



SAGE Estuaire de la Gironde et Milieux Associés
SMIDDEST



– 12 rue Saint Simon – 33 390 BLAYE –
Tel : 05 57 42 28 76 - Fax : 05 57 42 75 10 -
smiddest@wanadoo.fr

EVALUATION DES IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR L'ESTUAIRE DE LA GIRONDE ET PROSPECTIVE A MOYEN TERME

PHASE II : PROSPECTIVE, PRIORITES ET INDICATEURS

Avec la participation financière de :



janvier 2009



67 allées Jean Jaurès

31000 Toulouse

Tél 05 61 62 50 68 -

Fax 05 61 62 65 58

E-mail eaucea@eaucea.fr

SOMMAIRE

1 - SYNTHÈSE PROSPECTIVE.....	4
2 - PRÉSENTATION DU RAPPORT DE PHASE II	6
3 - PARTIE I : LES PRIORITÉS.....	7
3.1 - Les enjeux pour la sécurité des personnes et des biens	7
3.1.1 - Les risques pour l'homme	7
3.1.2 - Les politiques de prévention	7
3.2 - Les enjeux économiques	8
3.2.1 - Les apports d'eau douce à l'estuaire	8
3.2.2 - La température des eaux estuariennes et la production nucléaire	8
3.2.3 - Bilans hydrogéologiques des nappes profondes et interaction avec les usages de l'eau	9
3.2.4 - Les risques pour la production agricole et forestière : Evolution des pratiques et incidence sur les zones humides littorales	9
3.3 - Les enjeux pour l'écosystème.....	10
3.4 - Les enjeux pour la gouvernance	10
4 - PARTIES II: LES INDICATEURS.....	11
4.1 - Présentation des indicateurs	11
4.1.1 - Nature de l'indicateur	11
4.1.2 - Producteur	11
4.1.3 - Sites d'observation	11
4.1.4 - Intérêt	11
4.1.5 - Déclinaison des indicateurs	11
4.1.6 - Projection future	11
4.1.7 - Vulnérabilités particulières	11
4.1.8 - Encadrement administratif et adaptation	11
4.2 - Niveau marégraphique.....	12
4.2.1 - Producteur	12
4.2.2 - Sites d'observation	12
4.2.3 - Intérêt	12
4.2.4 - Projection future	13
4.2.5 - Vulnérabilités particulières	13
4.2.6 - Encadrement administratif et adaptation	13

4.3 - Température atmosphérique	14
4.3.1 - Producteur	14
4.3.2 - Sites d'observation	14
4.3.3 - Intérêt	15
4.3.4 - Projection future	15
4.3.5 - Déclinaison des indicateurs thermiques	16
4.3.6 - Vulnérabilités particulières	17
4.3.7 - Encadrement administratif et adaptation	17
4.4 - Précipitations.....	18
4.4.1 - Producteur	18
4.4.2 - Sites d'observation	18
4.4.3 - Intérêt	18
4.4.4 - Déclinaison des indicateurs précipitation	18
4.4.5 - Projection future	19
4.4.6 - Vulnérabilités particulières	19
4.4.7 - Encadrement administratif et adaptation	19
4.5 - Tempêtes	20
4.5.1 - Producteur	20
4.5.2 - Sites d'observation:	20
4.5.3 - Intérêt	20
4.5.4 - Déclinaison des indicateurs tempêtes	21
4.5.5 - Projection future	21
4.5.6 - Vulnérabilités particulières	22
4.5.7 - Encadrement administratif et adaptation	22
4.6 - Hydrologie fluviale Garonne Dordogne	23
4.6.1 - Producteur	23
4.6.2 - Sites d'observation	23
4.6.3 - Intérêt	23
4.6.4 - Déclinaison des indicateurs	24
4.6.5 - Projection future	24
4.6.6 - Vulnérabilités particulières	25
4.6.7 - Encadrement administratif et adaptation	25
4.7 - Ressource en eau douce dans le périmètre	26
4.7.1 - Producteur	26
4.7.2 - Sites d'observation:	26
4.7.3 - Intérêt	26
4.7.4 - Déclinaison des indicateurs	27
4.7.5 - Projection future	27
4.7.6 - Vulnérabilités particulières	27
4.7.7 - Encadrement administratif et adaptation	27

4.8 - Physico chimie des eaux.....	28
4.8.1 - Producteur	28
4.8.2 - Sites d'observation	28
4.8.3 - Intérêt	28
4.8.4 - Déclinaison des indicateurs	28
4.8.5 - Projection future	29
4.8.6 - Vulnérabilités particulières	29
4.8.7 - Encadrement administratif et adaptation	31
4.9 - Ecosystème.....	32
4.9.1 - Producteur	32
4.9.2 - Sites d'observation	32
4.9.3 - Intérêt	32
4.9.4 - Déclinaison des indicateurs	32
4.9.5 - Projection future	32
4.9.6 - Vulnérabilités particulières	33
4.9.7 - Encadrement administratif et adaptation	33

1 - SYNTHÈSE PROSPECTIVE

Au-delà des résultats précis (indicateurs, bases de données...) obtenus dans le cadre de la présente étude et qui concernent spécifiquement l'estuaire de la Gironde et son bassin versant, il s'agit dans cette synthèse prospective d'essayer de faire avancer la réflexion en développant la vision d'un gestionnaire du milieu par rapport à la prise en compte du changement climatique au sein des politiques publiques d'aménagement. Il ne s'agit absolument pas de tenter de fournir des réponses à des questions particulièrement complexes, mais plutôt d'essayer de susciter des réflexions.

L'analyse s'est basée sur un recensement non exhaustif de différents investissements réalisés actuellement sur les territoires et la prise en compte des impacts du changement climatique lors de leur réalisation (tableau 1). Il en ressort que **peu d'investissements réalisés aujourd'hui semblent prendre en compte spécifiquement les impacts possibles du changement climatique, alors que cela deviendra indispensable dans l'avenir.**

Tableau 1.

Exemples d'investissements réalisés sur les territoires	Apparente prise en compte actuelle des impacts du CC	Nécessaire prise en compte dans le futur
Construction et réhabilitation de routes	<i>Non</i>	<i>Oui</i>
Construction d'équipements publics, scolaires et maisons individuelles	<i>Non (sauf économies d'énergie et parfois d'eau)</i>	<i>Oui</i>
Traitements d'eaux usées et d'eaux pluviales	<i>Non</i>	<i>Oui</i>
Traitements pour fourniture d'eau potable	<i>Non (sauf cas particuliers)</i>	<i>Oui</i>
Constructions en zones inondables (équipements touristiques, zones économiques et résidentielles)	<i>Non</i>	<i>Oui</i>
Installation d'ouvrages de régulation des eaux	<i>Non</i>	<i>Oui</i>
Construction et réhabilitation d'ouvrages de protection contre les crues	<i>Non</i>	<i>Oui</i>
Plantations de forêt, de vigne	<i>Non</i>	<i>Oui</i>
Investissements liés à la navigation industrielle et de plaisance	<i>Non</i>	<i>Oui</i>
Investissements liés aux poissons migrateurs	<i>Non</i>	<i>Oui</i>

L'explication principale avancée pour expliquer cette situation est que **les maîtres d'ouvrages ne disposent pas d'information, de méthodes ou de directives précises leur permettant d'anticiper** les phénomènes et de réaliser leurs projets en conséquence.

Une importante question qui pourrait donc aujourd'hui être posée par les gestionnaires est de savoir **comment systématiquement intégrer les impacts possibles du changement climatique dans les travaux d'aménagements faits à diverses échelles.**

Sur ce sujet, les choses sont particulièrement complexes essentiellement en raison :

- du **caractère très progressif** des phénomènes concernés
- du **caractère incertain et variable des vitesses d'évolution**

Par exemple, sur l'estuaire de la Gironde ou sur la rade de Brest, le niveau de la mer est monté d'environ 2,5 mm par an durant le XX^{ième} siècle, soit environ 25 cm. Même si les phénomènes s'accroissent dans l'avenir pour atteindre un accroissement moyen de 50 cm au XXI^{ième} siècle, celui-ci ne représentera qu'une hausse de 0,5 cm par an.

Pour la température de l'eau, les données analysées depuis 1950 montrent un accroissement moyen de 0,3 °C tous les 10 ans et l'évolution à la hausse sera toujours très faible sur le court terme, même si le phénomène s'accroît à l'avenir. Dans le domaine estuarien, l'accroissement relatif de la salinité est encore plus faible (ce qui ne signifie pas d'ailleurs que l'effet est plus faible sur la faune et la flore).

Le problème principal qui se pose est donc de savoir **comment prendre aujourd'hui en compte de telles modifications faibles et progressives, qui ne deviennent significatives que des années plus tard.**

Le second problème est de savoir quels chiffres retenir, puisque personne n'est pour le moment capable de s'engager sur une évolution précise et localisée.

Un exemple concret est celui des forestiers d'Aquitaine, dévastés récemment par la tempête Klaus : doivent-ils replanter les mêmes essences, qui seront adultes dans 30 ans mais peut-être moins adaptées au climat local si la température s'est accrue d'1 ou 1,5 °C ? Où alors doivent-ils replanter maintenant une essence qui va moins bien pousser car elle n'est pas complètement adaptée au climat local mais qui sera à l'optimum dans 30 ans ?

Sur le littoral, si l'on reconstruit des ouvrages de protection contre la mer dont la durée de vie est de 50 ans, doit-on les garder à la même cote, avec le risque qu'ils soient à court terme submergés, ou alors les construire à la cote du niveau hypothétique que l'on aura peut-être dans 50 ans ? Le surcoût à supporter pouvant être relativement important, quel est le gestionnaire qui va prendre la décision d'anticiper, d'autant plus que le niveau de la mer pourrait très bien ne presque pas monter localement.

Comme on le voit, ces diverses questions n'ont pour le moment pas de réponse, aussi la conclusion du présent travail pourrait alors être **de préconiser le lancement, au niveau national, de programmes de définition de méthodologies destinées à aider les gestionnaires locaux à systématiquement intégrer les impacts du changement climatique au sein de leurs politiques d'aménagement.**

Jérôme BARON * et Bruno COUPRY**

* Directeur du SMIDDEST ** Gérant du Bureau d'Etudes EAUCEA

2 - PRESENTATION DU RAPPORT DE PHASE II

Ce rapport complète celui de la phase I intitulé « Analyse des enjeux liés à l'eau ». Dans le premier rapport nous examinons les principaux enjeux induits par les évolutions climatiques attendues sur le territoire de l'estuaire et sur le grand bassin versant. Diverses thématiques ont été mises en exergue.

