

Ressources en eau et production d'hydrogène

Etude de sensibilité en Grand Est
et Bourgogne-Franche-Comté

Rapport final – annexes incluses

septembre
2025



EXPERTISES

REMERCIEMENTS

Comité de pilotage : ADEME, Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse, Agence d'eau Rhin-Meuse, Agence de l'eau Loire-Bretagne, Agence de l'eau Seine-Normandie, Agence de l'eau Loire-Bretagne, SGARE Grand-Est, SGARE Bourgogne-Franche-Comté, Préfecture de Région Bourgogne-Franche-Comté, DREAL Bourgogne-Franche-Comté, DREAL Grand-Est, DREETS Bourgogne-Franche-Comté, DREETS Grand-Est, DRAAF Bourgogne-Franche-Comté, DRAAF Grand-Est, Conseil Régional Bourgogne-Franche-Comté, Conseil Régional Grand-Est, Agence Economique Bourgogne-Franche-Comté, Pôle Véhicule du Futur, Pôle Aquanova, BRGM Grand-Est

Comité technique : ADEME, Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse, Agence de l'eau Rhin-Meuse, Agence de l'eau Loire-Bretagne, Agence de l'eau Seine-Normandie, Agence de l'eau Loire-Bretagne, Préfecture de Région Bourgogne-Franche-Comté, Conseil Régional Bourgogne-Franche-Comté, Conseil Régional Grand-Est

CITATION DE CE RAPPORT

GASPARD Eric (ADEME), BELAUD Thomas (ADEME), PENET Florent (EnerKa Conseil), RAMIREZ Rainui (EnerKa Conseil), MERCIER Claire-Emmanuelle (ATESyn), PRIVAT Sophie (ATESyn), COURTIEU Thibaut (ATESyn), DUCLOS Antoine (Akajoule); 2024, **Ressources en eau et production d'hydrogène - Etude de sensibilité en Grand Est et Bourgogne-Franche-Comté**, 158 pages

Cet ouvrage est disponible en ligne <https://librairie.ademe.fr>



Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Ce document est diffusé par l'ADEME

ADEME

20, avenue du Grésillé
BP 90 406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de contrat : 2023MA000292

Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par : Enerka, Atesyn

Coordination technique - ADEME : GASPARD Eric, BELAUD Thomas

Direction/Service : Direction Régionale Grand Est



SOMMAIRE

RÉSUMÉ	7
ABSTRACT	8
1. CONTEXTE DU PROJET	9
1.1. Éléments de contexte.....	9
1.2. Objectifs et méthodologie	11
1.3. Phases et planning de l'étude.....	13
2. BESOINS EN EAU POUR LA PRODUCTION D'HYDROGENE.....	15
2.1. Éléments de contexte : Productions et usages de l'hydrogène	15
2.2. Détail des consommations d'eau pour la production d'hydrogène.....	25
2.2.1.1. Vue d'ensemble	26
2.2.1.2. Consommation d'eau pour le procédé et caractérisation des rejets.....	27
2.2.1.3. Consommation d'eau pour le refroidissement et caractérisation des rejets	29
2.2.1.4. Synthèse des consommations et base de calcul pour l'étude de sensibilité de la ressource en eau	33
2.2.2.1. Reformage du gaz naturel.....	35
2.2.2.2. Thermolyse de la biomasse.....	35
2.2.2.3. Synthèse des besoins en eau	36
2.3. Comparaison des incidences économiques des options technologiques d'électrolyse vis-à-vis des enjeux « eau »	36
2.3.1.1. Partis-pris méthodologiques.....	38
2.3.1.2. Hypothèses détaillées	38
2.4. Enjeux de la production d'hydrogène vis-à-vis de la ressource en eau.....	41



2.4.3.1.	Récapitulatif des entretiens “métiers” réalisés	47
2.4.3.2.	Le point de vue des développeurs de projets hydrogène	47
2.4.3.3.	Le point de vue des acteurs institutionnels	50

3. ANALYSE DU POTENTIEL DE PRODUCTION D’HYDROGENE AU REGARD DE LA RESSOURCE LOCALE EN EAU A L’ECHELLE DES DEUX REGIONS..... 57

3.1. Méthode retenue pour l’étude..... 57

3.1.2.1.	Une première étape commune à toutes les propositions méthodologiques	59
3.1.2.2.	Proposition méthodologique n°1 : analyse de « potentiel eau ».....	61
3.1.2.3.	Proposition méthodologique n°2 : analyse de sensibilité eau par arborescence.	61
3.1.2.4.	Proposition méthodologique n°3 : analyse de sensibilité « matricielle »	62
3.1.2.5.	Proposition méthodologique n°4 : analyse de sensibilité + études de cas.....	62
3.1.3.1.	Principe méthodologique retenu	62
3.1.3.2.	Données « eau » retenues	64
3.1.3.3.	Consolidation des seuils de sensibilité	67
3.1.3.4.	Règles d’additionnalité et prise en compte indirecte des eaux patrimoniales....	72
3.1.3.5.	Choix des mailles pertinentes	72
3.1.3.6.	Limites d’utilisation des données « eau » pour l’étude	76

3.2. Résultats de l’étude de sensibilité : approche cartographique et études de cas..... 78

3.2.1.1.	Zones en fragilité quantitative.....	78
3.2.1.2.	Potentiel hydrogène équivalent aux échelles des EPCI et départements.....	81
3.2.1.3.	Intersection avec les zones privilégiées de développement de l’hydrogène.....	85
3.2.2.1.	Enjeux et objectifs des études de cas.....	93
3.2.2.2.	Cas d’étude sur Epinal (30MW) sur la base des projets annoncés.....	94
3.2.2.3.	Cas d’étude théorique sur Dijon (20MW).....	96
3.2.2.4.	Cas d’étude sur Chalampé (100-200MW).....	98
3.2.2.5.	Cas d’étude sur Carling-Saint-Avold	101
3.2.2.6.	Principaux enseignements des études de cas	105

