



Le projet LIFE Eau&Climat (LIFE19 GIC/FR/001259)
a reçu un financement du programme LIFE de l'Union européenne.



Démarches préparatoires à la mise en place d'un observatoire citoyen des effets du changement climatique sur la ressource en eau à l'échelle du SAGE Bassin Ferrifère

2021



Sommaire

1.	Préambule	4
2.	le Bassin Ferrifère	5
2.1	Un fort passé industriel	5
2.2	Un SAGE rendu obligatoire	6
2.3	Principaux enjeux du SAGE identifiés au moment de son élaboration	6
2.3.1	Les ressources en eau et alimentation en eau potable	6
2.3.2	Les cours d'eau	7
2.3.3	Les zones humides	7
3.	le changement climatique et ses impacts sur les ressources en eau	8
3.1	Changement climatique	8
3.2	Prospective	9
3.2.1	Evolution des températures et de la pluviométrie à l'échelle annuelle	10
3.2.2	Evolution des températures et de la pluviométrie à l'échelle saisonnière	11
3.2.3	Synthèse	11
3.3	Conséquences de l'évolution du climat sur les ressources en eau	12
4.	Le Bassin Ferrifère face aux enjeux du changement climatique	13
4.1	Effets attendus dans le Bassin Ferrifère sur l'hydrologie et les ressources en eau	13
4.1.1	Impact sur les cours d'eau	13
4.1.2	Impact sur les nappes et les réservoirs miniers	14
4.1.3	Impact sur les plans d'eau	16
4.1.4	Impact sur les milieux naturels	17
4.2	Effets du changement climatique sur les activités du périmètre du SAGE Bassin Ferrifère	19
4.2.1	Les impacts du changement climatique sur l'alimentation en eau potable	19
4.2.2	Les impacts du changement climatique sur l'agriculture	20
4.2.3	Les impacts du changement climatique sur l'industrie	20
4.2.4	Les impacts du changement climatique sur le tourisme et les loisirs	20
4.2.5	Les impacts du changement climatique sur les territoires urbanisés	21
5.	L'observatoire citoyen, un outil de gestion de l'eau	22
5.1	Les objectifs de l'observatoire citoyen	22
5.2	Le fonctionnement des observatoires citoyens	23

5.2.1	De multiples objectifs	23
5.2.2	Des outils adaptés	27
5.2.3	Des exemples de démarches participatives	28
5.3	Les atouts de l'observatoire citoyen pour le SAGE Bassin Ferrifère et les faiblesses	29
5.3.1	La sensibilisation des citoyens	29
5.3.2	Des coûts réduits	29
5.3.3	La participation citoyenne	30
5.4	Un plan pour la mise en œuvre de l'observatoire citoyen	31
5.4.1	Promouvoir son utilisation	31
5.4.2	Assurer sa fonctionnalité	31
6.	Les données	33
6.1	Les paramètres météorologiques	33
6.1.1	Observation des précipitations	33
6.1.2	Observation du vent et de l'ensoleillement	33
6.2	Les paramètres hydrologiques	34
6.3	Les paramètres d'humidité du sol	35
6.3.1	Observation de sol sec	35
6.3.2	Observation de sol saturé en eau	36
6.4	Les paramètres liés à la flore	36
6.4.1	Observation de la ripisylve	36
6.4.2	Observation de la flore	37
6.5	Précisions nécessaires à l'obtention de résultats	37
6.6	Dispositifs de suivi existants sur le Bassin Ferrifère	39
6.7	Premières réflexions sur le calcul d'indicateurs de l'impact du changement climatique sur les ressources en eau	40
6.7.1	Indicateur de sécheresse	40
6.7.2	Indicateur d'inondation	41
6.7.3	Indicateur du stress hydrique	41
6.7.4	Conclusions	41
7.	Les acteurs du SAGE Bassin Ferrifère contributeurs à l'observatoire citoyen	42
Annexe 1 : Impact de l'activité minière sur le fonctionnement hydrologique		44
Annexe 2 : Synthèse des principales études traitant du changement climatique à l'échelle nationale et/ou du Grand Est		46

Objectifs du rapport

Ce rapport a été rédigé à partir du mémoire de Kévin Ditner, stage en Master 2 Géographie, aménagement, environnement et développement - Fonctionnement et gestion des environnements ruraux et naturels – Faculté de Géographie et d'aménagement, Université de Strasbourg.

Identification des enjeux liés à l'impact du changement climatique sur les ressources en eau et leurs usages sur le périmètre du SAGE Bassin Ferrifère

Identification des données en recensant les données existantes et les manques, et en étudiant leur adaptabilité aux échelles locales.

Caractérisation des données à suivre notamment en distinguant les données relatives aux milieux et les données relatives aux usages.

Identification des acteurs institutionnels et associatifs travaillant sur cette thématique

1. PREAMBULE

Le projet européen LIFE eau & climat, piloté par l'Office International de l'eau, a pour objectif d'aider les acteurs de la gestion locale des ressources en eau à évaluer les effets du changement climatique, à les prendre en compte dans leur planification et à mettre en œuvre des mesures d'adaptation (Gest'eau, 2021).

Débuté en septembre 2020 pour une durée de 4 ans, il mobilise 9 partenaires territoriaux (structures porteuses de SAGE) et 5 partenaires techniques (Météo France, INRAE, Acterra, Hydreos, OiEau).

Dans ce cadre, la Région Grand Est, en tant que structure porteuse du SAGE Bassin Ferrifère, développe un observatoire citoyen des impacts du changement climatique sur les ressources en eau. L'objectif est de disposer de données locales sur les effets du changement climatique sur les ressources en eau et leurs usages. Ces données locales ainsi que le format participatif de l'observatoire permettent de mieux mobiliser les acteurs du territoire sur cette thématique.

Cet observatoire viendra compléter le tableau de bord du SAGE.

Le 1^{er} volet de ce travail consiste à :

- Identifier les enjeux liés à l'impact du changement climatique sur les ressources en eau et leurs usages sur le périmètre du SAGE Bassin Ferrifère, à partir notamment du diagnostic du SAGE et d'entretiens avec les principaux acteurs ;
- Identifier les données en recensant les données existantes et les manques, et en étudiant leur adaptabilité aux échelles locales ;
- Caractériser les données à suivre notamment en distinguant les données relatives aux milieux et les données relatives aux usages ;
- Identifier les acteurs institutionnels et associatifs travaillant sur cette thématique.

Par la suite, les travaux consisteront à :

- Développer des indicateurs
- Valider l'observatoire via un test sur un bassin versant de petite taille
- Développer une plate-forme internet pour consigner les observations et les données (y compris photos des observations ou des vidéos prises au moment de la mesure ou toute autre information que l'observateur souhaite consigner)
- Développer des outils de promotion des observateurs : promotion de l'observatoire, méthodes d'animation territoriale, mobilisation du réseau d'observateurs, etc pour mobiliser les acteurs dans la durée, déclencher la remontée d'informations (nécessité de contextualiser/raconter une histoire).
- Former les observateurs et mettre en avant l'observatoire citoyen
- Analyser la possibilité d'étendre l'observatoire aux SAGE Bassin Houiller et Ill Nappe Rhin et proposer d'éventuelles adaptations.

2. LE BASSIN FERRIFERE

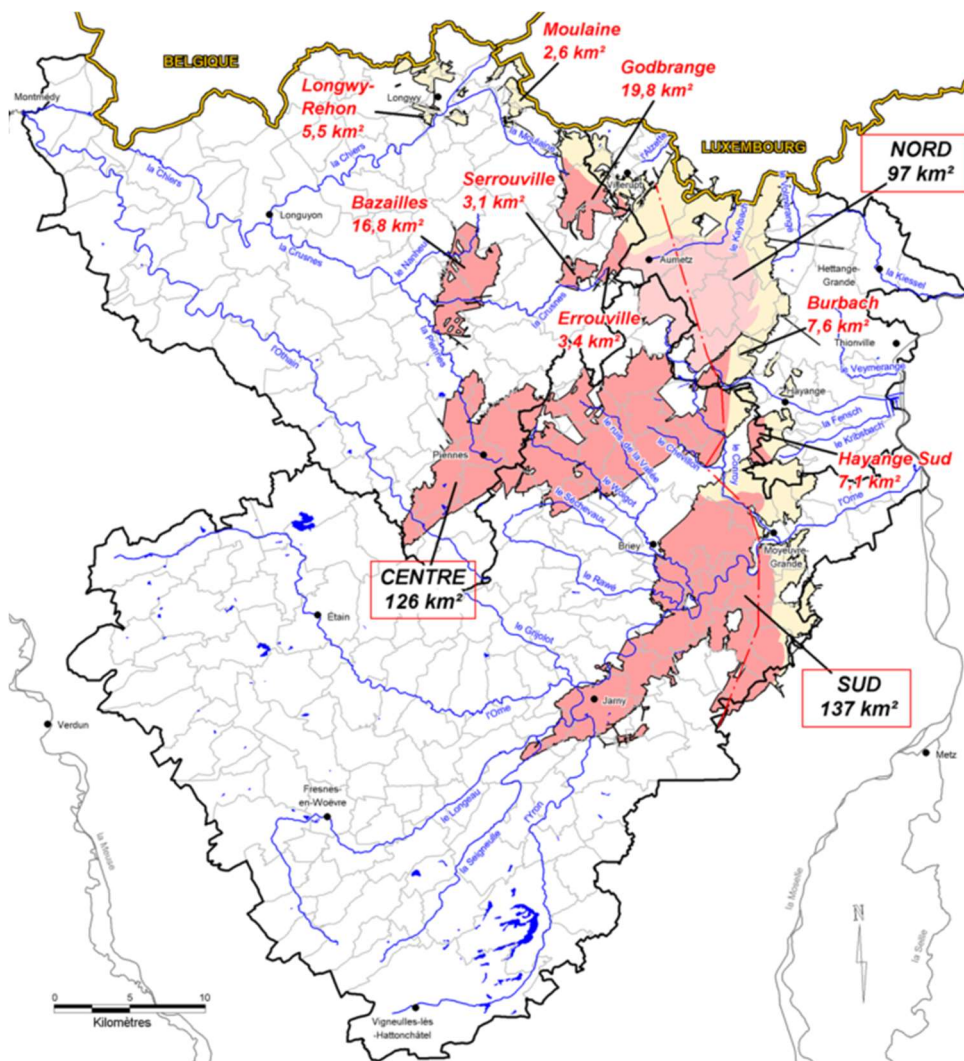
2.1 Un fort passé industriel

L'exploitation du fer a duré presque un siècle et demi, entre 1830 et 1997. Toutefois, c'est à partir de 1880, avec le développement d'un procédé permettant la déphosphorisation de la fonte, que l'exploitation à grande échelle a débuté sur le bassin de Briey-Longwy.

L'exploitation minière puis son arrêt ont conduit à des modifications importantes du régime des eaux souterraines et superficielles (cf. annexe 1), ainsi qu'à l'altération de leur qualité. Il en résulte des impacts forts vis-à-vis des usages (alimentation en eau potable), des risques naturels (variation du débit des cours d'eau) et des conditions d'alimentation des cours d'eau (arrêt des exhaures, débordements, fuites).

Les galeries creusées par l'homme pour l'exploitation du minerai se sont remplies d'eau à l'arrêt des pompes d'exhaure donnant ainsi naissance à des aquifères artificiels, les réservoirs miniers.

La surface totale de l'ensemble des travaux miniers du bassin ferrifère de Briey est de près de 430 km², représentant un volume d'eau supérieur à 450 millions de m³.



Périmètre du SAGE Bassin Ferrifère et des travaux miniers

2.2 Un SAGE rendu obligatoire

Au vu des enjeux, l'élaboration d'un SAGE a été prescrite dès 1994. Il s'étend sur trois départements lorrains (Meurthe-et-Moselle, Meuse et Moselle) et regroupe **258 communes**.

Ce périmètre représente une **superficie de 2 418 km²** et englobe trois bassins versants principaux :

- Le bassin versant de l'Orne et de tous ses affluents,
- Le bassin versant de la Chiers et de ses affluents jusqu'à la confluence avec l'Othain (inclus),
- Le bassin versant « Nord » comprenant des cours d'eau affluents ou sous-affluents de la Moselle, ou dont seul le cours amont est en territoire français.

SAGE du Grand Est dont le SAGE Bassin Ferrifère (Région Grand Est)

Seule une partie du territoire est concernée par les travaux miniers qui s'étendent d'environ 50 km du nord au sud pour 30 km d'est en ouest.



Situation et périmètre du SAGE Bassin Ferrifère

2.3 Principaux enjeux du SAGE identifiés au moment de son élaboration

2.3.1 Les ressources en eau et alimentation en eau potable

Les réservoirs miniers ennoyés représentent un volume de plusieurs centaines de millions de m³ d'eau. A l'heure actuelle l'eau contenue dans ces réservoirs est pour la plupart trop riche en sulfates. De ce fait, elle n'est pas propice à un usage direct pour l'alimentation en eau potable. En revanche, elle est utilisée après traitement ou mélange.

Toutefois, la préservation de cette énorme réserve nécessite la mise en place d'une gestion durable et patrimoniale. A cet effet, un observatoire des réservoirs miniers permet de suivre l'évolution quantitative et qualitative de cette ressource. L'enjeu est de s'assurer de l'évolution de sa qualité, tant du fait des pollutions dues aux activités minières que des pollutions dites de surface (liées à l'occupation du sol).

Un schéma de restructuration de l'alimentation en eau potable, dit Schéma Dumont, a répondu au problème global de maintien de l'alimentation en eau potable dans le bassin ferrifère stricto-sensu suite à l'arrêt des exhaures. A l'initiative de la Commission Locale de l'Eau, un bilan de ce schéma a été réalisé. Il a permis de définir pour les décennies à venir une politique actualisée de sécurisation de l'AEP, à l'échelle de l'ensemble du territoire du SAGE, en prenant en compte les milieux aquatiques dans leur globalité.

2.3.2 Les cours d'eau

- la restauration et la reconquête de l'ensemble des cours d'eau dégradés
- la mise en place d'une gestion de l'eau concertée et adaptée à chaque bassin versant

La priorité est donnée aux secteurs les plus impactés : secteurs des cours d'eau banalisés en lien avec l'hydraulique agricole, à dominante rurale, et les secteurs des cours d'eau fortement dégradés des zones urbanisées et industrielles.

La maîtrise du risque inondation dans le cadre d'une gestion globale et intégrée de la ressource en eau. Elle doit tenir compte des changements climatiques et être coordonnée avec les politiques d'urbanisme, d'assainissement et de restauration de cours d'eau.

2.3.3 Les zones humides

La connaissance, la préservation, la restauration des zones humides du territoire du SAGE, dans une optique patrimoniale et fonctionnelle de ces milieux.

3. LE CHANGEMENT CLIMATIQUE ET SES IMPACTS SUR LES RESSOURCES EN EAU

3.1 Changement climatique

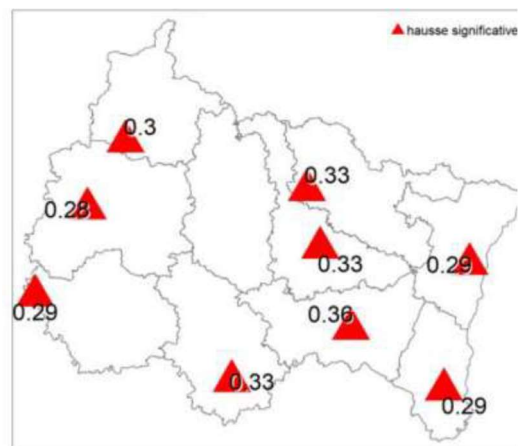
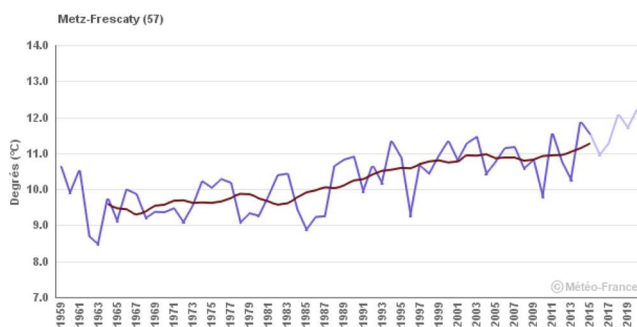
Les changements climatiques désignent les variations à long terme de la température et des modèles météorologiques. Il peut s'agir de variations naturelles, dues par exemple à celles du cycle solaire. Cependant, depuis les années 1800, les activités humaines constituent la cause principale des changements climatiques, essentiellement en raison de la combustion de combustibles fossiles comme le charbon, le pétrole et le gaz. La combustion de combustibles fossiles génère des émissions de gaz à effet de serre qui agissent comme une couverture autour de la Terre, emprisonnant la chaleur du soleil et entraînant une hausse des températures (www.un.org)

Au niveau mondial, ces changements sont d'ores et déjà observés :

- Sur la période 2011-2020, la température moyenne mondiale était plus élevée d'environ 1,1°C par rapport à celle de la période 1850-1900 (+ 1,6 °C en moyenne pour les continents, + 0,9°C pour les océans) ;
- Une augmentation depuis 1950 des précipitations en moyenne sur l'ensemble des continents, cette tendance se renforçant à partir des années 1980. Cependant, cette augmentation moyenne recouvre de fortes différences régionales, puisque le cumul annuel des précipitations tend à diminuer dans les régions relativement sèches et à augmenter dans les régions plus arrosées.

Un réchauffement similaire est visible au niveau du Grand Est :

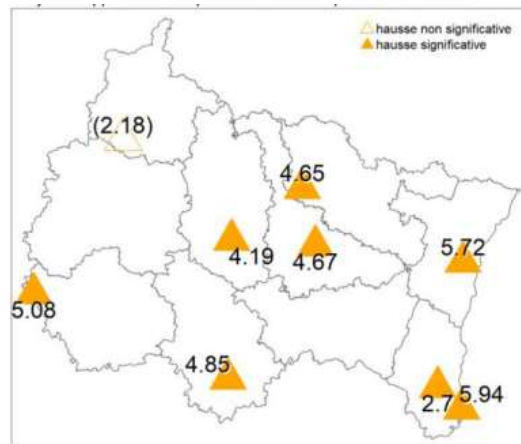
- Réchauffement marqué depuis les années 80 ;
- Hausse des températures moyennes minimales et maximales de 0,2°C à 0,4°C par décennie ;



Température moyenne annuelle (données ORACLE Grand Est 2020)

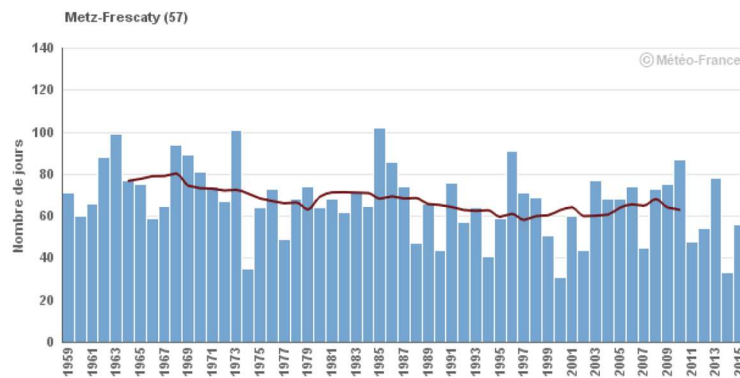
Evolution de la température moyenne annuelle (°C/décennie) entre 1959 et 2015 (données ORACLE Grand Est 2020)

- Réchauffement plus marqué au printemps et en été (+0.4°C à +0.5°C par décennie pour les températures moyennes ;
- Augmentation du nombre de journées estivales (températures maximales supérieures à 25°C) de 2,7 à 6 jours ;



Evolution du nombre de journées estivales en jours supplémentaires par décennie (jours/décennie) sur la période 1959-2015 (données ORACLE Grand Est 2020)

- Diminution du nombre de jours de gel, de l'ordre de 3 à 4 jours par décennie



Nombre de jours de gel (données ORACLE Grand Est 2020)

3.2 Prospective

La plateforme DRIAS - les futurs du climat a pour vocation de mettre à disposition les projections climatiques régionalisées réalisées dans les laboratoires français de modélisation du climat (IPSL, CERFACS, CNRMGAME).