Dans cette seconde partie, nous repérons tout d'abord des questions importantes susceptibles d'alimenter des appels à projets ou à contribution de la part des scientifiques ou des gestionnaires. La liste proposée a vocation à être amendée en fonction de la sensibilité et de la connaissance des acteurs du territoire.

Par la suite, nous identifions, pour les grandes thématiques, les principaux indicateurs qui nous permettront d'accompagner et d'anticiper les évolutions les plus notables. Certains de ces indicateurs doivent pouvoir être recueillis « en routine », actualisés et pris en compte notamment dans le tableau de bord du SAGE et les outils de communication institutionnelle associés. Nous avons en particulier engagé la réflexion sur les outils administratifs qui devront vraisemblablement être mobilisés dans le nécessaire processus d'adaptation.

3 - PARTIE I : LES PRIORITES

Ce chapitre expose les priorités permettant de préparer une stratégie cohérente de prévention et d'adaptation aux évolutions à venir. Ces priorités constituent des orientations pour la recherche fondamentale et appliquée mais aussi pour des réflexions concernant un plus large spectre d'acteurs : administrations, collectivités, usagers, etc.

L'exercice de priorisation ci après peut servir de première plateforme d'échange (non figée) pour formaliser ces enjeux regroupés en quatre familles :

1. Les enjeux pour la sécurité des personnes et des biens
2. Les enjeux pour l'économie
3. Les enjeux pour l'écosystème
4. les enjeux pour la gouvernance

3.1 - LES ENJEUX POUR LA SECURITE DES PERSONNES ET DES BIENS

3.1.1 - Les risques pour l'homme

Les risques directs, au premier rang desquels l'inondation, et leurs évolutions, sont paradoxalement les moins bien appréhendés par les scénarios climatiques sur le territoire de projet. Les principales interrogations portent donc aujourd'hui sur les variables climatiques et l'évolution des extrêmes.

Questions ouvertes :

- L'augmentation du niveau océanique va-t-elle s'accélérer ?
- Dispose-t-on de tous les indicateurs de risque? Tempête, dépression atmosphérique, pluie intense, hauteur de vagues.
- Peut-on requalifier les risques pluviaux en milieu urbain ?

3.1.2 - Les politiques de prévention

Face à ces menaces, trois types de stratégies de prévention sont envisageables mais soulèvent des interrogations importantes:

- Faire la part de l'eau signifie t-il un « abandon » planifié de zones actuellement valorisées (dépoldérisation pour des zones naturelles, « replis stratégique » pour des zones équipées) ?
- Augmenter les ouvrages de protection et, si oui, selon quelle technique ? Une nouvelle approche de la géométrie estuarienne (chenal, îles, brise lame, ...) ?
- Renforcer les moyens d'alerte ?

3.2 - LES ENJEUX ECONOMIQUES

3.2.1 - Les apports d'eau douce à l'estuaire

La menace d'une réduction chronique des apports d'eau douce à l'estuaire pourrait avoir de nombreuses conséquences sur les plans environnemental et socioéconomique.

Questions ouvertes :

- Comment quantifier ces risques sur le moyen et le long terme (modèle)?
- Quelles interactions avec les usages du bassin versant (hydro-électricité et irrigation) ?
- Quelles conséquences locales (cycle biologique, bouchon vaseux, assainissement de l'agglomération Bordelaise, salinité) ?
- Y a t il un risque de modification des dynamiques sédimentaires (érosion ou dépôt) ?
- Les objectifs quantitatifs fixés dans les Plans de Gestion des Etiages de la Dordogne et de la Garonne sont-ils pertinents ?

3.2.2 - La température des eaux estuariennes et la production nucléaire

L'augmentation de la température de l'eau suivra inéluctablement celle de l'atmosphère. Au delà des impacts de cette évolution sur l'écosystème estuarien, une plus grande fréquence de situation extrême (traduction aquatique des canicules atmosphériques) aura des répercussions sur la gestion des rejets thermiques du CNPE du Blayais. Il est important dès aujourd'hui d'anticiper les situations pouvant conduire l'exploitant à solliciter des mesures dérogatoires.

Questions ouvertes :

- Est-il possible de réévaluer dans ce contexte global d'évolution thermique, les conditions de gestion des rejets de la centrale nucléaire ? Incidence sur la dilution ? Révisions des plafonnements ?
- Place de la centrale dans le contexte de production électrique nationale en 2040 (cf. projet EPR) ?

3.2.3 - Bilans hydrogéologiques des nappes profondes et interaction avec les usages de l'eau

L'équilibre dans le partage de la ressource entre eaux superficielles, des nappes captives et des nappes de surface (plioquaternaire) pourrait être remis en cause par de nouvelles contraintes sur chacune de ces ressources. Le principal enjeu est l'eau potable (éocène et oligocène) mais avec des implications sur l'industrie (éocène) et l'agriculture (plioquaternaire).

Questions ouvertes :

- Quelles sont les principales évolutions à attendre sur la dynamique des nappes ?
- La cartographie des risques vis-à-vis de l'intrusion saline évoluera-t-elle sensiblement ?
- Quels sont les risques de transfert des eaux superficielles vers les eaux souterraines ou de caducité de certaines solutions de substitution initialement envisagées ou mises en oeuvre ?

3.2.4 - Les risques pour la production agricole et forestière : Evolution des pratiques et incidence sur les zones humides littorales

Une des grandes caractéristiques de l'estuaire est la présence d'un vaste espace peu urbanisé mais avec un aménagement rural où se succède d'amont en aval une forêt largement exploitée, des zones agricoles ou viticoles et des zones de marais en interface avec l'estuaire lui-même.

Questions ouvertes :

- L'évolution climatique peut elle modifier lourdement ce paysage toujours naturel ?
- Dispose-t-on de tous les indicateurs de risque climatique adaptés à ces usages spécifiques ? vents tempétueux, sécheresse pédologique, parasitologie et autres enjeux sanitaires ?
- La prévention du risque incendie doit elle évoluer et conduit elle à une autre gestion du territoire (création d'espace ouvert) ?
- La gestion du plioquaternaire dans la zone des Landes peut elle évoluer vers une meilleure maîtrise des niveaux phréatiques ?
- L'évolution climatique aura-t-elle des répercussions directes sur certains types de sol ? tassement des tourbes, réserve humique et RFU ?
- Quelles cultures en 2040 (quel vignoble, quelle forêt) ?
- Quelle incidence sur le cycle de l'eau sur des petits bassins versant alimentant les principales zones humides d'Adour Garonne ? Quelle gestion en 2040 ?

3.3 - LES ENJEUX POUR L'ECOSYSTEME

L'estuaire de la Gironde est un espace de référence européen pour le niveau d'information sur le fonctionnement écologique estuarien. Cet avantage doit être conforté et renforcé par la **création d'une plateforme partagée** sur les données écologiques. Compte tenu des implications sur des usages sensibles de l'estuaire (en particulier la pêche), le SAGE Estuaire doit être intégré dans le processus d'initiation et de valorisation des données sur l'écosystème.

Questions ouvertes :

- Peut-on établir un lien entre les évolutions de l'habitat notamment des zones humides et la dynamique des espèces dites invasives ?
- Peut-on requalifier le potentiel à moyen terme de l'estuaire notamment vis-à-vis des espèces d'intérêt halieutiques comme le CEMAGREF le propose pour les poissons migrateurs des bassins européens (thèse de Lasalle ou l'Inra pour la forêt) ?
- Comment doit on aborder les incertitudes pour une gestion écologique dynamique et non strictement conservatoire du territoire ?

3.4 - LES ENJEUX POUR LA GOUVERNANCE

Les fluctuations de la météorologie masquent au quotidien des tendances et rendent moins évidente la prise en compte anticipée des changements « annoncés ».

Questions ouvertes :

- Comment convaincre de la réalité des phénomènes en cours et organiser un dispositif de veille et d'alerte pour le territoire ?
- L'approche prospective est elle assez fiable et doit elle se substituer aux approches traditionnelles qui analysent la période historique comme une référence solide pour l'analyse des risques (inondation, sécheresse, notion d'année quinquennale, etc..) ?
- Comment travailler collectivement sur l'analyse des vulnérabilités ?
- Comment construire des indicateurs économiques du « coût / avantage » climatique ?

4 - PARTIES II: LES INDICATEURS

Dans ce chapitre nous aborderons successivement différentes familles d'indicateurs en abordant de façon systématique les questions du producteur de l'indicateur, de son contenu, de ses déclinaisons et du sens à donner par rapport aux processus d'adaptation. Cet exercice est exploratoire et peut être largement amendé.

4.1 - PRESENTATION DES INDICATEURS

Les indicateurs ont été regroupés en grande famille avec pour chacune d'elle des éléments de présentation qui sont systématisés selon le plan suivant

4.1.1 - *Nature de l'indicateur*

4.1.2 - *Producteur*

Producteur de la donnée brute ou de sa mise en perspective

4.1.3 - *Sites d'observation*

Localisation géographique pertinente pour le territoire de l'estuaire de la Gironde.

4.1.4 - *Intérêt*

Description de ce que montre l'indicateur en terme de tendance.

4.1.5 - *Déclinaison des indicateurs*

Différents indicateurs de la même famille.

4.1.6 - *Projection future*

Modalité pour établir des scénarios de projection pour l'avenir à moyen terme (2040).

4.1.7 - *Vulnérabilités particulières*

Les enjeux particulièrement concernés sur le territoire par l'évolution de l'indicateur de façon directe ou indirecte.

4.1.8 - *Encadrement administratif et adaptation*

Principales politiques publiques et outils administratifs de l'Etat ou des collectivités d'encadrement des usages vulnérables.

4.2 - NIVEAU MAREGRAPHIQUE

4.2.1 - Producteur

En France, le suivi actuel du niveau de la mer est pris en charge par le RONIM. Le réseau d'observatoires permanents du niveau de la mer qui doit couvrir les ports principaux de France métropolitaine et d'outre-mer dont la pointe de Grave (Port Autonome de Bordeaux).

