



Méthodologie générale, choix et justification des scénarios et des hypothèses

Juin 2011

SOMMAIRE

RESUME	4
1. CONTEXTE	6
1.1. CHANGEMENT CLIMATIQUE ET ADAPTATION	6
1.2. UN PROJET POUR REpondre AUX ENJEUX DE L'ADAPTATION	7
1.3. LES OBJECTIFS DU DOCUMENT	7
1.4. LA STRUCTURE DU DOCUMENT	9
2. LE PROJET EXPLORE 2070	10
2.1. LES OBJECTIFS DU PROJET	10
2.2. LE SYSTEME TERRE ETUDIE	11
2.3. LE CADRE D'EVALUATION	12
2.4. LE TRAITEMENT DES INCERTITUDES	13
3. METHODOLOGIE GENERALE	14
3.1. LE SYSTEME TERRE APPREHENDED PAR LES LOTS THEMATIQUES	14
3.2. L'INTERACTION DES SOUS-SYSTEMES ET LES ETAPES CLES DU PROJET	16
3.3. UNE DEMARCHE D'INTEGRATION BASEE SUR LE DEVELOPPEMENT D'UN MODELE SYSTEMIQUE INTEGRATEUR	18
4. SCENARIOS, HYPOTHESES DE TRAVAIL ET JUSTIFICATION	23
4.1. POURQUOI LA FRANCE ENTIERE ET L'HORIZON DE 2070 ?	23
4.1.1. UN ETUDE COUVRANT LA FRANCE ENTIERE	23
4.1.2. LE CHOIX DE L'HORIZON 2070	24
4.2. QUELS SCENARIOS CHOISIS POUR LES CHANGEMENTS GLOBAUX ?	25
4.2.1. LE CHOIX DES SCENARIOS CLIMATIQUES	25
4.2.2. LE CHOIX DES SCENARIOS DE REMONTEE DU NIVEAU MARIN	27
4.2.3. LE CHOIX DES SCENARIO ANTHROPIQUES ET HYPOTHESES ASSOCIEES	27
4.3. PRINCIPALES HYPOTHESES DE TRAVAIL ET JUSTIFICATION	29

5.	LES PRINCIPALES INNOVATIONS DU PROJET EXPLORE 2070	33
5.1.	UNE APPROCHE SYSTEMIQUE	33
5.2.	UNE INTEGRATION DES DISCIPLINES ET DES CONNAISSANCES	34
5.3.	APPREHENDER LES DIFFERENTES THEMATIQUES ENVIRONNEMENTALES DE LA GESTION DE L'EAU	35
5.4.	UNE APPROCHE INNOVANTE DE LA « SPATIALITE »	36
5.5.	ABORDER UNE LARGE DIVERSITE D' ACTIONS D' ADAPTATION	36



RESUME

Le **projet Explore 2070** s'inscrit dans la logique de développement et de mise à disposition de connaissances en appui au développement de stratégies d'adaptation à différentes échelles spatiales et de décision.

- Ce projet analyse les **effets, impacts, risques et coûts** selon des axes **humain, socio-économique, environnemental et patrimonial** associés à différents futurs possibles à l'horizon **2050-2070** ;
- Il analyse en différentes phases successives les impacts, risques et coûts associés 1) au **changement climatique**, 2) aux **évolutions anthropiques** tendancielle et 3) à la mise en œuvre de **stratégies alternatives d'adaptation** ;
- Il donne la priorité à quatre questions clés qui concernent 1) la **confrontation offre-demande** en eau, 2) les **risques côtiers**, 3) les risques liés aux **événements extrêmes**, et 4) la vulnérabilité des **écosystèmes aquatiques**.

Différents scénarios tendanciels ont été choisis par le projet Explore 2070 comme base de ces évaluations. En particulier :

- **Un scénario médian d'émission de gaz à effet de serre**, le scénario **A1B** du GIEC;
- **Un scénario de remontée du niveau marin**, l'élévation du niveau marin serait de l'ordre de **25cm en 2050** et de **45cm en 2070** par rapport aux niveaux de 2010 ;
- **Deux scénarios d'évolution anthropique** (démographiques et socio-économiques) fondés sur des hypothèses contrastées au regard des niveaux de densification de l'urbanisation.

Pour aborder d'une manière opérationnelle la complexité du système étudié, le projet Explore 2070 propose des **hypothèses simplificatrices** permettant de prioriser les processus biophysiques et décisionnels ainsi que les rétroactions entre les processus à prendre en compte. En particulier :

- **Hypothèse 1** – Les **rétroactions entre les activités anthropiques** (en particulier les émissions de gaz à effet de serre) **et le climat** sont considérées comme étant **négligeables** à l'échelle du territoire français (y compris DOM).
- **Hypothèse 2** – L'évaluation des effets du changement climatique sur les écoulements de surface inclut l'**hypothèse d'une gestion inchangée des ouvrages de stockage**.
- **Hypothèse 3** – Le **transport sédimentaire** dans le réseau hydrographique est **négligé**.
- **Hypothèse 4** – Les **rétroactions** possibles entre les modifications des **écosystèmes aquatiques** d'une part et les **secteurs socio-économiques** et pressions associées, d'autre part, sont considérées négligeables et ne sont pas prises en compte.
- **Hypothèse 5** – L'évolution des superficies des **zones humides** n'est pas prise en compte pour modéliser le régime hydrologique des cours d'eau.
- **Hypothèse 6** – L'évolution des **biseaux salés** sur les zones littorales est négligée, leurs importance et conséquences étant jugées négligeables aux échelles d'analyses et de restitution du projet Explore 2070.

Au regard des expériences récentes ou en cours développées dans le domaine de l'adaptation au changement climatique en France mais également en Europe, le projet Explore 2070 est clairement innovant en particulier en ce qui concerne :

- la mise en œuvre d'une **analyse systémique** permettant de combiner un nombre jamais atteint de thématiques pour traiter de la question de l'adaptation ;
- l'intégration de disciplines et de connaissances par le développement d'un **modèle systémique intégrateur** ;
- la prise en compte **de toutes les grandes thématiques environnementales** du domaine de l'eau (quantité, pollution mais également **écologie et biodiversité**) ;
- la **couverture spatiale** des analyses et résultats (la métropole et les DOMs) et la priorité donnée à la restitution de résultats à l'échelle nationale complétée par des restitutions aux échelles **régionale**, de **bassin versant** et **grand bassin hydrographique** et de **grandes agglomérations**.

1. CONTEXTE

1.1. CHANGEMENT CLIMATIQUE ET ADAPTATION

Depuis quelques années, l'évolution du climat et les **impacts du changement climatique** sur les systèmes naturels et humains font l'objet de nombreux travaux qui alimentent les réflexions scientifiques et politiques, dans l'optique de développer des stratégies d'adaptation pour y faire face. Les résultats les plus récents¹ prévoient que des températures plus élevées et des changements dans les conditions météorologiques extrêmes affecteront notamment la fréquence et la distribution des précipitations, la couverture neigeuse, le niveau des mers, les ressources et la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines. La nature de ces changements et l'importance vitale des enjeux qu'ils affectent font de l'eau le vecteur par lequel le changement climatique impacte les écosystèmes terrestres et les systèmes humains.

Pour faire face aux enjeux du changement climatique, deux stratégies complémentaires émergent : **l'atténuation** consistant à réduire le déséquilibre du bilan d'émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère et **l'adaptation** visant à ajuster les systèmes naturels ou humains en réponse aux stimuli climatiques (réels ou attendus ou à leurs effets) dans le but d'en diminuer les dommages ou de tirer parti de leurs aspects positifs².

L'enjeu de l'adaptation se décline pour tous les secteurs socio-économiques à différentes échelles spatiales et temporelles et ce, dans des contextes variés. Il nécessite d'appréhender

¹ GIEC, 2007 : Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Équipe de rédaction principale, Pachauri, R.K. et Reisinger, A. (publié sous la direction de~)]. GIEC, Genève, Suisse, ..., 103 pages.

GIEC (2008), Bates, B. C., Z. W. Kundzewicz, S. Wu et J. P. Palutikof, (2008), Le changement climatique et l'eau, document technique publié par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Secrétariat du GIEC, Genève, 236 p.
Alcamo, J.; Flörke, M; Märker, M. (2007). Future long-term changes in global water resources driven by socio-economic and climatic changes. *Hydrological Sciences Journal*, 52(2), 247-275

² Définition extraite du glossaire du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), 2007. Résumé technique in : Bilan 2007 des changements climatiques : Impacts, adaptation et vulnérabilité. Contribution du Groupe de travail II au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden et C.E. Hanson, (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, NY, E.-U.

une diversité de problématiques concernant la maîtrise des risques (ex. sécheresse), le maintien d'activités (ex. agriculture irriguée, production hydroélectrique), la protection des milieux naturels (ex. milieux aquatiques) ou l'aménagement du territoire (ex. l'adaptation des espaces côtiers face au risque de submersion temporaire). Globalement, appréhender la question de l'adaptation nécessite une bonne **connaissance de la diversité spatiale et temporelle du changement climatique et de ses impacts sur les territoires étudiés.**

1.2. UN PROJET POUR REpondre AUX ENJEUX DE L'ADAPTATION

En France, le Gouvernement a adopté en 2006 une **stratégie d'adaptation nationale** à partir des recommandations de l'Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (ONERC). Son premier Plan National d'Adaptation (PNA) est également en préparation et sera validé en 2011, conformément à la loi Grenelle 1. A l'échelle des Régions, l'enjeu de l'adaptation est pris en compte par le Schéma Régional Climat Air Energie (SRCAE) également en cours de préparation. Les stratégies élaborées dans le cadre de ces SRCAE sont ensuite traduites à l'échelle locale (pays, communautés d'agglomération, etc.), en particulier par l'élaboration et la mise en œuvre de Plans Climat Energie Territoriaux (PCET) qui intègrent un volet spécifique « adaptation au changement climatique ».