Les extractions figurant ci-après prennent comme situation de référence la période 1995-2005, de manière à ce que celle-ci soit centrée sur l'année 2000. Les moyennes de précipitations et températures « de référence » sont donc calculées sur cette même période et non sur les périodes de référence complètes des scénarios CNRM2015 (1950-2005) et IPSL2014 (1971-2005).

3.2.1 Evolution des températures et de la pluviométrie à l'échelle annuelle

Drias		Rcp 4.5	Rcp 8.5	Rcp 2.6
		T 2030	T 2050	P 2030
ISPL	IPSL 4.5	+0.51°C	+0.86°C	+3%
	IPSL 8.5	+0.22°C	+0.90°C	+7%
CNRM	CNRM 4.5	+0.74°C	+0.78°C	+4.1%
	CNRM 8.5	+1.01°C	+1.42°C	-0.5%
	CNRM 2.6	+0.61°C	+0.98°C	-0.5%
		P 2050		
		T 2030	T 2050	P 2030
Rcp 4.5	IPSL 4.5	+0.51°C	+0.86°C	+3%
	CNRM 4.5	+0.74°C	+0.78°C	+4.1%
Rcp 8.5	IPSL 8.5	+0.22°C	+0.90°C	+7%
	CNRM 8.5	+1.01°C	+1.42°C	-0.5%
		P 2050		

Ecarts des scénarios IPSL2014 et CNRM2014 par rapport à la référence &1995-2205 moyennés sur la région Grand Est

L'augmentation des températures, commune à l'ensemble des scénarios, a tendance à être plus marquée en 2050 (environ 1°C ou plus) qu'en 2030 (fourchette 0.5°C à 1°C).

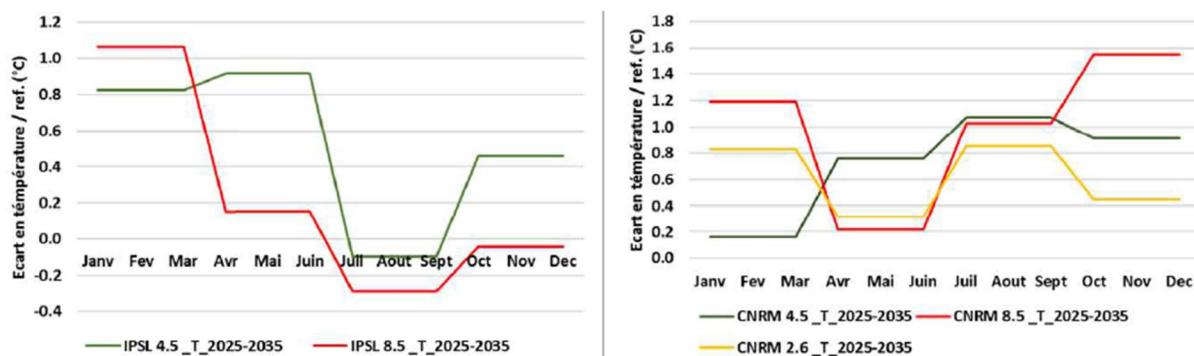
La hiérarchie des scénarios (RCP 2.6 < RCP 4.5 < RCP 8.5) est globalement respectée : le scénario RCP 8.5 conduit au réchauffement le plus marqué en 2050. Pour l'horizon 2030, la hiérarchie entre les scénarios est moins nette. Les évolutions de température sont peu marquées spatialement.

L'évolution de la pluviométrie est plus disparate en fonction des scénarios :

- Le scénario CNRM RCP 2.6 indique une relative stabilité de la pluviométrie annuelle à l'échelle du Grand Est pour les horizons 2030 et 2050,
- Le scénario CNRM RCP 4.5 indique une augmentation des précipitations annuelles à l'échelle du Grand Est (de 4% en 2030 à 7% en 2050).
- Le scénario CNRM RCP 8.5 indique une augmentation des précipitations annuelles de 7% en 2030, mais une stabilité par rapport à la référence autour de 2050.
- Les scénarios IPSL indiquent globalement une augmentation des précipitations annuelles à l'échelle du Grand Est (de 3% en 2030 puis de 5% en 2050 pour le RCP 4.5, de 7% en 2030 puis de 10% en 2050 pour le RCP 8.5).

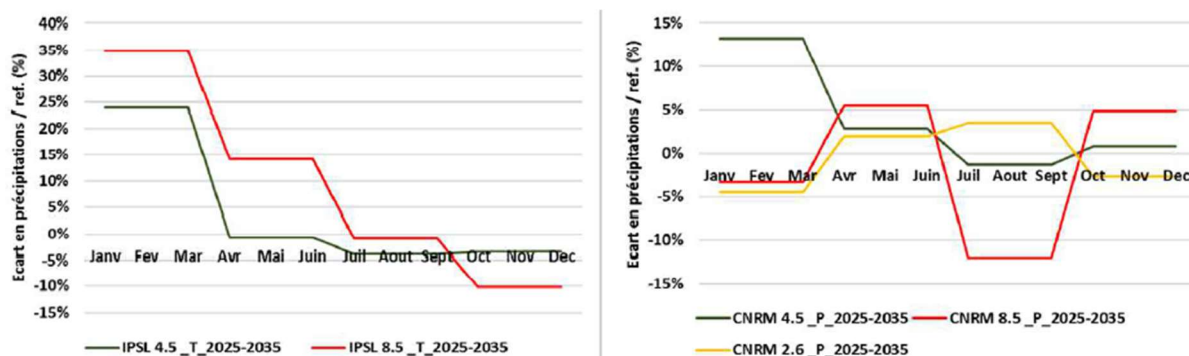
Ces évolutions de la moyenne des précipitations, calculée à l'échelle de Grand Est, cachent cependant des disparités spatiales marquées. En effet, on relève systématiquement pour l'ensemble des scénarios une structure spatiale assez marquée, avec un gradient Nord-Sud bien visible : sur la frange sud de la région, les précipitations sont globalement en baisse alors qu'elles sont globalement en hausse sur la frange nord.

3.2.2 Evolution des températures et de la pluviométrie à l'échelle saisonnière



Ecart de la température moyenne saisonnière du Grand Est par rapport à la période 1995-2005 (SAFEGE-SUEZ, 2021)

L'évolution des températures moyennes en 2030 est plus marquée pour les scénarii IPSL. Tous les scénarios s'entendent pour des hivers plus doux, les scénarios CNRM mettent également en évidence des étés plus chauds.



Ecart de la pluviométrie moyenne saisonnière du Grand Est par rapport à la période 1995-2005 (SAFEGE-SUEZ, 2021)

L'augmentation de la pluviométrie est plus marquée en janvier – février – mars pour les scénarios IPSL. Les scénarios CNRM 2.6 et 8.5 indiquent au contraire un déficit de précipitations sur cette période de l'année.

Le scénario CNRM 8.5 indique un fort déficit pluviométrique en été, ce qui n'est pas le cas des autres scénarii.

3.2.3 Synthèse

Les tendances globales constatées sur la région Grand Est pour les températures et les précipitations indiquent :

- Des étés plus chauds et potentiellement plus secs avec des sols globalement plus secs et des vagues de chaleur ;
- Des hivers globalement plus doux et potentiellement plus humides, mais avec des sols plutôt plus secs ;
- Une modification des pluies efficaces et une moindre recharge des nappes du fait de l'augmentation des températures qui induit une augmentation de l'évapotranspiration.

Les tendances, encore peu marquées en 2030, s'affirment en 2050, même si l'ensemble des scénarios disponibles ne s'accorde pas systématiquement sur ces constats généraux (divergence notamment quant à l'évolution des précipitations).

En annexe 2 figure une synthèse des principales études traitant du changement climatique à l'échelle nationale et/ou du Grand Est.

3.3 Conséquences de l'évolution du climat sur les ressources en eau

Les effets de l'évolution du climat sur les ressources en eau sont plus ou moins prononcés selon les territoires et concernent :

- Les écoulements de surface (écoulements moyens, inondations, assecs) : l'évolution de la répartition saisonnière des précipitations va impacter le régime hydrologique des cours d'eau, en particulier la fréquence et l'intensité des phénomènes extrêmes (inondations et assecs). L'augmentation des températures induira une diminution des précipitations neigeuses et donc une évolution des écoulements pour les cours d'eau de régime nival.
- La recharge des nappes pourrait être impactée d'une part par l'augmentation de l'évapotranspiration (induite par l'augmentation des températures et du vent) et d'autre part par l'évolution des précipitations (bien que la pluviométrie annuelle semble maintenue, la répartition saisonnière devrait évoluer au profit d'épisodes extrêmes plus fréquents qui génèrent souvent du ruissellement au détriment de l'infiltration vers les nappes).
- Les écosystèmes, biotopes et biocénoses liés à l'eau douce seront impactés par l'augmentation des températures, la modification du régime hydrologique des cours d'eau et l'assèchement des sols.
- Les zones humides, en particulier dans les têtes de bassin versant, seront pénalisées par l'assèchement des sols (résultant de l'augmentation de l'évapotranspiration).

4. LE BASSIN FERRIFERE FACE AUX ENJEUX DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

4.1 Effets attendus dans le Bassin Ferrifère sur l'hydrologie et les ressources en eau

Les tendances observées pour le Grand Est y sont également visibles sur le Bassin Ferrifère. Cependant, son fonctionnement hydrologique est fortement perturbé par l'exploitation minière puis son arrêt.

4.1.1 Impact sur les cours d'eau

Les cours d'eau du Bassin Ferrifère appartiennent aux bassins versants de la Moselle et de la Meuse : la Chiers étant l'un des principaux affluents en Lorraine de la Meuse et l'Orne de la Moselle.

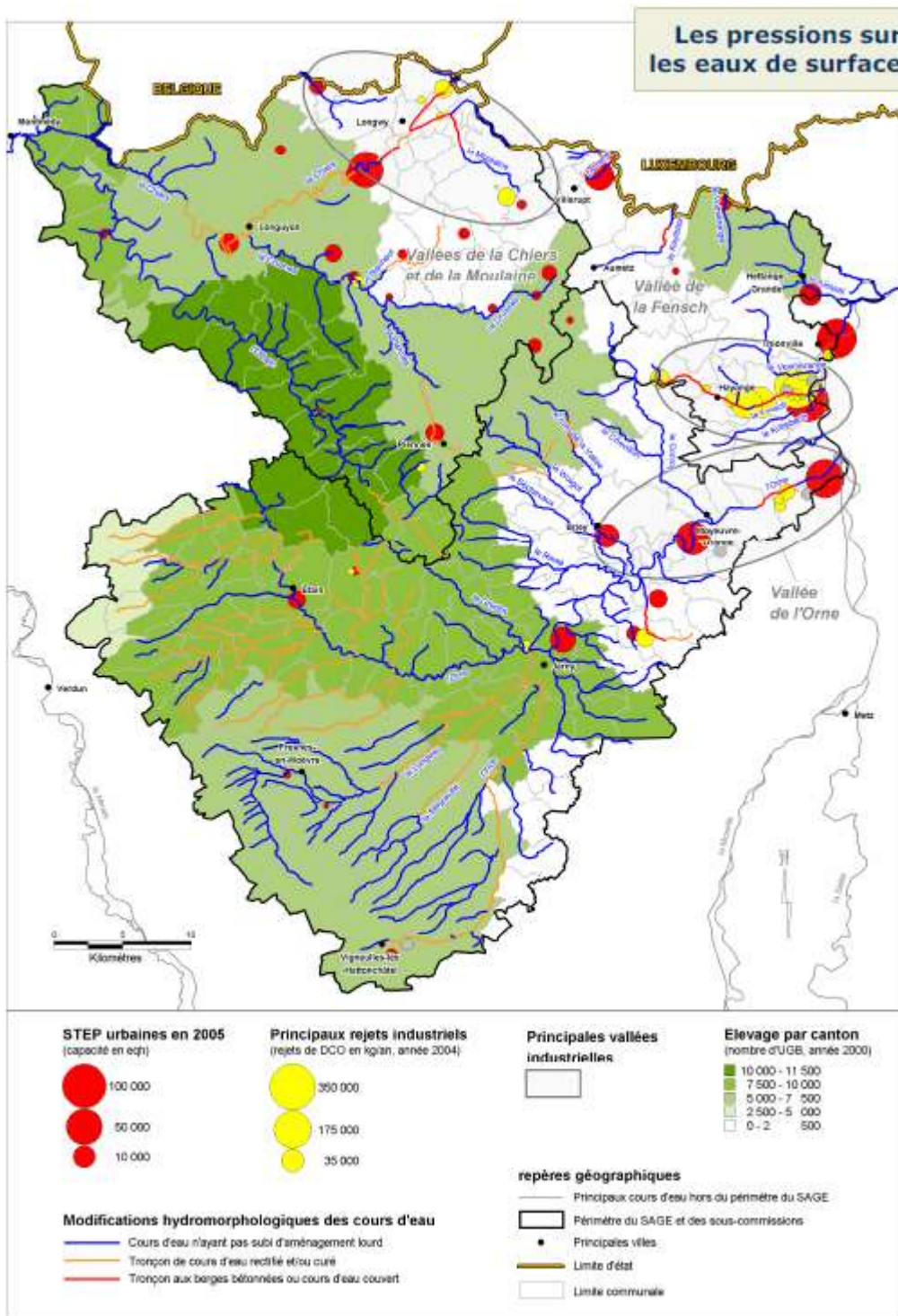
Le territoire du SAGE comprend :

- Le bassin versant de l'Orne qui est aussi le cours d'eau principal (86 km de long). Ses affluents principaux sont l'Yron, le Rawé, et le Woigot et le Conroy. Ces cours d'eau sont alimentés, en sus de leur bassin versant, par des débordements des réservoirs miniers. Les soutiens d'étiage mis en place au moment de l'arrêt des pompes d'exhaure sont désormais tous arrêtés.
- La Moselle n'est présente que de façon discontinue sur le territoire du SAGE qu'elle borde. En revanche certains de ses petits affluents drainent la partie la plus orientale du périmètre et ont joué un rôle important au moment de l'extraction minière : la Fensch, le Veymerange, la Kissel et l'Alzette et leurs affluents. De fait ces cours d'eau sont particulièrement anthropisés et sont l'exutoire de nombreux rejets industriels.
- Le bassin versant de la Chiers dans sa zone amont : la Chiers jusqu'à Montmédy, la Moulaine, la Crusnes et l'Othain. Celui-ci est plus agricole. Les cours d'eau ont amplement été rectifiés au moment des remembrements agricoles et sont l'exutoire de nombreux drains ; deux phénomènes qui ont amplement modifié leur fonctionnement hydrologique. Ainsi, les eaux s'écoulent plus rapidement vers l'aval, les crues sont plus concentrées, bien que ces événements soient atténués par les faibles pentes de la plaine de la Woëvre.

Remarque : L'exploitation minière a généré un bouleversement des régimes des cours d'eau sus-jacents, par modification de la nappe d'accompagnement lorsqu'elle est karstique et création d'apports d'eau artificiels (exhaures). L'arrêt de l'exploitation a de nouveau modifié l'équilibre des hydrosystèmes par arrêt des pompes (quelques soutiens d'étiage ont été mis en œuvre pour compenser la baisse des débits), et création de points de débordements naturels suite à l'ennoyage. Ainsi, l'Orne à partir de Jarny, l'Yron aval, le Woigot, le ruisseau de La Vallée, le Conroy et le Chevillon, la Fensch, le Veymerange, le Kribsbach, la Kiessel, la Kayl, l'Alzette, la Chiers, la Moulaine, la Crusnes, la Piennes, l'Othain, etc. ont subi des modifications de régime hydrologique au cours des dernières décennies

Les conséquences du changement climatique attendues sur les cours d'eau du Bassin Ferrifère sont similaires à celles attendues pour les cours d'eau du Grand Est :

- Des assecs sévères tant en termes de durée que d'intensité
- Des crues plus fréquentes et potentiellement plus intenses en période hivernale.

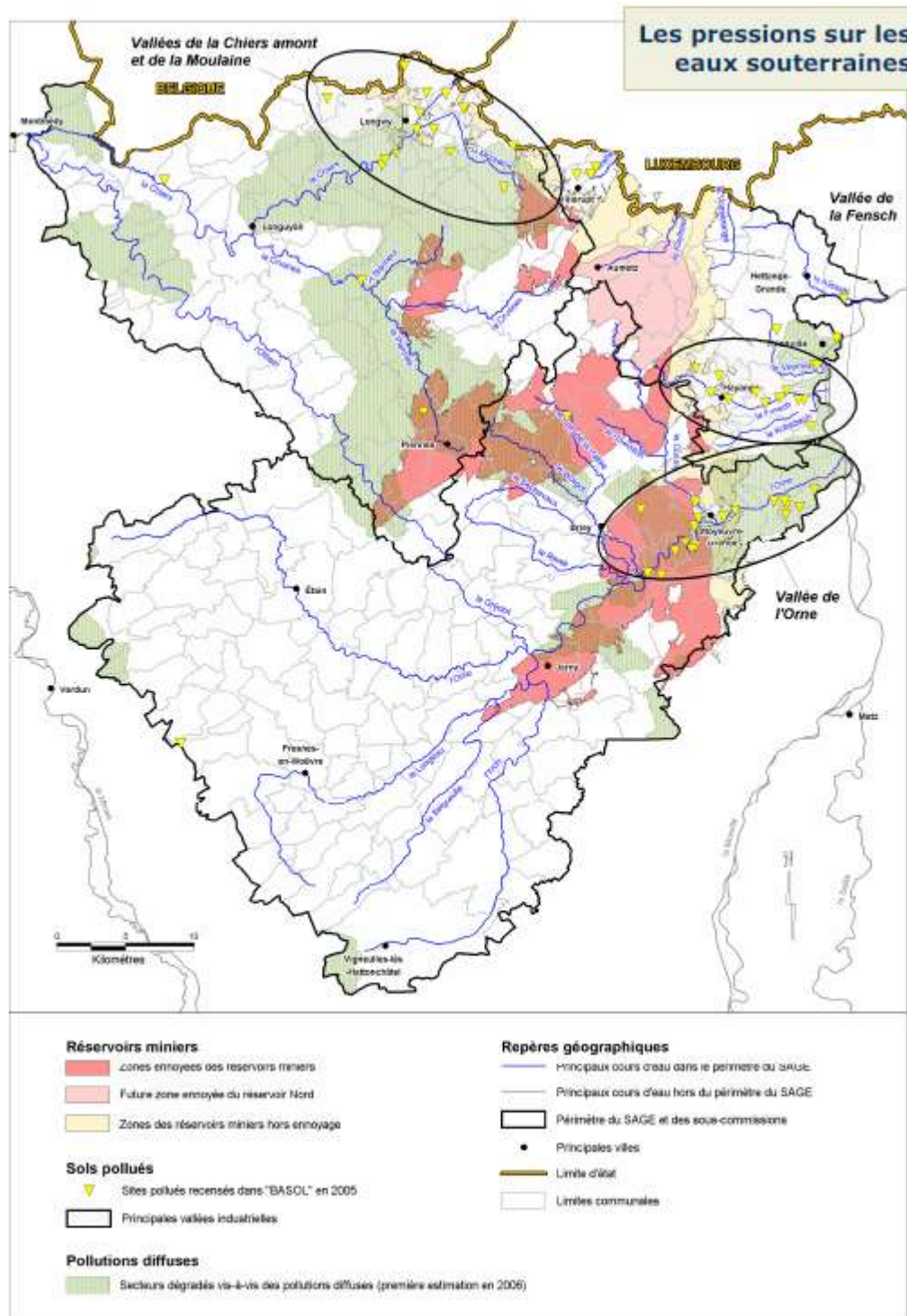


Cours d'eau du Bassin Ferrifère et pressions

4.1.2 Impact sur les nappes et les réservoirs miniers

La particularité du Bassin Ferrifère tient à la présence des réservoirs miniers qui sont de véritables aquifères artificiels en relation hydraulique avec les calcaires karstifiés qui les recouvrent. Les caractéristiques hydrogéologiques de cet ensemble complexe lui confèrent une très forte vulnérabilité : les réservoirs miniers peuvent être très rapidement contaminés par une pollution de

surface, via les calcaires karstifiés du Dogger : rejets ponctuels ou accidentels dans des phénomènes karstiques (failles, pertes de cours d'eau en position d'alimentation d'un réservoir), sols pollués. L'impact potentiel peut être très important si certains polluants à risque toxique parviennent dans un réservoir minier (exemple de la pollution du site de l'ancienne cokerie d'Homécourt).