4. LIMITES DE L’ETUDE, PRECONISATIONS ET SUITES A DONNER..... 106

4.1.	Limites de l’étude.....	106
4.2.	Préconisations	107
4.3.	Suites à donner : scénarios d’études complémentaires à la présente étude	108



5. CONCLUSIONS DE L'ETUDE.....	112
LISTE DES ANNEXES.....	114
ANNEXE 1 - EQUIPE EN CHARGE DE LA CONDUITE DE L'ETUDE	115
ANNEXE 2 - DEMARCHE DE CO-CONSTRUCTION DE LA METHODOLOGIE D'ETUDE.....	117
ANNEXE 3 – DONNEES 2018 BNPE SUR LES PRELEVEMENTS EN EAU PAR USAGE ET PAR REGION	127
ANNEXE 4 – DONNEES UTILISEES POUR CARACTERISER LES RESSOURCES EN EAU AEP ET AEI	136
ANNEXE 5 - ARRETES-CADRES SECHERESSE ET DISPOSITIONS RELATIVES A L'INDUSTRIE.....	141
ANNEXE 6 - CARTES DES POTENTIELS AVEC UN PRELEVEMENT D'EAU A 15 L/KGH2.....	143
ANNEXE 7 : PRINCIPALES HYPOTHESES STRUCTURANTES SUR LE DEVELOPPEMENT DE L'HYDROGENE.....	148
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	149
INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES.....	152
SIGLES ET ACRONYMES	156



RÉSUMÉ

Cette étude d'une durée de six mois, réalisée sous la maîtrise d'ouvrage de l'ADEME, en association avec les acteurs compétents dans les domaines de l'eau et de l'hydrogène, a permis d'évaluer l'impact potentiel de la production d'hydrogène sur les ressources en eau, au niveau quantitatif et qualitatif, sur les territoires des régions Bourgogne-Franche-Comté et Grand-Est et de définir des points d'attention à destination des institutions et des industriels porteurs de projets hydrogène.

L'hydrogène peut être produit de différentes façons qui nécessitent toutes de l'eau, a minima pour assurer les besoins en refroidissement de production. L'empreinte carbone ($\text{kg}_{\text{CO}_2\text{eq}}/\text{kg}_{\text{H}_2}$) ainsi que les besoins en eau ($\text{L}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{H}_2}$) varient selon les technologies utilisées. Ces besoins peuvent être satisfaits par des prélèvements dans le milieu naturel (eaux de surface ou eaux souterraines), dans des réseaux d'eau existants (pour l'alimentation en eau potable ou pour les eaux industrielles) ou dans des systèmes de réutilisation d'eaux traitées.

L'étude analyse en premier lieu les besoins en eau (prélèvement, consommation et rejets) pour la production d'hydrogène par électrolyse en fonction des différentes sources d'eau possibles et de divers paramètres (filtration, refroidissement, taille du projet, aspects technico-économiques ...).

Cette analyse préliminaire a permis de développer une méthode de calcul du potentiel de production d'hydrogène équivalent en fonction des ressources en eau mobilisables à l'échelle des deux régions. Ce potentiel a été calculé en identifiant les volumes d'eau prélevés par commune, puis en évaluant la part mobilisable pour la production d'hydrogène via un « taux de sensibilité » ajusté localement et appliqué aux volumes prélevés. Puis en agrégeant les résultats par intercommunalités (EPCI) pour réduire le niveau d'erreur sur les données eau lié à l'extra-territorialité des prélèvements. Enfin les limites de cette analyse systématique ont été analysées à travers des études de cas de projets de production d'hydrogène, ciblées dans le territoire d'étude.

En tenant uniquement compte des aspects relatifs à la ressource en eau, le potentiel de production d'hydrogène équivalent est de l'ordre de 1,3 GW à l'horizon 2030 pour l'ensemble des deux régions. Il est calculé de manière à ne pas déstabiliser les infrastructures existantes pour l'eau potable et l'eau industrielle (taux de sensibilité < 1% des volumes prélevés), en intégrant les dispositions du Plan Eau national, dans chacune des deux régions de l'étude.



ABSTRACT

This six-month study, carried out under the project management of ADEME in association with relevant stakeholders in the fields of water and hydrogen, made it possible to assess the potential impact of the production of hydrogen on water resources, at the quantitative and qualitative level, in the territories of the Burgundy-Franche-Comté and Grand-Est regions and to define points of attention for institutions and industrial actors carrying out hydrogen projects.

Hydrogen can be produced in different ways, all of which require water, at least to meet production cooling needs. The carbon footprint ($\text{kgCO}_2\text{eq/kgH}_2$) as well as water requirements ($\text{LH}_2\text{O/kgH}_2$) vary depending on the technologies used. These needs can be met by withdrawals from the natural environment (surface water or groundwater), from existing water networks (for drinking water supply or for industrial water) or from wastewater reuse systems.

The study first analyzes in detail the water requirements (withdrawal, consumption and discharges) for the production of hydrogen by electrolysis according to the different possible water sources as well as various parameters such as filtration, cooling, project size, technical-economic considerations....

This preliminary analysis makes it possible to develop a method for calculating the equivalent hydrogen production potential based on the water resources available at the scale of the two regions. This potential was calculated by identifying the volumes of water withdrawn at municipalities level, then by evaluating the share that can be mobilized for the production of hydrogen via a "sensitivity rate" adjusted locally and applied to the volumes withdrawn, then by aggregating the results at the intermunicipal level (EPCI) in order to reduce data errors (extra-territoriality of water withdrawals data) and finally by evaluating the limits of the systematic analysis described previously by carrying specific case studies investigations on hydrogen production projects underway in the study area. The equivalent hydrogen production potential is calculated in such a way that additional withdrawals for hydrogen production don't destabilize existing infrastructures for drinking and industrial water (sensitivity rate < 1 % of volumes withdrawn).

