

Adaptation aux conséquences prévisibles du changement climatique

Note méthodologique

48547 | janvier 2022 – v3 | TAM



setec
hydratec

 <p>Immeuble Central Seine 42-52 quai de la Rapée 75582 Paris Cedex 12 T : 01 82 51 64 02 F : 01 82 51 41 39</p>	Directeur de Projet	LPT			
	Responsable d'affaire / Assistante	TAM			
	N° Affaire	48547			
<i>Fichier : Wateringues - note méthodologique - V2.docx</i>					
V.	Date	Etabli par	Vérfié par	Nb. pages	Observations / Visa
1	janvier 2022	LPT	TAM		
2	janvier 2022	LPT	TAM	15	Ajout hypothèses de forçage climatique
3	Janvier 2022	LPT	TAM		Ajout hypothèses de mutations territoriales

T ABLE DES MATIERES

1. OBJET.....	6
2. HYPOTHESES DE FORÇAGE CLIMATIQUE	7
2.1 VALEURS MOYENNES	7
2.1.1 <i>Précipitations moyennes.....</i>	7
2.1.2 <i>Températures.....</i>	8
2.1.3 <i>Élévation du niveau marin</i>	9
2.2 VALEURS EXTREMES	9
2.2.1 <i>Précipitations extrêmes.....</i>	9
2.2.2 <i>Surcote de marée liées aux tempêtes.....</i>	10
3. HYPOTHESES DE MUTATIONS TERRITORIALES	11
3.1 EVOLUTION DE L'URBANISATION.....	11
3.2 EVOLUTION DES ACTIVITES AGRICOLES.....	11
3.3 EVOLUTION DES USAGES DOMESTIQUES ET INDUSTRIELS.....	12
3.3.1 <i>Usages industriels</i>	12
3.3.2 <i>Usages domestiques.....</i>	12
4. IMPACTS SUR LE MILIEU NATUREL.....	13
5. FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE DU SYSTEME D'EVACUATION DES EAUX CONTINENTALES....	14
5.1 IMPACT SUR LES COUTS D'EXPLOITATION ET LES BESOINS DE RENFORCEMENT DES EQUIPEMENTS	14
5.2 IMPACT SUR LES RISQUES D'INONDATION CONTINENTALE	14
6. RISQUES D'INONDATION PAR LES ORAGES.....	16
7. RISQUES DE SUBMERSION MARINE	17
8. RESSOURCE EN EAU	18
8.1 ENJEUX SUR LES ACTIVITES	18
8.1.1 <i>Hypothèses</i>	18
8.1.2 <i>Approche globale : bilan besoin ressources</i>	19
8.1.3 <i>Approche événementielle</i>	19
8.1.4 <i>Enquêtes auprès des sections.....</i>	20
8.2 ENJEUX POUR LA CONSOMMATION AEP	21
8.3 ENJEUX QUALITATIFS LIES AUX RISQUE D'INTRUSION SALINE	21

1. OBJET

Cette note précise les outils ainsi que les indicateurs qu'il est proposé de mettre en œuvre pour évaluer concrètement les conséquences du changement climatique sur le territoire des wateringues.

Les paramètres de forçage climatique qu'il s'agit de quantifier sont mesurés par des écarts par rapport à la situation de référence 1976-2005, en distinguant les valeurs moyennes annuelles/saisonniers/mensuelles et les valeurs extrêmes.

Pour les valeurs moyennes :

- l'augmentation relative du cumul des précipitations hivernales ;
- la diminution relative du cumul des précipitation estivales ;
- l'élévation de la température moyenne journalière et l'augmentation de l'ETP qui en découle ;
- l'élévation du niveau marin.

Pour les valeurs extrêmes :

- l'augmentation des intensités pluviométriques sur 24h ;
- les surcotes de marée qui sont liées aux tempêtes ;
- l'augmentation des températures caniculaires sur 30 jours.

Ces hypothèses d'évolution sont décrites dans le rapport de phase 2 de la présente étude et rappelées au chapitre 2 ci-après.

Quatre scénarios de forçage climatique sont considérés dans l'analyse soit :

- deux horizons : 2050 et 2010 ;
- deux hypothèses d'émission des gaz à effets de serre pour chaque horizon : émission moyenne (RCP4.5) et haute (RCP8.5).

La procédure d'analyse s'appuie sur les données hydrologiques et hydro climatiques collectées et analysées dans les études précédentes réalisées par hydratec sur le territoire des wateringues, notamment :

- l'étude DREAL de 2013 ;
- l'étude du PAPI de l'Aa de 2016 ;
- l'étude des axes d'écoulement de 2018.

On récupérera également les chroniques de mesures issues de la gestion technique centralisée (GTC) collectées par l'IIW sur la période 2010-2021, ainsi que les rapports d'exploitation rédigés par l'IIW sur les crues récentes de l'année 2021.