Eaux souterraines et pressions

Les conséquences du changement climatique portent sur le renouvellement des nappes et les débordements des réservoirs miniers qui sont en lien direct avec la pluviométrie.

L'évolution de la qualité des réservoirs miniers (diminution de la concentration en sulfates en particulier) est directement liée au renouvellement de l'eau stockée.

4.1.3 Impact sur les plans d'eau

A ce groupement d'étangs il est possible d'ajouter le marais (ou étang) de Droitaumont, situé sur l'Yron à Jarny : s'il n'est pas inscrit dans le complexe de la Woèvre, il le complète car il en est très proche géographiquement et présente les mêmes habitats et intérêts écologiques.

Notons enfin le plan d'eau de la Sangsue sur le Woigot et le plan d'eau des Prairettes dans la vallée du Conroy.

Les étangs, présentant pour certains un fort intérêt écologique (zones humides), ont un impact sur la qualité des cours d'eau. Le premier impact porte sur l'hydraulique : nombre de ces étangs sont des piscicultures à vidange automnale, ce qui augmente rapidement le débit du cours d'eau aval pendant une période en général de basses à moyennes eaux (le remplissage a moins d'impact puisqu'il a lieu en hiver en période de hautes eaux). Il est à noter que même les plans d'eau non vidangés peuvent avoir un effet : les pertes par évaporation sont plus importantes pour un plan d'eau quel qu'il soit que pour un cours d'eau, ainsi le débit restitué est le plus souvent inférieur à ce qu'il serait sans l'existence du plan d'eau. Il s'agit là d'un impact majeur sur les cours débit d'étiage des cours d'eau, notamment du fait de la multiplicité des étangs (parfois en série sur un même cours d'eau).

Par ailleurs, la qualité des eaux des étangs est différente de celle de leur exutoire : température et concentrations en matières en suspension et en ammonium plus élevées, mais également teneur en oxygène dissous plus faible ; l'arrivée de telles eaux dans les cours d'eau aval (par vidange ou surverse) peut affecter la qualité de l'eau de ceux-ci. Les apports de pollution organique, liés aux rejets diffus du bassin versant et aux plans d'eau, entraînent l'eutrophisation des cours d'eau. Celle-ci provoque la prolifération des végétaux : les plantes hydrophytes et hélophytes envahissent le lit, ce qui entraîne l'envasement des cours d'eau. Ce comblement est alors géré par les agriculteurs sous forme d'interventions lourdes de curage. Ces perturbations physiques engendrent un appauvrissement écologique généralisé (impact sur les fonds, les berges, la végétation), parfois aggravé par une gestion piscicole inadéquate. Enfin, l'impact est aussi réel sur le peuplement piscicole : les peuplements des plans d'eau sont parfois différents de ceux des cours d'eau connectés, l'arrivée d'espèces non-conformes au domaine du cours d'eau modifie le peuplement en place, des espèces indésirables en cours d'eau peuvent être accidentellement lâchées. Par ailleurs les fortes concentrations en matières en suspension larguées pendant la vidange ont pour conséquence le colmatage des fonds, ce qui s'avère très pénalisant pour la reproduction des salmonidés sur les quelques secteurs concernés.

L'impact du changement climatique sur les étangs et plans d'eau concernent :

- D'une part leur qualité : le développement de micro-organismes et algues type cyanobactérie est une réelle préoccupation. Leur prolifération, due à l'augmentation de la température de l'eau et à la présence d'une charge organique importante, génère un fort impact sanitaire ;
- D'autre part leur niveau de remplissage : celui-ci sera impacté par l'hydrologie des cours d'eau, la pluviométrie mais également l'augmentation forte de l'évaporation attendue essentiellement en période estivale ;
- Et enfin leur fonctionnement : en période de restriction d'usage lié à la crise (arrêtés sècheresse), la vidange des plans d'eau est limitée voire interdite.

4.1.4 Impact sur les milieux naturels

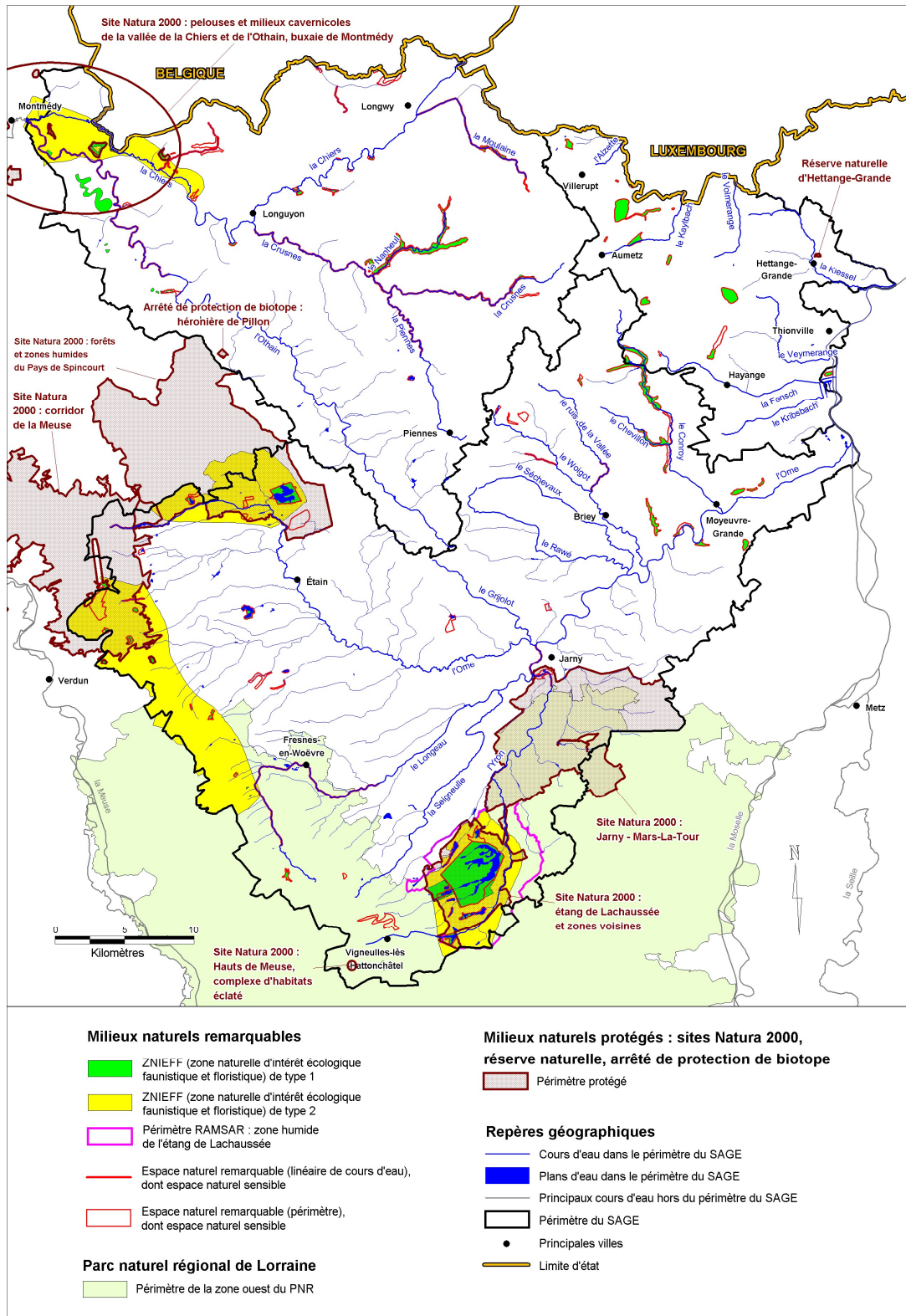
De nombreux milieux naturels remarquables sont recensés sur le territoire du SAGE (parmi lesquels des étangs, cf 4.1.3). Ils ont fait l'objet d'inventaires variés : 77 ZNIEFF de type 1, 4 ZNIEFF de type 2, 1 zone Ramsar et 148 espaces naturels remarquables (dont des espaces naturels sensibles).

Par ailleurs, une partie du territoire du SAGE est comprise dans le Parc Naturel Régional de Lorraine (PNRL).

La plaine de la Woëvre forme avec son complexe d'étangs un réseau extrêmement intéressant de zones humides, à la fois par les habitats propres à chaque étang mais aussi par le complexe global, en particulier pour le passage de l'avifaune migratrice.

De plus, certaines vallées de cours d'eau présentent une grande richesse écologique en tant que zone humide, en raison des fortes interactions existant entre le cours d'eau et le lit majeur : les vallées de la Crusnes, du Nanheul (affluent de la Crusnes), de la Moulaine entre autres ont été remarquées comme zones humides prioritaires au titre du SDAGE ou recensées comme ENS.

Les effets attendus du changement climatique sur les milieux naturels concernent pour l'essentiel le risque d'assèchement du à l'augmentation de l'évaporation, la raréfaction des précipitations en période estivale et la baisse du niveau des nappes une partie de l'année.



Milieux naturels remarquables et protégés

4.2 Effets du changement climatique sur les activités du périmètre du SAGE Bassin Ferrifère

4.2.1 Les impacts du changement climatique sur l'alimentation en eau potable

La population des 258 communes du SAGE est de l'ordre de 370 000 habitants, 10 communes parmi les 12 les plus peuplées du territoire sont concentrées dans les vallées industrialisées :

- vallée de la Moselle : Thionville,
- vallée de la Fensch : Hayange, Fameck, Florange, Uckange,
- vallée de l'Orne : Rombas, Amnéville, Moyeuvre-Grande, Jarny,
- vallée de la Chiers : Longwy.

Pour l'ensemble du Bassin Ferrifère, ce sont 177 millions de m³ qui étaient exhautes annuellement entre 1987 et 1993, avant l'arrêt des exhautes des grands réservoirs Centre (février 1994), Sud (février 1995) et Nord (décembre 2005). Environ 10 % de ce volume était utilisé par les collectivités pour l'alimentation en eau potable de près de 350 000 personnes, soit près de 20 millions de m³ d'eau par an. Un traitement simple suffisait à rendre l'eau potable : décantation, filtration, stérilisation.

A l'heure actuelle, le territoire du SAGE Bassin Ferrifère compte 104 collectivités compétentes en matière d'eau potable. L'eau distribuée sur le périmètre du SAGE est issue de l'exploitation de 155 captages, dont 2 captages d'eaux superficielles. A noter que 23 points de prélèvements sont situés en dehors du territoire du SAGE Bassin Ferrifère comme par exemple :

- La prise d'eau dans l'Othain à Montmédy exploitée par la CA de Longwy ;
- Les forages de Troyon exploités par le SIE de Laffon de Ladebat ;
- Les ressources de Ville de Metz, entité d'appui à l'approvisionnement d'une partie du SAGE.

Parmi les 153 captages d'eau souterraine, on dénombre :

- 116 captages dans les calcaires du Dogger (bajociens, oxfordiens, bathoniens) que ce soit sous la forme du captage d'une source (93 points) ou d'un forage (25 points) ;
- 14 points de prélèvements dans les réservoirs miniers (Sud, Centre, Nord, Serrouville, Godbrange, Moulaine, Longwy) ;
- 13 prélèvements en nappe alluviale (Moselle et Pérotin) ;
- 8 points de prélèvements dans les Grès (grès à roseaux, grès supraliasiques ou grès du Lias).

Les 2 prises d'eau superficielles en rivière exploitées pour les besoins en eau potable du territoire du SAGE sont :

- La prise d'eau dans l'Othain à Montmédy pour le compte de la CA de Longwy,
- La prise d'eau dans le Rupt de Mad à Arnaville pour le compte de Ville de Metz (entité d'appui hors périmètre).

La sécurisation de l'alimentation en eau potable (AEP) est un enjeu d'ores et déjà présent perçu notamment ces dernières années lors des épisodes de sécheresse en 2018, 2019 et 2020 lié à :

- Une multiplication des assecs en période estivale (certaines communes ont régulièrement besoin d'apports extérieurs, par camions citerne par exemple) ;
- Un état vieillissant des réseaux d'eau potable sur certains secteurs, en particulier pour les communes rurales ;

- Un report de certains usages sur le réseau d'eau potable en situation de crise (abreuvement des élevages notamment) sur des réseaux se retrouvant ponctuellement en sous-capacité ;
- Une gestion difficile des flux touristiques sur certains secteurs, notamment en été.

4.2.2 Les impacts du changement climatique sur l'agriculture

L'activité agricole concerne principalement la plaine de la Woëvre, qui forme l'essentiel de la partie ouest du territoire. Les cultures céréalières et l'élevage bovin en sont les principales composantes. L'irrigation est quasi-inexistante.

L'agriculture reste l'un des secteurs les plus impactés par le changement climatique. Des tensions importantes sont apparues lors des sécheresses advenues ces dernières années :

- Augmentation des besoins en eau des cultures et ce dès le printemps ;
- Difficultés d'affouragement, pouvant inciter à l'irrigation de prairies ;
- Irrigation de certaines cultures ne nécessitant jusqu'alors pas d'eau (maraîchage) ;
- Difficultés localisées pour l'abreuvement des élevages (assecs sur les bassins amont, qualité moindre de l'eau tant superficielle que souterraine) nécessitant un report sur le réseau AEP.

4.2.3 Les impacts du changement climatique sur l'industrie

En avril 2006, 153 installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) soumises à autorisation étaient recensées sur le territoire. La répartition géographique des ICPE permet de visualiser les 3 grandes zones industrialisées du territoire du SAGE avec leurs principaux secteurs d'activité industriels :

- la vallée de l'Orne : métallurgie, extraction et déchets,
- la vallée de la Fensch : métallurgie, mécanique et déchets,
- les vallées de la Chiers amont et de la Moulaine : métallurgie, mécanique, déchets et chimie.

Des tensions ont également été observées ces dernières années pour cet usage. Les limitations des prélèvements consécutives à la publication d'arrêtés sécheresse ont ainsi pu induire des ralentissements ou arrêts d'activité, causant des pertes économiques.

4.2.4 Les impacts du changement climatique sur le tourisme et les loisirs

Les activités de loisirs sur les cours d'eau et les plans d'eau du territoire du SAGE sont variés : pêche, sports nautiques (kayak, voile), randonnée. Le SAGE du bassin ferrifère est doté de la 8^{ème} station thermale de France, située à Amnéville, qui est orientée sur les soins pour les voies respiratoires et la rhumatologie. L'eau utilisée pour l'activité thermale à Amnéville est captée à grande profondeur dans la nappe des grès du Trias inférieur, où elle est chaude et salée.

L'impact du changement climatique est également ressenti au niveau des milieux naturels avec des impacts directs sur les écosystèmes et la biodiversité associée, notamment à l'amont des bassins versants :

- Fragilisation de certaines essences du fait des sécheresses répétées ;
- Réchauffement des cours d'eau et eutrophisation ;
- Assecs des petits cours d'eau, assèchement des mares et petits plans d'eau ou forte baisse de leurs niveaux ;
- Assèchement des zones humides ;
- Disparition de certaines espèces aquatiques autochtones dues à l'altération de leurs habitats (augmentation de la température de l'eau, eutrophisation), au profit d'espèces envahissantes plus résistantes.

La qualité écologique de certains milieux a par ailleurs fortement diminué durant les décennies passées sur certains secteurs sous l'effet d'actions anthropiques : altérations hydromorphologiques des cours d'eau, disparition de zones humides (constructions, gravières etc.).

Ces impacts affectent également certaines activités économiques comme le tourisme, avec des difficultés croissantes pour assurer les usages récréatifs liés à l'eau (baignade, sports nautiques) et l'émergence de nombreux conflits d'usages

4.2.5 Les impacts du changement climatique sur les territoires urbanisés

Le changement climatique va tant impacter la répartition saisonnière des précipitations. Ainsi, outre le manque d'eau en période estivale, le territoire devra faire face à des épisodes pluvieux plus intenses que ceux connus actuellement.

Les risques de ruissellement sont donc accrus en zone urbanisée, et de fait les risques d'inondation.

De même, ces précipitations pourraient entraîner des débordements de réseaux d'assainissement et des dysfonctionnements des systèmes d'épuration qui pourraient impacter les milieux naturels.

5. L'OBSERVATOIRE CITOYEN, UN OUTIL DE GESTION DE L'EAU

Avant d'analyser la forme que pourra prendre l'observatoire citoyen des impacts du changement climatique sur les ressources en eau du Bassin Ferrifère, il sera intéressant de définir l'intérêt attendu, sa composition et son fonctionnement probable.

Pour rappel :

a. L'observatoire doit servir à définir les effets du changement climatique sur la ressource en eau : il s'agit de quantifier voire objectiver le ressenti des acteurs du territoire exprimé jusqu'ici au sein de la Commission Locale de l'Eau du SAGE Bassin Ferrifère. Les effets retenus seront appréhendés de façon quantitative et non qualitative, c'est-à-dire qu'il n'y aura par exemple pas de mesure de la pollution de l'eau mais seulement des observations sur les quantités d'eau précipitées, l'importance du ruissellement ou l'humidité des sols. L'observatoire s'attachera à différencier les effets pouvant être attribués à l'évolution du climat de ceux induits par l'anthropisation.

b. Les propositions de construction de l'observatoire citoyen qui suivront sont des indications visant à faciliter la suite du projet. L'observatoire se façonnera progressivement, au fur et à mesure de son développement (projet Life « eau&climat » 2020-2024) et certainement après sa mise en place. Il n'existe actuellement pas d'observatoire équivalent à celui envisagé pour le SAGE Bassin Ferrifère. Le but de ce premier travail d'analyse est de préciser la configuration de l'observatoire de façon à prévenir au mieux des difficultés potentielles et limiter au maximum les erreurs. A ce stade, aucun indicateur ne peut être notamment envisagé, ce niveau de développement étant prévu en année 2 du projet.

