l'ETP et des baisses de précipitations, ces volumes atteindront :

- ✓ 6.3 Mm3 (+9%) à horizon moyen pour le scénario RCP 4.5 ;
- ✓ 8.3 Mm3 (+43%) à horizon moyen pour le scénario RCP 8.5 ;
- ✓ 8.8 Mm3 (+53%) à horizon lointain pour le scénario RCP 4.5 ;
- ✓ 10.2 Mm3 (+77%) à horizon lointain pour le scénario RCP 8.5.

L'évolution du déficit hydrique avec changement climatique pour différentes périodes de retour a été choisi comme indicateur. Pour ce paramètre, les principaux enseignements sont les suivants :

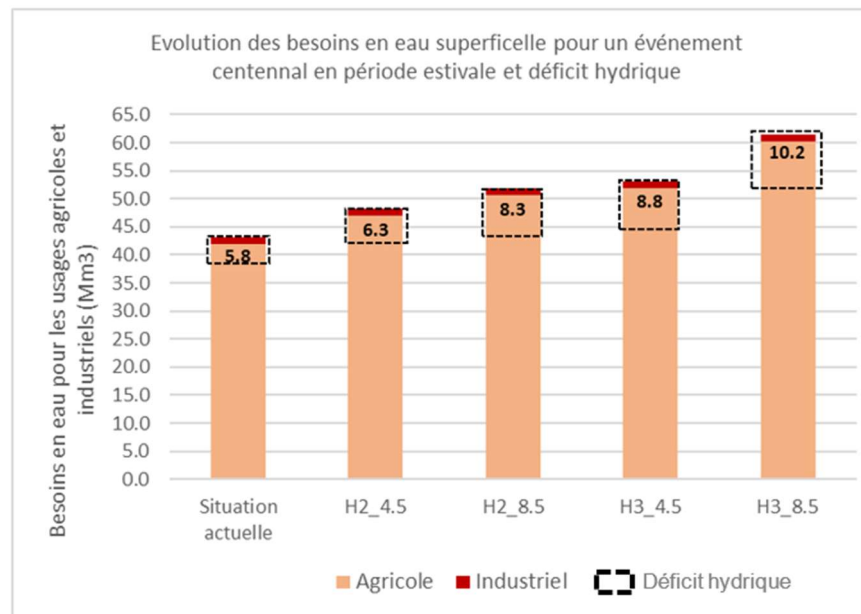
Un événement de période de **retour 100 ans en situation actuelle** aura les périodes de retour suivantes :

- ✓ 90 ans pour le scénario RCP4.5 à horizon moyen (H2 4.5) ;
- ✓ 20 ans pour le scénario RCP8.5 à horizon lointain (H3 8.5).

Un événement de période de retour **10 ans en situation actuelle** aura les périodes de retour suivantes :

- ✓ 7 ans pour le scénario RCP4.5 à horizon moyen (H2 4.5) ;
- ✓ 3 ans pour le scénario RCP8.5 à horizon lointain (H3 8.5).

La différence non linéaire entre l'augmentation des besoins en eau et l'augmentation du déficit hydrique peut s'expliquer par la recharge de la nappe en période pre-estivale calculée par le modèle. Cette recharge de la nappe est due à l'augmentation de la pluviométrie pour les mois d'avril et mai dans le contexte du changement climatique.



Evolution des besoins en eau superficielle pour un événement centennal en période estivale et déficit hydrique

ENTRE SOBRIÉTÉ ET PROTECTION, UNE STRATÉGIE EN COURS D'ÉLABORATION

Différentes pistes d'actions ont été identifiées, notamment issues du recensement de l'ensemble des projets d'actions qui avait déjà fait l'objet de réflexions avant la présente mission, d'ateliers de travail avec les acteurs locaux, ou encore de l'expertise du groupement de bureau d'étude au regard des enjeux identifiés et des caractéristiques du territoire.

Les dernières phases de la mission ont un double objectif :

- ✓ structurer les différentes orientations possibles pour la stratégie du territoire en matière d'adaptation aux conséquences du changement climatique ;
- ✓ faire la synthèse des orientations pertinentes à envisager pour le territoire et les études / démarches préalables pour initier la mise en œuvre de ces orientations.

Lors du Comité de pilotage du 27 octobre 2022, qui a permis de restituer les résultats sur les pistes de solutions identifiées pour faire face aux différents enjeux du changement climatique, il est apparu deux principes directeurs relativement antinomiques pour la stratégie d'adaptation :

- ✓ un principe directeur de sobriété, fondé sur un changement de pratiques du territoire pour que celles-ci évoluent et s'adaptent aux nouveaux contextes climatiques à venir ;
- ✓ un principe de directeur de protection, fondé sur des aménagements lourds visant à préserver les pratiques et usages actuels.

Il s'agit désormais de retranscrire une proposition de stratégie cohérente en fonction de ces 2 principes directeurs, en proposant une troisième voie de réflexion, intermédiaire entre ces deux principes. Cette troisième voie repose sur un principe de sobriété, intégrant des pistes de confortement ciblé du dispositif de protection actuel.