Les calculs s'appuient en partie sur l'exploitation du modèle hydraulique des wateringues élaboré par hydratec lors de l'étude de 2013 et amélioré depuis au cours des études ultérieures. Ce modèle est actuellement exploité dans l'environnement SIG de Qgis3. Il a fait récemment l'objet d'une mise à jour topographique permettant d'affiner toutes les cotes de liaisons entre les canaux, les watergangs et la plaine des wateringues.

On présente ci-après les analyses d'impact que l'on propose de réaliser en raisonnant par enjeux, à savoir :

- la ressource en eau ;
- le fonctionnement hydraulique du système d'évacuation des eaux continentales ;
- les risques d'inondation par les orages ;
- les risques de submersion marine ;
- les milieux naturels.

2. HYPOTHESES DE FORÇAGE CLIMATIQUE

Dans le cadre de la phase 2 de la présente étude l'évolution de différents indicateurs climatiques est étudiée et détaillée. Les valeurs caractéristiques qui seront utilisées dans le modèle sont détaillées ci-dessous.

2.1 VALEURS MOYENNES

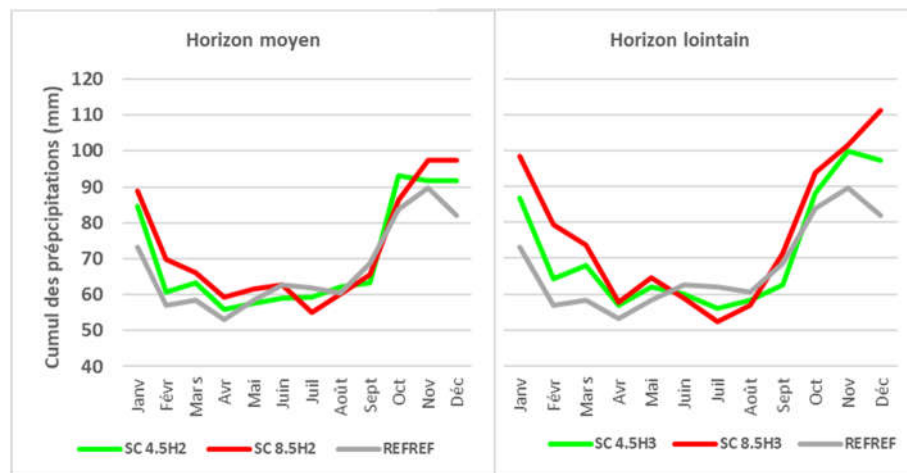
2.1.1 Précipitations moyennes

Il s'agit des précipitations cumulées mensuelles présentées ci-dessous :

Dans la 1ère colonne du tableau figure la situation de référence, et dans les colonnes suivantes les écarts à cette référence, pour 2 horizons temporels (moyen / lointain) et 2 scenarios d'émission de gaz à effets de serre (RCP 4.5 et RCP 8.5).

Horizon	Situation actuelle	RCP 4.5 H2 2041-2060 :	RCP 8.5 H2 2041-2060 :	RCP 4.5 H3 2081-2100	RCP 8.5 H3 2081-2100
Mois	mm	Ecart (mm)	Ecart (mm)	Ecart (mm)	Ecart (mm)
Janvier	73	11	16	14	25
Février	57	4	13	7	22
Mars	58	5	8	9	15
Avril	53	3	6	4	5
Mai	58	-1	3	4	6
Juin	63	-4	0	-3	-4
Juillet	62	-3	-7	-6	-10
Août	60	2	0	-2	-3
Septembre	69	-5	-3	-6	3
Octobre	84	9	3	4	10
Novembre	90	2	8	10	12
Décembre	82	10	15	15	29
Somme	809	33	61	51	111

Le graphique ci-dessous représente le cumul des précipitations pour les mêmes situations.



Nous retiendrons notamment :

- **l'augmentation relative du cumul des précipitations hivernales :**
 - Horizon moyen (2041-2060) : +4mm à +15 mm / mois en décembre-janvier-février (+7% à +19% par rapport à la situation actuelle) ;
 - Horizon lointain (2081-2100) : +14mm à + 29mm en décembre-janvier-février (+14% à +35% par rapport à la situation actuelle)

- **la diminution relative du cumul des précipitation estivales :**
 - Horizon moyen (2041-2060) : -7mm à 0 mm / mois en juin-juillet-août (-11% à 0% par rapport à la situation actuelle)
 - Horizon lointain (2081-2100) : -10mm à -3mm en juin-juillet-août (-15% à -4% par rapport à la situation actuelle).