5.1 Les objectifs de l'observatoire citoyen

L'observatoire citoyen doit permettre d'enregistrer et valoriser des observations locales ne bénéficiant actuellement d'aucun suivi et permettant de caractériser l'évolution du climat et son impact à une échelle locale et/ou sur une maille fine.

En fonction des effets attendus du changement climatique sur les ressources en eau et en complément des données déjà disponibles, l'objectif est d'identifier des paramètres pour lesquels l'observation citoyenne est possible. En effet, aucun outil de mesure n'étant mis à disposition des contributeurs, les données recueillies ne peuvent être le résultat d'une mesure ; seule l'observation est possible.

Notons que les données produites dans un contexte institutionnel font l'objet d'une validation avant mise à disposition du public. De la même façon un algorithme de validation des données est à prévoir dans le cadre de l'observatoire citoyen du changement climatique. L'APRONA (Association pour la Protection de la Nappe Phréatique de la Plaine d'Alsace), par exemple, qui a mis en place un observatoire de surveillance du niveau de la nappe phréatique en Alsace, détecte les données piézométriques erronées à l'aide d'une analyse statistique de contrôle.

Les données dites institutionnelles pourront être utilisées pour confirmer ou infirmer les observations citoyennes.

Ainsi, les observations pourront concerner la météorologie, l'hydrologie, l'humidité du sol et les impacts sur la flore. Pour certaines d'entre elles, deux manières d'observer seront proposées, l'une réservée aux « observateurs experts », l'autre accessible à tous. Ce sera donc un observatoire à deux vitesses avec des niveaux d'observation plus précis de la part des « observateurs experts ».

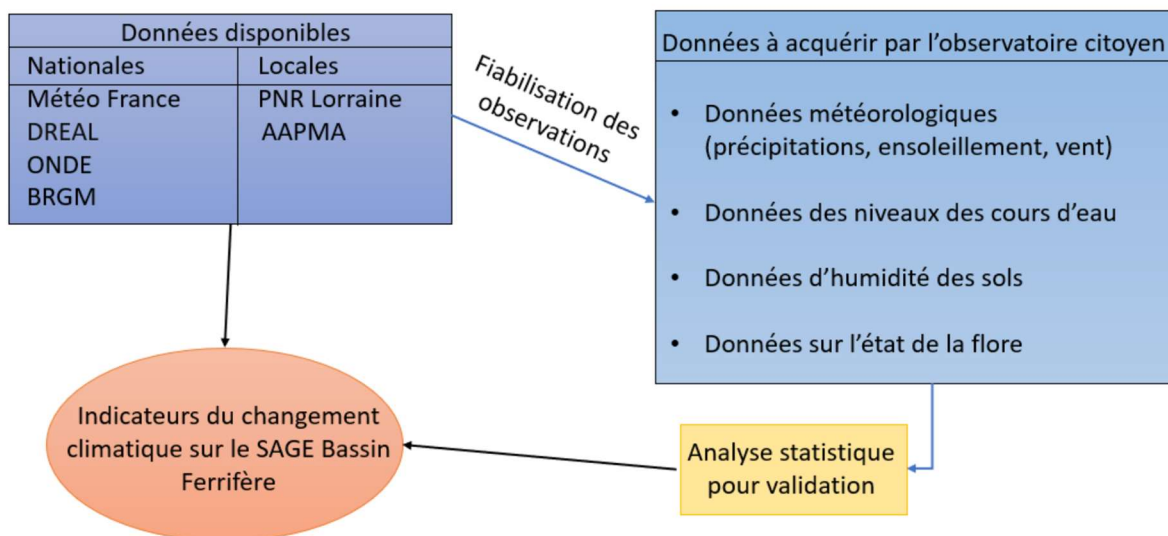


Schéma du fonctionnement de l'observatoire citoyen (Kevin Ditner, 2021)

5.2 Le fonctionnement des observatoires citoyens

5.2.1 De multiples objectifs

L'observatoire citoyen n'est pas un outil défini de manière stricte. Chaque observatoire est adapté à l'objectif pour lequel il a été créé.

Le terme d'observatoire citoyen est utilisé pour un panel très large de démarches participatives. Il existe de nombreux observatoires liés à la vie démocratique. Ce type d'observatoires est mis en place pour recueillir l'avis des citoyens sur les décisions politiques. Pour les observatoires environnementaux, les données recueillies concernent la nature environnante. Les observatoires de prévention des risques naturels sont de plus en plus nombreux et particulièrement pour observer les risques de crue. (Raus et de Jong, 2018) (See, 2019) Ils se distinguent des autres observatoires qui peuvent tout autant observer ces mêmes phénomènes mais exclusivement dans un but de compréhension du territoire.

Dans le numéro spécial de télédétection sur la science citoyenne et l'observation de la Terre, Alan Grainger a défini les observatoires citoyens comme « toute utilisation de la technologie d'observation de la Terre dans laquelle les citoyens collectent des données et sont habilités par les informations générées à partir de ces données à participer à la gestion de l'environnement. » (WeObserve)

Les deux principales raisons pour lesquels des observatoires citoyens sont mis en place sont un apport de données et une sensibilisation des citoyens aux problématiques climatiques et environnementales.

L'observatoire est d'abord créé pour pallier un manque de connaissances. Pour différentes raisons, les moyens technologiques peuvent être insuffisants en nombre ou en précision pour observer l'état de quelque chose ou des phénomènes. Dans le cas de l'observatoire sur la radioactivité dans l'eau mené par ACRO (Association pour le contrôle de la radioactivité dans l'ouest), des prélèvements sont effectués deux fois dans l'année pour vérifier la qualité de l'eau. Les moyens institutionnels n'étant pas jugés suffisants par les bénévoles après l'accident de Tchernobyl, des associations se sont regroupées pour former cet observatoire.

Dans ce dernier cas, l'origine de l'observatoire est une initiative citoyenne mais la plupart des démarches sont mises en place par des collectivités départementales, régionales ou au niveau national et sont également souvent appliquées à ces différentes échelles. Dans d'autres cas, les observations

sont effectuées à des échelles plus précises, celle d'une municipalité, d'un cours d'eau, d'un Parc naturel régional ou, à l'opposée, des échelles plus grandes, c'est-à-dire, continentale ou planétaire. Le site européen WeObserve rassemble différentes démarches participatives environnementales du continent dont un observatoire sur l'humidité du sol qui sera mentionné ultérieurement.

La majorité des observatoires fonctionne très correctement et permet de produire des résultats, c'est généralement le cas des observatoires de prévention des crues par exemple. Mais néanmoins des observatoires pâtissent d'un manque de participation citoyenne comme l'observatoire des sentinelles du climat. Celui-ci se base sur la phénologie des espèces pour observer les effets du changement climatique et il ne semble pas suffisamment accessible au grand public. Enfin, d'autres observatoires se limitent à la production de données sans en tirer de résultats, c'est le cas de l'outil en quête d'eau qui n'exploitent pas les données récoltées.

Différents exemples illustrant ces propos sur les objectifs des observatoires citoyens sont proposés ci-après. Il s'agit principalement de projets français. Si aucun observatoire ne ressemble complètement à celui voulu pour le SAGE Bassin Ferrifère, ils présentent des points d'intérêts et certains seront étudiés plus en détails.

Observatoires citoyens	Thématique	Données suivis	Type d'observation	Fréquence	Périmètre	Observateurs	Traitement des données
ACRO	Environnement-surveillance de la radioactivité	Taux de radioactivité au sein de milieux humides	Prélèvements	2 fois / an et évènements exceptionnels	Région Normandie et quelques points en France	Des volontaires formés pour l'échantillonnage	Cartographie et synthèse des résultats
APRONA	Surveillance de nappe phréatique	Le niveau de la nappe	Mesures	1 fois par semaine	Alsace	Volontaires engagés et dédommagés	Présentation des résultats en continu
CRE Laurentides	Qualité des lacs	Qualité de l'eau des lacs et végétation	Prélèvements et observations	3 fois / an	Région des Laurentides (Québec)	Les associations de lacs (propriétaires)	Présentation des analyses aux associations de lacs
Crowdwater	Surveillance des cours d'eau	Hauteur d'eau, humidité sol et autres informations	Observations	Libre	Monde	Libre	Restitution des données
Ecurisson	Espèces	Présence d'écureuil et de hérissons	Observations	Campagne d'observation (1 fois / an)	PNR du golfe du Morbihan	Libre	Restitution des résultats
En quête d'eau	Surveillance des niveaux d'eau	Niveaux d'eau et espèces invasives	Observations	Libre	France	Libre (souvent des associations de pêche ou autre)	Aucun traitement de données, mais elles sont en libre accès
Grow Observatory	Humidité des sols	Humidité des sols comparés aux données satellite	Mesures à l'aide de capteur d'humidité	Libre et réfléchi	Europe	Volontaires formés sur les mesures	Cartographie des résultats
Les sentinelles du climat	Espèces face au changement climatique	Espèces endémiques sélectionnées (faune et flore) sensibles au changement climatique	Observations précises	Libre	Nouvelle-Aquitaine	Spécialistes et volontaires formés	A venir

Observatoires citoyens	Thématique	Données suivis	Type d'observation	Fréquence	Périmètre	Observateurs	Traitement des données
Observatoire des risques de crue de Brenta-Bacchiglione	Gestion des risques de crue	Des mesures précises pour les techniciens / Des niveaux d'eau et hauteurs de neige pour les citoyens (et autres infos)	Mesures précises / Observations et mesures	Lors d'évènements à risque / Libre	Région du nord de l'Italie	Techniciens spécialistes formés et dédommagés / Libre (surtout élèves et étudiants)	Traitement en temps réel pour prévenir des risques
Observatoire des saisons	Espèces face au changement climatique	Phénologie de plus de 70 espèces animales et végétales	Observations (1ère apparition / feuillaison, floraison, fructification et sénescence)	Libre	France	Libre (beaucoup de collégiens)	A venir
Observatoire Météo-France	Météorologie	Météorologie et catastrophes naturelles	Observations	Libre	France	Libre	Cartographie en temps réel et archivage
Observatoire PNR ballon des Vosges	Environnement face au changement climatique	Quantité et qualité des eaux superficielles	Mesures et prélèvements	Régulière	PNR	Sous-traitant (bureau d'étude)	A venir
OCLM	Environnement et surveillance de la dynamique côtière	Déplacement du trait de côte, végétation et aménagements touchés	Mesures et simples observations	Libre	Littoral morbihannais	Des volontaires formés sur l'échantillonnage	Restitution des données auprès de tous les acteurs du littoral
ORRION	Crues passées	Collecte d'archives	Recherche d'archives	Libre	Alsace	Libre	Archivage

5.2.2 Des outils adaptés

Le développement d'internet dès les années 90 puis des smartphones dans les années 2000 ainsi que des technologies émergentes ont permis de nouvelles possibilités. Cette « cyberscience » citoyenne redéfinit les bases de ce que pouvait être autrefois un observatoire citoyen. (Graham et al., 2011)

Précédemment, les observations se faisaient principalement à l'aide de fiches de terrain manuscrites. L'APRONA, qui s'appuie en partie sur la participation citoyenne pour surveiller le niveau de la nappe phréatique en Alsace, laisse la possibilité aux volontaires de rendre compte des observations par internet ou par des fiches terrain. Celles-ci sont plus contraignantes puisque ces données doivent ensuite être saisies dans la base de données. Aujourd'hui, les observatoires s'appuient quasi-exclusivement sur les nouvelles technologies. Hai-Ying Liu définit l'observatoire citoyen comme « la participation des citoyens à la surveillance de la qualité de l'environnement dans lequel ils vivent, à l'aide d'un ou de plusieurs des éléments suivants: (1) appareils mobiles d'utilité quotidienne; (2) des capteurs environnementaux et/ou portables spécialisés en matière d'environnement et/ou de santé portables, et (3) des observations personnelles, subjectives et/ou objectives, des informations, des itinéraires d'annotation et d'échange, provenant de technologies de médias sociaux ou d'autres plateformes similaires » (Liu et al. 2014)

Pour plus de précisions, (1) les observatoires citoyens fonctionnent généralement à l'aide d'applications smartphones ou de sites internet dédiés à partir desquels les observateurs peuvent directement entrer leurs données. Les smartphones ont l'avantage de déterminer les coordonnées GPS relativement précisément et de pouvoir accompagner l'observation d'une photographie. L'utilisation du smartphone s'est aujourd'hui largement démocratisée permettant ainsi de mettre en place des réseaux de « citoyens capteurs ». (2) S'il s'agit de mesures précises, des outils spécifiques sont nécessaires (échelles limnimétriques, pluviomètres, capteur d'humidité du sol, ...). Ce sont des données fiables à l'image de celles obtenues par des satellites, des stations de mesure ou des capteurs. (3) Les réseaux sociaux rassemblent une très importante partie de la population, et constituent de fait un bon moyen d'attirer les futurs volontaires. Ils sont également utilisés, dans certains cas, comme observatoire. En effet, une étude s'est appuyée sur les tweets en Indonésie relatant une inondation pour évaluer son étendue et son impact. (Eilander et al., 2015) Les tweets décrivant l'inondation, la hauteur d'eau et la localisation sont conservés pour pouvoir la modéliser. Et l'objectif serait de pouvoir reproduire cette démarche partout et en temps réel.

En fonction de la complexité des observations proposées au sein des différents observatoires, les volontaires sont plus ou moins accompagnés. Certaines mesures doivent suivre un protocole précis et nécessitent une formation, voir un accompagnement. D'autres observatoires fonctionnent de manière plus instinctive pour les observateurs et sont plus accessibles. Dans le premier cas, les mesures seront généralement plus précises mais peu de citoyens seront en mesure de s'approprier l'outil. Les observatoires de la biodiversité, par exemple, s'accompagnent souvent d'un guide d'identification des espèces permettant à chacun de pouvoir faire les observations de manière autonome ; la formation des observateurs n'est de fait plus une nécessité. Ces différences sont visibles dans les exemples qui suivent.

5.2.3 Des exemples de démarches participatives

En quête d'eau



C'est un programme de science participative développé par l'OFB. Il permet aux volontaires de renseigner le niveau d'eau visible de n'importe quel cours d'eau. Les propositions de description sont les mêmes que celles utilisées par les agents départementaux (débordement, écoulement visible acceptable, écoulement visible faible, écoulement non visible, assec). De plus, il est possible d'indiquer l'ensoleillement au moment de l'observation et la présence ou l'absence de deux espèces invasives (jacinthe et jussie). L'observation doit être localisée manuellement sur une carte et la date et l'horaire doivent l'accompagner. C'est un outil très simple d'utilisation. Il est actuellement surtout utilisé dans la région Bourgogne-Franche-Comté où il a fait l'objet d'une promotion des acteurs de l'eau.

Météo France



Sur son application smartphone, Météo-France propose un programme d'observation météorologique. C'est une démarche participative qui permet de renseigner sur les phénomènes météorologiques observables depuis chez soi. Cela peut être tout simplement les orages, la grêle, la pluie, le brouillard, l'ensoleillement ou des phénomènes tels des inondations, des avalanches, des glissements de terrain, des tornades, ... Ces observations permettent d'obtenir « une carte du ciel collaborative en temps réel ». Ce sont des données complémentaires à celles mesurées par les stations automatisées.

Grow observatory



Grow Observatory est un observatoire citoyen en place dans 13 pays européens et développé par un grand nombre de partenaires ayant des intérêts communs. L'objectif principal est de récolter des données sur l'humidité du sol, à l'aide de capteurs à faible coût, de vérifier les données satellite et de les préciser. Ces mesures nécessitent une formation préalable. L'humidité du sol peut donner des indications sur des catastrophes comme les incendies ou les inondations. Cet observatoire soutient également le développement durable et l'amélioration des sols. Avec environ 20 000 participants, c'est un exemple d'observatoire citoyen à grande échelle. (Kovács et al., 2019)

Observatoire des saisons



L'Observatoire Des Saisons est un programme scientifique et pédagogique qui invite les citoyens à mesurer l'impact du changement climatique sur la faune et la flore par l'observation des rythmes saisonniers, c'est à dire la phénologie des plantes, arbres, oiseaux, insectes. C'est un observatoire national créé en 2007 par le CNRS qui est désormais intégré dans le programme Phénoclim. L'observatoire est aussi bien ouvert aux amateurs qu'aux connaisseurs. Les collèges ont été particulièrement ciblés dans le développement de l'outil en Provence. Plus de 70 espèces sont observables. Pour les espèces animales, il faut dater leur 1ère apparition dans l'année et pour les espèces végétales il est possible de dater la feuillaison, la floraison, la fructification et la sénescence.

5.3 Les atouts de l'observatoire citoyen pour le SAGE Bassin Ferrifère et les faiblesses

5.3.1 La sensibilisation des citoyens

Le second intérêt de l'observatoire citoyen est qu'il permet de sensibiliser les citoyens aux problématiques environnementales. Dans le cadre de cet observatoire des effets du changement climatique sur la ressource en eau, ils acquerront des connaissances sur la gestion de l'eau, l'hydrologie du territoire et les impacts du changement climatique sur les quantités d'eau disponibles. « À travers la gestion de cette ressource primaire, c'est tout une logique qui peut être réenclenchée : comprendre que l'eau, ce n'est pas seulement actionner un robinet, c'est comprendre un cycle vital et multiforme, dépendant si étroitement de sa relation avec son milieu et intégrer au plus profond de soi qu'il s'agit d'un bien commun. » (Janiw et al. 2021)

Plusieurs observatoires de la biodiversité sont populaires car les habitants sont sensibles à l'évolution de la faune et de la flore proches de chez eux. Au Royaume-Uni par exemple, l'observatoire Big butterfly count, plateforme sur laquelle n'importe qui peut renseigner sur la présence d'un ou plusieurs espèces de papillons aperçus, a enregistré en 2019 113 000 décomptes. Dans un autre exemple, en Ecosse, ce sont des étudiants qui ont participé à la co-construction d'un projet qui consistait à trouver l'outil adéquat pour détecter les microparticules de plastiques dans les rivières. (Hughson-Gill, 2020) Ils ont ensuite pris les mesures et les résultats ont pu mettre en avant les cours d'eau les plus pollués. Cette démarche participative est intéressante car elle a permis d'intégrer les étudiants dans tout le processus de développement. Ainsi, ils se sont appropriés l'outil et ont été directement sensibilisés aux problèmes de pollution de plastique dans les cours d'eau puis les océans.

La participation citoyenne est non seulement indispensable pour le bon fonctionnement de ce dispositif mais, en plus, peut permettre de donner davantage de poids aux résultats obtenus lors de la prise de décision. Intégrant une démarche scientifique, l'observatoire citoyen permet un échange de connaissances entre scientifiques et citoyens. Il faut pouvoir intégrer les connaissances passées et présentes des acteurs locaux dans la nouvelle collecte de données (De Jong, 2013).