Le **projet Explore 2070** s'inscrit dans cette logique de développement, de renforcement et de mise à disposition de connaissances favorisant le développement de stratégies pertinentes et efficaces pour appréhender les enjeux du changement climatique et de l'adaptation à différentes échelles spatiales et de décision. Ce projet qui fait partie intégrante du PNA aborde spécifiquement les effets, impacts et risques humains, socio-économiques, environnementaux et patrimoniaux de changements globaux tels le changement climatique, les évolutions anthropiques et la mise en œuvre de stratégies d'adaptation.

1.3. LES OBJECTIFS DU DOCUMENT

L'objectif principal de ce document est de présenter la **méthodologie générale** élaborée et mise en œuvre dans le cadre du projet Explore 2070 pour **évaluer les impacts humains, socio-économiques, environnementaux et patrimoniaux** de changements globaux **climatiques et anthropiques** et de **stratégies d'adaptation** au changement climatique.

Le document précise en particulier :

- La **méthodologie commune** mise en œuvre par l'ensemble des partenaires du projet pour appréhender successivement les **impacts, risques et coûts associés à différents futurs possibles** correspondant au changement climatique, aux évolutions anthropiques tendanciennes ainsi qu'à différentes stratégies d'adaptation ;
- Les étapes et mécanismes proposés pour **assurer la cohérence** des différentes approches et outils disciplinaires et thématiques mobilisés **ainsi que l'intégration** des résultats obtenus dans le cadre d'un modèle systémique intégrateur permettant d'alimenter un cadre commun d'évaluation;
- Les principales **hypothèses** élaborées pour : 1) d'une part, argumenter le **choix des échelles spatiales et temporelles** de restitution ; 2) d'autre part, choisir des **visions futures globales contrastées** (les scénarios) par rapport auxquelles des stratégies d'adaptation choisies seront évaluées ; et enfin 3) aborder la **complexité des processus décisionnels et biophysiques** relevant de l'impact social, économique, environnemental et patrimonial de changement globaux et de stratégies d'adaptation et traduire cette complexité d'une manière opérationnelle et gérable ;
- Les principales **innovations méthodologiques** proposées par le projet Explore 2070, son caractère innovant étant évalué au regard des expériences récentes ou en cours développées dans ce domaine en France mais également à l'échelle européenne³. Une attention particulière sera ainsi apportée aux éléments suivants considérés comme innovants : 1) l'**approche systémique** mise en œuvre ; 2) l'intégration effective de disciplines et de connaissances organisée au sein du projet en particulier par le développement d'un **modèle systémique intégrateur** ; 3) la prise en compte des **différentes thématiques environnementales** (quantité, pollution mais également **écologie et biodiversité**) ; 4) les **échelles temporelles** abordées ; 5) la **couverture spatiale** proposée et l'analyse de la **diversité spatiale** ; 6) L'évaluation systématique au sein d'un cadre d'évaluation cohérent d'une **diversité d'actions et de stratégies d'adaptation**.

³ Les principales expériences sont présentées et discutées dans le livrable du projet Explore 2070 « Synthèse bibliographique intégration, analyse systémique et stratégies d'adaptation ».

1.4. LA STRUCTURE DU DOCUMENT

Pour répondre à ces objectifs, le document est structuré de la manière suivante :

- Le chapitre 2 résume les **objectifs du projet fixé par le** ministère ainsi que les résultats attendus ;
- Le chapitre 3 présente **la méthodologie et la démarche d'intégration** utilisées pour assurer la convergence des travaux disciplinaires et structurer, intégrer et synthétiser les résultats produits pour élaborer de réponses pertinentes concernant l'impact potentiel de changements globaux et de stratégies d'adaptation ;
- Le chapitre 4 présente les **principales hypothèses** de travail sur lesquelles s'appuie le projet pour assurer son opérationnalité
- Le chapitre 5 souligne les principales **innovations** du projet Explore 2070. .

2. LE PROJET EXPLORE 2070

2.1. LES OBJECTIFS DU PROJET

L'objectif principal du projet Explore 2070 est d'évaluer, pour la France entière (Métropole et DOM), les **impacts humains, sociaux, économiques, environnementaux et patrimoniaux** 1) des **changements globaux climatiques et anthropiques** et 2) de **stratégies d'adaptation**.

Le projet produira des connaissances nouvelles permettant d'appréhender en priorité quatre **questions-clé** :

- La **confrontation offre-demande en eau** et les risques liés à une non-satisfaction de la demande en eau des principaux usages - y compris de la demande écologique pour assurer le bon fonctionnement des écosystèmes aquatiques ;
- Les **risques côtiers** liés en particulier aux problèmes d'érosion du trait de côte et de submersion temporaire (tempêtes) ou permanente (remontée du niveau marin) ;
- Les **risques** liés aux principaux **événements extrêmes** que sont les canicules, sécheresses, crues, tempêtes et cyclones ;
- La **vulnérabilité des écosystèmes aquatiques** face aux évolutions anthropiques et climatiques futures et aux impacts directs et indirects qui en découleront.

Explore 2070 abordera les **enjeux d'adaptation** pour ces 4 questions-clé, en particulier :

- Le **choix de mesures d'adaptation pertinentes** permettant de limiter, réduire ou gérer à un niveau acceptable les risques résultants des changements globaux climatique et anthropique ;
- Les enjeux de **mise en œuvre opérationnelle** de mesures et stratégies d'adaptation en particulier en ce qui concerne leur calendrier de mise en œuvre, leur financement, leur maîtrise d'œuvre, etc. ;
- Les **enjeux économiques** (coûts induits, coûts évités, etc.) liés aux stratégies

d'adaptation permettant d'éclairer les futures décisions politiques d'adaptation à différentes échelles (nationale, régionale, bassin versant...).

2.2. LE SYSTEME TERRE ETUDIE

Pour répondre à ses objectifs, le projet Explore 2070 analyse les différents processus biophysiques et décisionnels du système « Terre » qu'il subdivise en trois sous-systèmes en interaction (voir Figure 1 ci-dessous) : le système physique, le système des écosystèmes aquatiques et le système humain⁴ ou anthropique.

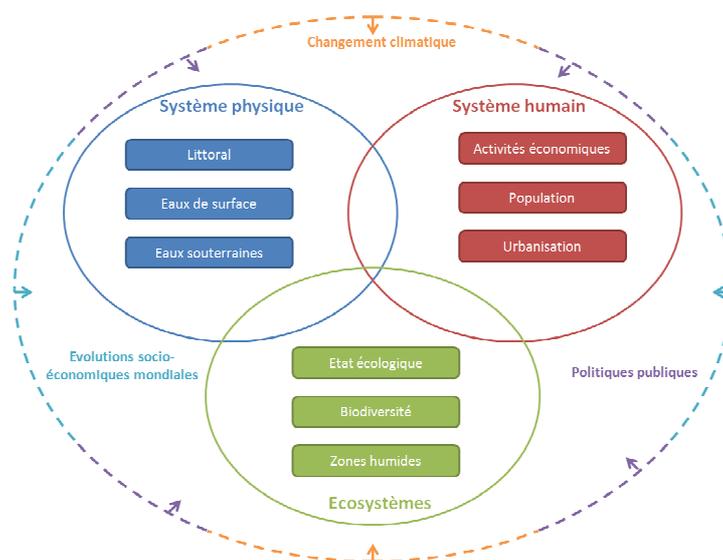


Figure 1 : La représentation systémique simplifiée du système « Terre », objet d'étude du projet Explore 2070

Il étudie l'évolution du système Terre sous l'impulsion du changement climatique et de changements anthropiques globaux, évaluant en particulier :

- Les **effets** directs sur le système physique (hydrologie/écoulements de l'eau dans le grand cycle de l'eau, flux sédimentaires...);
- Les **impacts** (directs et indirects) sur les systèmes biologique (habitats, diversité spécifique, espèces emblématiques, biens et services écosystémiques...) et humain (production de valeur économique, emploi...);

⁴ Voir le paragraphe 5.1 sur l'approche systémique mise en œuvre par le projet.

- Les **risques structurels**⁵ et **conjoncturels**⁶ résultant du croisement entre impacts et enjeux prioritaires sociaux, économiques, environnementaux et patrimoniaux.
- Les **coûts**⁷ associés à ces risques.

2.3. LE CADRE D'ÉVALUATION

La comparaison des risques et des coûts estimés pour différentes situations (état actuel pris comme situation de référence, scénarios de changement climatique et anthropique, stratégies d'adaptation – voir Figure 2) permettra d'estimer l'impact attendu des changements globaux et d'évaluer les **risques et coûts résiduels** résultant de la mise en œuvre de stratégies d'adaptation choisies. Ces résultats alimenteront des analyses coûts-bénéfices permettant de **prioriser les stratégies d'adaptation proposées** et d'évaluer leur pertinence.