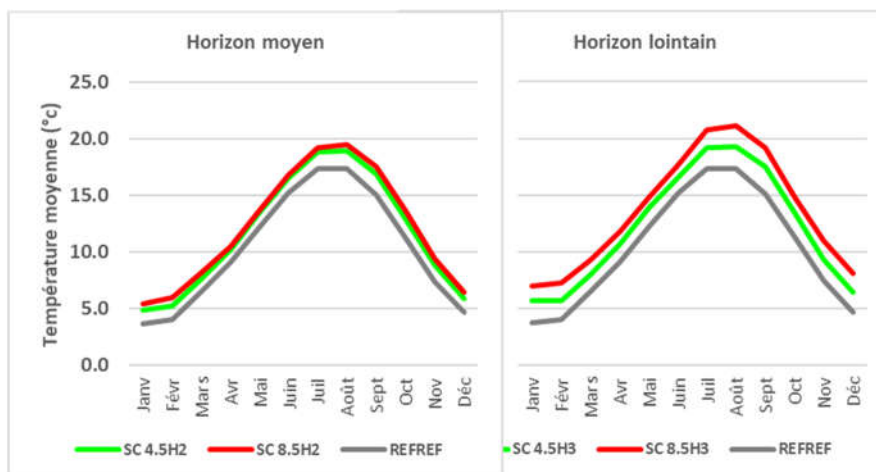
2.1.2 Températures

Il s'agit de la **moyenne de la température quotidienne moyenne**, présentée ci-dessous par mois.

Dans la 1ère colonne du tableau ci-dessous est présentée la situation de référence, et dans les colonnes suivantes les écarts à cette référence, pour 2 horizons temporels (moyen / lointain) et 2 scenarios d'émission de gaz à effets de serre (RCP 4.5 et RCP 8.5).

Horizon	Situation actuelle	RCP 4.5 H2 2041-2060 :	RCP 8.5 H2 2041-2060 :	RCP 4.5 H3 2081-2100	RCP 8.5 H3 2081-2100
Mois	°C	Ecart (°c)	Ecart (°c)	Ecart (°c)	Ecart (°c)
<i>Janvier</i>	3.7	1.1	1.8	1.9	3.2
<i>Février</i>	4.0	1.2	1.9	1.6	3.2
<i>Mars</i>	6.5	1.1	1.7	1.4	2.7
<i>Avril</i>	9.1	1.1	1.4	1.5	2.7
<i>Mai</i>	12.2	1.3	1.5	1.6	2.6
<i>Juin</i>	15.2	1.3	1.6	1.3	2.5
<i>Juillet</i>	17.3	1.5	1.9	1.8	3.4
<i>Août</i>	17.3	1.6	2.2	1.9	3.8
<i>Septembre</i>	15.1	1.8	2.5	2.4	4.1
<i>Octobre</i>	11.3	1.6	2.3	2.2	3.6
<i>Novembre</i>	7.4	1.4	2.0	1.8	3.5
<i>Décembre</i>	4.7	1.2	1.8	1.7	3.4
Moyenne	10.3	1.3	1.9	1.8	3.2

Le graphique ci-dessous représente l'évolution de la température moyenne pour ces mêmes situations.



Nous retiendrons notamment l'élévation de la température moyenne journalière estivale pour déterminer l'augmentation de l'ETP qui en découle :

- Horizon moyen (2041-2060) : +1.3°C à +2.2°C en juin-juillet-août (+8% à +13% par rapport à la situation actuelle)
- Horizon lointain (2081-2100) : +1.3°C à +3.8°C en juin-juillet-août (+9% à +22% par rapport à la situation actuelle)

2.1.3 Elévation du niveau marin

A l'échelle locale :

- Horizon moyen (2041-2060) : +30cm
- Horizon lointain (2081-2100) : +50cm à +70cm