5.3.2 Des coûts réduits

Le coût d'un observatoire varie très fortement selon différents critères. Il peut être très faible dans le cas où il ne s'agit que d'une plateforme qui fonctionne sans intervention. Les associations et les collectivités qui mettent en place des observatoires doivent débloquer un budget pour le développement et la maintenance de l'outil ainsi que la gestion des données. C'est ainsi que fonctionne la plupart des observatoires (en quête d'eau, l'observatoire des saisons par exemple). Mais dès lors que l'observatoire nécessite des outils de mesure, des analyses d'échantillonnages, des formations, des accompagnements continus ou l'intervention de sous-traitants, le coût augmente forcément (Grow Observatory, CRE Laurentides par exemple).

L'observatoire citoyen, fonctionnant grâce à l'investissement de bénévoles, sera toujours moins onéreux que l'implantation de nombreuses stations de mesures supplémentaires à travers tout le territoire. Il est complexe d'estimer le rapport coût / bénéfice d'un observatoire citoyen. Une étude italienne l'a fait pour l'observatoire de Brenta-Bacchiglione, un observatoire citoyen à grande échelle dans le nord de l'Italie. C'est un observatoire de gestion du risque de crue. Le changement climatique devrait augmenter l'intensité des crues dans la région. Plusieurs possibilités d'action s'offraient donc aux décideurs pour lutter contre les risques liés à ces crues, la mise en place d'observatoire citoyen de surveillance des crues ou une rétention d'eau qui limiterait les débordements du cours d'eau le plus à risque. L'observatoire a été l'option sollicitée. Il fonctionne à deux vitesses avec d'un côté quelques

observateurs experts, rémunérés, qui sont mobilisés pour prendre des mesures à l'aval au moment d'évènements exceptionnels et des observateurs citoyens qui prennent des mesures de niveau d'eau et de hauteur de neige. C'est un observatoire ambitieux qui impliquerait plusieurs dizaines de milliers de volontaires, pour un coût total de 5 millions d'euros. Cette étude a permis de mettre en avant la réduction des coûts à travers une analyse coût / bénéfice (Ferri et al., 2011). Elle compare, à l'aide de modèles, le coût des dégâts engendrés par des crues ayant des périodes de retour différentes dans le cas où soit l'observatoire soit la retenue d'eau est mise en place. L'observatoire pourrait permettre d'éviter quasiment autant de dégâts que la retenue d'eau et permettrait d'économiser environ 70 millions d'euros. Le rapport coût / bénéfice, dans ce cas, est donc largement plus intéressant pour l'observatoire citoyen.

5.3.3 La participation citoyenne

La difficulté principale de cet observatoire est qu'il ne fonctionnera pas sans la participation d'un minimum de contributeurs. Ce minimum sera à déterminer. Les citoyens doivent être convaincus de l'utilité du projet et donc de l'utilité de chacune de leur mesure. En amont, des explications sur les effets potentiels du changement climatique sur leur territoire devront être apportées pour commencer un travail de sensibilisation. La chambre d'agriculture, par exemple, fait des ateliers de sensibilisation auprès des agriculteurs pour les sensibiliser et leur apporter des solutions d'adaptation. La population est surtout concentrée à l'ouest de SAGE, dans les plus grandes agglomérations et à la frontière avec le Luxembourg. Si les observations se font surtout autour des mêmes zones, l'outil ne pourra pas fonctionner correctement. Il est essentiel d'avoir des mesures dispersées sur l'ensemble des bassins versants. Des repères d'observation de niveau d'eau pourraient peut-être rendre plus attractives certaines zones délaissées car trop peu peuplées. L'outil en quête d'eau est très peu utilisé dans les régions où il n'a pas été présenté aux acteurs de l'eau, il l'est en revanche dans les régions qui l'ont diffusé. La même réussite est probable mais l'observatoire devra être convaincant.

	Observatoire citoyen	Réseau d'observateurs
Principe	Des mesures libres sans consigne stricte de temps, sans outil particulier de mesure	Des mesures structurées avec des outils de mesure à des stations définies au préalable et un respect des fréquences de mesure
Exemples	En quête d'eau (OFB) / les sentinelles du climat	L'APRONA / ACRO
Avantages	Plus accessible, permet de toucher davantage de personnes	Des mesures précises et une bonne dispersion du réseau de mesures
Inconvénients	Des mesures différentes d'un observateur à un autre, une moins bonne dispersion du réseau de mesures	Beaucoup de contraintes qui intéresseront peut-être moins de gens

5.4 Un plan pour la mise en œuvre de l'observatoire citoyen

5.4.1 Promouvoir son utilisation

Dans un premier temps, des contacts ont déjà été établis avec des acteurs présents sur le territoire du SAGE Bassin Ferrifère : DREAL Grand Est, Météo-France, OFB, BRGM, PNR de Lorraine, Agence de l'eau Rhin Meuse, Chambres d'agriculture, fédérations de pêche et Conservatoire des espaces naturels. Ces échanges ont permis de mieux comprendre quel type d'observatoire serait plus adapté et aussi quels acteurs seraient susceptibles de pouvoir participer et dans quelle mesure.

Dans l'ensemble, les avis sur les bases du projet ont été très positifs avec néanmoins quelques craintes concernant la répartition des observations sur le territoire par exemple. Il est essentiel de toucher un public relativement large pour assurer le bon fonctionnement de l'observatoire citoyen. « Le premier critère est donc de déterminer à qui nous aimerions faire passer le message et de cibler ces utilisateurs d'une manière qui assure un certain niveau d'intérêt. » (Liu et al., 2014)

Certains acteurs, du fait notamment du lien entre l'eau et leur activité, sont déjà sensibles à l'état des ressources en eau et seront plus facilement convaincus de participer. Les pêcheurs par exemple font déjà des observations de leurs plans d'eau et des aménagements sont effectués au sein des AAPMA (association agréée pour la pêche et la protection du milieu aquatique). Les agriculteurs s'intéressent particulièrement à la météorologie et à l'humidité des sols. Les randonneurs et autres amoureux de la nature sont attachés au bien-être de la biodiversité. Ce sont des citoyens qui doivent être intégrés rapidement au projet et, ce, dès son élaboration. Il pourrait être intéressant de sonder directement les citoyens afin d'estimer leur intérêt vis-à-vis de ce projet et de connaître leurs attentes.

Il est important de convaincre les citoyens de l'intérêt de cet outil en en faisant de la publicité de différentes manières auprès des acteurs ciblés : sur un site internet dédié, sur les réseaux sociaux, à travers des webinaires ou séminaires, dans les municipalités (bulletins communaux par exemple), par des articles de presse, ... La réussite de l'outil « en quête d'eau » dans la région Bourgogne-Franche-Comté est un bon exemple de promotion d'un observatoire citoyen. En effet, cette démarche participative n'a pas été promue sur le territoire français hormis dans cette région par des webinaires auprès des acteurs de l'eau. Le résultat c'est qu'aujourd'hui la Bourgogne-Franche-Comté rassemble, au total, 2/3 des observations.

5.4.2 Assurer sa fonctionnalité

L'observatoire citoyen fonctionnera, comme cela a été mentionné, avec une participation citoyenne suffisante. Ce taux de participation pourra se préciser au moment de la construction de l'outil et de l'algorithme qui le composera. Un observatoire citoyen de prévention des risques de crue à petite échelle, à Mondorf-les-Bains au Luxembourg, fonctionne grâce à une dizaine d'observateurs seulement (Raus et de Jong, 2018). Tandis que l'observatoire de Brenta-Bacchiglione, en Italie, a pour ambition de rassembler plusieurs milliers d'observateurs.

Il est impossible d'établir un nombre minimum d'observateurs requis à ce moment-là du projet. Néanmoins, au moment de la construction de l'observatoire, la régularité et la fréquence minimale des observations devront être définies. Notons que les données disponibles dans les différents dispositifs de suivi institutionnels peuvent compenser quelques fois les absences d'observations.

L'outil fonctionnera principalement à l'aide d'une application smartphone qui intégrera la géolocalisation et la photographie si nécessaire. Un site internet similaire peut également être développé pour ceux qui ne possèdent pas de smartphone.

Ensuite, il est intéressant de connaître le profil des observateurs. Lors de leur première utilisation, les bénévoles doivent s'inscrire en remplissant des informations sur leur profil. Il est aussi important de pouvoir assurer l'anonymat à ceux qui le souhaitent. Mais connaître le profil et les raisons pour lesquelles un utilisateur participe à cette démarche peut donner des indications sur quelles catégories socio-professionnelles ou quelle tranche d'âge ont été les plus touchées. Il s'agirait de faire un suivi des participants. Cela permet ultérieurement d'élargir éventuellement la promotion de l'observatoire vers des profils jusque-là peu concernés. Par exemple, si les jeunes, ou les étudiants ne participent pas ou peu, il est possible de concentrer davantage les campagnes de sensibilisation sur les réseaux sociaux.

Les observations doivent être accompagnées de protocoles permettant d'expliquer pourquoi cette observation est intéressante pour la détermination des effets du changement climatique sur l'eau et surtout comment l'effectuer et comment choisir entre différents critères. Il faut également prévoir un volet « sécurité » afin de s'assurer que les observateurs ne prennent aucun risque lors de leurs démarches. Le but est d'observer ce qui est accessible. Et enfin, il faut prévoir l'installation des repères de niveaux d'eau dans des lieux stratégiques, c'est-à-dire qui soit des lieux de passage soit des sites présentant des intérêts majeurs. Les ruisseaux de Boler, du Rawé et les rivières de Longeau et de l'Othain pourraient également être retenues car peu de données sont disponibles.

6. LES DONNEES

6.1 Les paramètres météorologiques

La météorologie étudie les phénomènes atmosphériques tels que les nuages, les précipitations, le vent. Le changement climatique devrait modifier les conditions météorologiques actuelles qui impacteront l'hydrologie du territoire. Météo France, avec ses 6 stations sur le Bassin Ferrifère, permet d'avoir suffisamment de données sur les températures. En effet, à quelques dizaines de kilomètres d'une station, les températures devraient être similaires. Néanmoins le vent, les précipitations et la couverture nuageuse varient beaucoup plus dans l'espace. Aussi, leur suivi dans le cadre de l'observatoire citoyen est opportun. Les autres observations étant plutôt des conséquences visibles du climat, ces paramètres pourraient être renseignés de façon systématique afin de comprendre d'éventuelles différences entre les bassins versants.

Météo France a mis en place une démarche participative permettant à tout un chacun de renseigner la météo ou des phénomènes climatiques visibles depuis chez soi à partir d'une application smartphone. Une démarche relativement similaire mais simplifiée est proposée dans le cadre de cet observatoire.

6.1.1 Observation des précipitations

Intérêt : Ce paramètre aura une place très importante dans le calcul des indicateurs car il influence directement le cycle de l'eau. Il sera aussi déterminant de l'humidité du sol.

Observateurs citoyens : Cette observation ne nécessite aucun outil de mesure. Elle prend en compte deux critères pour définir le type de précipitations : l'intensité et la durée de la pluie. Les jours sans pluie sont déterminants dans le calcul des indicateurs, il est donc important de pouvoir les mentionner. Le but est de ne pas proposer trop d'options pour caractériser l'intensité ou la durée d'une pluie sans quoi la démarche serait trop complexe et le risque de divergence d'appréciation entre contributeurs élevé. Pour l'intensité de la pluie deux propositions sont soumises aux volontaires : faible intensité et forte intensité. Sur la plateforme, une description pour chacune des intensités illustrera les propositions pour faciliter le choix. Et pour la durée deux options sont aussi proposées : courte et longue suivant si la durée de l'évènement est inférieure ou supérieure à 1 heure. Ainsi avec l'option « aucune pluie », il y aurait 5 possibilités différentes avec des incidences différentes sur le cycle de l'eau. La présence et une estimation de la quantité de neige devrait aussi être intégrée à cette observation.

Observateurs experts : correspond à une mesure faite à l'aide d'un pluviomètre.

Points de vigilance : les observations seront analysées et validées par comparaison réciproque et à partir des mesures réalisées au niveau des stations de Météo France. L'interprétation de la valeur « sans précipitation » ne sera possible que dans le cas d'une chronique continue.

6.1.2 Observation du vent et de l'ensoleillement

Intérêt : Ce sont deux paramètres qui ont une incidence majeure sur l'évaporation et donc sur les quantités d'eaux de surface disponibles. Le vent est généralement assez homogène sur de grands espaces sauf lors d'épisodes orageux par exemple. Les mesures faites par Météo France sont donc déjà très importantes mais des observations citoyennes pourraient indiquer des épisodes venteux localement. Il en est de même pour la couverture nuageuse qui peut largement varier dans l'espace.

Observateurs citoyens : Tout d'abord, l'observation du vent pourrait se faire sous forme de 3 propositions : vent faible, modéré ou fort. De même qu'il est possible d'observer une manche à air pour déterminer la force du vent, la végétation peut être utilisée comme indicateur. Avec un vent faible, seules les feuilles ou les hautes herbes s'agitent légèrement (il correspondrait à un vent inférieur à 11 km/h ; légère brise sur l'échelle de Beaufort). Un vent modéré fait bouger les troncs d'arbustes et les cimes des arbres s'agitent (soit de 12 à 38 km/h, jusqu'à la bonne brise sur l'échelle de Beaufort). Et un vent fort fait se plier les branches d'un arbre ou un parapluie (plus de 39 km/h soit un « vent frais » ou au-delà). L'observation de l'ensoleillement se ferait de la même manière avec 3 propositions : ensoleillé, légèrement nuageux, nuageux. La catégorie « nuageux » désigne un ciel ne laissant pas passer de rayons du soleil dans le sens communément décrit au contraire de la catégorie « légèrement nuageux ».

Points de vigilance : Ce sont des paramètres changeants qui peuvent même évoluer lors de l'observation. L'observateur doit ainsi avoir la lucidité de faire une moyenne de ce qu'il a observé. Par exemple s'il a observé, au départ, un ciel dégagé puis, au moment de rentrer chez lui, un ciel couvert, il pourra indiquer qu'il y avait un ciel « légèrement nuageux ». Ces deux paramètres devront être illustrés pour faciliter la prise de décision de l'observateur.

6.2 Les paramètres hydrologiques

Les niveaux d'eau du sous-sol n'étant observables que par des stations de mesure piézométrique, ils ne peuvent être observés dans le cadre de ce projet. De fait l'observatoire citoyen se concentrera sur les niveaux d'eaux de surface.

La variation du niveau des plans d'eau n'est pas aussi visible que celle des cours d'eau. Certaines données précises sont néanmoins disponibles pour les étangs de Lachaussée et d'Amel ; elles pourront être intégrées au calcul des indicateurs.

L'Observatoire national des étiages estivaux (ONDE) a mis en place l'outil « en quête d'eau » qui propose aux citoyens de renseigner le niveau des cours d'eau sur une plateforme internet dédiée. L'observation suivante s'appuie sur ce fonctionnement.

Intérêt : Le niveau des cours d'eau est pour l'essentiel la conséquence des conditions climatiques récentes. Il est un très bon indicateur de périodes de sécheresse et d'inondation. Un cours d'eau en assec est dû à un manque de précipitations sur une période de plusieurs semaines mais peu aussi indiquer un niveau très bas de la nappe alluviale.

Observateurs citoyens : Cette observation consiste à caractériser visuellement l'écoulement : assec, écoulement visible faible, écoulement acceptable et débordement. Les deux extrêmes correspondent à un état de sécheresse et d'inondation. Entre les deux, sont distingués le filet d'eau au fond du cours d'eau (écoulement visible acceptable) d'un niveau moyen (écoulement acceptable). Encore une fois, les propositions doivent être accompagnées d'une illustration et d'une description pour aider les observateurs à choisir et donc limiter les erreurs d'appréciation.

Les espèces piscicoles dépendent d'un niveau d'eau minimum pour leur survie. Durant les périodes de sécheresse, il est possible d'observer une surmortalité de poissons. (Labarchède et al. 2020) C'est un signalement qui pourra accompagner l'observation d'assec ou d'écoulement visible faible.

Observateurs experts : Cette observation des niveaux d'eau se fait à partir de repères prédéfinis : repère de niveau de débordement, repère de niveau faible et échelle limnimétrique. Des crues exceptionnelles ont parfois été marquées et datées. Ce type de repère permet, par comparaison, d'avoir une bonne indication du niveau de la crue. Pour les sécheresses, le principe est le même mais,

à l'inverse, lorsque des repères, appelés « pierre de famine » ne sont plus engloutis, cela indique d'un niveau d'eau très faible. La mise en œuvre de l'observatoire nécessitera vraisemblablement de recenser les repères existants et analyser le niveau de couverture et la possibilité de le compléter le cas échéant. Notons plusieurs retours d'expérience sur ce sujet : installation de repères de niveaux d'eau facilement identifiables, de différentes formes et éventuellement ludiques, pourvus qu'ils soient stables et qu'ils puissent en outre être des objets de curiosité. Enfin des échelles limnimétriques peuvent être installées dans des zones où les berges sont stables, c'est-à-dire bétonnées, donc au niveau de ponts par exemple. Ces échelles permettent d'avoir une indication très précise du niveau d'eau comme les données produites par la DREAL Grand Est. Ces repères peuvent être utilisés par les techniciens de rivières, des ouvriers communaux ou des riverains

Points de vigilance : au vu du retour d'expérience de l'outil « en quête d'eau », les observations simplifiées ne devraient pas poser de problème. Mais dans le cas d'une crue, le temps de débordement pouvant être court, il peut passer inaperçu si aucune observation n'est enregistrée à ce moment-là. Pour les repères, il y aura un travail à mener pour qu'ils soient pertinents, accessibles et lisibles. Il faudrait sûrement envisager un panneau explicatif pour accompagner les repères et intéresser les citoyens.

6.3 Les paramètres d'humidité du sol

Au même titre que les niveaux des cours d'eau, l'humidité du sol est indicatrice des quantités d'eau de surface disponible. Une humidité suffisante est nécessaire à la survie de la flore et donc de la biodiversité. C'est une préoccupation pour bon nombre d'acteurs du territoire et différentes manières d'observer l'humidité du sol seront proposées. Il sera ainsi possible d'observer un sol saturé en eau et un sol sec.

6.3.1 Observation de sol sec

Intérêt : Les sols secs indiquent un manque d'eau. Ils sont la conséquence d'un manque de précipitations d'abord mais aussi d'une évaporation intense provoquée par des chaleurs importantes, un ensoleillement prolongé et des vents forts également. Ils indiquent un état de sécheresse.

Observateurs citoyens : Un sol sec pourra être constaté de deux manières. Dans un premier temps, une observation des sols nus devra être mise en place. Dans les champs, lorsque des engins agricoles circulent, il est possible de détecter des nuages de poussières. Les sédiments ne sont pas agglomérés lorsque l'humidité est quasi-nulle, ainsi des particules fines se détachent et s'envolent. Une simple indication de ces nuages de poussière est suffisante pour déterminer la sécheresse du sol. Cette observation peut être faite par les agriculteurs directement ou par les riverains. Enfin, chez les particuliers, l'observation de l'état de la pelouse pourrait être complémentaire. Elle présente l'avantage de pouvoir être faite depuis chez soi, dans son propre jardin ou dans un parc public par exemple. Les herbes qui composent la pelouse ne se régulent pas en fonction de la quantité d'eau disponible, elles évapotranspirent en continue. Lorsque le sol est sec, les herbes vont rapidement dessécher. L'état de sécheresse de la pelouse représente donc un bon indicateur d'un sol sec.