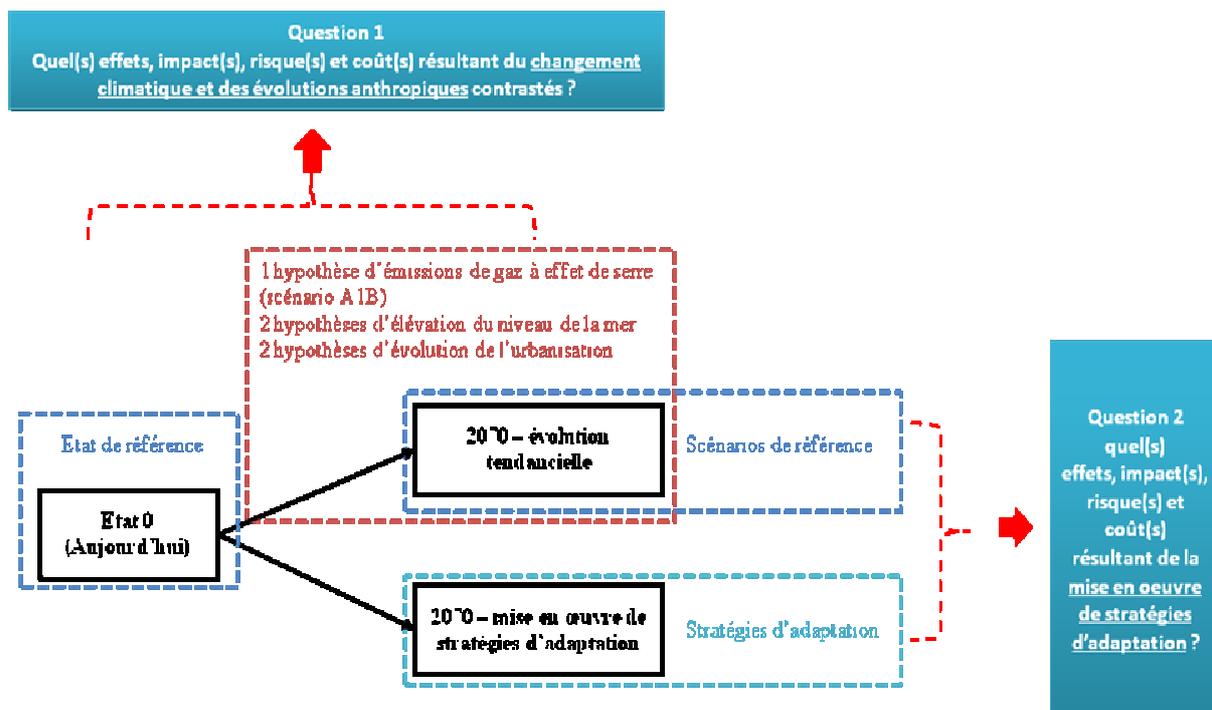


Figure 2 : Quel(s) impact(s) de changement globaux (climatiques et anthropiques) et de stratégies d'adaptation ? Les évaluations au sein d'Explore 2070

⁵ Liés en particulier à une inadéquation durable entre les ressources en eau disponibles et la demande en eau à satisfaire, ou plus généralement la non-satisfaction d'un enjeu et objectif prédéfini.

⁶ Inhérents aux aléas climatiques et aux événements extrêmes.

⁷ Ou « perte nette » imposée à la société dans son ensemble.

Les résultats obtenus seront présentés sous forme de tableaux de bord d'indicateurs présentant la diversité des enjeux considérés, de cartes soulignant la diversité spatiale des résultats obtenus ou de diagrammes et visuels schématisant les résultats pour une compréhension facilitée. Ces résultats seront produits :

- En ce qui concerne l'**échelle temporelle** : pour la situation actuelle (considérée comme référence) et pour celle de 2070⁸ ;
- En ce qui concerne l'**échelle spatiale** : pour **l'ensemble du territoire métropolitain et des DOMs**, ainsi que pour des échelles spatiales intermédiaires de restitution telles que les **bassins versants** et les **grands bassins hydrographiques, les régions administratives** et les **principales agglomérations françaises**⁹.

2.4. LE TRAITEMENT DES INCERTITUDES

Au regard de la complexité des processus biophysiques et décisionnels abordés par le projet et des enjeux politiques concernant les questions du climat et de l'adaptation, Explore 2070 apportera une attention particulière à la robustesse des résultats et à l'incertitude. Pour chaque type de résultats et indicateur estimé, les principales sources d'incertitude seront décrites et leur ordre de grandeur évalué (en représentant par exemple des fourchettes de valeurs¹⁰ ou en précisant le niveau d'incertitude définis d'une manière qualitative).

⁸ Des résultats intermédiaires pour les périodes 2030 et 2050 seront également produits, principalement pour les indicateurs socio-économiques.

⁹ Ces échelles de restitution pourront varier selon les questions clé considérées, l'ensemble des résultats pour les 4 questions clés étant cependant systématiquement produits pour l'ensemble du territoire métropolitain et pour les DOMs.

¹⁰ Alternativement, une moyenne et écart type ou un intervalle de confiance associée à une certaine probabilité (seuil de signification).

3. METHODOLOGIE GENERALE

3.1. LE SYSTEME TERRE APPREHENDED PAR LES LOTS THEMATIQUES

Pour appréhender les principaux processus biophysiques et décisionnels du système « Terre » et développer des outils et méthodes robustes permettant d'évaluer les effets et impacts attendus de changement globaux et de stratégies d'adaptation, le projet Explore 2070 s'est structurés en cinq lots thématiques disciplinaires. Sont ainsi abordés en priorité :

Pour le sous-système physique :

- **Le climat** : A partir d'un scénario d'émission de gaz à effet de serre, il s'agit de modéliser le climat futur, et d'évaluer les changements attendus sur la pluviométrie, les températures de l'air, les périodes de retour d'évènements extrêmes, etc. Différents modèles régionaux seront utilisés pour appréhender l'incertitude méthodologique liée au choix de modèles climatiques régionaux particuliers.
- **L'hydrologie de surface** : En s'appuyant sur les données climatiques, les experts de ce lot proposeront et décriront dans un premier temps les scénarios climatiques futurs du projet. Ils étudieront ensuite les effets du climat sur l'hydrologie superficielle en mobilisant différents modèles hydrologiques. Ces modèles produiront des données quantitatives assorties d'incertitudes localisés en différents points dispersés sur le territoire national, ces données permettront en particulier de quantifier l'offre en eau future (volumes disponibles, probabilité d'occurrence d'évènements hydrologiques définis, etc.) pour les principaux bassins versants du territoire¹¹. Ce lot contribuera également à l'analyse des enjeux de température de l'eau et de qualité pouvant impacter l'état des écosystèmes aquatiques.
- **L'hydrologie souterraine** : ce lot est en charge de fournir des données de débits entrant et sortant des réservoirs d'eau souterraine ainsi que leurs niveaux piézométriques (actuels et futurs sous différents scénarios de changement climatique et anthropique). Utilisant des modèles de simulation développés pour les principales nappes françaises (modélisation des flux et niveaux d'eau), ce lot contribuera également à la connaissance des débits des cours d'eau (alimentés en partie par les nappes) ainsi qu'à l'état futur des principales

¹¹ Une centaine de bassins versants seront ainsi différenciés et étudiés.

zones humides dépendantes du niveau piézométrique des nappes). Ce lot estimera également la recharge des nappes qui pourra être confrontée aux prélèvements des usages de l'eau dans les aquifères pour évaluer leur risque de surexploitations.

- **Le littoral** : à partir d'un processus mobilisant des experts, les experts de ce lot fourniront des informations sur la vulnérabilité des zones littorales au changement climatique. La méthode proposée utilise des données sur la montée du niveau marin (submersion permanente ou temporaire suite à des évènements extrêmes), l'érosion et le déplacement du trait de côte pour produire des indicateurs de vulnérabilité au changement climatique agrégés et spatialisés.

Pour le sous-système « écosystèmes » :

- **La Biodiversité** : les experts du lot biodiversité sont en charge de l'évaluation des impacts des changements globaux sur les écosystèmes aquatiques et sur la biodiversité. Leur méthode « à dire d'experts » appréhendera la vulnérabilité globale des écosystèmes aquatiques et son évolution au regard de changements climatique, hydrologiques, anthropiques... Une attention particulière sera apportée aux menaces pesant sur des espèces emblématiques (en particulier les principales populations piscicoles), des habitats spécifiques, les migrations d'espèces dans les cours d'eau, et l'état des zones humides ainsi que des biens et services qu'elles fournissent. Une attention particulière sera également apportée aux espèces invasives et à leurs zones d'extension.

Pour le sous-système « humain » :

- **La socio-économie et la prospective** : ce lot est en en charge de l'élaboration des scénarios démographiques et socioéconomiques du projet Explore 2070. Utilisant des modèles statistiques et spatialisés, ils fourniront des données démographiques, d'occupation des sols (urbanisation, forêt, agriculture, etc.), socio-économiques et de pressions des différents secteurs économiques sur la ressource en eau (prélèvements et rejets polluants pour l'agriculture, l'industrie, l'adduction d'eau potable, le secteur énergétique, etc.). Ces résultats seront fournis à l'échelle de la région administrative et à différentes échelles temporelles¹² pour traduire les différents indicateurs de risque et de vulnérabilité en coûts et indicateurs socio-économiques.