Pour l'estuaire : le PAB pour la donnée brute

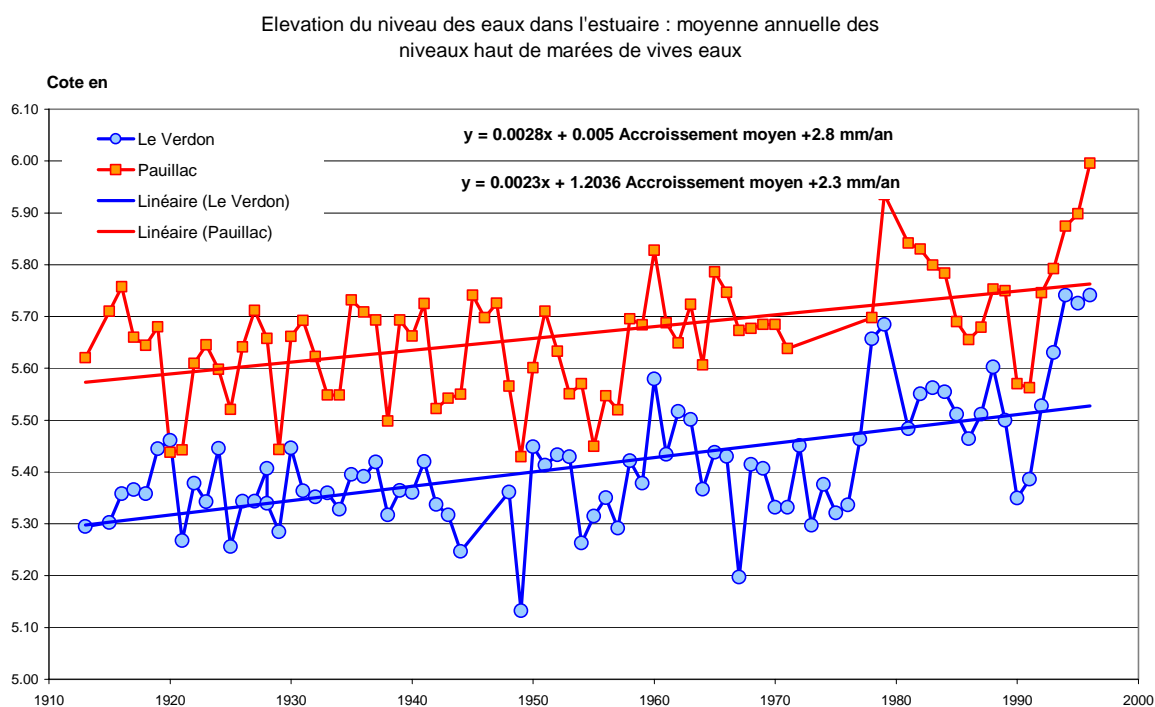
Interprétation : Université de Bordeaux jusqu'en 1996, non programmée pour le futur

4.2.2 - Sites d'observation

Marégraphes du Verdon et de Pauillac

4.2.3 - Intérêt

Un premier travail de suivi sur le long terme des altitudes moyennes de hautes mers des marées de vives eaux a été engagé par l'université de Bordeaux (professeur Tastet) sur la période 1914/1996.



Ces travaux qui ont nécessité un très gros travail de dépouillement des archives marégraphiques, montrent que la Gironde suit sensiblement la même tendance que le marégraphe de Brest avec entre 2,8 et 2,2 mm par an. Dans les dix dernières années, les marégraphes ont bénéficié d'enregistrements automatiques informatisés, ce qui devrait permettre une actualisation de cette chronique. Pour l'avenir, une réflexion sur la production et le suivi de l'indicateur doit être engagée.

4.2.4 - Projection future

Aujourd'hui projection tendancielle pour le moyen terme

Enjeux spécifiques : Accorder les observations locales aux modélisations sur l'évolution du niveau des océans.

4.2.5 - Vulnérabilités particulières

- Submersibilité des digues de protection
- Gestion des marais littoraux et incidences induites
- Salinité de l'estuaire
- Sédimentation et érosion

4.2.6 - Encadrement administratif et adaptation

- PPRI des communes soumises au risque d'inondation maritime et fluvio maritime
- Obligation d'entretien des digues
- Référentiel hydraulique
- Dérogation prélèvement d'eau +/- salée dans l'estuaire pour l'alimentation des marais
- Limite de salinité au sens de la LEMA

4.3 - TEMPERATURE ATMOSPHERIQUE

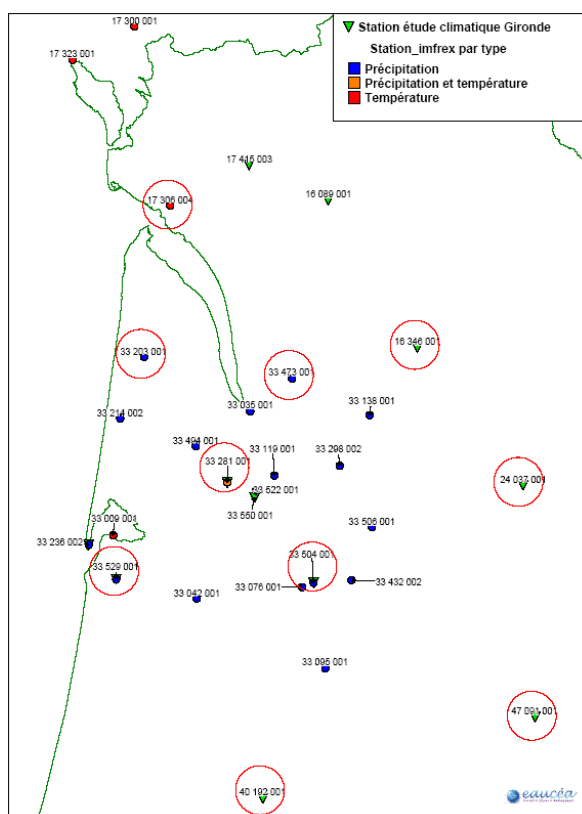
4.3.1 - Producteur

Météo France pour :

- Les séries de données mesurées avec accès possible à partir de la Climathèque.
- Séries issues de modèle permettant une distribution plus systématique de l'information (base de données Safran). Séries à valoriser pour les aspects scientifiques (scénario climatique et modèle d'impact).

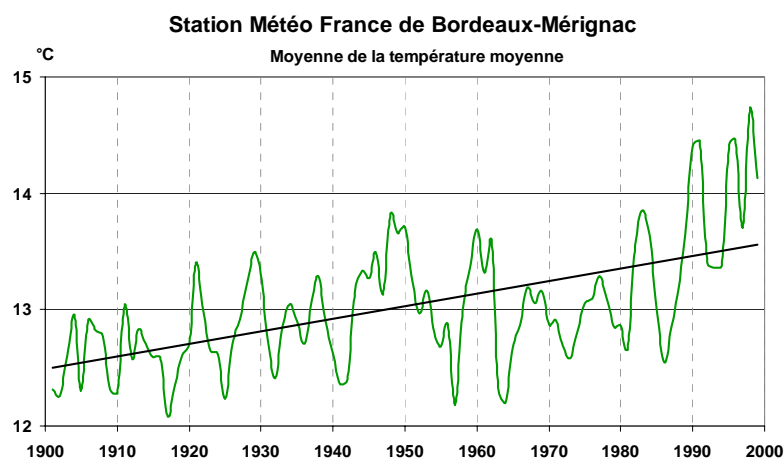
Cependant, sur le long terme il est important de valoriser des séries homogénéisées, c'est-à-dire corriger des influences liées aux évolutions des modalités de prise de données (travail assumé par Météo France). Ces séries seront à valoriser pour la communication grand public.

4.3.2 - Sites d'observation



Une dizaine de sites, avec des actualisations envisageables sur les séries homogénéisées.

Carte des stations météorologiques ayant fait l'objet d'un traitement correctif dans des études récentes



4.3.3 - Intérêt

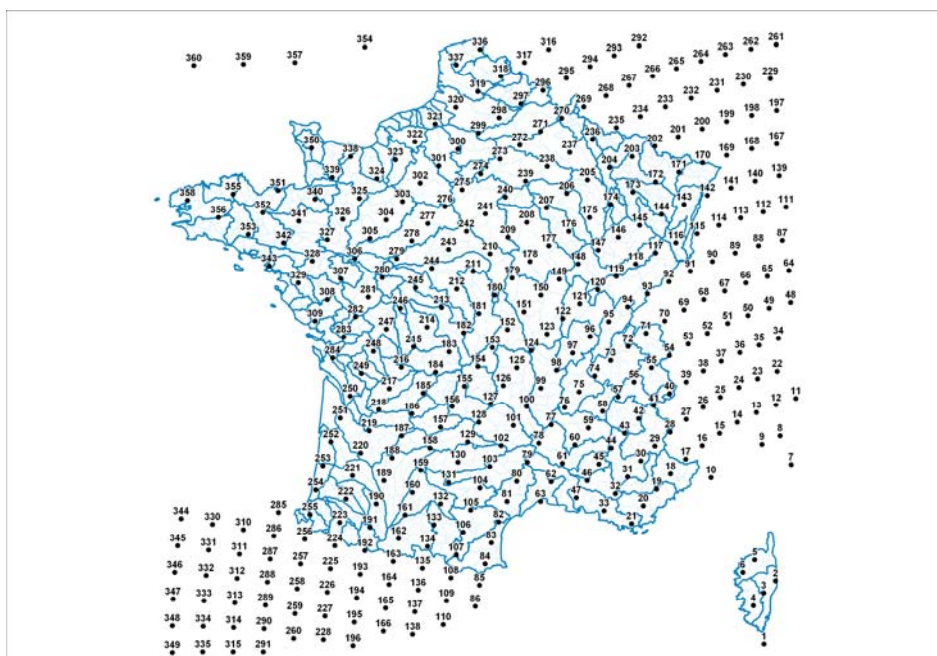
La température est le paramètre climatique qui montre le plus de signes d'une évolution tendancielle. Depuis 1950, la tendance des températures minimales moyennes annuelles est de l'ordre de + 0,26 °C par décennie. Pour les températures maximales moyennes annuelles la tendance est de l'ordre de + 0,30 °C par décennie (2,8°C par siècle). L'augmentation s'observe en réalité depuis le début du XX^{ème} siècle sur les stations de Royan et de Mérignac mais avec manifestement une accélération pour les températures maximales après les années 1950. Sur les deux stations disponibles on note des tendances séculaires différentes selon la période analysée (+1,2°C « seulement » sur la série 1900/2000). Cette accélération est en soi un phénomène très marquant et qui recoupe assez bien les analyses climatiques plus globales.

4.3.4 - Projection future

Les données prospectives mobilisées peuvent être résumées comme suit :

Pour le programme IMFREX, les données disponibles correspondent aux points de calcul repérés sur la carte ci-dessous (maillage de 50 à 60 km sur la France). Les données modélisées (36 paramètres) sont disponibles pour différents scénarios climatiques et au pas de temps journalier sur les périodes :

- Passé : Modèle _ DA9, DE3, DE4 simulations de référence sur 40 ans (1960 -> 1999).
- Futur : Scénario GIEC A2 _ Modèle DE6, DE7, DE8 scénarios sur 30 ans (2070 -> 2099).