Points de vigilance : Ces observations indiquent un manque d'eau dans la couche supérieure du sol mais ce n'est pas forcément le cas plus en profondeur même si l'humidité s'homogénéise par capillarité. Il n'est pas possible de conclure d'une sécheresse par ces observations, néanmoins, il s'agit d'un bon indicateur qui devra être couplé avec les observations de niveau des cours d'eau.

6.3.2 Observation de sol saturé en eau

Intérêt : Il n'y a pas d'observation simple permettant de déterminer un niveau intermédiaire d'humidité du sol. Mais un sol saturé indique qu'il y a eu des précipitations importantes. Un sol saturé en eau conduit au ruissellement des eaux de surface.

Observateurs experts : L'observation d'un sol saturé se fera par l'observation de l'écoulement des drains agricoles. Lorsque le sol est saturé, l'eau percole en profondeur et va rejoindre les drains agricoles. Ensuite l'eau s'écoule jusqu'à l'exutoire où il est possible de la visualiser. De plus, les champs n'étant pas irrigués, il n'y a pas d'apport d'eau extérieur modifiant les conditions naturelles. Cette observation est donc un bon indicateur d'un niveau d'humidité des sols élevé. Cette observation pourrait être faite par les agriculteurs qui connaissent bien leur terrain et pourraient relever aisément cette information.

Points de vigilance : l'observation n'existera que pour les territoires agricoles (plaine de la Woëvre pour l'essentiel).

6.4 Les paramètres liés à la flore

L'état de la flore, en dehors de l'impact des actions anthropiques, est le reflet des conditions climatiques et de l'hydrologie du territoire ; c'est-à-dire que tous les phénomènes qui auront été observés à partir des paramètres précédents, auront une certaine répercussion sur la biodiversité. Ces conséquences ne sont généralement pas visibles dans l'immédiat mais à plus long terme. En effet, une forêt dépérit au bout de plusieurs années, de même que l'implantation de plantes invasives dans une ripisylve demande plusieurs semaines voire mois. Ces changements visibles au niveau de la flore traduisent donc, entre autre, une modification des conditions climatiques et seraient un indicateur très intéressant du changement climatique.

6.4.1 Observation de la ripisylve

Intérêt : La ripisylve remplit plusieurs fonctions parmi lesquelles la limitation du rayonnement solaire sur le cours d'eau. Une ripisylve de qualité peut réduire la température de l'eau d'environ 4°C. Différentes formes d'association de végétaux composent les ripisylves. Certaines possèdent toutes les strates, c'est-à-dire les hautes herbes, les arbustes et les arbres. D'autres ne sont que composées d'herbes et d'arbustes. Il est important de distinguer ces deux différentes ripisylves puisque la première a un pouvoir rafraîchissant beaucoup plus important que la deuxième.

Observateurs citoyens : Cette observation est accompagnée de trois propositions : absence de ripisylve / ripisylve partielle / ripisylve de qualité. La ripisylve de qualité correspond à celle qui est composée de toutes les strates de végétation et la ripisylve partielle n'en possède qu'une partie c'est-à-dire seulement des arbres ou seulement des arbustes et n'est pas suffisante pour ombrager complètement le cours d'eau. Bien entendu, ces propositions seront accompagnées d'une explication pour les définir clairement, ainsi qu'une illustration pour une clarté maximale. L'état de la ripisylve en un point ne signifie pas qu'elle sera identique tout le long du cours d'eau. Cela nécessitera donc plusieurs observations le long des cours d'eau pour qu'elles soient totalement pertinentes.

Observateurs experts : En complément de l'observation de l'état de la ripisylve, les observateurs experts pourront indiquer la présence de certaines espèces invasives. Celles-ci limitent l'espace pour les espèces endémiques et risquent donc de détériorer la qualité de la ripisylve. Ces espèces seront à déterminer en fonction de la géographie. Elles seront décrites et illustrées pour que les citoyens puissent

les repérer facilement. C'est une observation qui pourrait être effectuée par les techniciens de rivières, les pêcheurs expérimentés ou des citoyens formés pour reconnaître les espèces désignées. L'outil en quête d'eau développé par l'OFB propose, en plus de l'observation des niveaux d'eau, d'indiquer la présence de quelques espèces envahissantes. C'est un fonctionnement similaire qui devrait être proposé pour cette observation.

Points de vigilance : C'est une donnée qui sera certainement difficilement exploitable si les observations ne sont pas en quantité suffisante car il n'est pas possible de généraliser l'état d'une ripisylve sur l'ensemble d'un cours d'eau. La détection d'une espèce invasive devra être facilitée par une formation et une description précise pour chacune d'entre elles.

6.4.2 Observation de la flore

Intérêt : L'observation de la flore de manière générale est un indicateur, entre autres, des réserves en eau dans le sol et des températures saisonnières. Certaines espèces sont plus fragiles que d'autres, elles pourraient être privilégiées pour être un indicateur de sécheresse, c'est le cas du hêtre par exemple.

Observateurs experts : Différents types d'observations précises sur l'état de la flore seront proposés. Dans un premier temps, il sera intéressant de déterminer la phase de croissance des essences. Le but sera de définir la date de floraison et de sénescence. Dans un autre temps, cette observation doit servir à signaler des forêts dont plusieurs essences dépérissent à cause d'un manque d'eau. Ces observations doivent permettre de comprendre le comportement des essences face au changement des températures et aux ressources en eau disponibles. Les observateurs devront être formés à ces observations ou elles pourraient être réservées à des observateurs qualifiés tels que des agents de l'ONF ou des propriétaires de parcelles forestières ainsi que des arboriculteurs.

Points de vigilance : Ces observations nécessitent une connaissance accrue de la flore pour que les résultats ne soient pas tronqués. Des espèces plus fragiles pourraient être désignées afin de rendre compte de leur développement dans les différents bassins versants.

6.5 Précisions nécessaires à l'obtention de résultats

Le tableau suivant résume les observations proposées qui composeront l'observatoire citoyen.

Paramètres d'observation	Observateurs citoyens	Observateurs experts
Météorologie		
Précipitations	Observation de la durée (courte ou longue) et l'intensité (faible ou forte) des précipitations et de la présence de neige	Mesure de la lame d'eau à l'aide d'un pluviomètre
Vent et ensoleillement	Observation de la force du vent (faible, modéré ou fort) et de l'ensoleillement (ensoleillé, partiellement nuageux, nuageux)	x
Hydrologie		
Niveau des cours d'eau	Observation du niveau d'eau (asec, écoulement visible faible, écoulement acceptable et	Mesure à partir d'échelles limnimétriques ou de repères

	débordement) / détection de la mortalité de poissons	
Humidité du sol		
Sol sec	Observation de poussière au-dessus des champs ou de pelouse desséchée	x
Sol saturé en eau	x	Détection d'écoulement des drains agricoles
Flore		
Ripisylve	Observation de la qualité de la ripisylve (absence de ripisylve, ripisylve partielle, ripisylve de qualité)	Détection d'espèces invasives
Etat de la flore	x	Observation de l'apparition de bourgeons, de la chute des feuilles et du dépérissement d'essences

La première analyse de ce tableau montre que l'observatoire tel qu'il est pressenti est accessible aux citoyens : la plupart des observations sont accessibles sans formation préalable. Néanmoins les observations sur la flore requièrent davantage de connaissances. Ainsi les observateurs experts sont privilégiés pour rapporter ces données. Et lorsque cela s'avèrera nécessaire, il sera intéressant de pouvoir former des citoyens ou de leur transmettre une fiche explicative détaillée.

Par ailleurs, notons que l'adhésion des citoyens à cet observatoire est encouragée par le fait que plusieurs observations peuvent être faites depuis chez soi ou, tout du moins, proche de chez soi, ou éventuellement lors d'une promenade. Toutefois, cette adhésion sera également conditionnée au fait que les citoyens comprennent pourquoi ces paramètres ont été choisis, quel est leur intérêt dans un objectif d'observation des effets du changement climatique sur l'eau et puissent interpréter les indicateurs ainsi calculés.

D'autres observations auraient pu être prises en compte mais le but est d'avoir un outil simple d'utilisation et qui permette le calcul d'indicateurs du changement climatique. L'outil n'est pas prévu pour la prévention des risques ou l'alerte. Par ailleurs, certaines observations ont été écartées car jugées complexes à interpréter. La température de l'eau est une information qui serait intéressante par exemple, sous réserve que la mesure soit faite toujours au même endroit et au même moment de la journée afin que les conditions d'ensoleillement soient toujours similaires.

Chaque observation devra être géolocalisée afin d'identifier clairement la zone ou le cours d'eau concerné. Elle sera également datée puisque l'objectif est de situer les phénomènes climatiques et leurs réponses dans le temps. Une photographie pourrait également accompagner les données pour faciliter la validation. Les indicateurs du changement climatique devraient concerner la sécheresse, le stress hydrique et les inondations. D'autres indicateurs pourront bien sûr être imaginés par la suite. Les résultats seront visibles à moyen ou long terme après avoir observé la répétition et l'intensité des phénomènes d'années en années. Au mieux, ils seront disponibles à l'échelle de cours d'eau ou des bassins versants. La précision et la limite des calculs seront fonction de l'échelle des observations, de leur répartition territoriale et temporelle et du nombre d'observations réalisées.

6.6 Dispositifs de suivi existants sur le Bassin Ferrifère

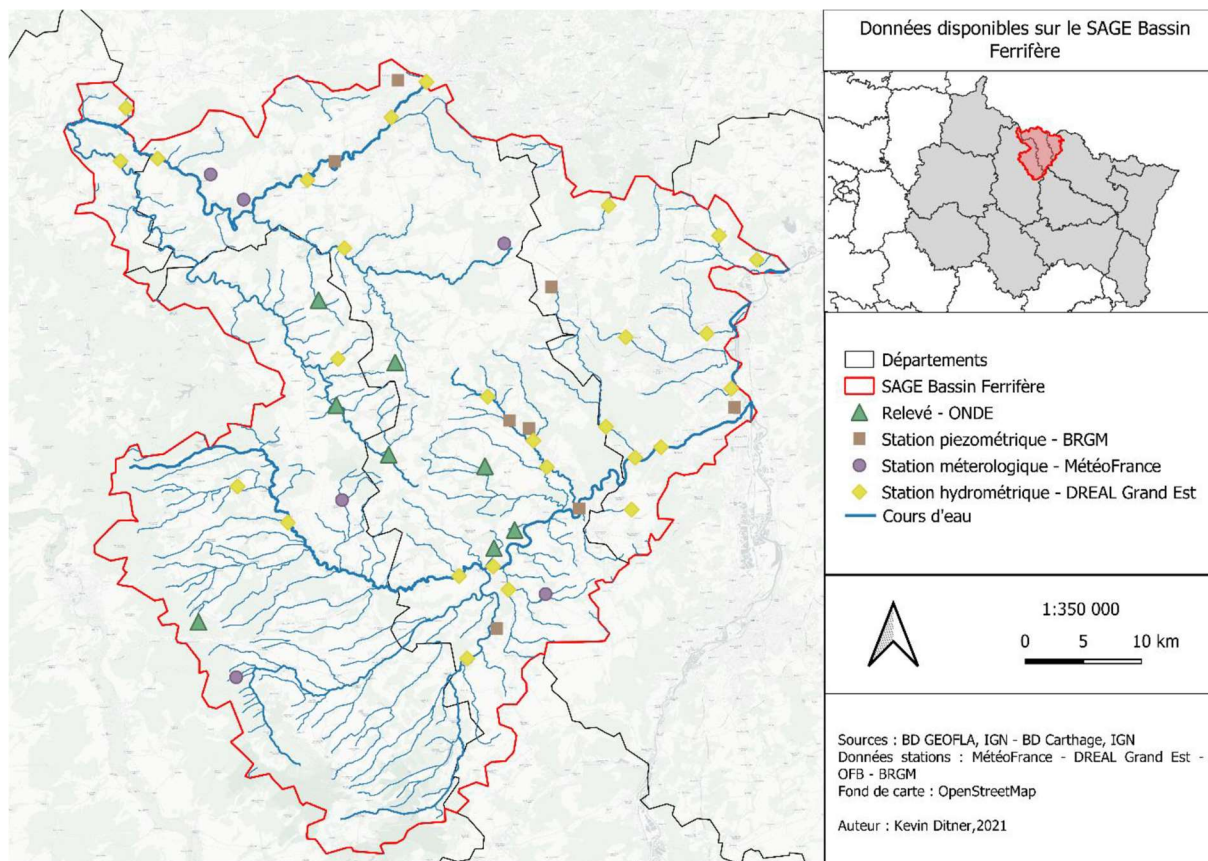
Organisme ou collectivité	Ce qui est observé	Nombre de stations ou points d'observation	Fréquence
Météo France	Météorologie : pluviométrie, vent, température, humidité, ...	6	6 min
DREAL Grand Est	Cours d'eau : niveau d'eau et qualité chimique de l'eau	Environ 20	5 min
BRGM	3 points de débordement des réservoirs et niveau des nappes	8	Hebdomadaire pour les manuelles
OFB	ONDE : les étiages estivaux	8	1/mois entre mai et septembre

Les débits sont suivis par les stations de la DREAL Grand Est sur le territoire du SAGE Bassin Ferrifère. La surveillance concerne essentiellement les cours d'eau principaux, en l'occurrence l'Orne et la Moselle qui sont les plus à risque. 26 stations sont réparties sur le territoire, principalement donc sur le bassin versant de l'Orne et proche de la rivière de la Moselle.

Le BRGM a produit une carte de gestion du risque d'inondation. En plus des différents travaux menés dont celui de l'état des lieux du SAGE, le BRGM compte 6 stations de mesure du niveau des nappes phréatiques et 3 points de débordement sont également suivis.

Météo France possède un réseau de 1500 stations météorologiques en métropole mais seulement 6 sur le territoire du SAGE. Ces données ont différents intérêts, elles permettent notamment de déterminer un indicateur de sécheresse des sols dans le cadre du projet Climsec (Soubeyroux et al., 2011).

L'OFB a un réseau de surveillance des cours d'eau en étiage depuis 2012, une fois par mois. Seulement 8 cours d'eau du SAGE sont observés.



Stations de mesures sur le territoire du SAGE Bassin Ferrifère

6.7 Premières réflexions sur le calcul d'indicateurs de l'impact du changement climatique sur les ressources en eau

6.7.1 Indicateur de sécheresse

La sécheresse se caractérise par un manque de précipitations qui engendre une diminution des réserves d'eaux superficielles qui sera visible au niveau des cours d'eau et des sols secs. Certains paramètres peuvent augmenter le risque de sécheresse [Météo France, 2019].

Proposition de calcul :

Le calcul de cet indicateur prendra surtout en compte une absence de précipitations sur plusieurs jours ou de faibles précipitations sur une période relativement longue. Des niveaux d'eau très bas et un sol sec formeront les indicateurs principaux puisqu'ils sont la conséquence visible d'un état de sécheresse. Ensuite un ensoleillement important sur plusieurs jours et un vent plutôt fort va favoriser l'assèchement également, il est donc judicieux d'en tenir compte. De même que l'absence de ripisylve favorisera l'assèchement d'un cours d'eau.

6.7.2 Indicateur d'inondation

Les inondations sont la conséquence d'un trop plein d'eau. Elles interviennent rapidement généralement après des épisodes pluvieux intenses. Un sol déjà saturé en eau ou sec pourrait engendrer du ruissellement qui favoriserait les crues.

Proposition de calcul :

Le calcul de cet indicateur se basera surtout sur la conséquence visible c'est-à-dire l'observation de cours d'eau à débordement. Des précipitations intenses sur quelques jours pourraient prévenir d'une future crue. La fonte de neige pourrait être intégrée également à ce calcul. L'observation du sol sec ou saturé sera favorable au ruissellement donc il sera intéressant à prendre en compte. Les autres paramètres auront trop peu d'influences pour intégrer le calcul.

6.7.3 Indicateur du stress hydrique

Cet indicateur est en relation avec l'indicateur de sécheresse. Mais il doit être vu comme un indicateur donc les conséquences sont visibles à plus long terme. Il est aussi dû à un manque d'eau mais sur une période plus importante. Le stress hydrique aura une incidence sur la flore.

Proposition de calcul :

Si les données des précipitations sont suffisantes, une baisse des précipitations sur une période de plusieurs mois peut indiquer un stress hydrique. Les niveaux d'eaux seront en baisse et les sols plutôt secs. Les paramètres liés à la flore seront déterminants puisqu'ils sont un indicateur qui n'est pas instantané mais dont la réponse est souvent plus longue à observer surtout quand il s'agit de dépérissement d'arbres. Les espèces invasives auront plus de possibilité de s'implanter. Le vent et un ensoleillement important sur plusieurs semaines durant une période de plusieurs mois peuvent aussi avoir une incidence.

6.7.4 Conclusions

Indicateur	Paramètres principaux	Paramètres secondaires
Sècheresse	Précipitations, niveaux d'eau, sols secs	Ensoleillement, vent, ripisylve
Inondation	Niveaux d'eau, précipitations	Humidité du sol
Stress hydrique	Etat de la flore, précipitations, niveaux d'eau, humidité du sol	Ensoleillement, vent, ripisylve

Le changement climatique sera défini par l'apparition de ces phénomènes, leur fréquence et leur durée. Il sera intéressant de voir si les périodes durant lesquelles ces événements ressurgissent sont les mêmes d'une année à l'autre, si l'intensité augmente, s'il y a une dérégulation, ...

L'observatoire citoyen doit permettre d'apporter une meilleure compréhension du territoire et cela sera rendu possible par l'interprétation des paramètres et indicateurs proposés localement au niveau de chaque cours d'eau dans la mesure du possible ou de bassin versant.