Considering only aspects related to water resources, the equivalent hydrogen production potential is in the range of 1,3 GW by 2030 within the two regions.



1. Contexte du projet

L'ADEME et les 6 Agences de l'Eau ont signé un accord cadre national en novembre 2022, décliné, en mars 2023, sur le territoire de la région Grand Est en convention de partenariat, avec les agences de l'eau Rhin-Meuse, Seine-Normandie, et Rhône-Méditerranée-Corse. Les actions programmées sont réparties dans 5 domaines :

1. L'adaptation au changement climatique
2. Le développement des énergies renouvelables respectueuses des ressources en eau et de la biodiversité
3. L'accompagnement à la transition des pratiques agricoles
4. La transition écologique des pratiques artisanales et industrielles
5. L'information, la mobilisation citoyenne et la sensibilisation des publics

Dans le cadre de ce partenariat avec les trois agences de l'eau précitées, la Direction Régionale Grand Est de l'ADEME a engagé cette étude visant à anticiper et à limiter les impacts potentiels du développement de la production d'hydrogène sur la ressource en eau, en régions Grand Est et Bourgogne Franche Comté. Cette étude apportera également des éléments de méthode pour d'autres régions.

1.1. Éléments de contexte

En 2021, la production d'hydrogène en France s'élevait à 430 000 tonnes produit par vaporeformage, hors coproduction et autoconsommation dans les procédés de raffinage, pétrochimie, et cokeries, ce qui induit d'importantes émissions en CO₂¹. L'électrolyse de l'eau alimentée par une électricité de source renouvelable permet de produire de l'hydrogène renouvelable, ayant une empreinte carbone moindre vis à vis du procédé de vaporeformage. La France s'est fixé un objectif de production d'hydrogène par électrolyse de l'eau à 6,5 GW² en 2030, tandis que la région Grand Est s'est fixé un objectif de production d'hydrogène par électrolyse à environ 90 000 t/an d'ici 2030 (soit ~0,8 GW)³. De son côté, la région Bourgogne-Franche Comté s'est davantage concentrée sur le développement économique de la filière hydrogène sur son territoire et n'a pas encore annoncé d'objectifs de production.

En matière d'hydrogène, l'une des missions de l'ADEME est d'instruire, accompagner et financer un certain nombre de projets dans le cadre de France 2030, que ce soit le développement de briques technologiques ou la mise en place d'écosystèmes de production et d'usages d'hydrogène.

Une autre vocation de l'ADEME est de fournir des éléments de vision pour inspirer, connaître et établir des stratégies dans le futur. À l'instar des 4 scénarios du GIEC présentés dans le rapport spécial 1,5°C de 2018, un travail prospectif de l'ADEME « Transitions 2050 », publié en 2021, a établi 4 profils de scénarios différents visant la neutralité carbone à l'horizon 2050. Dans l'ensemble de ces scénarios, la part des énergies renouvelables (ENR) dans le mix énergétique est supérieure à 70% et l'hydrogène est produit majoritairement par électrolyse de l'eau. La consommation en eau du procédé d'électrolyse n'est pas négligeable, et l'accélération du changement climatique engendre un appauvrissement des ressources en eau, avec une baisse notable du débit des cours d'eau, tout particulièrement en période estivale où la

¹ La production totale incluant coproduction et autoconsommation est de 780 000 tonnes par an

² Les besoins en hydrogène décarboné sont estimés à 770 kt/an dont 600kt décarboné en 2030 – cf stratégie nationale H2 version de décembre 2023 en cours de révision

³ Donnée 2021 – chiffre en cours de révision



ressource en eau est la plus fragile. Dans le bassin Rhin-Meuse, les débits d'étiage (bas débits) ont diminué de 20% sur la période 2003-2022 par rapport à la période de référence 1971-1990⁴. Dans le sud du massif vosgien la baisse est même de l'ordre de 40%, voire 60% dans certains secteurs⁵. Les perspectives hydrologiques menées dans le cadre du projet Explore 2 mettent en avant une forte incertitude liée à la pluviométrie mais mettent en évidence un risque fort d'accroissement des tensions estivales liées à l'augmentation de l'évaporation. Il convient donc d'être très attentif à ne pas accroître significativement la pression de prélèvement en fin de période estivale, quand la ressource est la moins disponible.

En complément de la présente étude, l'ADEME mène actuellement un travail sur les ressources nécessaires au déploiement de l'hydrogène au niveau national. Les paramètres évalués sont les consommations d'eau, les ressources minérales et l'occupation des sols. La présente étude complète ainsi les nombreux travaux prospectifs, notamment dans le cadre du partenariat avec les agences de l'eau, autour d'une approche intégrée de l'ensemble des ressources mobilisées pour l'atteinte de la neutralité carbone en 2050. Cependant, la ressource en eau doit être traitée au niveau local pour augmenter la précision et prendre en compte les spécificités infra-régionales.

En outre, cette étude s'inscrit dans un cadre de collaboration entre l'ADEME et les agences de l'eau et, au cas d'espèce du périmètre d'étude sur les régions Grand Est et Bourgogne-Franche-Comté, les agences des quatre grands bassins hydrographiques concernés : Rhin-Meuse, Seine-Normandie, Rhône-Méditerranée-Corse et celui de Loire-Bretagne à la marge.