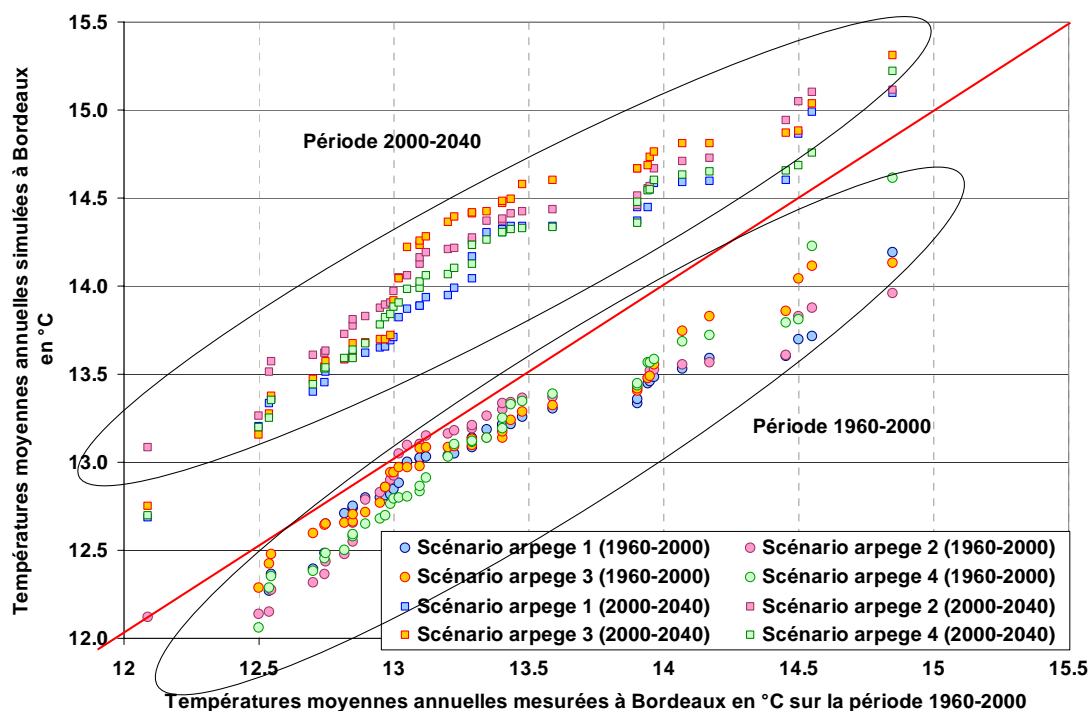


Localisation des points de calcul IMFREX

scénarii climatiques Cerfacs SCRATCH08

L'objectif des méthodes de régionalisation est d'évaluer les changements climatiques avec une distribution géographique beaucoup plus fine (maillage Safran 8 km). Cette étape est d'un grand intérêt pour l'analyse détaillée du territoire. Les chroniques proposées sont elles aussi beaucoup mieux adaptées à notre préoccupation d'une gestion prospective du court et moyen terme puisque ce sont les seules disponibles à ce jour pour traiter du champ proche couvrant la période 2000/2040.

La projection du futur (symbole carré), montre clairement un décalage vers le haut d'environ 1°C dans la période 2000-2040. C'est cette évolution relative qui est le paramètre le plus pertinent de la simulation et qui concernerait tout le périmètre.

**4.3.5 - Déclinaison des indicateurs thermiques**

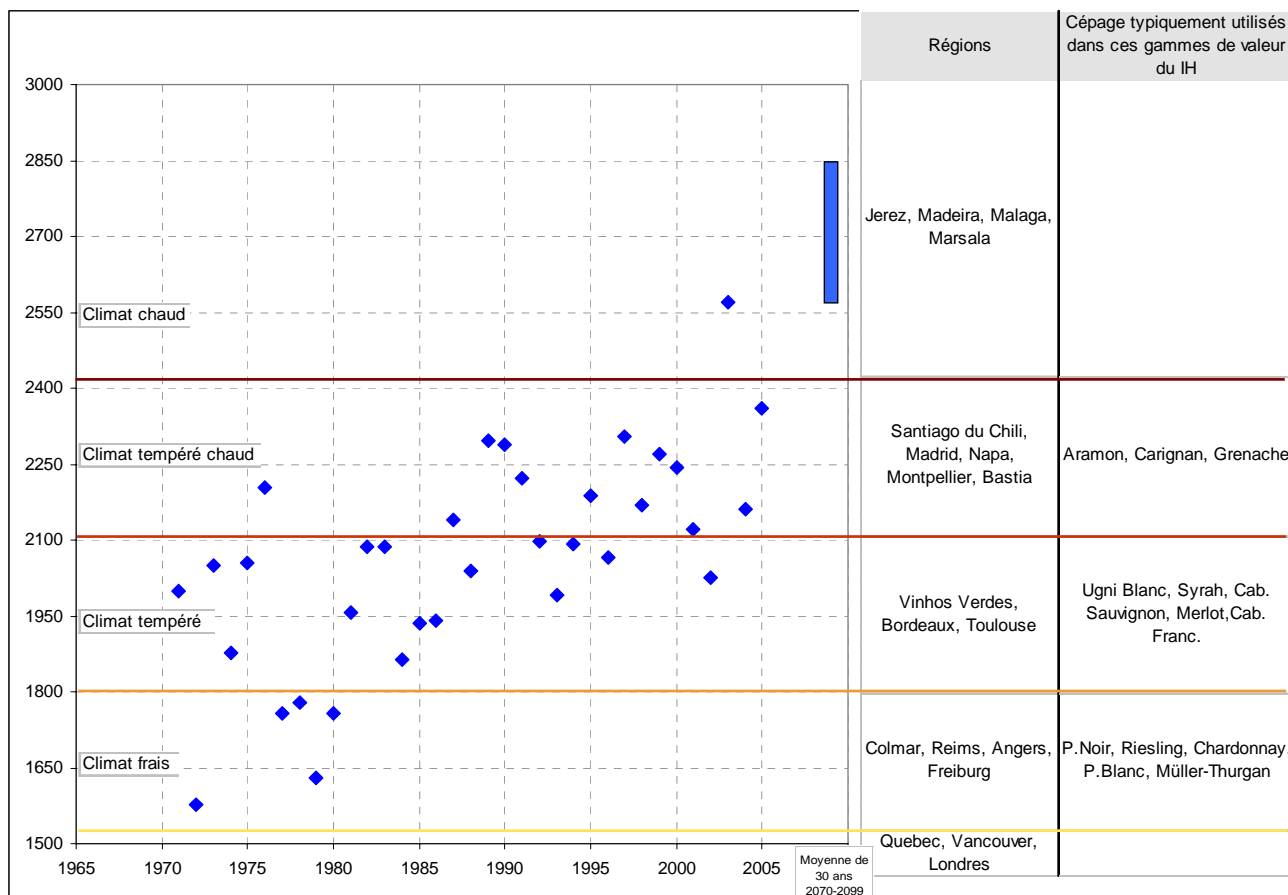
Comme pour les précipitations, nous recommandons la construction d'un indicateur synthétique agrégeant plusieurs stations avec peut être une différenciation littoral et arrière pays.

Derrière la température, c'est en fait une série de sous indicateurs qui peuvent être mobilisés :

- Température moyenne annuelle
- Nombre de jours de gel/an
- Nombre de journées estivales. Une journée est considérée comme « journée estivale » si, au cours de la journée, la température a dépassé 25° Celsius.
- Nombre d'épisodes caniculaires par an (Tmin22°C/Tmax36°C à Bordeaux)
- Nombre de jours où la température moyenne à Bordeaux dépasse 25°C
- ETP
- Indice héliothermique (IH)

Evolution de l'indice héliothermique d'Huglin (IH) pour les vignobles de Bordeaux dans le passé et dans le futur (scénario A2) (points vides avec écart type). A côté du graphique, les différentes régions qui se trouvent actuellement dans chaque climat (toujours défini selon l'indice IH) et les cépages qui sont cultivés traditionnellement.

(Illustration adaptée d'Iñaki Garcia de Cortazar Atauri)



4.3.6 - Vulnérabilités particulières

- Enjeux sanitaires population humaine
- Enjeux agronomiques : vernalisation, excès thermique et demande en eau des cultures et de la forêt
- Typicité des vins
- Calendrier agricole (semis, vendange, récolte)
- Tourisme
- Incendie (?)

4.3.7 - Encadrement administratif et adaptation

- La veille saisonnière pour la canicule, activée du 1^{er} juin au 31 août.

4.4 - PRECIPITATIONS

4.4.1 - Producteur

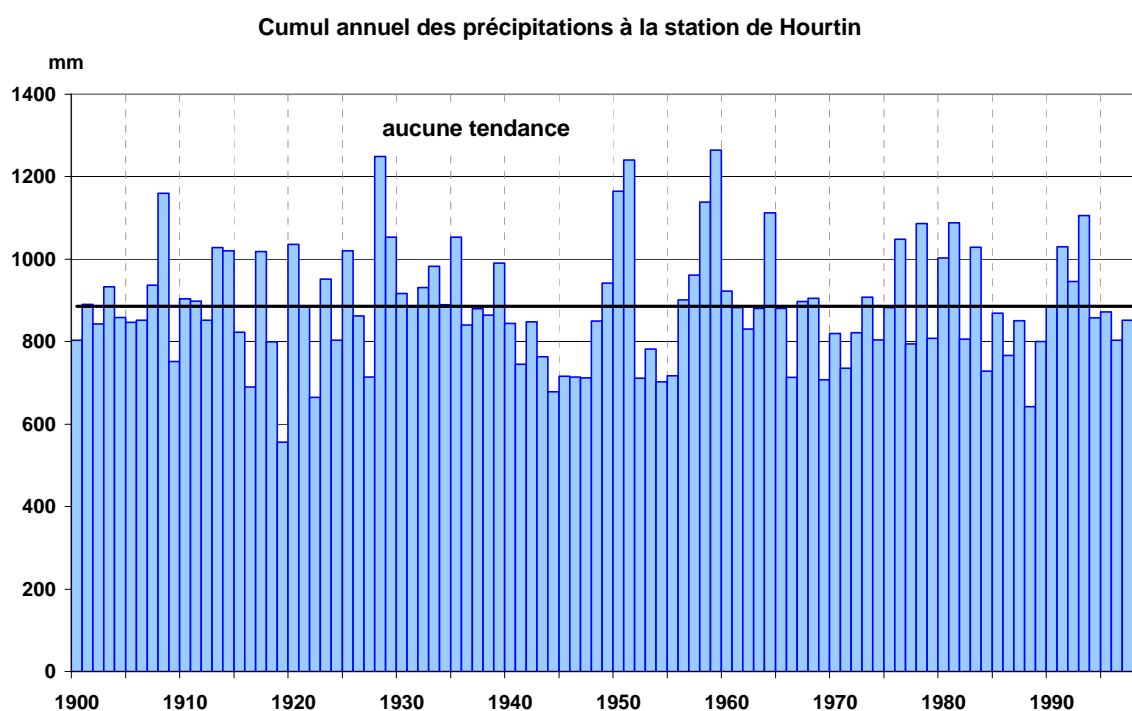
Météo France.