¹² Aujourd'hui, 2030, 2050 & 2070

3.2. L'INTERACTION DES SOUS-SYSTEMES ET LES ETAPES CLES DU PROJET

Le projet Explore 2070 est structuré en un nombre d'étapes successives nécessitant une interaction forte entre tous les lots thématiques. Cette interaction traduit l'interdépendance des sous-systèmes étudiés et représente l'effort d'intégration entre les travaux des lots thématiques. Ainsi, le projet le projet s'attachant à analyser :

- Etape 1 - Des **futurs tendanciels** à l'horizon 2050-2070 **sans changement climatique et avec changements globaux anthropiques**. Ces futurs possibles permettent de disposer d'un scénario d'évolution en climat constant pour mieux mettre en relief par la suite les implications du changement climatique sur le système anthropique.
- Etape 2 - Des **futurs tendanciels** à l'horizon 2050-2070 **avec changement climatique et changements globaux anthropiques**, ces futurs étant analysés dans un premier temps d'une de manière séparée puis combinées. Ces futurs tendanciels possibles sont ainsi comparés à l'état actuel pour quantifier les impacts, risques et coûts associés au changement climatique et aux changements anthropiques ;
- Etape 3 - Des **stratégies d'adaptation** permettant de réduire voir d'éliminer les risques majeurs liés au changement climatique. La comparaison entre futurs tendanciels et stratégies d'adaptation permet ainsi d'estimer les changements d'impacts, de risques et de coûts associés qui résulteraient de la mise en œuvre de ces stratégies d'adaptation. **L'ensemble des coûts et des bénéfices** qui résulteraient de ces stratégies d'adaptation, ainsi que leur calendrier de mise en œuvre et leur financement, ces éléments permettant d'informer les décideurs des implications de choix politiques possibles dans le domaine de l'adaptation au changement climatique.

La figure suivante représente le fonctionnement général du projet Explore 2070 et les interactions entre les trois sous-systèmes étudiés. Pour chacun d'eux, on notera un état de référence dit « Etat 0 » et des états futurs soient « Etat1 », « Etat 2 » et Etat 3 » suivant le cas. La figure souligne également le chemin critique du projet représenté en rouge en couleur.

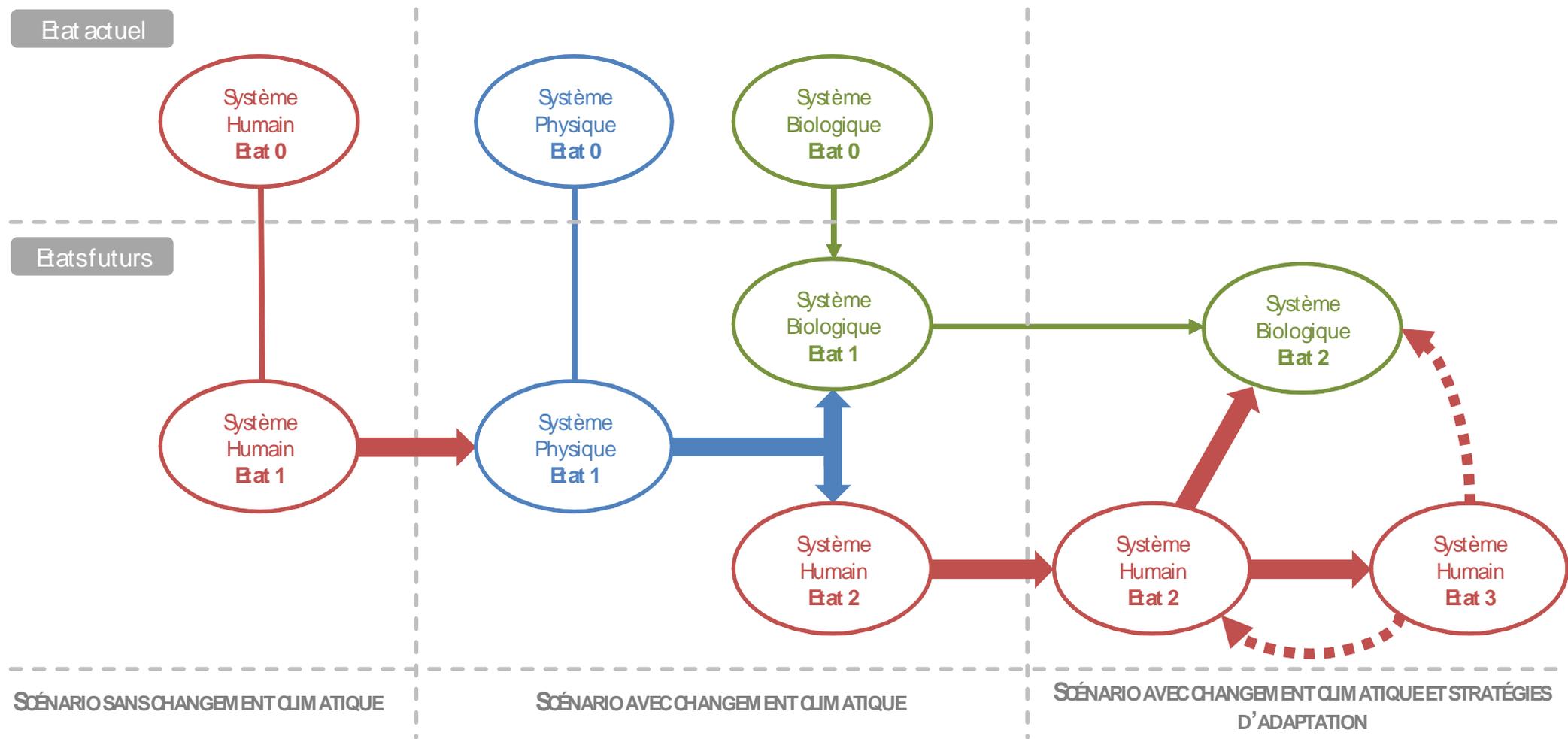


Figure 3 : Fonctionnement général du projet Explore 2070 et les interactions entre les trois sous-systèmes étudiés

3.3. UNE DEMARCHE D'INTEGRATION BASEE SUR LE DEVELOPPEMENT D'UN MODELE SYSTEMIQUE INTEGRATEUR

Pour assurer l'intégration et la cohérence entre les connaissances et résultats produits par les lots thématiques, le projet Explore 2070 développera un modèle systémique intégrateur. Ce modèle a la charge d'intégrer les données et résultats décrivant l'état et les évolutions des trois sous-systèmes, d'ordonner le croisement des impacts et des enjeux et de permettre l'élaboration et l'évaluation de stratégies d'adaptation selon les quatre axes humain, environnemental, socio-économique et patrimonial. Le schéma ci-dessous rappelle la logique d'intégration des données et résultats au sein du modèle systémique intégrateur.

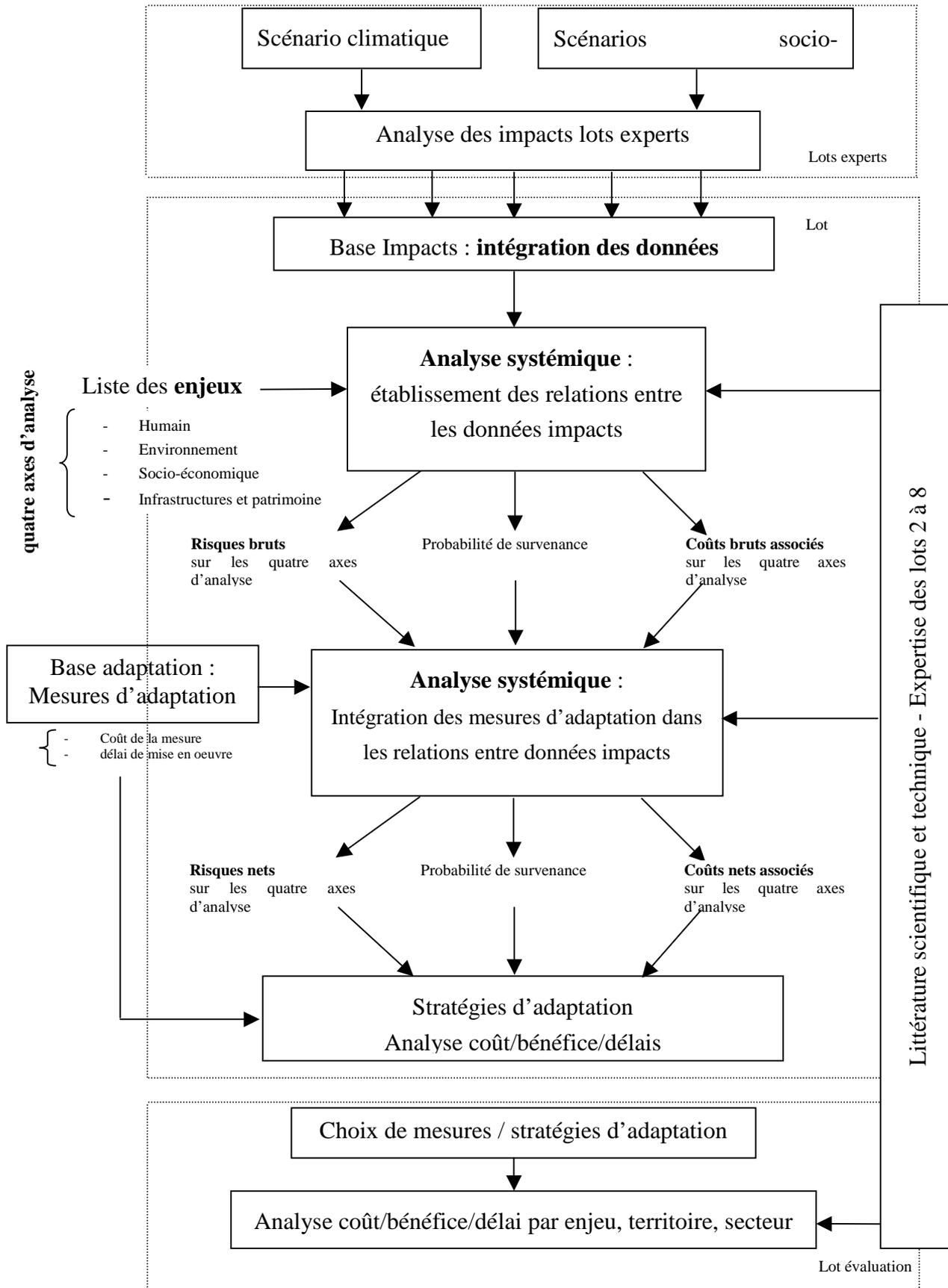


Figure 4 : Représentation du flux d'information au sein du modèle systémique intégrateur