Les agences de l'eau mènent des actions de préservation des ressources. Dans le cadre du Plan Eau qui a été annoncé par le président de la République en 2023 et qui table sur un effort de sobriété de 10%, l'exigence officielle de réduction des prélèvements d'eau a été formulée. Au regard des objectifs de sobriété en eau consignés dans le Plan Eau national, repris dans ses déclinaisons à l'échelle des grands bassins hydrographiques, il est de plus en plus important d'être vigilant à tous les nouveaux développements qui amènent des besoins supplémentaires en eau. Des arbitrages pourraient venir à s'opérer entre le développement de nouveaux besoins et les économies d'eau qu'il sera possible de réaliser. Dans cette perspective, les travaux d'anticipation et de prospective, tels que ceux menés en partenariat avec l'ADEME, sont d'une grande importance.

Le lien entre la production d'hydrogène et la ressource en eau est un sujet d'actualité, quel que soit le mode de production considéré (voir section 2.1.1). Les préfetures sont à la fois responsables de la prise de mesures de restriction sur les prélèvements d'eau en période d'alertes, et soucieuses de favoriser le développement sur leur périmètre territorial de nouvelles industries structurantes pour la transition écologique mais qui contribuent aussi à augmenter la pression de prélèvement en eau dans les territoires d'implantation. Le débat n'est pas nouveau, il existe depuis longtemps mais il prend de l'ampleur depuis quelques années. Il était nécessaire d'actualiser les connaissances.

C'est dans ce contexte que la caractérisation de la sensibilité du développement à venir de cette technologie sur la ressource en eau, à la fois au niveau quantitatif et qualitatif, a été considérée opportune. Cette étude a donc vocation à faire dialoguer deux mondes qui se connaissent peu pour l'instant : les acteurs de la gestion de l'eau et ceux de la filière hydrogène.

⁴ Communication personnelle, projet MAJORE (Mise A Jour des Référentiels d'Etiage du bassin Rhin-Meuse), Université de Lorraine, Laboratoire LOTERR (projet en cours de finalisation lors de l'écriture de ce rapport)

⁵ <https://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-69482-FR.pdf>



1.2. Objectifs et méthodologie

1.2.1. Finalités et objectifs de l'étude

Le développement massif de la production d'hydrogène renouvelable ou bas-carbone, notamment par électrolyse de l'eau, sera largement conditionné par la disponibilité de la ressource eau sur le territoire. L'ADEME a ainsi considéré, en élaborant le cahier des charges de l'étude, qu'il était nécessaire de s'intéresser, à une échelle locale, aux perspectives de développement de moyens de production d'hydrogène et de les confronter à la disponibilité et à la vulnérabilité de la ressource en eau à cette même échelle. Les territoires des régions Bourgogne-Franche-Comté et Grand Est ont été retenus comme territoires pilotes.

Les objectifs de l'étude, lancée en janvier 2024 avec le groupement de prestataires, étaient formulés ainsi :

- Evaluer les potentiels impacts de la production d'hydrogène sur les ressources en eau, que ce soit au niveau quantitatif (modification du bilan hydrique) ou qualitatif (risques d'acidification, d'eutrophisation, perturbation des écosystèmes aquatiques),
- Investiguer des alternatives possibles à l'électrolyse, vaporeformage du gaz naturel avec capture du carbone ou gazéification de la biomasse ou autre piste de production d'hydrogène qui méritent également d'être évaluées concernant leurs liens avec la ressource en eau,
- Préciser les caractéristiques physico-chimiques de l'eau requise en amont pour les procédés d'électrolyse ou alternatives afin d'identifier les possibles synergies et compatibilités avec d'autres industries.

Dans le déroulé des échanges, sont apparus des objectifs précisant les énoncés initiaux :

- S'assurer d'une compréhension des liens et interactions entre la ressource en eau et la production d'hydrogène, qui soit partagée entre les spécialistes de chacun des domaines.
- Définir des points d'attention à destination des institutions (en charge de la réglementation, des financements, de la politique économique, etc.) et des industriels porteurs de projets hydrogène.
- Produire des éléments sur la sensibilité de la ressource en eau croisés avec les impacts de la production d'hydrogène.
- Fournir des cartographies régionales stratégiques, aux échelles des départements, représentant la sensibilité de la ressource « eau » à de nouveaux prélèvements pour la production d'hydrogène. Ces cartes à destination des institutionnels et de leurs partenaires donneront une vision d'ensemble pour orienter les porteurs de projets souhaitant installer des moyens de production d'hydrogène sur un territoire donné, en prenant en compte à la fois la stratégie régionale existante concernant l'implantation de moyens de production d'hydrogène et les zones de vulnérabilité de la ressource en eau.
- Formuler des préconisations pour un développement maîtrisé de la production d'hydrogène à destination des industriels et des institutionnels.

1.2.2. Ce que l'étude apporte

Outre les objectifs énoncés précédemment, cette étude a également vocation à faire dialoguer des personnes qui n'ont pas l'habitude de travailler ensemble.

Dans ses perspectives de diffusion, l'étude permet également de :

- Objectiver les liens entre projets de production d'hydrogène et ressource en eau, dans le cadre de la mise en œuvre du Plan Eau. A ce titre, il est apparu important à plusieurs membres du



comité technique (COTECH) de porter à connaissance les éléments de l'étude pour permettre une conciliation des usages en en parlant aux bonnes échelles.

- Alimenter les groupes régionaux d'adaptation au changement climatique,
- Traiter la question de l'acceptabilité qui est récurrente sur les projets d'énergie renouvelable,
- Mieux connaître les nouvelles technologies qui se développent dans les territoires,
- Croiser les regards entre instances de l'eau et acteurs de l'hydrogène.