2.2 VALEURS EXTREMES

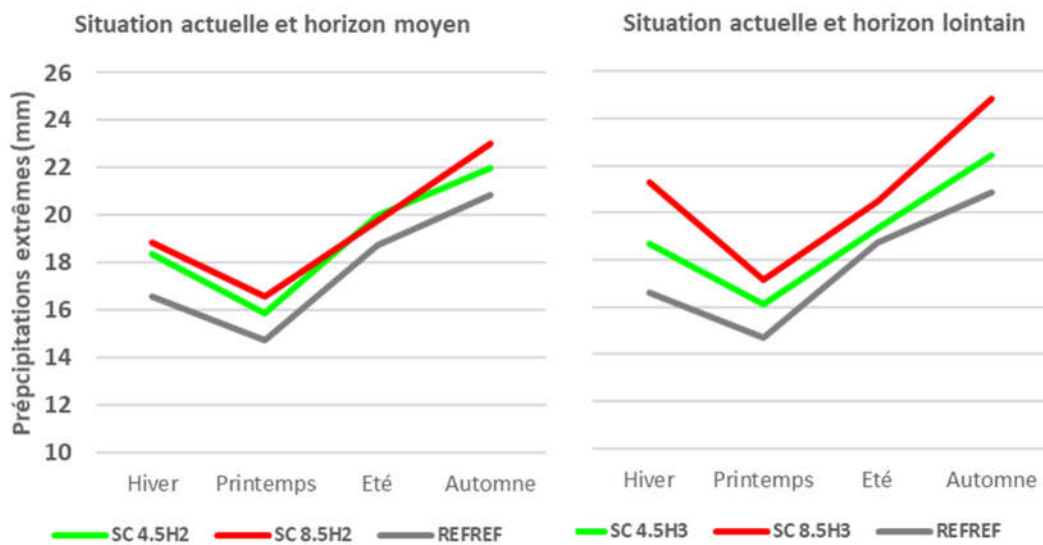
2.2.1 Précipitations extrêmes

L'écart à la référence du centile 99 du **cumul quotidien** de précipitation (valeur la plus forte de cumul annuel quotidien que l'on rencontre dans 1% des cas) est présenté ci-dessous par saison.

Dans la 1ère colonne du tableau ci-dessous est présentée la situation de référence, et dans les colonnes suivantes les écarts à cette référence, pour 2 horizons temporels (moyen / lointain) et 2 scenarios d'émission de gaz à effets de serre (RCP 4.5 et RCP 8.5).

Horizon	Situation actuelle	RCP 4.5 H2 2041-2060 :	RCP 8.5 H2 2041-2060 :	RCP 4.5 H3 2081-2100	RCP 8.5 H3 2081-2100
Saison	(mm)	Ecart (mm)	Ecart (mm)	Ecart (mm)	Ecart (mm)
<i>Hiver</i>	16.6	1.7	2.2	2.2	4.9
<i>Printemps</i>	14.7	0.9	1.5	1.8	2.7
<i>Été</i>	18.7	1.1	0.5	1.2	1.5
<i>Automne</i>	20.8	1.2	1.8	2.0	4.1
Moyenne	17.7	1.2	1.5	1.8	3.3

Le graphique ci-dessous illustre les précipitations extrêmes pour ces mêmes situations.



- Horizon moyen (2041-2060) : +1.7 à +2.2 mm en hiver (+10% à +13% par rapport à la situation actuelle)
- Horizon lointain (2081-2100) : +2.2 à +4.9 mm en hiver (+13% à +30% par rapport à la situation actuelle)

Nous retiendrons le ratio de +13% à +30% qui sera appliqué aux valeurs statistiques extrêmes actuelles telles que les pluies journalières centennales.

2.2.2 Surcote de marée liées aux tempêtes

Nous ne disposons pas de données prospectives sur les surcotes.

Afin d'évaluer l'impact de surcotes, nous proposons toutefois de retenir la valeur de **+60 cm** de surcote, valeur utilisée dans des études précédentes sur le territoire des waterings.

3. HYPOTHESES DE MUTATIONS TERRITORIALES

Le rapport de phase 2 détaille les évolutions territoriales des facteurs suivants :

- La population,
- L'occupation du sol, et notamment l'urbanisation et le développement du territoire,
- Les activités agricoles,
- Les usages domestiques et industriels.

Sont synthétisés ici :

- Evolution de l'urbanisation
- Evolution des activités agricoles
- Evolution des usages industriels et domestiques

3.1 EVOLUTION DE L'URBANISATION

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.

Cette tendance au développement de l'urbanisation devrait cependant être compensée par la nouvelle réglementation, qui fixe un objectif de zéro artificialisation nette à l'horizon 2050. Même en prévoyant un temps de mise en œuvre et d'application important, compte-tenu de la complexité d'intégration pour un territoire, les documents d'urbanisme devraient être amenés à évoluer pour intégrer cet objectif. Au-delà de 2050, les extensions urbaines devraient donc être très limitées, ou à défaut compensées par la renaturation de zones équivalentes.

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) et de réduction des zones naturelles d'expansion des crues et d'augmentation de la vulnérabilité du territoire.

Dans la phase de modélisation, nous proposons donc de considérer, à horizon 2050, les zones de développement économiques identifiées dans les SCoT comme imperméabilisées, ce qui amènera à modifier le coefficient de ruissellement sur ces zones.

Cette même situation sera considérée pour l'horizon 2100.

3.2 EVOLUTION DES ACTIVITES AGRICOLES

Les volumes prélevés pour l'irrigation devraient augmenter de l'ordre de 5% à 15% en fonction des scénarios climatiques à l'horizon 2050 :

Tableau : Evolution des volumes prélevés pour l'irrigation (source des % d'évolution: Etude AEAP)

Volume annuel pour l'irrigation en m ³ (ph1 étude wateringues)	Horizon 2030				Horizon 2050			
	IPSL 4.5		CNRM 8.5		IPSL 4.5		CNRM 8.5	
	Evolution horizon 2030	Volume	Evolution horizon 2030	Volume	Evolution horizon 2050	Volume	Evolution horizon 2050	Volume
4 900 000	5%	5 145 000	8%	5 292 000	5%	5 145 000	15%	5 635 000