Pour alimenter le modèle systémique intégrateur, et assurer l'intégration effective de l'ensemble des connaissances produites par les lots thématiques, différentes étapes clés seront mises en œuvre :

- Des choix d'**échelles d'interface** privilégiées pour chaque question clé permettant de combiner les données produits par différents lots thématiques pour élaborer des indicateurs de sortie permettant d'effectuer les évaluations demandées, ainsi que le développement de **protocoles robustes de changement d'échelle** pour transformer les variables et indicateurs clés produits par les lots thématiques à des échelles données en indicateurs aux échelles d'interface. Ces protocoles mobiliseront des données descriptives de la situation actuelle et de sa répartition spatiale, des rapports et documents complémentaires et des dires d'experts. Ainsi, les indicateurs de sortie de modèles de prévision socio-économiques (par exemple, la population, la valeur ajoutée d'un secteur donnée, ou les prélèvements potentiels et pollutions résultants de l'activité de ce secteur), fournis initialement à l'échelle régionale, devront être traduits en indicateurs socio-économiques et de pressions sur les milieux aquatiques à l'échelle du bassin versant pour la question clé « confrontation offre-demande ». L'élaboration de ces protocoles s'accompagnera d'efforts spécifiques pour évaluer les incertitudes attachées à ces changements d'échelle.
- Des choix d'**indicateurs intégrés** de sortie communs produits à partir des résultats de deux ou plusieurs lots combinés et intégrés dans des protocoles de calculs propres au modèle systémique intégrateur (voir ci-dessous). Par exemple pour 1) évaluer le risque de surexploitation des aquifères (confrontation recharge et prélèvements liés à des activités anthropiques) ou 2) des impacts économiques résultants de différents niveaux de vulnérabilité au regard du changement climatique (vulnérabilité littoral croisée avec la caractérisation socio-économique des activités économiques et des populations pour estimer des enjeux socio-économiques). Ces indicateurs intégrés seront structurés selon les 4 axes humain, socio-économique, environnemental et patrimonial de l'évaluation proposée par Explore 2070.
- Le développement de **protocole de calculs** permettant de combiner les données produites aux échelles d'interface par les lots thématiques pour calculer les indicateurs de restitution d'impact, de risque et de coûts suivant les 4 axes humain, socio-économique, environnemental et patrimonial. La logique de tels protocoles de calculs est présentée à titre d'illustration pour la question confrontation offre-demande dans l'encadré ci-dessous.

Encadré 1. Des protocoles de calcul permettant d'aborder la question clé confrontation offre demande

Pour aborder la question clé-confrontation offre-demande, le modèle systémique intégrateur fera appel :

- Aux **résultats des lots thématiques** concernant l'état actuel et l'état futur sous scénarios de changement climatique et de changement anthropique pour différents indicateurs d'offre en eau de surface, de recharge des aquifères, de demandes de prélèvements potentiels de différents usages de l'eau, démographiques et socio-économiques (traduisant le niveau de satisfaction des demandes en eau des populations et des secteurs socio-économique) ou caractérisant l'état des écosystèmes aquatiques (populations piscicoles, zones humides...).
- A un **bilan massif simplifié** permettant de confronter l'offre en eau 1) aux demandes des usages anthropiques préleveurs et 2) aux demandes des usages non préleveurs (par exemple, navigation, écologie...) traduite en débits minimum dans les cours d'eau. La confrontation se fait à partir de **règles de priorisation** de satisfaction des demandes potentielles des usages (préleveurs et non-préleveurs), de **règles d'allocation** des différentes ressources en eau (eaux souterraines et/ou eaux de surface) pour satisfaire les demandes, de règles de gestion des principaux ouvrages de stockage pour satisfaire une demande de l'hydroélectricité ou pouvant imposer des contraintes supplémentaires. Elle permet de transformer la demande potentielle des usages préleveurs en une demande effective prenant en compte les contraintes liées à la disponibilité de la ressource en eau et aux règles d'allocation et de priorisation. Cette demande en eau effective est ensuite traduite en des indicateurs socio-économiques reflétant pour chaque usage préleveur le niveau de production ou d'activité résultant de cette demande en eau effective.

Ces éléments permettent ensuite d'évaluer des **risques de non satisfaction** de demande potentielle ou de niveau de protection des écosystèmes aquatiques (par exemple : un volume ou un % de la demande potentielle initiale non satisfait, une population non desservie en eau potable pendant une période donnée, ou le nombre de mois par an pour lesquels le débit estimé dans les rivières sera inférieur à un débit écologique fixé) ainsi que des indicateurs de **coûts associés à ces risques** (par exemple : la différence pour les indicateurs socio-économiques entre une demande en eau potentielle satisfaite et une demande en eau effective).

Ces différents calculs sont effectués à l'échelle de bassins versants, prenant en compte les relations amont-aval entre bassins versants, les principaux transferts d'eau entre bassins, l'existence d'unités de gestion plus larges auxquelles les règles d'allocation et de priorisation s'appliquent, ainsi que l'existence potentielle de ressources non conventionnelles (par exemple : eau désalinisée) pouvant répondre aux demandes potentielles des usages de l'eau. Des règles de transformation des indicateurs calculés pour chaque bassin versant sont ensuite appliquées pour estimer des indicateurs à l'échelle nationale et représentés par leurs moyennes, leurs écarts type ou des courbes de distribution illustrant l'hétérogénéité des situations en France.

- L'élaboration de **relations paramétrées** permettant d'évaluer l'impact, les risques et les coûts associés à un changement d'un ou plusieurs paramètres traduisant la mise en œuvre d'une mesure ou stratégie d'adaptation donnée. On citera par exemple l'établissement de relations entre des capacités de stockage à l'échelle de bassins versants et le calcul de niveaux de déficit potentiel pour ces bassins permettant

d'analyser l'impact de stratégies de stockage additionnel sur le déficit global en eau à l'échelle des bassins versants, sur les niveaux de satisfaction des demandes des secteurs économiques et des milieux aquatiques, ainsi que sur les coûts associés à ces niveaux de satisfaction. Dans certains cas, au regard de la complexité des processus pris en compte pour analyser l'impact en particulier socio-économique de mesures d'adaptation, des modélisations complexes extérieures au modèle systémique intégrateur seront mises en œuvre pour évaluer les nouvelles valeurs d'indicateurs clés traduisant la mise en œuvre d'une mesure ou stratégie d'adaptation donnée, valeurs qui seront ensuite stockées dans le modèle systémique intégrateur pour fournir les valeurs des indicateurs demandés sous différentes stratégies d'adaptation.

4. SCENARIOS, HYPOTHESES DE TRAVAIL ET JUSTIFICATION

4.1. POURQUOI LA FRANCE ENTIERE ET L'HORIZON DE 2070 ?

4.1.1. UN ETUDE COUVRANT LA FRANCE ENTIERE

Même s'il est vrai que les effets et les impacts du changement climatique peuvent présenter des différences notables suivant les territoires considérés et par conséquent appeler des réponses très diverses, il est aussi vrai que l'unité politique de notre pays et de l'Etat qui le sert impose d'avoir une vision nationale de ces impacts et considérer une réponse du même ordre. Or, Explore 2070 est un projet lancé par l'Etat pour élaborer et évaluer des stratégies nationales d'adaptation au changement climatique. Son périmètre ne pouvait donc être que national.

Comme rappelé ci-dessus, quatre échelles de restitution des résultats sont ainsi privilégiées pour assurer cette vision nationale et comprendre la diversité spatiale et territoriale des questions clés et enjeux abordés. Celles-ci ont été choisies pour répondre à :

- L'échelle nationale, comme rappelé ci-dessus à la nécessité d'**appréhender la France dans sa globalité** (métropole et DOM), faire émerger les grandes tendances et définir des stratégies d'adaptation nationales, permettant de guider les choix et les décisions à ce niveau (Plan National d'Adaptation au Changement Climatique, intégration des politiques sectorielles et de l'adaptation, etc.) ;
- L'**échelle régionale**, qui est l'échelle de référence des collectivités locales et qui est utilisée pour traiter les questions de l'adaptation au changement climatique dans le cadre de l'élaboration et de la mise en œuvre des **Schémas Régionaux Climat Air Energie (SRCAE)** ;
- L'échelle des **bassins versants** et des **districts hydrographiques** au sens de la **Directive Cadre sur l'Eau (DCE)**, qui correspond à celle de la gouvernance de l'eau et qui épouse naturellement les contours géographiques des bassins versants. C'est l'échelle à laquelle se construit le deuxième cycle de planification de la DCE démarrant en 2012 et conduisant à de nouveaux plans de gestion devant prendre en

compte les enjeux de l'adaptation. Elle est également pertinente pour la mise en œuvre de la Directive Inondations.