1.2.3. Ce que l'étude n'est pas

- **Une analyse prospective de l'évolution de la ressource en eau ou du développement de l'hydrogène à l'horizon 2050-2100.** Cette étude n'inclut pas de dimension prospective sur l'évolution de la ressource en eau liée aux effets du dérèglement climatique. Cette dimension a été écartée dès la conception de l'étude car le niveau de complexité semblait incompatible avec le dimensionnement de l'étude (6 mois). Une des parties de l'étude explore rapidement les moyens supplémentaires nécessaires pour aborder cette dimension prospective du dérèglement climatique dans une éventuelle deuxième phase à cette étude. (cf § 4)
- **Une étude de volume prélevable visant à estimer de nouveaux volumes d'eau prélevés dans les eaux patrimoniales.**
- **Un guide détaillé de préconisations pour le dimensionnement d'un projet de production d'hydrogène.** L'étude n'a pas vocation à servir de guide de préconisations pour orienter les industriels dans l'implantation d'unités de production d'hydrogène sur les territoires. Cela étant, cette étude ne se limite pas à la fourniture de cartographies superposant les thématiques eau et hydrogène. Cette étude a vocation à partager de façon pédagogique les expertises respectives des développeurs de projets et des services de l'Etat ou de ses établissements publics (Agences de l'eau, DREAL, DRAF ...) qui ont été interrogés ou associés à l'étude.
- **Un guide de préconisations pour aiguiller les industriels pour l'implantation des électrolyseurs sur un territoire.** L'étude n'a pas non plus vocation à servir de guide opérationnel qui se substituerait aux organismes compétents sur les sujets eau et hydrogène. Cette étude ne remplacera pas leur travail mais pourra utilement éclairer le débat sur la question de la sensibilité de la ressource en eau au regard de la production potentielle d'hydrogène et outiller les techniciens de collectivités ou les élus qui pourraient avoir des questions ou des intentions d'implantation de projets hydrogène.



1.3. Phases et planning de l'étude

L'étude a été découpée en quatre grandes phases, comme illustré sur la figure n°1 :

1. Elaboration, mise au point et validation de la méthodologie.
2. Evaluation de la sensibilité de la ressource en eau au regard de la production potentielle d'hydrogène, incluant une phase de collecte des données eau, d'actualisation des données hydrogène et de modélisation des choix technologiques possibles impactant la consommation en eau des projets.
3. Elaboration de cartographies et approfondissements sur des études de cas.
4. Préconisations pour une éventuelle suite à cette étude.

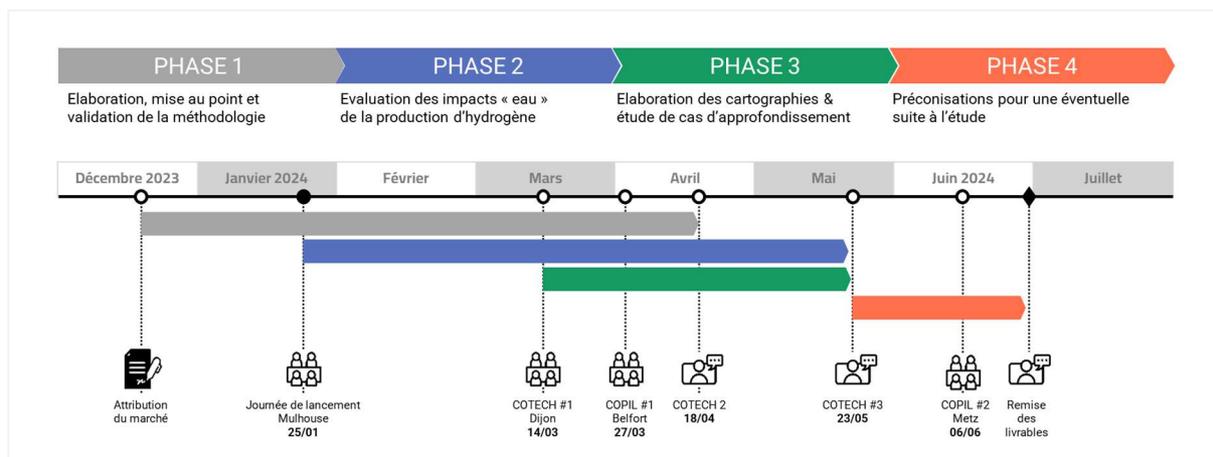


Figure 1 : Phasage et planning de l'étude

L'étude s'est déroulée entre janvier et juin 2024 sur une durée effective de six mois.

Deux comités de pilotage (COFIL) et trois comités techniques (COTECH) ont été organisés pour le suivi de l'étude par les différentes instances impliquées, avec pour objectifs de :

- Echanger des informations, collecter de la donnée, notamment sur la ressource en eau,
- Avoir des retours constructifs sur la méthodologie, dont des retours d'expérience de terrain,
- Se tenir informés réciproquement de l'avancée de l'étude,
- S'inscrire dans les dynamiques territoriales existantes.



Jalons	Livrables
Réunion de lancement (25/01/2024)	<ul style="list-style-type: none"> • Support de présentation
Cotech 1 (14/03/2024)	<ul style="list-style-type: none"> • Support de présentation
Copil 1 (27/03/2024)	<ul style="list-style-type: none"> • Support de présentation
Cotech 2 (18/04/2024)	<ul style="list-style-type: none"> • Support de présentation
Cotech 3 (23/05/2024)	<ul style="list-style-type: none"> • Support de présentation
Copil 2 (06/06/2024)	<ul style="list-style-type: none"> • Support de présentation
Rendu des livrables (30/06/2024)	<ul style="list-style-type: none"> • Rapport détaillé de l'étude • Fiche de synthèse • Fiche de synthèse pédagogique • Table des données • Support de présentation webinaire
Finalisation des livrables (31/07/2024)	<ul style="list-style-type: none"> • Rapport détaillé de l'étude • Fiche de synthèse • Fiche de synthèse pédagogique • Table des données • Support de présentation webinaire

Figure 2 : Liste des livrables de l'étude

L'ADEME a souhaité associer un maximum d'acteurs publics concernés par la filière eau ou la filière hydrogène dès le démarrage de l'étude, en partant du constat que la nécessité de développer une vision intégrée des ressources amène aussi à développer des approches intégrées de co-construction de nouvelles méthodes d'étude.