3.3 EVOLUTION DES USAGES DOMESTIQUES ET INDUSTRIELS

3.3.1 Usages industriels

Les volumes destinés à l'industrie devraient augmenter de 13% à 16% aux horizons 2030 et 2050, du fait de l'installation prévue de gros préleveurs :

Tableau : Evolution des volumes prélevés pour l'usage industriel à l'horizon 2030 et 2050 (source : Etude AEAP)

		Horizon 2030		Horizon 2050	
SAGE	Actuel	Volume (Mm ³)	Evolution	Volume (Mm ³)	Evolution
Audomarois	25	22	-12%	20	-20%
Delta de l'Aa	14	11	-20%	10	-27%
GLOBAL	38	33	-15%	30	-23%

3.3.2 Usages domestiques

Les scénarios mettent en évidence une diminution régulière des volumes domestiques consommés, malgré l'augmentation de la population, liée aux changements de consommation des ménages et à l'acquisition d'équipements ménagers de plus en plus économes :

Tableau : Evolution des volumes prélevés pour l'usage domestique à l'horizon 2030 et 2050 (source : Etude AEAP)

		Horizon 2030		Horizon 2050	
SAGE	Actuel	Volume (Mm ³)	Evolution	Volume (Mm ³)	Evolution
Audomarois	25	22	-12%	20	-20%
Delta de l'Aa	14	11	-20%	10	-27%
GLOBAL	38	33	-15%	30	-23%

4. IMPACTS SUR LE MILIEU NATUREL

La modélisation permettra de quantifier l'évolution du bilan de la ressource en eau en étiage (cf. 8 - Ressource en eau).

L'analyse de ses impacts sur le milieu naturel comprendra :

- un inventaire des secteurs avec des enjeux environnementaux forts, notamment les zones humides ;
- la prise en compte des enjeux de continuité écologique au niveau des écluses de Gravelines ;
- une évaluation de l'influence de la diminution des apports sur l'état de ces systèmes (minéralisation de la tourbe en cas d'abaissement des niveaux d'eau dans le marais Audomarois et impact sur les populations biologiques faunistiques et floristiques, dégradation des conditions de vie des pour les espèces piscicoles et les autres organismes aquatiques) ;
- une analyse sommaire des solutions envisageables pour éviter leur dégradation à terme
- en complément de l'analyse globale des solutions envisageables sur le territoire.

5. FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE DU SYSTEME D'EVACUATION DES EAUX CONTINENTALES

Les impacts du changement climatique sur le fonctionnement du système hydraulique se concrétisent par :

- une sollicitation accrue du système de pompage, avec des coûts supplémentaires d'électricité et de maintenance des équipements,
- une plus grande vulnérabilité aux risques d'inondation sous l'action conjuguée :
 - d'une augmentation des apports hivernaux ;
 - d'une élévation du niveau marin ;
 - des risques de défaillance partielle des ouvrages électro mécaniques.

L'analyse sera scindée en deux volets :

- l'analyse de l'impact sur les coûts d'exploitation et les besoins de renforcement des équipements ;
- l'analyse de l'impact sur les risques d'inondation continentale.

5.1 IMPACT SUR LES COÛTS D'EXPLOITATION ET LES BESOINS DE RENFORCEMENT DES EQUIPEMENTS

On raisonnera en relatif par rapport aux épisodes de la période écoulée entre 2010-2021 pour laquelle on dispose des données de bilan d'exploitation des ouvrages par l'IIW.

L'objectif est d'analyser, à l'aide d'un échantillon représentatif d'événement hivernal, l'influence d'une élévation du niveau moyen de la mer sur l'augmentation de la durée des pompages, et donc les coûts d'électricité, mais aussi sur les besoins de renforcement des capacités de pompage pour maintenir le niveau actuel de robustesse.

Les résultats de l'analyse comparative faite sur cet échantillon seront transposés sur toute la période de l'année pour en tirer des tendances chiffrées d'évolution.

L'indicateur principal calculé pour chaque scénario est le volume total pompé et son augmentation par rapport au volume de pompage de la situation de référence. Deux autres indicateurs sont :

- l'augmentation moyenne des durées de pompage et les conséquences sur les coûts de maintenance ;
- les renforcements de capacités des pompages à prévoir.

Ces calculs permettront de quantifier les ressources budgétaires additionnelles nécessaires pour continuer de gérer le système d'évacuation avec le même niveau de robustesse qu'actuellement. L'évolution du coût de l'énergie sera intégrée, à partir des données disponibles dans le rapport de l'étude concernant l'évolution énergétique du patrimoine de l'IIW (E&E consultant et Presqu'île, novembre 2009).

5.2 IMPACT SUR LES RISQUES D'INONDATION CONTINENTALE

On effectuera une modélisation détaillée d'un événement hydrologique majeur pour évaluer le niveau d'aggravation du risque d'inondation du territoire des waterings engendré par le changement climatique. 5 simulations seront réalisées en intégrant des hypothèses de défaillance technologique à préciser avec l'IIW : la crue de référence en situation 2020 et les 4 scénarios d'évolution climatique définis au chapitre 1.