- L'échelle des **grandes agglomérations**, ces dernières faisant face à des enjeux forts liés à la concentration des activités et des personnes d'une part et aux pressions exercées sur les écosystèmes aquatiques pour assurer une offre en eau d'autre part.

4.1.2. LE CHOIX DE L'HORIZON 2070

La prise en compte conjointe des processus physiques (évolution du climat), biologiques (évolution des écosystèmes) et décisionnels (évolution des secteurs économiques) nécessite le choix d'un **horizon de compromis** entre :

- les **climatologues**, traditionnellement tournés vers des horizons temporels de long-terme, comme 2100, pour lesquels les effets du changement climatique se détachent clairement de la variabilité naturelle du climat ;
- les **économistes**, dont les efforts d'analyse du futur abordent traditionnellement le moyen-terme (2020 ou 2030 pour des modèles de prévision, voire 2050 pour des exercices de prospective territoriale).
- les **démographes**, traditionnellement tournés vers du moyen à long terme, soient des horizons de 2030 à 2040 en règle générale, parfois 2060.

L'horizon de 2070, permettant tout à la fois de distinguer clairement la dérive climatique par rapport à notre époque actuelle mais autorisant encore des projections économiques et démographiques aux incertitudes mesurées, représente ainsi tout naturellement cet horizon de compromis.

L'adaptation au changement climatique étant très fortement liée à l'aménagement du territoire, cet horizon de 2070 est parfaitement cohérent avec les **durées de vie des infrastructures majeures** (parc immobilier, centrales électriques, routes, etc.). Il l'est aussi avec la rapidité des changements attendus des écosystèmes, en particulier en ce qui concerne **l'invasion ou la disparition d'espèces**.

4.2. QUELS SCENARIOS CHOISIS POUR LES CHANGEMENTS GLOBAUX ?

4.2.1. LE CHOIX DES SCENARIOS CLIMATIQUES

Des études préalables comme celle menée sur la Seine dans le cadre du projet de recherche RExHySS¹³ se sont attachées à hiérarchiser les différences sources d'incertitudes pour la réponse hydrologique du changement climatique

La réponse du cycle hydrologique aux forçages anthropiques est pour de nombreuses raisons beaucoup plus difficile à prévoir que celles des températures. Les sources d'incertitude sont multiples, on notera principalement sur la réponse globale :

- a) la paramétrisation des effets directs et indirects des aérosols anthropiques (Liepert et al., 2004 ; Ramanathan et al., 2006) ;
- b) la répartition spatiale des anomalies de température de surface de la mer sous les tropiques (Douville 2006 ; Barsugli et al., 2006)
- c) la simulation des téléconnexions entre précipitations et température de surface de la mer tropicale (Douville et al., 2006 ; Joly et al., 2006)

La réponse continentale du cycle hydrologique est quant à elle très variable d'un modèle à l'autre, non seulement en raison des incertitudes globales évoqués précédemment, mais également en raison des paramétrisations des modèles telles que l'effet direct du CO₂ atmosphérique sur la transpiration des plantes.

La dispersion de la réponse hydrologique des différents modèles appliqués au scénario A2 présentée dans les figures suivantes illustre parfaitement ces incertitudes.

¹³ Ducharne, A., Habets, F., Déqué, M., Evaux, L., Hachour, A., Lepaillier, A., Lepelletier, T., Martin, E., Oudin, L., Pagé, C., Ribstein, P., Sauquet, E., Thiéry, D., Terray, L., Viennot, P., Boé, J., Bourqui, M., Crespi, O., Gascoïn, S. and Rieu, J., 2009. Projet RExHySS - Impact du changement climatique sur les Ressources en eau et les Extrêmes Hydrologiques dans les bassins de la Seine et la Somme, MEEDDM.

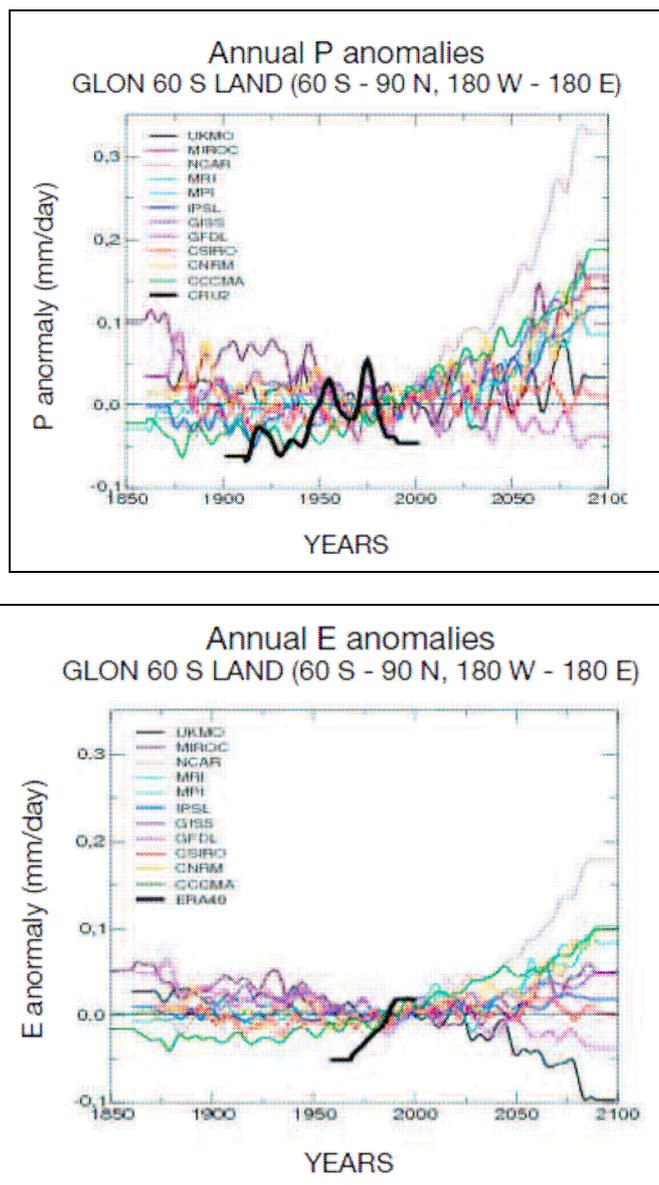


Figure 1 : Réponse hydrologique de différents modèles appliqués au scénario A2

Il ressort de cette étude que les incertitudes liées aux scénarios d'émission ou à l'échéance temporelle (« milieu du siècle » par rapport à « fin de siècle ») sont beaucoup plus faibles que les incertitudes de la réponse hydrologique des modèles. En conséquence, Météo-France a privilégié l'approche multi-modèles à l'approche multi-scénarios afin d'appréhender significativement l'incertitude des projections climatologiques sur la réponse hydrologique.

Le **scénario médian (A1B) d'émission de gaz à effet de serre a été privilégié** en raison du grand nombre de modèles désagrégés disponibles sur la France. Ce scénario d'émission de gaz à effet de serre proposé par Météo-France a été validé par le MEDDTL.

4.2.2. LE CHOIX DES SCENARIOS DE REMONTEE DU NIVEAU MARIN

Les échelles de temps 2050 et 2070 qui font l'objet d'Explore 2070 sont donc dans une zone pour laquelle **peu de moyens de prédiction existent concernant la remontée du niveau marin**. Les hypothèses suivantes, consistantes avec la publication de Grinsted (2009)¹⁴, ont cependant été choisies :

- L'élévation du niveau marin moyen pourrait atteindre un rythme de l'ordre de 1cm/an après 2050
- D'ici à 2050, l'élévation du niveau marin moyen devrait augmenter significativement, passant progressivement de 2 à 3mm/an à 1cm/an dans un scénario.

Cette hypothèse simplificatrice ne prend bien évidemment pas en compte les variabilités spatiales et temporelles (décennales) du signal des variations du niveau marin. Elle s'appuie sur un scénario calculé à partir de modèles semi-empiriques, cette hypothèse devant être revue une fois les résultats actualisés¹⁵ du prochain exercice du GIEC disponibles.

Sous ces hypothèses, l'élévation du niveau marin serait **de l'ordre de 25cm en 2050** par rapport à 2010, et de **45cm en 2070** par rapport à 2010.

4.2.3. LE CHOIX DES SCENARIO ANTHROPIQUES ET HYPOTHESES ASSOCIEES

Deux scénarios d'évolution anthropique sont proposés et analysés par Explore 2070, la prise en compte de deux futurs anthropiques permettant de capturer l'incertitude concernant les évolutions anthropiques futures.

Les deux scénarios partagent des hypothèses sous-jacentes communes :

¹⁴ Grinsted A., Moore Æ J. C., Jevrejeva Æ S. (2009) Reconstructing sea level from paleo and projected temperatures 200 to 2100 AD, Climate Dynamics.

¹⁵ Basés sur des approches par modélisation.