Sont fournies en annexe 1 les explications relatives à l'équipe en charge, la démarche de co-construction, les entretiens institutionnels, les méthodologies non retenues.



2. Besoins en eau pour la production d'hydrogène

2.1. Eléments de contexte : Productions et usages de l'hydrogène

L'hydrogène sera une énergie indispensable à la transition énergétique car il pourra permettre de :

1. Décarboner les secteurs très intensifs en énergie (« hard-to-abate sectors ») comme l'industrie, les transports terrestres, fluviaux et maritimes ou l'aviation.
2. Pallier l'intermittence des énergies renouvelables électriques et stabiliser les réseaux,

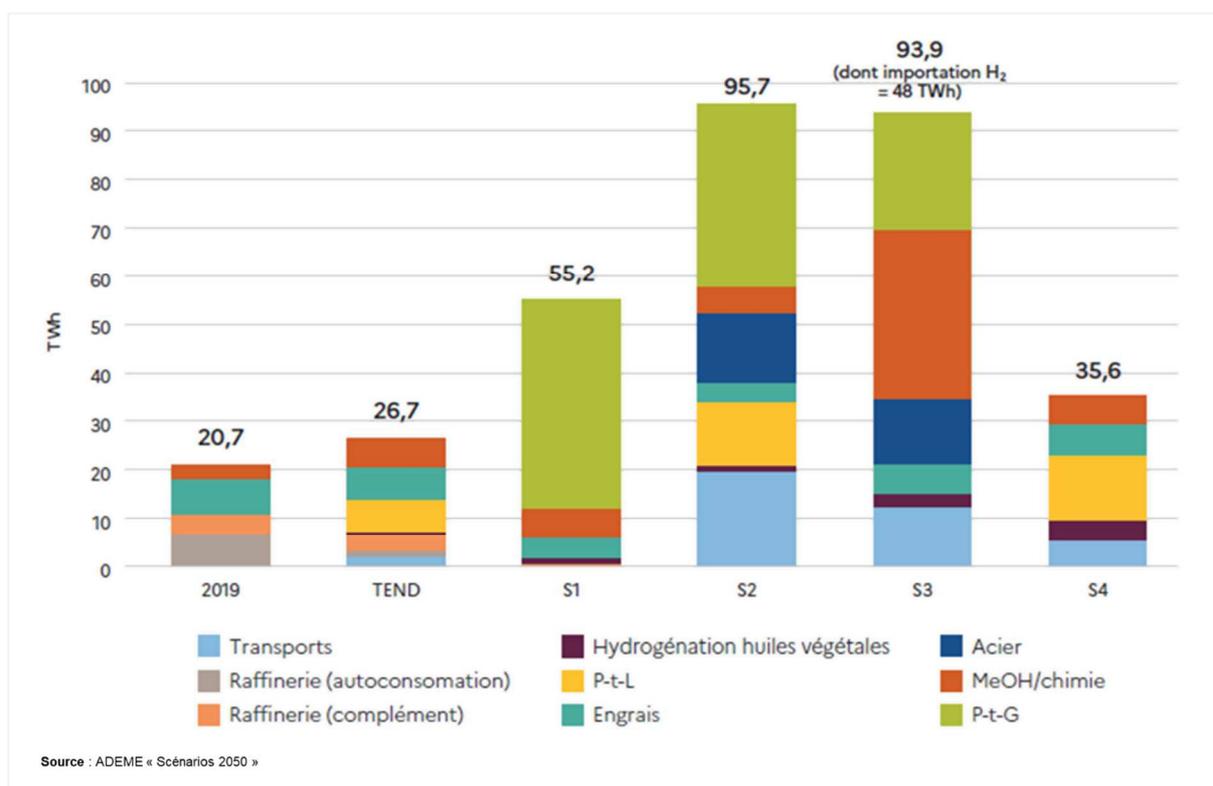


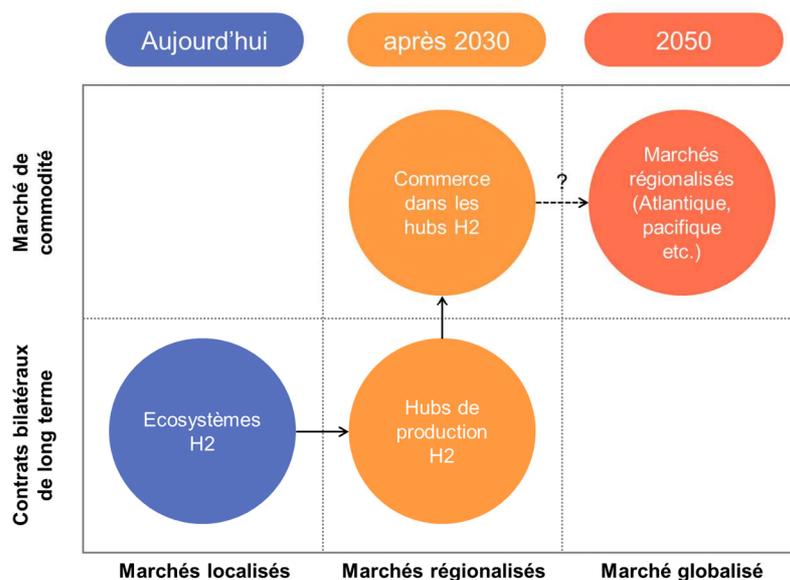
Figure 3 : Bilan des consommations d'hydrogène en 2050 par usage pour les différents scénarios « Transition(s) 2050 » de l'ADEME, incluant l'autoconsommation des raffineries⁶

Dans la figure 3, la colonne 2019 indique la production d'hydrogène en 2019, la colonne « TEND », cette consommation dans le cas d'une hypothèse d'évolution tendancielle de l'existant et enfin, les 4 colonnes S1 à S4, cette consommation selon les 4 scénarios intitulés respectivement « génération frugale », « coopérations territoriales », « technologies vertes » et « pari réparateur ».