Les indicateurs d'impacts sont les surfaces à enjeu inondées pour chaque scénario, ainsi que les niveaux d'eau maxima atteints aux principales stations de contrôle des grands axes d'écoulement.

Le travail à réaliser pour ce volet comprend :

- le contrôle de bon calage du modèle hydraulique détaillé sur les épisodes récents de janvier février 2021 et décembre 2021 ;
- la construction d'un événement de crue référence. On s'inspirera pour cela des événements synthétiques générés lors de l'étude 2012 et des événements de crue récents de l'année 2021 ;
- la construction des 4 scénarios traduisant les effets du changement climatique sur la crue de référence ;
- la simulation des 4 scénarios et l'exploitation des résultats obtenus ;
- l'analyse des solutions envisageables pour maintenir le niveau actuel de protection et sa fiabilité - en complément de l'analyse globale des solutions envisageables sur le territoire.

6. RISQUES D'INONDATION PAR LES ORAGES

On s'intéresse ici à des épisodes pluvieux intenses et de courte durée, susceptibles de générer des débordements des canaux dans les secteurs les plus sensibles aux débordements. Il s'agit essentiellement :

- des canaux tributaires du canal de Calais qui sont soumis aux apports de ruissellement des collines de l'Artois ;
- des watergangs connectés aux bassins versants des collines de Flandres, qui peuvent affecter la 3ème Section du Nord ;
- des secteurs urbanisés contrôlés par des watergangs de capacité limitées (ex : watergang du Sud en amont de Calais, zones d'activité sur l'Outgracht).

On définira un hyétogramme type pour cet épisode estival, à partir d'une analyse statistique pluviométrique spécifique. Les simulations seront réalisées pour la situation de référence et les 4 scénarios climatiques.

Les indicateurs d'impacts seront les surfaces à enjeux inondées pour chaque scénario, ainsi que les niveaux d'eau maxima aux principales stations contrôle des grands axes d'écoulement.

7. RISQUES DE SUBMERSION MARINE

Il n'est pas prévu d'engager de simulation spécifique de rupture de digue ou de cordon dunaire pour ce volet mais de faire une synthèse actualisée des connaissances acquises lors de récentes études, notamment l'étude du PAPI de l'AA et les études de danger réalisées depuis sur plusieurs sites.

On évaluera qualitativement les risques de défaillance accrus par l'aggravation des niveaux marins et des sur cotes lors des tempêtes de la mer du nord et l'on fera un état des lieux des actions restent à entreprendre sur les secteurs résiduels non traités par des aménagements récents de confortement.

8. RESSOURCE EN EAU

Les impacts du changement climatique sur la ressource en eau se déclinent en trois familles d'enjeux :

- enjeux sur les activités : agriculture et usages industriels ;
- enjeux sur les consommations d'eau potable ;
- enjeux liés aux risques d'intrusion saline.

8.1 ENJEUX SUR LES ACTIVITES

8.1.1 Hypothèses

La ressource en eau pour les activités agricoles et industrielles provient de plusieurs sources :

- apports des cours d'eau de l'Aa et de la Hem, et dans une moindre mesure : apports des bassins versants des collines de l'Artois et des Flandres ;
- la dérivation contrôlée de la Lys ;
- le ressuyage des sols et des nappes superficielles, alimenté par la pluviométrie hivernale.

Le changement climatique va affecter cette ressource de trois façons :

- diminution du débit naturel des cours d'eau, en période d'étiage notamment ;
- diminution de la pluviométrie en période printanière et estivale ;
- augmentation de l'ETP découlant de l'augmentation de la température moyenne.

Ces deux derniers facteurs favorisent un assèchement de la RFU et un besoin accru d'irrigation en période estivale.

La quantification des impacts nécessite de conduire les analyses suivantes :

- modification de l'hydrologie des cours d'eau de l'Aa et de la Hem.
- influence de la température et de la pluviométrie sur le bilan hydrique des sols et les besoins d'irrigation.

Modification de l'hydrologie des cours d'eau de l'Aa et de la Hem :

Cette analyse sera effectuée en calant un module hydrologique global de production pluie-débit sur les chroniques de débits naturels relevées par la banque HYDRO. Les hydrogrammes seront reconstitués sur une saison hydrologique complète et pour des années hydrologiques contrastées sur la période 2010-2020.

Ce module hydrologique permettra de calculer les hydrogrammes modifiés avec les scénarios de forçage climatique retenus.