- Une hausse de la **démographie** mondiale telle que prévue par l'ONU, les chiffres fournis pour la France étant corrigés sur la base de projections de référence produites par l'INSEE (Projections de population pour la France métropolitaine à l'horizon 2050 - 2060 ; Projections régionales de population à l'horizon 2030 –2040 ; projection de ménages pour la France métropolitaine à l'horizon 2030 – 2040) ;
- L'utilisation de scénarios de référence pour l'**énergie** à partir de sources disponibles d'ENERDATA (World Energy Technology Outlook – H2 (2006)¹⁶) et de l'AIE (Energy Technology perspectives 2010 ainsi que World Energy Outlook 2010. L'encadré 4 illustre les principaux éléments d'évolution envisagés.

Encadré 4. Les principales hypothèses d'évolution pour l'énergie¹⁷

Les effets du « peak oil » seront de plus en plus perceptibles à partir de 2030 :

- D'ici là, le prix des énergies fossiles continuera de progresser sur une tendance de 45 à 100 €/2010/ baril pour ce qui concerne le pétrole, avec de fortes fluctuations autour de la moyenne ;
- Après 2030, le rythme de croissance du prix des énergies fossiles accélèrera du fait de la raréfaction des ressources exploitables et suivra une tendance de 130 à 165€/ 2010/baril à l'horizon 2070, pour ce qui concerne le pétrole.

La part des énergies fossiles évoluera à la baisse de 90 à 70% dans le mix énergétique mondial :

- Le pétrole, le gaz et le charbon continueront à être la première source d'approvisionnement en énergie et leur consommation en volume augmentera, tirée par la demande des pays émergents;
- La part du nucléaire restera relativement stable dans le mix énergétique mondial ;
- Les énergies renouvelables seront en croissance dans le mix mondial, leurs usages augmenteront plus significativement dans le mix énergétique des pays industrialisés, mais leur part restera en retrait par rapport aux énergies fossiles ;
- Les pays industrialisés consommeront de moins en moins de produits pétroliers dans leur mix énergétique, la demande étant exclusivement tirée par les pays en développement (essentiellement l'Asie).

- Des scénarios d'évolution de l'**agriculture** et de l'**alimentation** issues de l'exercice de prospective INRA/CIRAD Agrimonde GO (2009), complétés par des résultats de la prospective du Groupe de la Bussière en ce qui concerne l'évolution de la Politique Agricole Commune (choix du scénario 1) ;

Des **hypothèses contrastées au regard des niveaux de densification de l'urbanisation** traduites en différents taux de construction d'appartements / maisons individuelles et taux de rénovation sont les seules hypothèses qui distinguent les **deux scénarios d'évolution**

¹⁶ La projection de référence choisie décrit une situation fondée sur une poursuite des tendances économiques et technologiques actuelles à l'horizon 2050, avec des contraintes à court terme concernant le développement de la production de pétrole et de gaz, et des politiques climatiques modérées, domaine dans lequel on suppose que l'Europe conservera une certaine avance.

¹⁷ Source : BIPE

anthropiques. On notera la non-prise en compte du Grenelle du logement dans les scénarios tendanciels concernant l'habitat.

4.3. PRINCIPALES HYPOTHESES DE TRAVAIL ET JUSTIFICATION

Afin de permettre la mise en œuvre d'appréhender d'une la complexité, des hypothèses de travail concernant les processus biophysiques et/ou décisionnels ainsi que leurs interrelations ont été définies et sont présentées ci-dessous. Cette liste d'hypothèses de travail sera progressivement complétée au cours du projet, au regard des travaux et résultats des différents lots thématiques, du lot évaluation et du lot intégrateur (en particulier dans la prise en compte de certains paramètres et relations dans le modèle systémique intégrateur).

Hypothèse 1 – Les rétroactions entre les activités anthropiques (en particulier les émissions de gaz à effet de serre) et le climat sont considérées comme étant négligeables à l'échelle du territoire français (y compris DOM). Ainsi, les évolutions anthropiques tendanciennes ou sous différentes stratégies d'adaptation seront considérées comme restant sans effet sur le scénario climatique choisi qui, de ce fait, reste invariable pour Explore 2070.

Justification :

- Les émissions de gaz à effet de serre de la France représentaient en 2006 environ 1,3 % des émissions mondiales¹⁸. Par ailleurs, les projections démographiques et économiques retenues confirment que les émissions de GES de la France continueront à n'avoir qu'un impact négligeable sur la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère mondiale.
- L'évolution de la concentration en gaz à effet de serre sur le climat est subordonnée à des incertitudes de degré supérieur à la part des émissions françaises par rapport aux émissions mondiales (accords internationaux de réduction des émissions, mix énergétique mondial, avancées de la recherche et temps nécessaire au déploiement de technologies sans carbone, etc.).

Hypothèse 2 – L'évaluation des effets du changement climatique sur les écoulements de surface inclut l'hypothèse d'une gestion inchangée des ouvrages de stockage.

Justification :

¹⁸ D'après les statistiques du MEDDTL

- Dans de très nombreux cas, la mesure du débit intervient sur des cours d'eau dont le régime naturel d'écoulement est modifié volontairement par l'intermédiaire d'ouvrages de stockage. Par conséquent, les données de référence utilisées par les modèles hydrologiques intègrent ces règles de gestion. En l'absence d'une connaissance exhaustive des règles de gestion pour chacun de ouvrages à l'échelle de la France, il n'est pas possible de modéliser les débits sous changement climatique sans faire l'hypothèse de règles de gestion in changées. Toutefois, il est cependant proposé d'intégrer la capacité de stockage des ouvrages et les règles de gestion des principaux ouvrages structurants dans le modèle systémique intégrateur pour être en capacité d'appréhender d'une manière simplifiée des changements de capacités de stockage et règles de gestion comme mesures d'adaptation.

Hypothèse 3 – Le transport sédimentaire dans le réseau hydrographique est négligé. Ainsi, des variantes d'apports sédimentaires sur les zones littorales sous différents scénarios (avec changement climatique ou différentes stratégies d'adaptation) ne sont pas prises en compte dans l'évaluation de la vulnérabilité du trait de côte aux risques côtiers. .

Justification :

- Cette hypothèse de travail est imposée par les limites techniques des modèles hydrologiques actuels et en particulier ceux qui sont utilisés par le lot hydrologie de surface. Ces modèles fournissent uniquement des indications de débit ne permettant pas d'apporter des données utiles au lot littoral sur le transport sédimentaire.
- Modéliser le transport sédimentaire est une tâche complexe, restant du domaine de la recherche et impossible à aborder à l'échelle du territoire français dans le cadre d'un projet opérationnel comme Explore 2070.

Hypothèse 4 – Les écosystèmes aquatiques sont considérés comme étant totalement soumis aux changements des régimes hydrologiques et aux pressions anthropiques dans les scénarios tendanciels. Aucune rétroaction n'est ainsi prise en compte entre les modifications de ces écosystèmes d'une part et l'évolution de ces pressions de l'autre, dans ces scénarios tendanciels.

Justification :

- Cette hypothèse de travail est imposée par le manque de données exploitables aux échelles de travail sur les conséquences d'une évolution des écosystèmes aquatiques sur les activités économiques exerçant des pressions sur la ressource en eau.

- Au regard de l'ensemble des activités socio-économiques du pays, et de la déconnection effective entre la plupart des activités économiques et la qualité des écosystèmes, la prise en compte d'une telle rétroaction n'aurait sans doute qu'un impact marginal sur l'économie bien plus faible que l'ensemble des incertitudes auxquelles seront soumis les indicateurs socio-économiques estimés aux horizons 2050 ou 2070. Une telle hypothèse est donc tout à fait justifiée.

Hypothèse 5 – L'évolution des superficies des zones humides n'est pas prise en compte pour modéliser le régime hydrologique des cours d'eau. Ainsi, l'impact potentiel sur le régime hydrologique de mesures d'adaptation qui proposeraient d'étendre et protéger les zones humides ne pourra pas être analysé d'une manière quantitative.

Justification :

- Cette hypothèse est nécessaire de part la nature des modèles hydrologiques et des échelles de travail utilisées.
- Comme pour les ouvrages de stockage, la possibilité de prendre en compte la capacité des zones humides à modifier l'hydrologie de bassins dans le cadre du modèle systémique intégrateur sera étudiée. Ceci devra faire appel à des connaissances et des données autres que celles développées par les lots thématiques du projet Explore 2070.

Hypothèse 6 – Les conséquences de l'évolution des biseaux salés sur les zones littorales sont jugés négligeables à l'échelle nationale et ne seront pas spécifiquement intégrés dans le modèle systémique intégrateur¹⁹.

Justification :

- Les territoires potentiellement affectés par la problématique des biseaux salés représentent des surfaces très limitées du territoire national. Leur prise en compte aurait peu d'impact sur les indicateurs calculés aux différents aux échelles de restitution du projet Explore 2070 bien que les aléas liés aux intrusions salines dans les aquifères côtiers aient des conséquences en termes d'exploitabilité des eaux souterraines et potentiellement de pertes de terres agricoles.

¹⁹ Ces enjeux seront cependant appréhendés dans les travaux des lots experts, et dans le zoom territorial « Languedoc Roussillon ».

- L'impact attendu de l'évolution des biseaux salés sur les milieux aquatiques et les principaux usages de l'eau est marginal, hors contexte très local.