7. LES ACTEURS DU SAGE BASSIN FERRIFERE CONTRIBUTEURS A L'OBSERVATOIRE CITOYEN

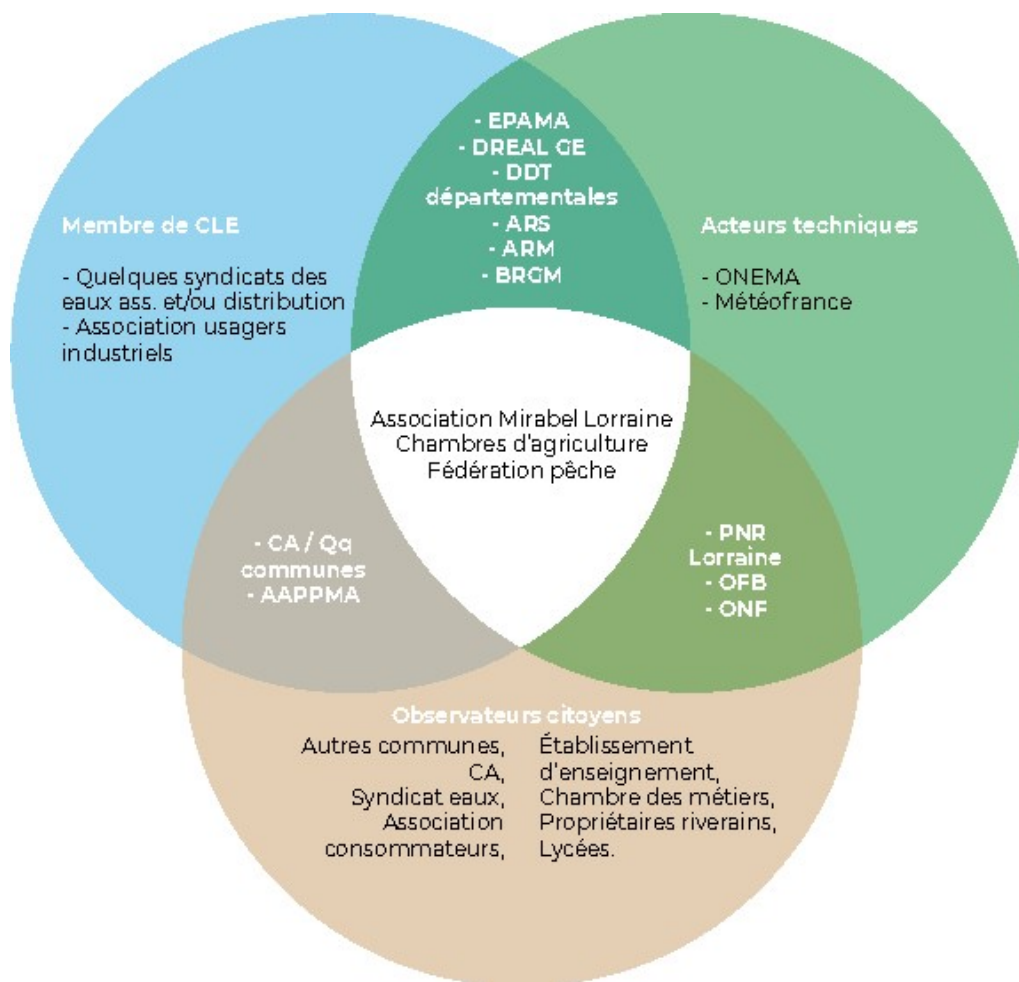
Le SAGE du Bassin Ferrifère est piloté par la commission locale de l'eau (CLE). Celle-ci est représentative de la diversité des acteurs du territoire. Sa composition est une répartition entre des collectivités territoriales et des établissements locaux, des représentants des usagers et des représentants de l'Etat.

Les 258 communes du SAGE sont réparties comme suit : 124 communes de Meurthe-et-Moselle, 92 de Meuse et 42 de Moselle. On compte également 20 communautés de communes et 3 communautés d'agglomération.

Les compétences liées à l'eau (eau potable, assainissement, cours d'eau) sont assurées par une centaine d'unités de gestion-exploitation d'eau potable, des communes indépendantes et des structures intercommunales comme des syndicats de rivières. Nombre de ces unités tendent à disparaître pour fusionner avec des structures plus importantes, du fait de la loi NOTRE (loi portant sur la nouvelle organisation territoriale de la République). Une petite partie d'entre elles a des compétences assainissement, d'autres des compétences de travaux sur cours d'eau. Le réseau de captation d'eau potable et de distribution est très complexe du fait des interconnexions mises en place pour suppléer l'arrêt des exhaures.

Sur le territoire du SAGE se trouve également la partie nord du Parc naturel régional de Lorraine. Il constitue un cadre privilégié pour la mise en place d'actions de préservation des paysages, du patrimoine naturel et culturel. Le parc ainsi que des associations de protection de l'environnement comme Mirabel-Lorraine Nature Environnement œuvrent dans le sens d'une préservation de la ressource en eau. Ces structures fournissent en outre de la donnée à travers des observations de la faune et la flore et même des prélèvements et des mesures comme c'est le cas à l'étang de Lachaussée de la part du Conservatoire des espaces naturels de Lorraine.

La gestion de l'eau dépend des usages qui en sont fait. L'industrie et l'agriculture sont les deux principaux consommateurs d'eau sur le territoire. De manière différente, ces activités affectent autant la quantité que la qualité de l'eau du milieu. Les espaces agricoles occupent près des deux tiers du territoire. Les surfaces agricoles du Bassin Ferrifère ne sont pas irriguées mais les élevages et les cultures qui puisent l'humidité du sol ont un impact sur la ressource. De plus les nitrates et produits phytosanitaires sont à l'origine d'une pollution des eaux superficielles et ont été récemment détectés dans les réservoirs miniers.

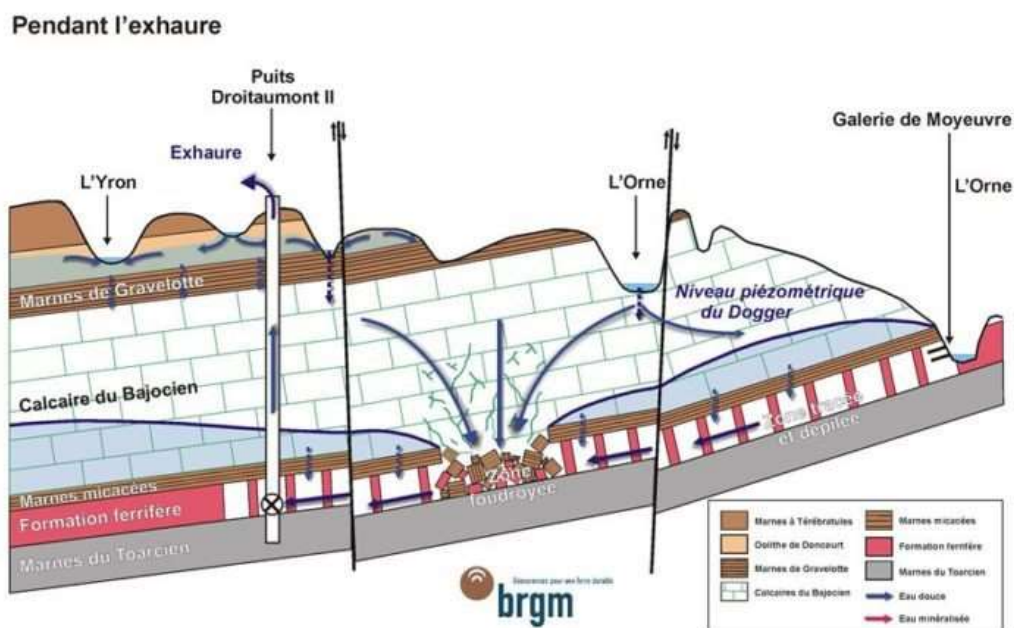


Annexe 1 : Impact de l'activité minière sur le fonctionnement hydrologique

L'exploitation minière a eu d'importantes conséquences sur la géologie et l'hydrologie du bassin. Les écoulements d'eau tant superficiels que souterrains ont été irrémédiablement modifiés, et de fait la disponibilité des ressources.

Pendant l'exploitation minière : un équilibre hydrologique artificiel

L'exploitation minière a entraîné la fissuration des sols sus-jacents. Ceux-ci n'étant plus imperméables, la nappe du Dogger a été drainée en de nombreux endroits vers les galeries minières. Localement, elle s'est déconnectée des nappes superficielles qui sont ainsi devenues « perchées ». Certaines d'entre elles ont disparu du fait de l'intense fracturation de leur soubassement.



L'hydrogéologie a été considérablement modifiée du fait de la fissuration des sols.

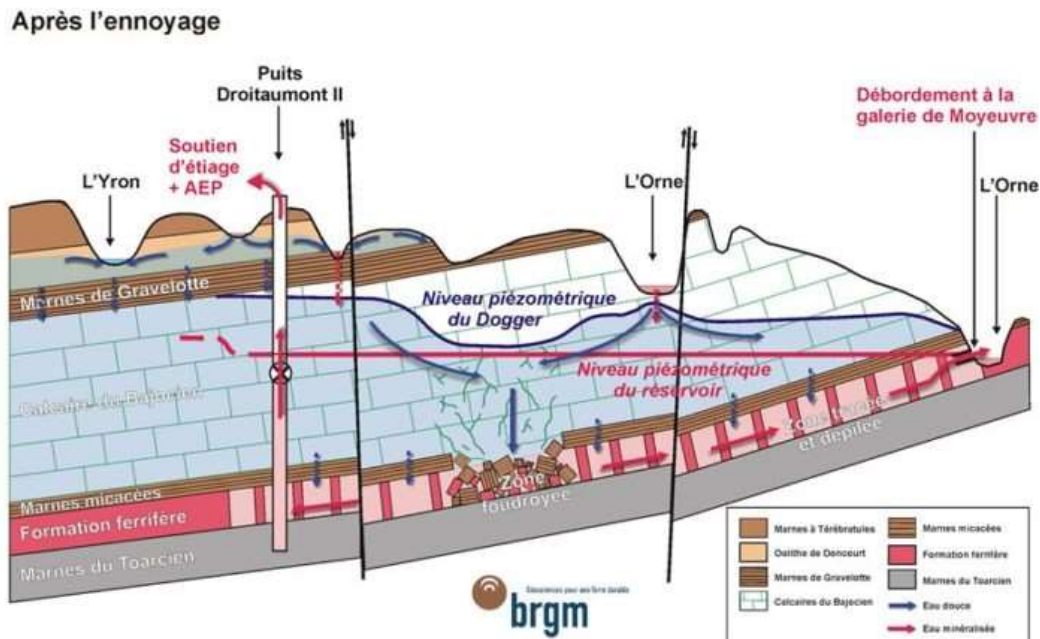
L'eau de la nappe s'est alors infiltrée en grande quantité dans les galeries minières, obligeant les exploitants miniers à mettre en place des systèmes de collecte, de stockage et de pompage des eaux d'infiltration : c'était l'exhaure minière.

L'eau d'exhaure a permis d'assurer les usages qui ne pouvaient plus être garantis par les nappes superficielles ou les cours d'eau asséchés. Elle a notamment garanti l'alimentation en potable des collectivités et la fourniture en eau industrielle. Elle a également servi à alimenter les cours d'eau. La prolongation de ce fonctionnement artificiel pendant plusieurs dizaines d'années a permis l'installation d'un nouvel équilibre, auquel la population s'est habituée. Celui-ci a été remis en cause lors de la fermeture des exploitations minières qui a entraîné l'arrêt des exhaures.

Un nouvel équilibre après l'ennoyage des mines

Les pompages d'exhaure des 3 plus grands réservoirs ont été arrêtés à partir de 1994 : février 1994 pour le réservoir Centre, mars 1995 pour le réservoir Sud, décembre 2005 pour le réservoir Nord.

Après l'arrêt des exhaures, l'eau d'ennoyage a rempli les vides artificiels laissés par l'activité minière. La remontée du niveau d'ennoyage des différents réservoirs a été limitée par la présence d'un ou plusieurs points de débordement, qui jouent le rôle de déversoirs des eaux d'ennoyage vers les cours d'eau.



Les eaux circulant dans les anciennes mines de fer noyées sont très minéralisées (des minéraux oxydés sont dissous au moment de l'ennoyage). En particulier, les concentrations en sulfate, magnésium, sodium dépassent très souvent les concentrations maximales admissibles pour l'eau potable. Cette situation est transitoire, mais peut durer plusieurs dizaines d'années en fonction du temps de séjour de l'eau dans le réservoir.

Par ailleurs, certains cours d'eau ont vu leur débit baisser significativement du fait de l'arrêt du rejet des eaux d'exhaure. En revanche, pour d'autre, le débit a augmenté en raison des débordements des réservoirs miniers et de la réactivation de sources de drainage de l'aquifère du Dogger. Tout cela dans des proportions parfois considérables.

La remontée du niveau dans les réservoirs s'est accompagnée de la reconstitution de la nappe des calcaires du Dogger sus-jacente. Toutefois, cette reconstitution n'a été que partielle, puisque la remontée du niveau d'un réservoir est limitée par l'existence des points de débordement. D'autre part, la nappe des calcaires du Dogger continue à être drainée par les réservoirs miniers via les zones foudroyées.

Annexe 2 : Synthèse des principales études traitant du changement climatique à l'échelle nationale et/ou du Grand Est

Le Climat de la France au XXIe Siècle

Contenu et hypothèses

Le ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie a sollicité en 2010 les experts climatologues français, afin d'établir une « synthèse approfondie sur les scénarios de référence à considérer pour la mise en œuvre du plan national d'adaptation français au changement climatique ». Une série de rapports intitulée « Le Climat de la France au XXIe Siècle » a ainsi été rédigée par un groupe de scientifiques provenant de divers instituts – Météo-France, CEA, CNRS, IPSL, Cerfacs – sous la direction de Jean Jouzel, vice-président du GIEC de 2002 à 2015, et missionné alors par le ministère du Développement durable.

Le volume 4 intitulé « Scénarios régionalisés : édition 2014 » et rendu public en 2014, « vise à fournir une analyse du changement climatique en France au XXIe siècle à l'aide d'évolutions temporelles d'anomalies de précipitations et température en moyennes estivales et hivernales » (Ouzeau et Al., 2014). Les simulations s'appuient sur trois des derniers scénarios d'évolution socio-économiques utilisés dans le 5e rapport du GIEC (RCP 2.6, 4.5, 8.5). Deux modèles climatiques régionaux, suivant des descentes d'échelle dynamiques, ont été utilisés : le modèle Aladin-Climat, mis en œuvre au Centre national de recherches météorologiques de Météo-France (CNRM), et le modèle WRF, développé à l'Institut Pierre Simon Laplace (IPSL) en collaboration avec l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (INERIS). Les simulations ont été réalisées respectivement sur les périodes 1950-2100 et 1971-2100 en continue par les modèles Aladin-Climat et WRF, et projetées sur une grille 8x8 km² en métropole et sur certains des départements d'outre-mer.

Les résultats ont par ailleurs été comparés aux modèles européens utilisés dans le cadre du projet de régionalisation Euro-Cordex, par rapport à une fourchette basse (en-dessous du 25e centile) et une fourchette haute (au-dessus du 75e centile).

Le rapport présente les résultats projetés à un horizon « proche » (2021-2050) et à un horizon « lointain » (2071-2100), à partir d'une référence calculée sur la période 1976-2005. Les résultats à moyen terme sont présentés ci-dessous sur la région Grand Est.

Evolutions de la pluviométrie et des températures

Sur la période 2021-2050, les résultats obtenus concernant les températures prévoient sur la région Grand-Est une hausse des températures moyennes, toutes saisons confondues, comprises entre 0,3 et 1,6°C.

Les résultats convergent entre les modèles, bien que les prévisions du modèle Aladin-Climat (CNRM) aient tendance à être plus élevées que ceux issus du modèle WRF (IPSL). Ces résultats sont situés respectivement dans les fourchettes hautes et basses par rapport aux résultats moyens européens. Il semble par ailleurs qu'il y ait une gradation des températures d'Ouest en Est, avec des températures maximales dans la région du Rhin. Cette élévation des températures est associée à une augmentation du nombre de jours de vagues de chaleur en été (entre 0 et 5 jours sur la région Grand Est) et une diminution du nombre de jours anormalement froids en hiver (entre 1 et 6 jours sur la région Grand Est).

Concernant les précipitations moyennes, les résultats sont plus incertains. Une légère hausse est constatée en hiver pour les deux modèles, mais les résultats peuvent varier de +0,01 à +0,41 mm/jour

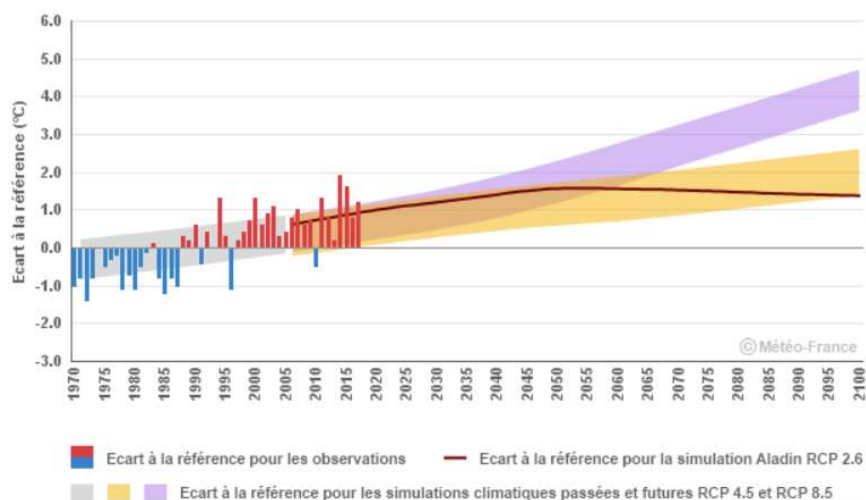
selon les scénarios (plus élevés pour le RCP 8.5) avec des distributions graphiques sur la région différentes selon les modèles. En été, les résultats sont plus aléatoires, des zones semblant présenter une augmentation des précipitations pour les deux modèles, d'autres une diminution. Ces évolutions sont généralement comprises entre -0,5 et +0,5 mm/jour. Il est à noter que le modèle WRF se situe dans la fourchette haute par rapport aux modèles européens, et qu'il prévoit des changements plus importants pour le scénario RCP 4.5 que pour le scénario 8.5. Enfin, les deux modèles ne simulent que de faibles changements des pourcentages de précipitations extrêmes, mais sont tous deux situés dans la fourchette basse des modèles européens. S'agissant des sécheresses, des incertitudes subsistent dans les deux modèles, liées aux incertitudes concernant les précipitations estivales.

En conclusion, le modèle Aladin-Climat semble prévoir un climat plus sec et plus chaud que le modèle WRF. Ils illustrent ainsi tous deux une gamme de variabilités des modèles climatiques régionaux. L'ensemble des résultats est disponible sur la plateforme DRIAS – les futurs du climat.

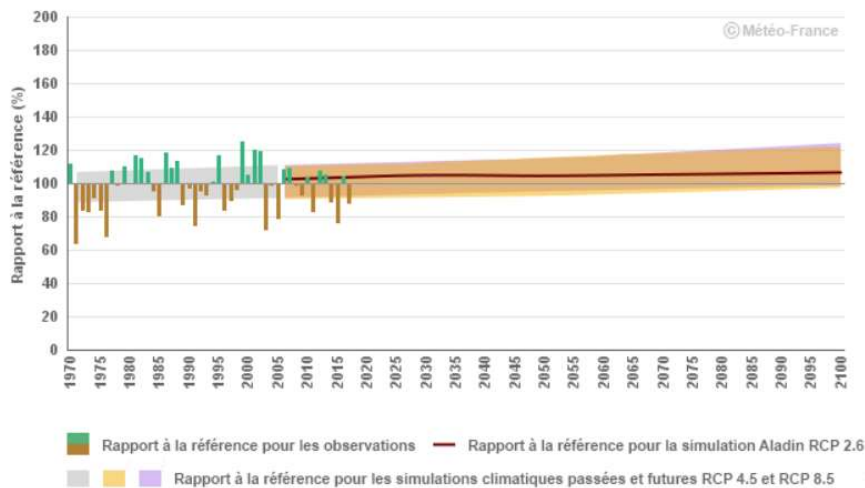
Visualisation des tendances sur Climat HD

Météo France a mis en place l'application Climat HD, permettant de visualiser pour chaque région (anciennes délimitations) les tendances climatiques observées grâce aux résultats de cette étude. A titre d'exemple, la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** et la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** correspondent respectivement aux graphiques de l'évolution des températures et des précipitations annuelles dans la région Alsace tels que visualisables sur l'application.