4.4.2 - Sites d'observation

Les mêmes que pour la température mais avec une variabilité plus grande des données.

4.4.3 - Intérêt

Les précipitations moyennes annuelles ne montrent aucune tendance significative. Les principaux enjeux sont sur la variabilité saisonnière et sur l'évolution des extrêmes.



4.4.4 - Déclinaison des indicateurs précipitation

Les indicateurs sont tous ceux que l'on peut construire sur la base de données journalières. Nous reprenons ici les codifications présentées en annexe du projet européen STARDEX.

Comme pour la température, nous recommandons la construction d'un indicateur synthétique agrégeant plusieurs stations avec peut être une différenciation littoral et arrière pays.

- Précipitations annuelles et par saison, cumul en mm
- Fraction des précipitations au-dessus du 90ème centile annuel
- Précipitation moyenne les jours pluvieux, mm/jour
- Nombre de jours avec plus de 10mm de précipitations (tendance sur les événements forts)
- Précipitation maximale sur 5 jours consécutifs, mm
Max(P5) où P5 est le cumul de précipitations sur 5 jours consécutifs

- Nombre maximum de jours secs consécutifs
Max (Lsec) où Lsec est le nombre de jours consécutifs avec $P < 1$ mm qui précèdent le jour courant
- Nombre maximum de jours pluvieux consécutifs
Max (Lpluvieux) où Lpluvieux est le nombre de jours consécutifs avec $P > 1$ mm qui précèdent le jour courant
 - ✦ Pour les pluies les plus intenses sur de courtes durées, il serait intéressant de pouvoir accéder aux statistiques de pluies instantanées qui servent à construire les courbes Intensité Durée Fréquence (coefficient de Montana). Remarquons cependant que les données sur les pluies décennales (à forte valeur prescriptive pour la gestion des eaux pluviales urbaines) sont par définition entachées d'une incertitude importante due au fait que la période d'observation est alors du même ordre de grandeur que la période de retour de la pluie.
Nous recommandons une étude spécifique sur ce paramètre.
 - ✦ Nombre d'arrêtés de catastrophe naturelle au titre des crues fluviales

4.4.5 - Projection future

Les mêmes outils de simulation que pour la température.

Les projections sur les valeurs saisonnières ne montrent pas d'évolution majeure.

Les projections sur les valeurs extrêmes sont aujourd'hui trop incertaines et ne permettent pas de définir une évolution du risque de crues ou de ruissellement en milieu urbain.

Contrairement à une idée reçue, rien ne permet aujourd'hui de statuer sur l'évolution de ce paramètre, critique pour la gestion du territoire.

4.4.6 - Vulnérabilités particulières

En l'absence de tendance claire sur le plan des précipitations, aucune vulnérabilité aggravée ou nouvelle ne semble devoir être signalée.

En revanche, le croisement avec les évolutions thermiques aura des répercussions sensibles sur les enjeux hydrologiques.

4.4.7 - Encadrement administratif et adaptation

- Les PPRI des communes soumises au risque de crue fluvial (essentiellement les petits bassins versants et les grandes agglomérations).

4.5 - TEMPETES

4.5.1 - Producteur

La qualification des tempêtes est issue de l'observation de variables climatiques telles que la force du vent, la pression atmosphérique.

A ce jour, il n'existe pas d'observatoire des tempêtes produisant des indicateurs spécifiques. Des études nationales ont établi des constats mais sans qu'une actualisation ne soit explicitement prévue.

Néanmoins, après chaque événement majeur, leur description fait généralement l'objet d'un rapport de synthèse de la part de Météo France.

Le SPC de Rochefort appuyé par le Service Central d'Hydrométéorologie et d'Appui à la Prévision des Inondations (SCHAPI) enregistre et analyse les principaux phénomènes à risque de débordement largement déterminé par le vent (force et direction) et la pression atmosphérique.

L'ONF (?) pour l'estimation des dégâts forestiers.

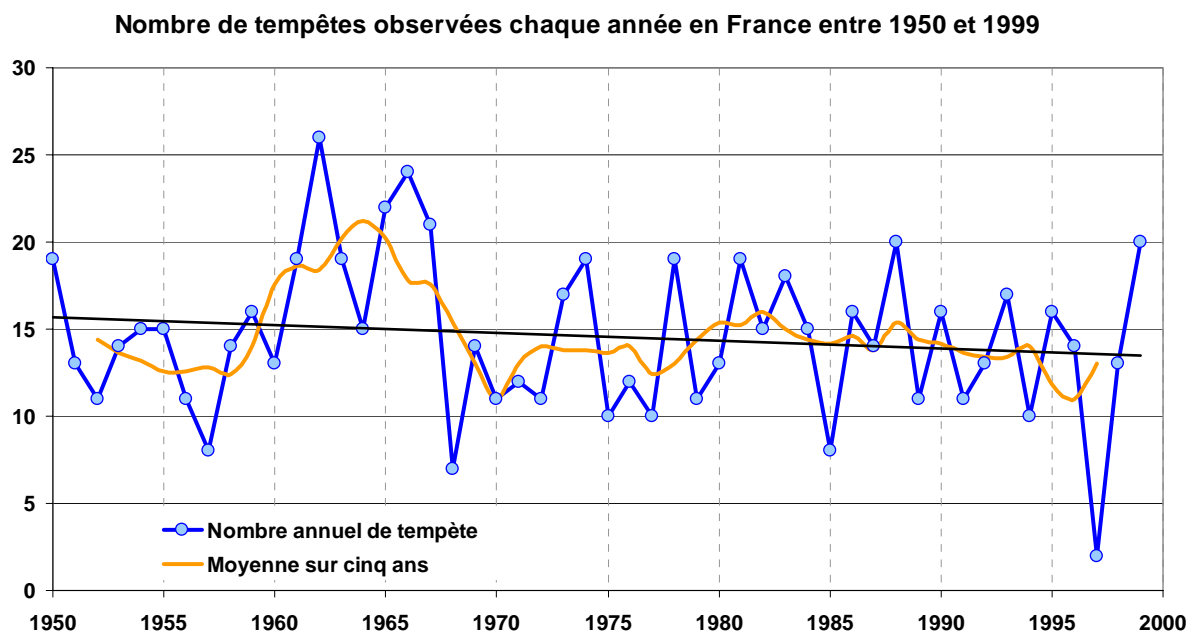
Le Ministère de l'Intérieur pour les arrêtés Catnat.

4.5.2 - Sites d'observation:

Les phénomènes sont souvent généralisés (à l'exception des tornades ?). Les dépressions atmosphériques doivent être analysées aussi sur le golfe de Gascogne en raison des incidences lourdes sur le niveau des eaux estuariennes.

4.5.3 - Intérêt

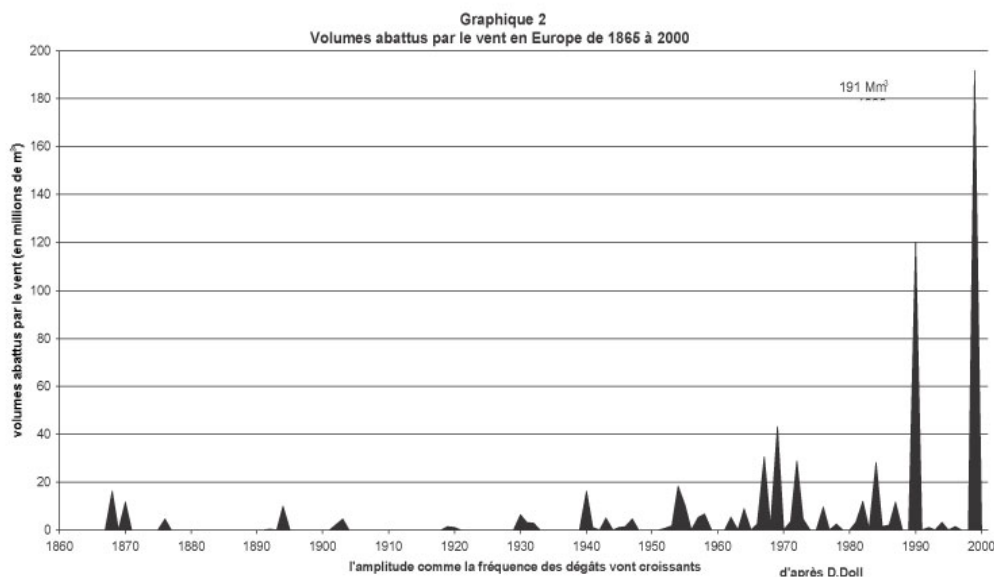
Aucune tendance ne se dégage dans les études de référence.



4.5.4 - Déclinaison des indicateurs tempêtes

Les indicateurs pertinents devront être précisés par une étude spécifique. A priori :

- Force du vent
- Pression atmosphérique
- Durée de l'événement
- Précipitations associées
- Nombre d'arrêtés de catastrophe naturelle
- Surface inondée
- Chablis associé



4.5.5 - Projection future

Sur le plan prospectif, il subsiste de nombreuses incertitudes.

« Le réchauffement du climat ne semble donc pas avoir de conséquences considérables sur le nombre de tempêtes touchant la France. Les tempêtes se trouvent dans une petite sous-population des dépressions à la fois intenses et rapides... . Dès lors qu'un régime (de dépression) atteint des durées anormales de persistance, des anomalies de la ressource hydrique apparaissent: des crues dans les zones visitées, une prédisposition à la sécheresse dans les zones désertées.

Les résultats obtenus indiquent :

- une augmentation faible, à modérée, du risque de tempêtes dans la moitié nord de la France ;
- aucune variation décelable de ce risque dans la moitié sud ;

Météo-France GAME et CERFACS 2005».

4.5.6 - *Vulnérabilités particulières*

- Habitat
- Infrastructure de communication et transport (route, câble, etc..) et effets induits
- Inondation maritime
- Erosion du trait de côte
- Chablis (en 1999, 120 000 hectares détruits sur le massif forestier avec un paroxysme sur le Médoc).