L'hydrogène ne remplacera pas l'ensemble des usages actuels des hydrocarbures fossiles mais il s'imposera dans les différents secteurs d'intérêt prioritaires de façon progressive, avec des temporalités très différentes selon les usages et les volumes associés. Un marché globalisé de l'hydrogène n'est pas à attendre avant 2050 au moins (figure n°4).

⁶ <https://librairie.ademe.fr/recherche-et-innovation/5072-prospective-transitions-2050-rapport.html>





Source : Adaptation EnerKa Conseil à partir d'une infographie EY

Figure 4 : Grandes étapes de développement de l'hydrogène

On pourra retenir trois grandes périodes de déploiement (cf annexe 7 pour plus de détails):

- **2024-2030** : Ecosystèmes de mobilité (implantations diffuses à proximité des centres urbains et axes autoroutiers) et écosystèmes industriels (implantations massives de production d'hydrogène à proximité directe des industries consommatrices). A cet horizon, les projets hydrogène se développent de façon privilégiée à certains endroits du territoire, à proximité immédiate des usages en l'absence d'infrastructures de transport ;
- **2030-2040** : Connexion à grande distance des projets de production massive et des industriels consommateurs via un réseau d'hydrogénoducs (dorsales hydrogène) et construction d'un maillage de stations de distribution (une station tous les 200Km le long des corridors dédiés au fret routier) d'hydrogène carburant pour le transport poids-lourds à l'échelle européenne (dorsales hydrogène) avec des unités de production réparties le long de ces dorsales permettant une diffusion des usages hydrogène autour de ces hubs ;
- **2040-2050** : Déploiement à large échelle dans les territoires. Les restrictions d'implantation de nouvelles unités de production, dues aux contraintes du transport de l'hydrogène, se réduisent à mesure que les différentes infrastructures se développent (hydrogénoducs, hubs électro-carburants). On peut considérer qu'à cet horizon, la production d'hydrogène est pertinente sur l'ensemble du territoire.

Toutefois, les hypothèses ci-dessus ne sont qu'une des options envisageables, elles se rapprochent du scénario S3 « technologies vertes » des travaux prospectifs transitions 2050 de l'ADEME. Dans ce scénario, des canalisations de gaz naturel sont reconverties pour transporter de l'hydrogène, de nouveaux hydrogénoducs sont créés, le stockage d'hydrogène en cavité saline se multiplie. Ces infrastructures permettent de valoriser une production nationale d'hydrogène mais également d'importer de l'hydrogène provenant du sud de l'Europe, importation nécessaire pour couvrir la demande sur ce scénario. Les vecteurs chimiques de transport de l'hydrogène à savoir l'ammoniac et les LOHC n'ont pas été considérés, l'importation d'hydrogène gazeux transporté par canalisations depuis les pays voisins ayant été jugée suffisante.



Le cadrage de la présente étude n'a pas permis d'approfondir des scénarios prospectifs adaptés aux 2 régions en concertation avec les acteurs régionaux. D'autres scénarios sont possibles comme dans les 3 autres scénarios très contrastés et qui font appel plus massivement à la méthanation couplée à de nombreuses installations territoriales de méthanisation (la mobilité est alors assurée via le biométhane) par exemple dans le scénario 1 « génération frugale » et avec un développement très limité des canalisations.

En tout état de cause, la description des 3 phases ci-dessus n'est qu'illustrative et n'a pas conduit à des modifications méthodologiques qui auraient modifié les volumes d'eau nécessaires à la production d'hydrogène.

2.1.1. Procédés de production de l'hydrogène

Le dihydrogène (symbole H₂, appelé communément « hydrogène ») n'est pas une énergie primaire mais un vecteur énergétique. Il doit donc être produit à partir de ressources énergétiques primaires, renouvelables ou fossiles, au moyen de réactions chimiques impliquant la consommation d'eau.

Energie primaire	Procédé	Classification	Couleur	Intensité carbone
Hydrocarbures fossiles 	Réformage à la vapeur	H2 fossile		10 -12 kg _{CO2} /kg _{H2}
Hydrocarbures fossiles 	Réformage à la vapeur + capture & séquestration du CO ₂	H2 bas-carbone		0 - 3 kg _{CO2} /kg _{H2}
Electricité (mix bas-carbone) 	Electrolyse	H2 bas-carbone		0 - 3 kg _{CO2} /kg _{H2}
Electricité (mix renouvelable) 	Electrolyse	H2 renouvelable		0 - 3 kg _{CO2} /kg _{H2}
Biomasse 	Gazéification	Hydrogène renouvelable négatif en carbone		Potentiellement négatif en carbone (non validé d'un point de vue réglementaire)
Gaz naturel ou biométhane 	Pyrolyse	H2 bas-carbone/renouvelable, négatif en carbone		Potentiellement négatif en carbone (non validé d'un point de vue réglementaire)

Source : EnerKa Conseil

Figure 5 : Différentes technologies de production de l'hydrogène (potentiellement négatif en carbone n'est pas confirmé d'un point de vue réglementaire, et dépend notamment des impacts sur les stocks de carbone des écosystèmes où sont prélevés les biomasses)