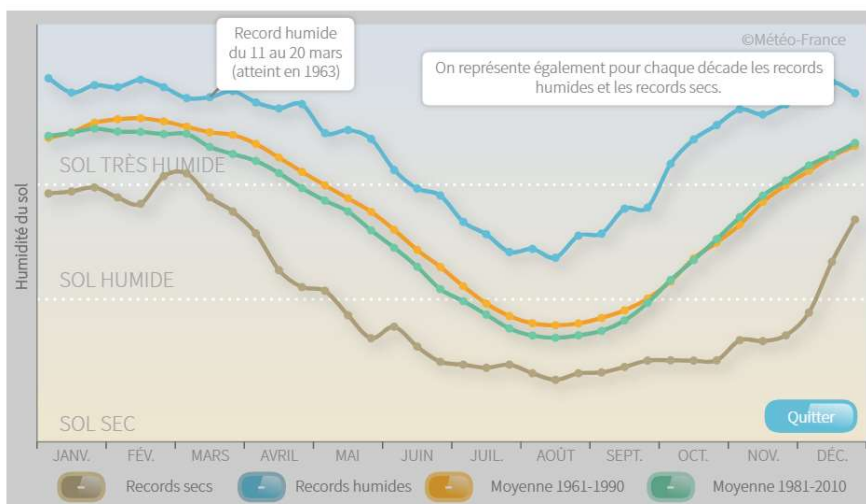
Les saisonnalités (hiver et été) peuvent également être affichées ainsi que d'autres informations telles que le nombre de journées chaudes, le nombre de jours de gel et les impacts sur l'humidité des sols, le chauffage et la climatisation.



Température moyenne annuelle en Alsace : écart à la référence 1976-2005. Observations et simulations climatiques pour trois scénarios d'évolution RCP 2.6, 4.5 et 8.5. (Source : Climat HD, Météo-France)



Cumul annuel de précipitation en Alsace : rapport à la référence 1976-2005. Observations et simulations climatiques pour trois scénarios RCP 2.6, 4.5 et 8.5 (Source : Climat HD, Météo-France)



Comparaison du cycle annuel d'humidité du sol entre les périodes de référence climatique 1961-1990 et 1981-2010 sur la France entière (Source : Climat HD, Météo-France)

Enfin, la comparaison du cycle annuel d'humidité du sol entre les périodes de référence climatique 1961-1990 et 1981-2010 sur la France montre un assèchement moyen de l'ordre de 4 % sur l'année, réparti principalement entre février et septembre, ainsi qu'illustré sur la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

Le projet EXPLORE 2070

Contenu et hypothèses

Ce projet, coordonné par le Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie entre 2010 et 2012, avait pour objectif « l'élaboration et l'évaluation des stratégies d'adaptation au changement climatique en France face à l'évolution des hydrosystèmes et des milieux côtiers à l'horizon 2050-2070 » (Chauveau et Al., 2013). A cette fin, les impacts du changement climatique sur l'hydrologie superficielle et souterraine ont été étudiés sur la période 1961-1990, puis projetés sur 2046-2065.

L'étude utilise sept modèles de circulation générale forcés par le scénario d'émission de gaz à effet de serre SRES A1B du 4^e rapport d'évaluation du GIEC (AR4), et désagrégés à une maille de 8km par une méthode de descente d'échelle statistique (SCRATCH08).

Deux modèles (GR4J et Isba-Modcou) ont été mis en œuvre pour estimer l'impact du changement climatique sur l'hydrologie de surface, en utilisant principalement pour indicateur le débit moyen annuel, le débit mensuel minimum annuel de période de retour 5 ans (QMNA5) et le débit journalier maximum annuel de période de retour 10 ans (QJXA10). L'évolution des niveaux piézométriques a également été étudiée.

Evolutions de la pluviométrie et des températures

Les projections prévoient une hausse des températures de l'ordre de 1,4 à 3°C selon les zones, ce qui pourrait avoir une influence significative sur l'évapotranspiration potentielle, dont l'augmentation serait comprise entre 15 et 35%. Concernant les précipitations, les résultats sont plus incertains. Une tendance annuelle n'a pas pu être réellement observée, mais une diminution d'environ 20% l'été est envisagée.

Répercussions sur la ressource superficielle et souterraine

Les résultats concernant les eaux superficielles semblent prévoir une diminution du débit annuel moyen compris entre 0 et 40%, une accentuation des étiages avec une baisse du QMNA5 allant de 5 à 75% (résultats très dispersés), et une augmentation possible des crues, avec une augmentation du QJXA10 de +5 à +30% (résultats également dispersés).

S'agissant des eaux souterraines, sont prévues une baisse moyenne du niveau des nappes de 10 à 25%, ainsi qu'une baisse des recharges se traduisant par une baisse des niveaux piézométriques, non homogène toutefois (variation de 0 à 10m dans le bassin de la Seine par exemple), ce qui pourrait conduire à une inversion des échanges nappes-rivières et/ou à une intensification des pertes en rivière.

Le projet MOSARH21

Contenu et hypothèses

Le projet MOSARH21 (Moselle-Sarre-Rhin au 21^e siècle), porté par l'Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture (IRSTEA), avait pour objectif d'évaluer les impacts futurs du changement climatique sur les débits des affluents français du Rhin (Thirel et Al, 2017). Les simulations climatiques utilisées proviennent des résultats des modèles du CNRM et de l'IPSL présentés plus tôt, suivant les scénarios du 5^e rapport d'évaluation du GIEC (AR5). Ils ont été comparés aux résultats obtenus à partir des scénarios du 4^e rapport du GIEC (AR4) lors des projets Explore 2070 et FLOW MS (présenté ci-dessous).

Des projections ont été réalisées à deux horizons, l'un proche (2021-2050), l'autre plus lointain (2071-2100), à partir de données de référence sur la période 1971-2000. Les paragraphes suivants détaillent les résultats des projections concernant le futur proche, qui nous concernent plus particulièrement dans le cadre de cette étude.

L'incidence sur l'hydrologie de surface a été étudiée en exploitant deux modèles : GRSD et LARSIM. Les indicateurs retenus sont relatifs aux régimes des cours d'eau (module annuel et mensuel), aux crues (débit journalier maximal sur l'année civile (QJXA), quantiles 95 et 99 de la courbe des débits

journaliers classés), et aux étiages (débit mensuel minimal sur l'année civile (QMNA), débit consécutif minimal sur une période donnée rapporté à l'année (VCN)).

Evolutions de la pluviométrie et des températures

Les évolutions climatiques prévues sur le territoire considéré sont une augmentation des températures comprise entre +1 et +3°C dans un futur proche (résultats qui s'intensifieront dans la deuxième moitié du siècle), ainsi qu'une augmentation des précipitations, de +0,1mm/jour en moyenne (les résultats divergent pour la seconde moitié du siècle)

Répercussions sur la ressource superficielle

Les résultats principaux concernant l'hydrologie de surface prévoient, dans un futur proche, une légère augmentation ou stagnation des débits moyens annuels (0 à +15% en moyenne) avec généralement des évolutions plus marquées pour les projections de l'IPSL versus celles du CNRM. Sont également estimées une augmentation de 0 à 20% du débit de crue (évolution plus incertaine dans la seconde moitié du siècle) et une baisse des débits d'étiage, avec des résultats dispersés allant de -5 à -60% selon les données de l'IPSL.

Des résultats plus spatialisés sont disponibles, avec notamment des fiches présentant les évolutions climatiques attendues ainsi que leurs effets sur le régime, les crues et les étiages pour chacune des stations hydrométriques de la zone d'étude. Ces résultats sont par ailleurs cohérents avec ceux des projets Explore2070 et FLOW MS.

Le projet RheinBlick2050

Contenu et hypothèses

Le projet RheinBlick2050 est un projet transfrontalier initié par la Commission internationale pour l'hydrologie du Rhin (CHR), avec la collaboration de la Commission internationale pour la protection du Rhin (CIPR) et de laboratoires allemands, français, suisses, néerlandais et luxembourgeois. Ce projet, ayant eu lieu entre 2008 et 2010, étudie l'impact du changement climatique sur l'écoulement du Rhin et de ses principaux affluents dont la Moselle.

Une approche multi-modèle a été utilisée : plus de vingt modèles climatiques régionalisés ont été utilisés en exploitant le scénario SRES A1B du 4^e rapport du GIEC, afin de forcer le modèle hydrologique HBV134, lui-même comparé à sept autres modèles. La période de référence est 1961-1990, deux horizons ont été considérés : 2021-2050 (futur proche) et 2071-2100 (futur lointain).

Le projet s'intéresse particulièrement au débit du fleuve au niveau de huit stations localisées dans le bassin du Rhin : débit moyen spécifique, bas débits et haut débits.

Les paragraphes suivants résument les résultats obtenus à l'horizon 2050.

Evolutions de la pluviométrie et des températures

A l'horizon 2050, les évolutions de températures sont particulièrement marquées en hiver, variant de +0,5 à +2,5°C, mais sont également significatives en été : de 0 à +2°C. Concernant les précipitations les résultats sont plus hétérogènes : bien qu'une augmentation et diminution soient respectivement prévues en hiver et en été à la fin du siècle, aucune tendance marquée n'a pu être observée dans le futur proche.

Répercussions sur la ressource superficielle

Une augmentation des débits moyens annuels de 0 à +15% est attendue pour le Rhin. En hiver (novembre à avril) ces débits moyens pourraient augmenter de 0 à 25%, accompagnés d'une augmentation des niveaux de bas débits de 0 à 15%. Les étiages estivaux sont quant à eux peu modifiés à ce stade. Aucune conclusion n'a pu être faite sur les hauts débits, les résultats étant trop incertains.

Le projet FLOW MS

Contenu et hypothèses

Le projet FLOW MS (Gestion des crues et des étiages dans le bassin versant de la Moselle et de la Sarre) est un projet international entre l'Allemagne, la France et le Luxembourg, coordonné par la Commission Internationale pour la protection de la Moselle et de la Sarre (CIPMS). Il a s'est déroulé entre 2009 et 2013 et avait pour objectif l'amélioration de la prévision des crues et de la gestion des étiages, en identifiant notamment l'impact du changement climatique sur le régime hydrologique dans le bassin de la Moselle et de la Sarre.

Les simulations s'appuient sur les résultats du modèle climatique global ECHAM5, utilisant le scénario SRES A1B, issu du 4e rapport du GIEC et du modèle régional COSMO-CLM (CCLM) obtenu par une descente d'échelle dynamique. Ce dernier, fourni par l'Institut de météorologie et de recherche climatique de l'Institut de technologie de Karlsruhe, permet d'obtenir des projections climatiques à une maille de 7km.

Les données de référence couvrent la période 1971-2000. Les projections ont été réalisées sur la période 2021-2050.

Le modèle de bilan hydrologique à haute résolution LARSIM a permis d'obtenir les débits moyens, minimaux et maximaux pour 37 stations réparties sur le bassin de la Moselle et de la Sarre.

Evolutions de la pluviométrie et des températures

A l'horizon 2050, le modèle CCLM prévoit une hausse des températures moyennes annuelles d'environ 1°C. Concernant les précipitations, seraient indiquées une augmentation de 5 à 20% de ces dernières en hiver (novembre-avril) et une diminution de l'ordre de 10% en été (mi-octobre).

Répercussions sur la ressource superficielle

Sur la partie Française de la zone étudiée, on observe une augmentation du débit moyen en hiver d'environ 15%, et une baisse d'environ 4% en été. L'étiage et les crues ont également été étudiés. Les débits d'étiage (QMNA5) varieraient ainsi de -13% à +5%, et on observerait une tendance à la hausse des crues (+5 à +24%), particulièrement dans le bassin nord de la Sarre. Ces derniers résultats restent toutefois très incertains.

Le projet RExHhySS

Contenu et hypothèses

Fruit d'une collaboration entre plusieurs organismes de recherches dont Sisyphe (UMR 7619, Mines Paris Tech), le CERFACS et le CNRM, le projet RExHySS s'est déroulé entre 2006 et 2009, et a été financé par le programme Gestion et Impact du Changement Climatique (GICC) du Ministère de l'Écologie, du

Développement Durable, des Transport et du Logement. Ce projet avait pour objet d'étude l'impact du changement climatique sur les Ressources en eau et les Extrêmes Hydrologiques dans les bassins de la Seine et de la Somme, en modélisant dans un premier temps ces impacts sur les composantes physiques des hydrosystèmes (climat, hydrologie), puis en analysant les conséquences possibles sur les systèmes socio-économiques sensibles aux extrêmes hydrologiques.

A cette fin, ont été utilisés deux scénarios d'émission de gaz à effet de serre issus du 4e rapport du GIEC (SRES A2 et A1B), six modèles de climats dont le modèle ARPEGE de Météo-France, trois méthodes de désagrégation statistiques et dynamiques, et cinq modèles hydrologiques (CLSM, EROS, GR4J, MODCOU, SIM). Les données SAFRAN de Météo-France, à une maille de 8km, ont été utilisées sur la période de référence 1971-2000, puis projetées à l'horizon 2050 (milieu du siècle) et 2100 (fin du siècle).

Les indicateurs retenus ont été l'évolution de la partition des précipitations en évaporation et en écoulement, les débits moyens mensuels, les niveaux piézométriques, ainsi que le QMNA5 (analyse des étiages) et le QJXA10 (analyse des crues) pour l'étude des extrêmes.

Les résultats de ce projet sont par ailleurs résumés dans la brochure « Impact du changement climatique sur les ressources en eau du bassin versant de la Seine » du Programme Interdisciplinaire de Recherche sur l'Environnement de la Seine (PIREN-Seine). Nous présentons dans les paragraphes suivants les résultats attendus pour le milieu du siècle.

Evolutions de la pluviométrie, des températures et de l'évapotranspiration potentielle

A l'horizon 2050, les scénarios projettent une augmentation de la température de 1,5 à 3 °C, accompagnée d'une augmentation de l'ETP de 15 à 21 % sur la partie du bassin comprise dans la région Grand Est.

Concernant les précipitations, les résultats sont plus dispersés. En été et automne, les scénarios convergent vers une diminution des précipitations, mais divergent en hiver et au printemps, certains indiquant une augmentation d'autres une diminution. Cela conduirait, sur la zone comprise dans la région Grand-Est, à une évolution sur l'année de -3 à -7% environ pour le milieu du siècle.

Répercussions sur la ressource superficielle et souterraine

Sont attendus pour l'horizon 2050, une baisse des volumes d'eau disponibles à l'écoulement de -2 à -35 % sur le bassin ainsi qu'une baisse générale des débits moyens. Concernant la ressource superficielle, il y aurait une baisse générale des niveaux piézométriques, de 0 à 10m sur la zone incluse dans la région Grand Est.

S'agissant des extrêmes, on constate une aggravation des étiages sévères (baisse de 10 à 50% du QMNA5), mais des résultats plus incertains concernant les crues.

Le projet CLIMAWARE

Contenu et hypothèses

Le projet ClimAware (2010-2013), subventionné par IWRM-net est un projet international coordonné par l'université de Kassel (Allemagne), avec participation de l'IRSTEA, l'EPTB Seine-Grand-Lac (France), et le Centre international de Hautes études agronomiques méditerranéen (Italie). Il avait pour objectif de « développer des stratégies d'adaptation pour limiter l'impact du changement climatique dans plusieurs domaines relatifs à l'eau, chacun étant étudié à travers un cas d'étude : hydromorphologie en Allemagne, irrigation en Italie, et gestion de réservoirs en France ».

Pour ce dernier cas d'étude, dont l'objet étaient les lacs-réservoirs gérés par l'EPTB Seine-Grand-Lac, des données historiques sur la période 1958-2009 ont été utilisées, en compléments d'autres données simulées grâce à sept modèle globaux climatiques sous hypothèse du scénario SRES A1B du 4e rapport du GIEC sur la période 10961-1991, période choisie comme référence. Une projection sur la période 2046-2065 a été réalisée.

Deux modèles hydrologiques ont été utilisés, GR4J et TGR, afin de calculer les débits moyens, et de caractériser les étiages ainsi que les crues futures.

Répercussion sur la ressource superficielle et la gestion des lacs-réservoirs

Sur la période 2046-2065 les simulations indiquent une diminution de 15 à 30% des débits moyens annuels, ainsi qu'une augmentation de la sévérité et de la longueur des étiages. L'évolution des hautes eaux et des fortes crues est plus incertaine.

Le changement climatique pourrait avoir des impacts importants sur la gestion des lacs-réservoirs, les résultats laissant entrevoir une baisse importante des débits d'étiage avec une difficulté de soutient d'étiage au niveau actuel de débits selon les règles actuelles de gestion. Plusieurs scénarios de gestion ont été testés. Malgré cela, l'impact reste significatif sur les étiages pour tous ces scénarios : « On peut s'attendre à ce que le seuil d'alerte en étiage (le premier seuil impliquant des restrictions d'usage de l'eau) soit **atteint 5 % du temps dans le futur**, alors qu'il ne concerne que 1 à 2 % du temps actuellement. »

Le projet CLIMSEC

Contenu et hypothèses

Le projet CLIMSEC (2008-2011), coordonné par Météo-France et en partenariat avec le CNRM, le Centre européen de recherche et de formation avancée en calcul scientifique (CERFACS), l'UMR Sisyphe de Mines Paris Tech et l'IRSTEA, avait pour objectif d'étudier à l'échelle nationale l'impact du changement climatique sur la sécheresse et l'eau du sol.

A cette fin, les données SAFRAN, à une maille de 8km, ont été utilisées sur la période 1958-2008 pour alimenter le modèle numérique ISBA de Météo-France, qui simule les échanges d'eau et d'énergie entre la surface du sol, la végétation et les basses couches de l'atmosphère, ainsi que le modèle MODCOU des Mines Paris Tech qui simule le transfert de l'eau vers et dans les rivières ainsi que l'évolution des nappes aquifères.

Les chercheurs ont ainsi construit des bases de données de référence sur la période 1958-2008 pour les pluies, l'humidité des sols et les débits de rivière, et définis des indices pour évaluer l'intensité des sécheresses correspondantes (respectivement sécheresses météorologiques, agricoles et hydrologiques) : le SSWI (Standardized Soil Wetness Index), indice d'humidité des sols, et le SFI (Standardized Flow Index), indice hydrologique.

Des projections climatiques ont été réalisées à partir des scénarios A2, A1B et B1 du 4e rapport du GIEC avec différents modèles : SAMM sur la période 1961-2099, ArpegeV4.6 (Météo-France) sur la période 1960-200 et six modèles de du GIEC sur la période 2046-2065. La période de référence choisie est 1961-1990.

Evolution des sécheresses

A l'horizon 2050, les résultats semblent indiquer une expansion spatiale et une plus forte intensité des sécheresses agricoles (humidité du sol). A partir des années 2080, des sécheresses météorologiques (relatives aux pluies) plus fortes pourraient être observées, notamment en été, accompagnées de sécheresses du sol extrêmes longues. La région Grand- Est est l'une des régions pouvant connaître les plus grandes évolutions par rapport à la période de référence.

Le projet CHIMERE 21

Le projet CHIMERE21 (Chiers -Meuse : Evolution du Régime Hydrologique au 21s siècle), financé par l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse et porté par l'IRSTEA Anthony, a commencé en 2017 pour une durée prévue de deux ans. Il a pour objet l'impact du changement climatique sur les débits de la partie française de la Meuse et de la Chiers. Peu d'informations sont disponibles aujourd'hui, nous retenons toutefois que les scénarios utilisés sont issus du 5e rapport du GIEC. Les indicateurs calculés pour quantifier l'impact du changement climatique seront relatifs aux régimes des cours d'eau, aux crues et aux étiages