4.5.7 - *Encadrement administratif et adaptation*

- PPRI, DICRIM et le Plan Communal de Sauvegarde
- Référentiel hydraulique et SPC
- Politique de gestion du réseau de drain en zone de marais (SAGE)
- Réglementation forestière et gestion post tempête

4.6 - HYDROLOGIE FLUVIALE GARONNE DORDOGNE

4.6.1 - Producteur

DIREN ou futur gestionnaire du réseau hydrométrique.

4.6.2 - Sites d'observation

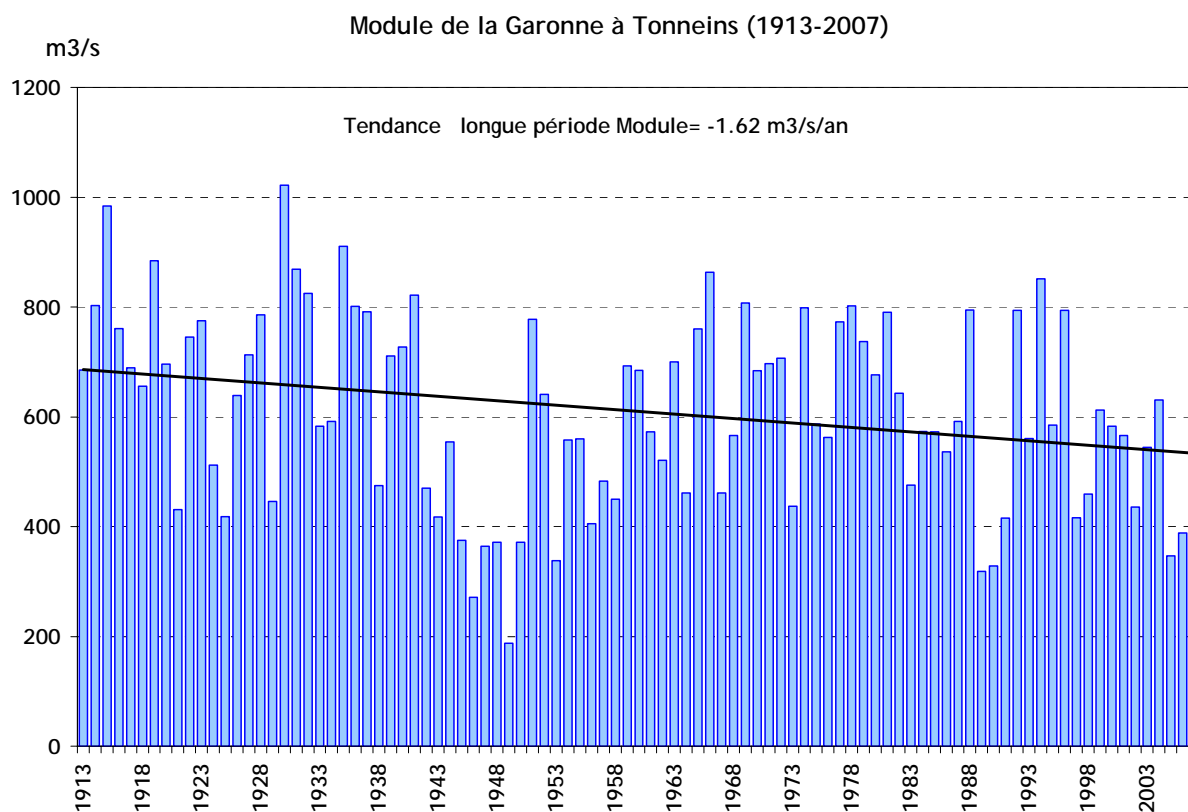
Les points nodaux visés par le SDAGE ou les PGE en amont de l'estuaire

Rivière	Station
Garonne	Tonneins
Dordogne	Gardonne
Isle	Abzac
Dronne	Coutras

4.6.3 - Intérêt

Toutes ces stations montrent des tendances contrastées mais importantes :

- Un module en réduction donc moins d'eau douce dans l'estuaire
- Des étiages plus précoces et plus intenses sur la Garonne très impactée par l'aménagement du grand bassin versant (irrigation, hydroélectricité et soutien d'étiage) et par l'évolution du régime nival Pyrénéen.
- Des maxima annuels en réduction en particulier sur la Dordogne très impactée par l'aménagement hydroélectrique avec des conséquences sur la dynamique du bouchon vaseux.



4.6.4 - Déclinaison des indicateurs

Indicateur hydrologique

Pour chaque station et pour le cumul des apports:

- Module annuel (m³/s)
- Régime : Témoin synthétique de l'hydrologie Pyrénéenne (Ariège, Salat, Garonne, Neste)

Etiage

- Date de franchissement des DOE
- VCN10 annuel
- Déficit volumique/DOE (hm³)

Hautes eaux et Crue

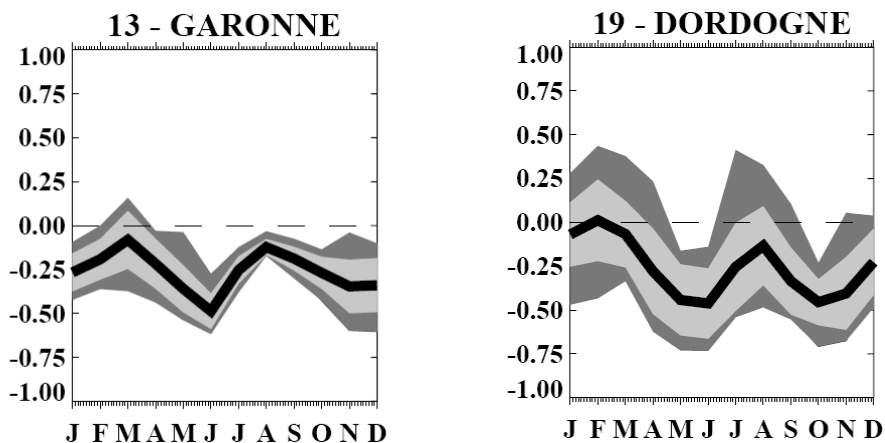
- Maxima annuel
- Nombre de jour où le cumul Garonne + Dordogne > 2000 m³/s (expulsion du bouchon vaseux).
- Indicateurs d'usage impactant
- Evolution des surfaces irriguées sur le bassin
- Evolution des volumes de soutien d'étiage estivaux

4.6.5 - Projection future

Les projections nécessitent des travaux d'analyse, croisant hydrologie naturelle reconstituée et évolution des usages.

Les données actuelles permettent une description tendancielle des facteurs du régime mais sont encore trop incertaines en étiage (notamment sur l'aspect usage) pour permettre une analyse fiable des projections.

Nous recommandons un travail de synthèse à l'échelle du bassin Adour Garonne.



4.6.6 - Vulnérabilités particulières

Tout l'écosystème aquatique estuarien est potentiellement concerné par une modification hydrologique sur au moins trois paramètres : Salinité, crue et étiage, sédimentation. Les incidences sur les activités humaines concernent en conséquence

- La gestion des rejets organiques dans l'estuaire
- La gestion des prélèvements d'eau douce agricoles et industriels
- L'exploitation des ressources halieutiques
- La gestion sédimentaire du chenal

4.6.7 - Encadrement administratif et adaptation

- Les Plans de Gestion des Etiages des bassins versants directs Garonne, Dordogne, Isle Dronne et indirects (Neste, Tarn, Lot, Dropt)
- La directive ERU et le SAGE estuaire
- Les arrêtés d'autorisation de gestion du chenal (PAB)
- Le SAGE nappes profondes (transfert de ressource)

4.7 - RESSOURCE EN EAU DOUCE DANS LE PERIMETRE

4.7.1 - Producteur

DIREN et collectivité locale (CG33, SMIDDEST) pour les eaux superficielles
La banque de donnée ADES (BRGM) et le SMEGREG pour les eaux souterraines.

4.7.2 - Sites d'observation:

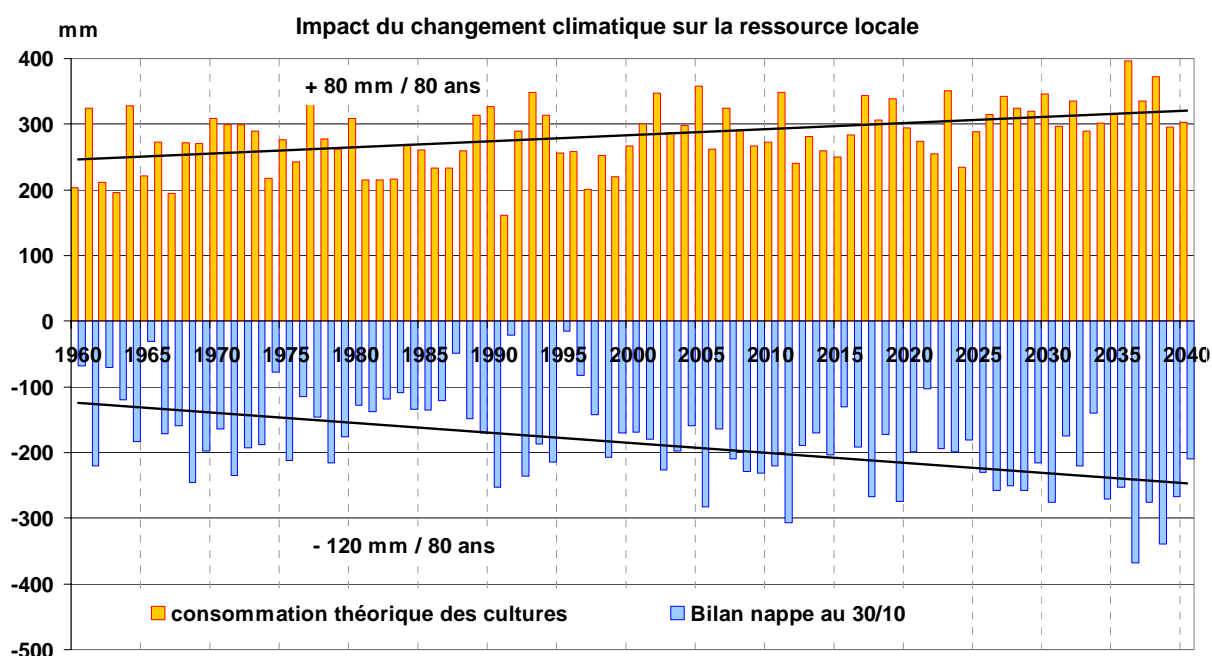
Quelques cours d'eau témoin (Jalle de Ludon aujourd'hui) ainsi que différents piézomètres distribués sur le territoire.