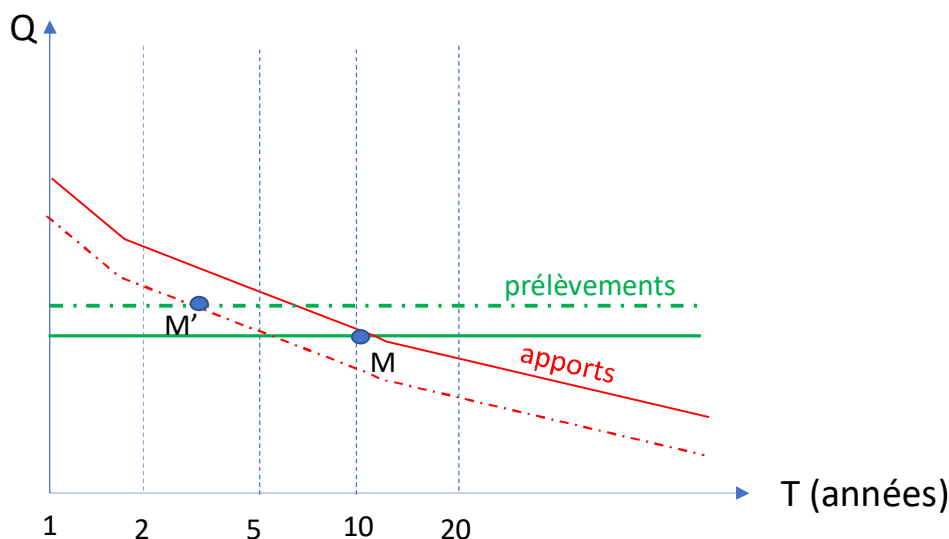
Evolution des besoins d'irrigation en période estivale :

Le seul paramètre connu avec une certaine précision est le volume moyen annuel prélevé pour l'irrigation entre les mois de mai et septembre. (source : chambre d'agriculture). Afin d'analyser plus finement les mécanismes de prélèvement d'eau au cours de la saison on cherchera à moduler les débits d'irrigation et l'ETP au cours de la période estivale, de façon à disposer d'une séquence temporelle de prélèvement au cours de la période d'irrigation.

L'étude devra prendre en compte les contraintes de « débit réservé » rejeté aux exutoires. Ces débits sont aujourd'hui mal connus, il conviendra de les estimer plus précisément et d'en analyser le poids dans les calculs de bilan besoin-ressources.

8.1.2 Approche globale : bilan besoin ressources

Cette approche vise à obtenir une vision statistique globale des déficits en eau à l'échelle du territoire des Wateringues. Elle consiste à construire une courbe statistique des débits d'étiage et à la comparer avec le volume d'eau nécessaire pour satisfaire les besoins en eau comme suit :



Les calculs de débits sont basés sur le débit moyen du mois d'étiage le plus marqué et le prélèvement d'eau maximum.

Les traits pleins correspondent à la situation de référence et les traits pointillés à la situation d'un scénario de forçage.

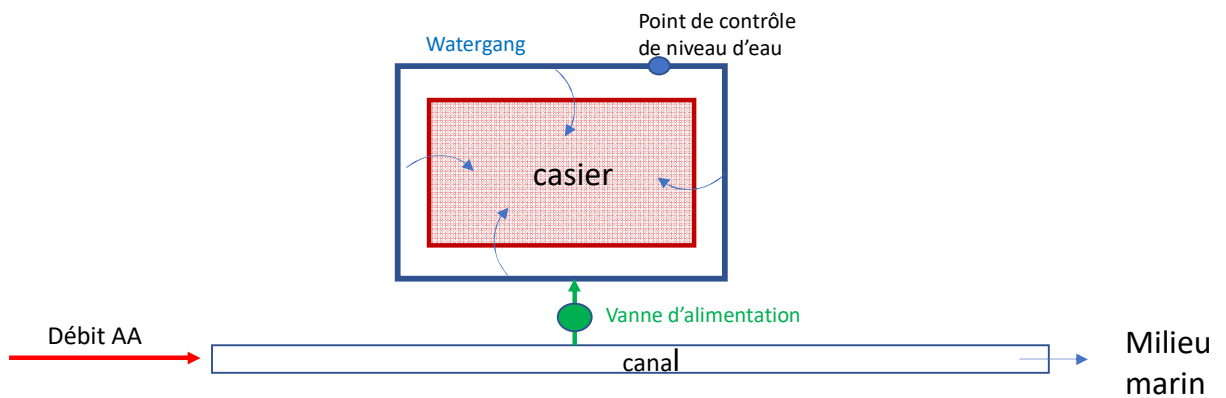
L'indicateur retenu est la période de retour à partir de laquelle un déficit se fait sentir : c'est le point d'intersection M / M' des deux courbes. Dans l'exemple ci-dessus l'état de stress se fait sentir à T=10ans dans la situation de référence et tombe à moins de 3 ans dans le scénario de forçage considéré, sous la double influence d'une diminution du débit d'étiage et d'une augmentation des besoins hydriques.

A noter cependant que le minimum des ressources ne coïncide pas au maximum des besoins, la modélisation permettra d'ajuster cette évaluation.