5. LES PRINCIPALES INNOVATIONS DU PROJET EXPLORE 2070

5.1. UNE APPROCHE SYSTEMIQUE

Evaluer l'impact social, économique, environnemental et patrimonial de changements globaux et de stratégies d'adaptation nécessite d'appréhender un grand nombre de processus biophysiques et décisionnels. Ainsi, il est nécessaire d'appréhender : le grand cycle de l'eau et ses relations avec les activités anthropiques et les principaux usages de l'eau ; les relations entre agents économiques au sein de marchés nationaux ou mondiaux ; les impacts des activités anthropiques et secteurs économiques sur les habitats et écosystèmes aquatiques. Peu de projets abordent ces problématiques dans leur totalité. En particulier, de nombreux projets initiés en France et en Europe proposent des évaluations fines des systèmes climat-hydrologie, sans spécifiquement appréhender les processus décisionnels associés, leur dimension anthropique et les acteurs économiques (eux-mêmes soumis à des changements globaux macro-économiques).

Explore 2070 propose ainsi d'**aborder le système « climat/eau/adaptation » d'une manière globale**, intégrant aussi bien les **principaux processus biophysiques** que les processus décisionnels et le **système humain**, y compris dans l'élaboration de **scénarios de changement global** qui considèrent le **changement climatique** d'une part et les **changements anthropiques** d'autre part. Le projet propose ainsi une approche systémique de ce système « Terre »²⁰, mobilisant les outils du raisonnement analogique, les techniques d'aide à la décision ainsi que la représentation graphique (formes graphiques, diagrammes, cartes ou réseaux) permettant en particulier de proposer une structuration simplifiée de la complexité du système étudié (voir Figure 3).

²⁰ Pour plus d'éléments précisant les caractéristiques de l'approche systémique, se référer au document « Synthèse bibliographique intégration, analyse systémique et stratégies d'adaptation ». On notera en particulier les spécificités de l'approche systémique:

- « une perception et compréhension globale du système... qui permet de se concentrer sur les interactions entre les différents éléments qui composent le système étudié ».
- « implique la modification simultanée de groupes de variables et implique une approche dynamique ».
- « fait appel à des modèles qui... demeurent utiles pour la prise de décision et le passage à l'action ».
- « conduit à un traitement pluridisciplinaire du système ».

5.2. UNE INTEGRATION DES DISCIPLINES ET DES CONNAISSANCES

Elaborer une synthèse des travaux concernant l'impact potentiel du changement climatique et de stratégies d'adaptation reste un exercice difficile, de par la diversité des études et recherches existant à ce jour concernant les thématiques abordées, les approches mises en œuvre, les indicateurs évalués et les échelles spatiales et temporelles choisies.

Le projet Explore 2070 présente des spécificités du fait de **l'intégration de multiples disciplines, thématiques et enjeux** dans la construction même du projet. D'une manière opérationnelle :

- Un **lot spécifique dédié à l'intégration** a été proposé, ce lot assurant l'animation entre les lots thématiques conduisant à définir d'une manière cohérente et intégrée des indicateurs communs entre lots thématiques à des échelles d'interface pertinentes/choisies, ainsi que des relations paramétrées permettant de relier certains de ces indicateurs entre eux ;
- Les connaissances et résultats des différents lots alimenteront d'une manière collégiale un **modèle systémique intégrateur**²¹ qui assurera une réponse cohérente (élaboration d'indicateurs de sortie et tableaux de bord concernant les dimensions sociales, économiques, environnementales et patrimoniales) aux questions d'évaluation qu'abordera le projet Explore 2070.
- L'intégration entre disciplines et connaissances s'effectuera pour l'ensemble des données et connaissances produites pour la France métropolitaine et les DOM. Des analyses intégrées plus fines seront également menées en parallèle par les lots thématiques dans des **zooms territoriaux ou thématiques**. Les résultats de ces zooms permettront, par ailleurs, d'appréhender l'incertitude méthodologique résultant des intégrations entre différentes approches et modèles. Deux **zooms territoriaux** ont été choisis, le bassin Seine-Normandie et la Région Languedoc Roussillon, pour appréhender une diversité d'enjeux de gestion de l'eau et d'évolution climatique et anthropique²². Ces territoires représentent également des territoires pour lesquels de

²¹ Pour plus de détails sur l'architecture et les fonctionnalités du modèle systémique intégrateur, voir la « note de conception générale du modèle systémique intégrateur ».

²² Pour le bassin Seine-Normandie : des enjeux de gestion de barrage (Lacs de Seine), de gestion d'une zone

nombreuses données et études existent déjà²³ et peuvent être mobilisées en complément des travaux propres au projet Explore 2070. Les **zooms thématiques** proposées aborderont plus finement les enjeux de continuité écologique dans les cours d'eau, les zones humides et certains secteurs particuliers (comme l'agriculture et énergie).

5.3. APPREHENDER LES DIFFERENTES THEMATIQUES ENVIRONNEMENTALES DE LA GESTION DE L'EAU

De nombreux projets et études concernant le changement climatique et l'adaptation ciblent en priorité les enjeux de gestion quantitative de la ressource en eau, plus directement reliés aux analyses climatiques et hydrologiques. La prise en compte de la thématique « qualité de l'eau » reste limitée à certaines initiatives et projets. L'état écologique des milieux aquatiques²⁴ ainsi que les biens et services fournis par ces écosystèmes, sont très rarement appréhendés, si ce n'est d'une manière qualitative et a posteriori.

En accord avec les évolutions politiques récentes liées aux objectifs de la Directive Cadre sur l'Eau européenne²⁵, aux objectifs du Grenelle (traduits dans les SDAGE) de restauration des zones humides, et aux nouveaux éléments méthodologiques du *Millenium Ecosystem Assessment* (MEA) concernant les biens et services écosystémiques, Explore 2070 donne **une place de choix à la biodiversité** et à l'évaluation de l'impact de changements globaux et stratégies d'adaptation sur les **écosystèmes aquatiques**, comme le soulignent :

- La création d'un **lot thématique dédié** à ces enjeux (voir ci-dessus) ;

estuaire, d'état écologique et de continuité, de biens et services fournis par les zones humides et des valeurs économiques associées... sous conditions de climat océanique

Pour la Région Languedoc-Roussillon : des enjeux de gestion quantitative et de déficit croissant face à l'explosion démographique et des demandes en eau associées, de protection d'écosystèmes particuliers (littoraux, karstiques), de vulnérabilité et de risque littoral (y compris question de biseaux salés)... sous conditions de climat méditerranéen.

²³ Par exemple : les travaux de recherche du PIRENE Seine ou Seine-aval pour le bassin Seine-Normandie.

²⁴ Analysée à partir d'indicateurs spécifiques capturant l'état des populations du règne végétal et animal, de la diversité des habitats, de la continuité...

²⁵ Le bon état écologique pour toutes les masses d'eau

- La décision d'aborder la **vulnérabilité des écosystèmes aquatiques** comme **une des quatre questions clé** du projet ;
- L'intégration systématique d'**indicateurs caractéristiques de l'état écologique du milieu et des écosystèmes aquatiques** dans les tableaux de bord du projet et dans les matrices d'évaluation des différentes stratégies d'adaptation.

5.4. UNE APPROCHE INNOVANTE DE LA « SPATIALITE »

De nombreux projets de recherche ou d'étude concernant le changement climatique et le grand cycle de l'eau analysent en priorité le ou les bassins hydrographiques jugés représentatifs de la diversité hydrologique en France. Les tentatives d'aborder le territoire métropolitain dans son ensemble sont rares et souvent limitées aux processus biophysiques directement liés au climat (pluviométrie, traduction en couches neigeuses, etc.). De plus, la prise en compte systématique des DOM est quasi inexistante.

Ainsi, **aborder le territoire français dans sa totalité, métropole et DOM compris**, représente clairement une innovation du projet Explore 2070. Comme précisé ci-dessus, le projet complète également sa couverture exhaustive du territoire français par des zooms territoriaux ciblés permettant d'affiner les analyses proposées à l'échelle globale et dans certains cas d'évaluer l'incertitude résultant de choix méthodologiques effectués à cette échelle.

5.5. ABORDER UNE LARGE DIVERSITE D' ACTIONS D'ADAPTATION

Une grande diversité de types d'action ou de mesures d'adaptation sera abordée dans un cadre d'évaluation commun par Explore 2070. Les mesures d'adaptation considérées et renseignées représenteront :

- Une diversité importante de **mesures de natures différentes** : techniques, réglementaires, fiscales, économiques, de gouvernance, d'information et de sensibilisation, de production de la connaissance, etc. ;
- Des mesures **concernant les différents secteurs et usages de l'eau** (agriculture, industrie, ménages, tourisme, énergie...), aussi bien liées aux enjeux de l'eau que de l'énergie.

Pour chaque action potentielle (dont la liste à intégrer dans ce module reste à élaborer), une série d'éléments descriptifs (ou carte d'identité) sera développée et renseignée permettant de comprendre clairement la mesure ainsi que les enjeux de mise en œuvre qui s'y rattachent, et d'appréhender la pertinence et les implications possibles de chaque action potentielle. Ces éléments permettront de construire les principales stratégies d'adaptation proposées (dont l'impact devra être évalué) et de construire les feuilles de route de ces stratégies d'adaptation.

Même si de nombreuses actions et mesures d'adaptation pourront être identifiées et analysées individuellement, il est proposé de **centrer les évaluations sur des stratégies d'adaptation types**²⁶ (voir Encadré 3) **cohérentes à l'échelle nationale** (même si leur déclinaison régionale pourra dans certains cas²⁷ prendre en compte des caractéristiques propres des différentes régions ou bassins hydrographiques étudiés).

²⁷ Certaines mesures, en particulier les mesures de fiscalité et de subvention, s'appliqueront d'une manière homogène sur l'ensemble du territoire.