4.7.3 - Intérêt

Les petits cours d'eau et les nappes souterraines sont largement dépendants de la recharge annuelle et des usages préleveurs. Ces deux paramètres sont directement impactés par le régime des précipitations (tendance peu sensible) mais surtout par l'évolution de la demande climatique (tendance très marquée).

La gestion de l'occupation du sol et en particulier les pratiques agro forestières (drainage et irrigation) jouent un rôle déterminant sur le régime des eaux de la principale nappe superficielle (plio-quaternaire). Les autres nappes dites profondes intéressent principalement l'eau potable. Le principal enjeu est la résolution des conflits d'usages et du partage de la ressource.

Les émergences de nappes (sources) et les petits cours d'eau sont le principal moteur du fonctionnement des zones humides (marais littoraux, lagunes, cours d'eau). Toute modification du régime a des conséquences induites fortes.



4.7.4 - Déclinaison des indicateurs

- Les indicateurs du SAGE Nappe Profonde
- Un indicateur synthétique du fonctionnement des nappes Charentaises
- Un indicateur synthétique du fonctionnement des nappes Plioquaternaires
- Les variables hydrologiques (module, VCN10, débit max annuels) des petits cours d'eau.

4.7.5 - Projection future

Les modèles d'impacts sont particulièrement complexes à mettre en œuvre en raison d'un contexte hydrogéologique déterminant et complexe (modèle multicouche aquitain et son homologue Poitevin), et d'une structuration hydrographique très récente dans les zones de sable fortement impactées par les pratiques (crastes).

Une thèse est engagée sur un bassin versant landais mais externe au périmètre d'étude + travaux du SAGE sur la gestion des niveaux en marais.

4.7.6 - Vulnérabilités particulières

- Les prélèvements en eau potable et industrielle
- Les prélèvements d'irrigation
- La forêt
- Le fonctionnement hydraulique des zones humides

4.7.7 - Encadrement administratif et adaptation

- Le SAGE estuaire de la Gironde et milieux associés
- Le SAGE Nappes profondes en Gironde
- La gestion des prélèvements (organisme unique)
- Les arrêtés de restriction

4.8 - PHYSICO CHIMIE DES EAUX

4.8.1 - Producteur

Le réseau Agence de l'eau pour les eaux fluviales

Le réseau Magest et le réseau Somlit pour les eaux estuariennes et littorales

EDF

IRD/LEGOS pour l'atlantique

4.8.2 - Sites d'observation

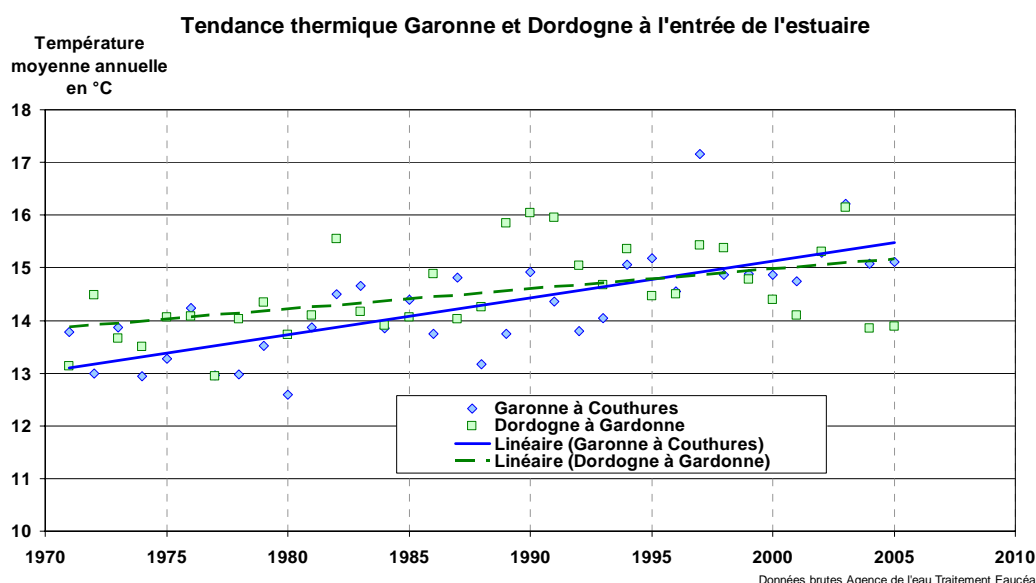
Tous les points de mesures des réseaux de référence plus le cas échéant des observations sur l'Atlantique.

4.8.3 - Intérêt

Salinité et Ph sont des indicateurs intéressants avec une tendance à la remontée de la salinité dans l'estuaire lié à la baisse des apports d'eau douce, à l'augmentation du niveau océanique et à l'augmentation de la salinité côtière (l'indépendance de ce paramètre avec l'hydrologie continentale devrait être confirmée).

La température des eaux est étroitement corrélée avec la température atmosphérique. Ce paramètre se prête aisément à la modélisation.

Tous les enregistrements confirment la réalité du réchauffement de l'hydrosystème dans les mêmes proportions que le réchauffement atmosphérique.



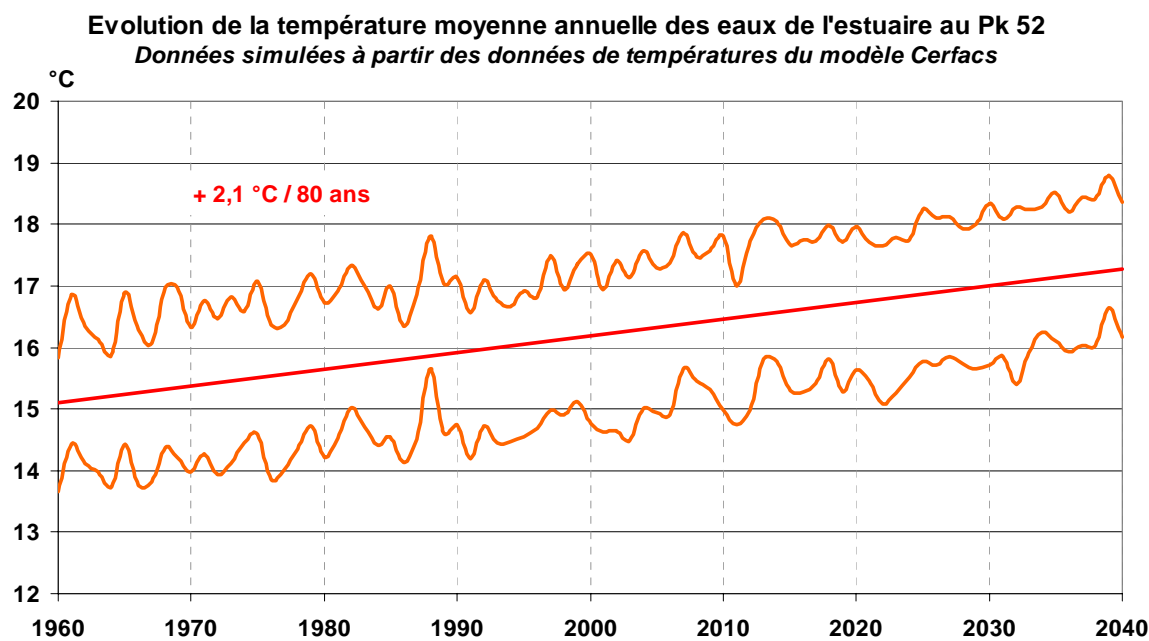
4.8.4 - Déclinaison des indicateurs

- Température moyenne, min et max annuelles
 - Indicateur synthétique pour l'estuaire (à construire).
- Indicateur de salinité (à construire)
 - conductivité ?
 - teneur en Chlorure ?
 - position du front de salinité
 - Autres indicateurs

4.8.5 - Projection future

Compte tenu de la forte relation entre température des eaux et la température atmosphérique, des corrélations permettent de simuler les tendances lourdes pour ce paramètre. Il conviendra cependant de s'assurer du poids de l'intrusion marine dans la dynamique spécifique à chaque point de mesure.

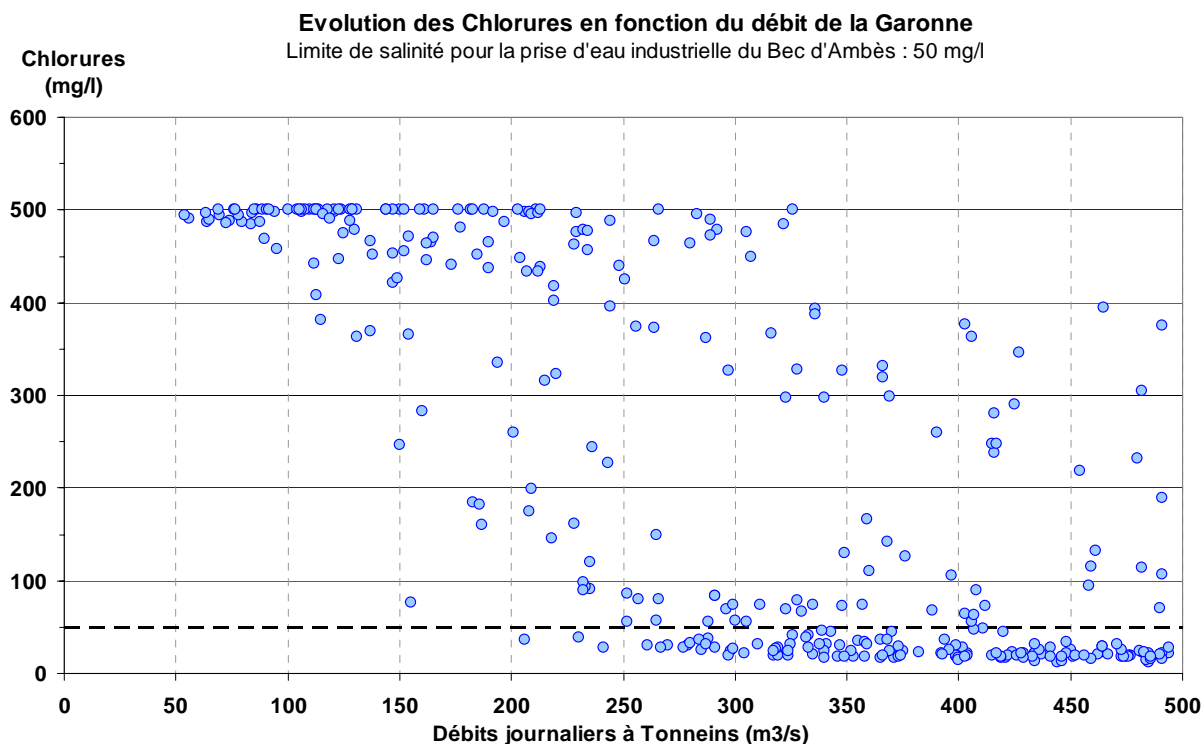
Pour la salinité une modélisation est possible avec les outils de simulation Siam 3D.