8.1.3 Approche événementielle

Une approche plus détaillée consiste à modéliser l'évolution temporelle des débits d'apports d'eau des cours d'eau et des débits de prélèvement au cours de la période estivale mai - septembre, à l'aide du modèle hydraulique, en modulant les débits de prélèvement en fonction de l'état d'humidité de la RFU.

Le principe de simulation est schématisé comme suit :



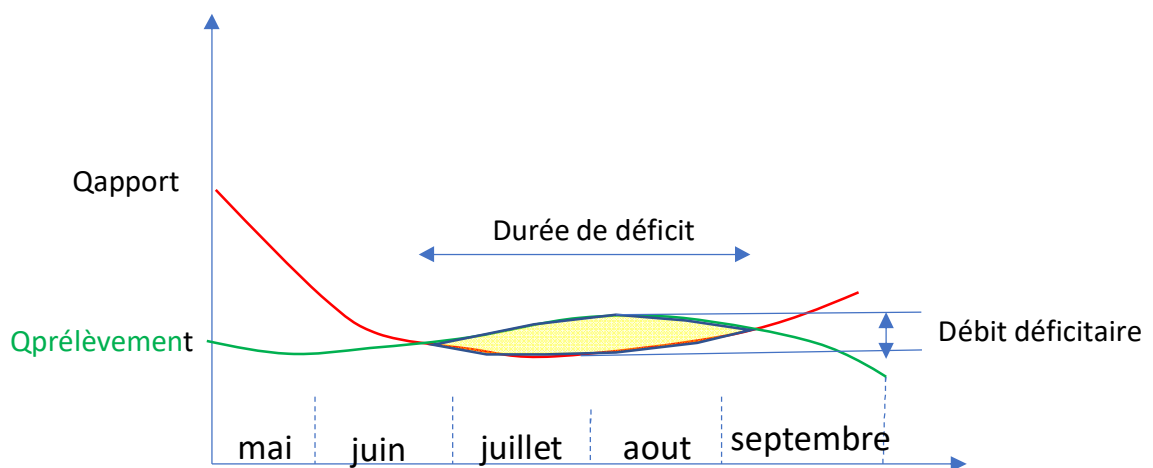
Les données d'entrée sont les débits de prélèvements dans chaque casier hydraulique par l'intermédiaire des watergangs et le débit d'apport amont.

La vanne d'alimentation régule un débit d'admission dans les watergangs pour assurer un niveau d'eau adéquat dans ces derniers. Les débits et les niveaux d'eau dans les canaux sont gérés par les protocoles de gestion mis au point pour chaque axe d'écoulement.

Avec cette logique, qui est conforme à celle appliquée en pratique, l'état de stress se fait sentir lorsque les niveaux d'eau dans les canaux ne peuvent être maintenus lorsque le débit soutiré par les vannes d'alimentation est supérieur au débit d'apport disponible.

Cette approche permet d'acquérir une vision sectorielle du fonctionnement réel du système des waterings en période estivale, mais aussi une vision temporelle des volumes déficitaires et de leur durée. Elle nécessite une modélisation appropriée de la logique d'exploitation des watergangs en période estivale.

En pratique les simulations seront réalisés sur une chronique historique récente pour laquelle des problèmes de stress hydrique se sont manifestés. Les résultats seront restitués par grand sous système sous la forme suivante pour un scénario donné.



8.1.4 Enquêtes auprès des sections

L'analyse de ce volet nécessite de mener des enquêtes auprès des représentants des Sections des Waterings et de VNF pour bien intégrer les pratiques de gestion hydraulique des watergangs selon les périodes de l'année et les interdépendances avec les canaux gérés par VNF. La compréhension de ces mécanismes d'échange entre les canaux et les watergangs est nécessaire pour mener à bien l'analyse événementielle décrite ci-dessus.

8.2 ENJEUX POUR LA CONSOMMATION AEP

La consommation AEP du territoire des wateringues est assurée presque exclusivement par les captages de la nappe de l'Audomarois.

Une analyse hydrogéologique et hydraulique spécifique du secteur de l'Audomarois sera réalisée pour vérifier les marges de manœuvre dont on dispose en prenant en compte l'évolution prévisionnelle de la population et le tarissement possible de la ressource liée à la baisse du rechargement de la nappe par l'Aa.

8.3 ENJEUX QUALITATIFS LIES AUX RISQUE D'INTRUSION SALINE

L'élévation moyen du niveau de la mer va provoquer un déséquilibre des forces hydrostatiques entre le niveau hydraulique des canaux et celui du niveau marin et donc une avancée du biseau salé. Une analyse hydrogéologique sera réalisée pour préciser les impacts attendus. Il n'est pas prévu de modéliser le comportement du biseau salé dans le cadre de la présente étude, mais de limiter l'analyse à des calculs analytiques sommaires permettant de clarifier cette problématique.