4.8.6 - Vulnérabilités particulières

L'écosystème est fortement conditionné par le régime thermique. Ces liens et les projections potentielles ne sont que partiellement compris et explicités. La compréhension des règles de fonctionnement de l'écosystème estuarien est d'une grande complexité. Il s'agit d'un thème de recherche majeur qui détermine non seulement les tendances lourdes des systèmes mais dont on attend aussi des pistes d'adaptation. La pêche fluvio-estuarienne est donc très largement concernée.

Pour la ressource en eau potable les prélèvements de substitution à Ambes paraissent le principal enjeu industriel hors énergie.



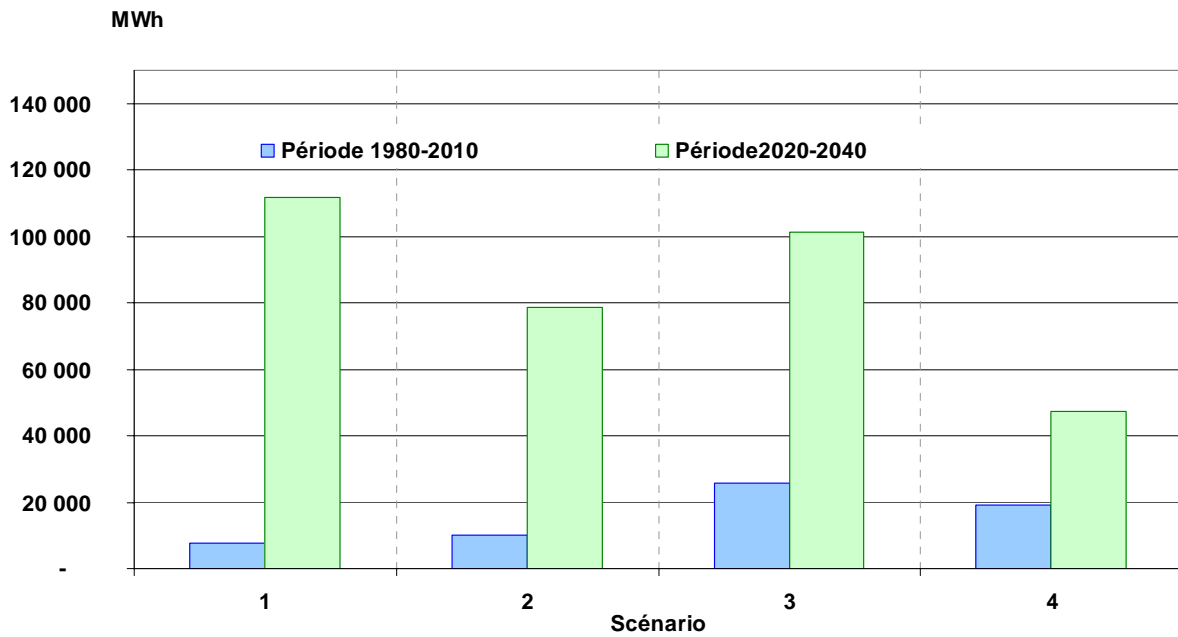
Pour l'agriculture, c'est la gestion des niveaux d'eau dans les marais qui pourrait pâtir d'une réduction des périodes favorables à l'entrée d'eau estuarienne.

Pour la production d'énergie à la centrale nucléaire du Blayais la contrainte thermique se traduit par une adaptation de la production, pour éviter le dépassement des seuils réglementaires pour le rejet, soit 30°C du 16 octobre au 14 mai et à 36,5°C du 15 mai au 15 octobre. Les 4 tranches de 925 MW à pleine puissance génèrent une augmentation de la température du rejet d'environ 10°C. Pour un fonctionnement à pleine puissance la température maximale de l'estuaire en amont de la prise d'eau ne doit pas dépasser :

- 30°C-10 °C = 20°C du 16 octobre au 14 mai,
- 36,5°C-10 °C = 26,5°C du 15 mai au 15 octobre.

Pour chaque degré supérieur de la température de l'estuaire la puissance maximale doit être réduite d'environ 370 MW (92,5 MW par tranche).

Perte potentielle de production annuelle moyenne pour les quatre scénarii pour les périodes 1980-2010 et 2020-2040



4.8.7 - Encadrement administratif et adaptation

- Arrêtés d'autorisation de rejet thermique et gestion des dérogations.
- Arrêtés de prélèvement d'eau estuarienne et Sage estuaire
- Sage nappe Profondes

4.9 - ECOSYSTEME

4.9.1 - Producteur

Les observatoires et centres de recherches sont les principaux fournisseurs de données longue période sur le fonctionnement de l'écosystème.

COGEPOMI

Ifremer

Cemagref

ONF ou CRPF pour les indicateurs forestiers

ONCFS

4.9.2 - Sites d'observation

Localisation géographique pertinente pour le territoire de l'estuaire de la Gironde.

Site d'observation des migrations d'oiseaux au Verdon par exemple.

4.9.3 - Intérêt

Si les tendances sur l'écosystème montrent des dynamiques parfois catastrophiques (écroulement des populations d'anguilles ou d'aloses par exemple) le lien avec les paramètres « climatiques » sont parfois très indirects (incidence sur les débits par exemple) ou marginaux par rapport aux pressions anthropiques qui s'exercent sur les milieux ou les espèces.

L'introduction d'espèces est aussi à l'origine de modification de l'écosystème. Les changements climatiques peuvent favoriser des espèces jusque là inadaptées aux conditions locales.

Les politiques de gestion de l'écosystème doivent distinguer une part conservation et une phase plus prospective d'accompagnement des changements globaux.

La part relative des pressions anthropiques maîtrisables sur le territoire, le grand bassin versant et le littoral, doit être identifiée pour appuyer ces politiques.

4.9.4 - Déclinaison des indicateurs

Inventaire : présence absence

Date de migration

Abondance spécifique

Carnet de pêche

Suivi Cemagref

Le PLAGEPOMI propose un tableau de synthèse sur une série d'indicateurs sur l'état des populations de migrateurs amphihalins, des pressions et les tendances associées

4.9.5 - Projection future

Les modèles de dynamique des populations ou associant des conditions à des populations adaptées sont en cours de développement pour les poissons migrateurs et les essences forestières.

En revanche, du point de vue de la LPO, il est encore trop tôt pour évaluer l'impact du réchauffement climatique sur les oiseaux migrateurs et donc a fortiori pour projeter des conséquences à court et moyen terme.

4.9.6 - Vulnérabilités particulières

- La biodiversité
- Le tourisme vert
- La pêche
- La chasse

4.9.7 - Encadrement administratif et adaptation

- Règle de gestion du COGEPOMI
- Sage estuaire Pour l'écosystème, les mesures de réduction de tous les handicaps, autres que climatiques, sont une voie explorée dans le Sage et plus généralement dans toutes les politiques concernant les poissons migrateurs.
- Réglementation chasse et pêche

Annexe

Détails sur le calcul des indices climatiques

Les indices retenus ici sont une sélection des indices du projet européen [STARDEX](#) repris sur le site Imfrex

Les indices sont calculés séparément pour chaque année ou chaque saison, et ensuite moyennés sur le nombre d'années disponibles. Chaque fois qu'on fait référence à la normale d'une variable, il s'agit de la moyenne sur les 5 jours du calendrier autour de cette date et les 30 ans de la période de référence du modèle correspondant.

Dans la suite $\langle \rangle$ désignera la somme des valeurs du terme entre crochets sur la période (saison ou année) et $1(\)$ un indice qui vaut 1 si la condition entre parenthèses est réalisée, 0 sinon. A titre d'exemple $\langle 1 \rangle$ représente le nombre de jours de la période.

On note P les précipitations quotidiennes en mm, Tn la température minimale diurne, Tx la température maximale, Tm la température moyenne, c'est-à-dire $(Tn+Tx)/2$. Les températures sont exprimées en °C. On notera le nième centile de la variable X (P, Tn ou Tx) sous la forme Xqn. Ce centile est défini par $\langle 1(X < Xqn) \rangle / \langle 1 \rangle = n / 100$

pav	Précipitations moyennes, mm/jour $\langle P \rangle / \langle 1 \rangle$
pfl90	Fraction des précipitations au-dessus du 90ème centile annuel $\langle P * 1(P > Pq90) \rangle / \langle P \rangle$
pint	Précipitation moyenne les jours pluvieux, mm/jour $\langle P * 1(P > 1) \rangle / \langle 1(P > 1) \rangle$
pn10mm	Nombre de jours avec plus de 10mm de précipitations $\langle 1(P > 10) \rangle$
px5d	Précipitation maximale sur 5 jours consécutifs, mm Max(P5) où P5 est le cumul de précipitations sur 5 jours consécutifs
pxcdd	Nombre maximum de jours secs consécutifs Max(Lsec) où Lsec est le nombre de jours consécutifs avec $P < 1$ qui précèdent le jour courant
pxcwd	Nombre maximum de jours pluvieux consécutifs Max(Lpluvieux) où Lpluvieux est le nombre de jours consécutifs avec $P > 1$ qui précèdent le jour courant
tav	Température moyenne, °C $\langle Tm \rangle / \langle 1 \rangle$
tiaetr	Ecart maximum de température, °C Max(Tx) - Min(Tn)
tnav	Température minimale diurne moyenne, °C $\langle Tn \rangle / \langle 1 \rangle$
tncwd	Nombre de jours moyen d'une période froide $\langle 1(Tn = \text{froid}) \rangle$ où Tn=froid veut dire Tn inférieur de plus de 5°C à la

	normale dans une séquence de plus de 5 jours consécutifs
tnfd	Nombre de jours de gel < 1(Tn<0) >
tnq10	10ème centile de la température minimale diurne, °C Tnq10
tnq90	90ème centile de la température minimale diurne, °C Tnq90
trav	Amplitude diurne moyenne de température, °C < Tx-Tn > / < 1 >
txav	Température maximale diurne moyenne, °C < Tx > / < 1 >
txhwd	Nombre de jours moyen d'une période chaude < 1(Tx=chaud) > où Tx=chaud veut dire Tx supérieur de plus de 5°C à la normale dans une séquence de plus de 5 jours consécutifs
txq10	10ème centile de la température maximale diurne, °C Txq10
txq90	90ème centile de la température maximale diurne, °C Txq90