Différentes techniques de production existent :

- **Le reformage du gaz naturel à la vapeur d'eau est aujourd'hui la technique la plus répandue.** Il s'agit de faire réagir du méthane avec de l'eau pour obtenir un mélange contenant de l'hydrogène et du CO₂. Le CO₂ émis par ce procédé peut être capté et stocké pour produire un hydrogène décarboné. En lieu et place du gaz naturel, le biométhane (méthane obtenu par purification du biogaz issu de la fermentation de la biomasse) peut théoriquement aussi contribuer à la production d'hydrogène renouvelable. En pratique, le biométhane a d'autres voies de valorisation prioritaires par rapport à la production d'hydrogène. De plus, la biomasse est une



ressource limitée qui a d'autres usages⁷ et la capture stockage géologique de CO₂ (CSC) a un potentiel limité en France, d'autant plus à court et moyen terme⁸.

- **L'hydrogène peut être produit à partir d'eau et d'électricité, c'est l'électrolyse de l'eau.** L'électrolyseur sépare la molécule d'eau en hydrogène et en oxygène. Cette voie est encore peu répandue car nettement plus coûteuse que le reformage du gaz naturel à l'heure actuelle mais de nombreux projets d'électrolyse émergent à travers le monde et en France,
- **La gazéification permet de produire, par combustion en l'absence d'oxygène, un mélange de CO et d'H₂ soit à partir de charbon (solution fortement émettrice en CO₂) soit à partir de biomasse.** S'agissant de la gazéification de la biomasse, plusieurs variantes technologiques existent ou sont en cours de développement. Dans la présente étude, le procédé de thermolyse développé par la société Haffner Energy **est** étudié et comparé aux autres technologies de production d'hydrogène du point de vue de la consommation en eau. Le choix de cette société se justifie par sa maturité pour les usages mobilité.
- **L'hydrogène existe aussi à l'état naturel mais n'est pas exploité pour l'instant.** Les premières sources naturelles d'hydrogène ont été découvertes au fond des mers dans les années 1970 et plus récemment à terre. Si les connaissances concernant l'hydrogène ont fortement progressé ces dernières années, il reste encore à évaluer le potentiel que représente cette ressource pour la transition énergétique : quels volumes existants ? Quelles réserves éventuelles ? Quelles méthodes d'extraction ? De même, la compréhension des mécanismes de formation, de migration et d'accumulation de l'hydrogène dans le sous-sol, qui permettraient de mieux cibler l'exploration, suscitent encore un certain nombre de questionnements. Une production à l'échelle industrielle à l'horizon 2035/2040 nécessiterait de financer plus lourdement la R&D sur ce sujet.

L'électrolyse de l'eau est le procédé ayant le plus de potentiel pour contribuer aux objectifs climatiques de la France à l'horizon 2050⁹.

⁷ <https://librairie.ademe.fr/changement-climatique-et-energie/6860-biomasse-enjeu-strategique-de-la-transition-ecologique.html>

⁸ <https://librairie.ademe.fr/changement-climatique-et-energie/69-avis-de-l-ademe-captage-et-stockage-geologique-de-co2-csc-en-france.html>

⁹ <https://librairie.ademe.fr/recherche-et-innovation/5072-prospective-transitions-2050-rapport.html>



L'étude tient-elle compte du potentiel de production d'hydrogène dans le bassin houiller lorrain ?

Lors d'une campagne de recherche de méthane dans le sous-sol lorrain en 2023, une équipe de scientifiques du projet Regalor (Ressources Gazières de Lorraine) a détecté par hasard des fortes concentrations d'hydrogène dans un forage situé sur la commune de Folschwiller : 20% d'hydrogène gazeux à 1200m de profondeur. Une valeur considérable.

A partir de cette mesure, le potentiel de la zone de recherche a été estimé selon les méthodes en vigueur à 250 millions de tonnes en hypothèse haute et 34,6 millions en hypothèse basse, un chiffre énorme au regard de la consommation mondiale actuelle d'hydrogène (80 millions de tonnes par an).

La nouvelle a fait plusieurs fois le tour de monde et de nombreux journalistes se sont empressés d'imaginer une exploitation commerciale de ce gisement. Pourtant, aucune exploitation commerciale du gisement n'est envisageable à court terme. Cette première campagne de mesures laisse de nombreuses questions sans réponses sur la nature du gisement, les conditions de formation de l'hydrogène etc. La suite du projet Regalor (Regalor 2), qui devrait débuter en juin 2024 pour trois ans de recherches supplémentaires avec la participation de la Française de l'Energie, la société qui détient la concession « Bleue Lorraine » sur laquelle a été faite la découverte, a pour but de caractériser plus précisément ce gisement et de préciser les éventuelles conditions d'une exploitation future.

Dans ce contexte, le potentiel d'extraction d'hydrogène natif en région Grand Est n'a pas été pris en compte dans la présente étude car il n'y a pas véritablement de sujet du côté de la production d'hydrogène pour l'instant. En revanche, il y a déjà un sujet du côté de la ressource en eau car les activités de forages exploratoires visant à caractériser le gisement sont susceptibles d'endommager les nappes phréatiques traversées en raison de la difficulté à forer proprement le sous-sol très fracturé de la région.

Depuis, les estimations ont été plusieurs fois révisées à la baisse mais restent tout de même très conséquentes.



Ordres de grandeur à connaître sur l'hydrogène :

- L'hydrogène a une densité énergétique élevée par unité de masse ($1\text{kg}_{\text{H}_2} \rightarrow 33\text{kWh}$, soit 3X plus d'énergie par kg que le diesel !) mais très peu élevée par unité de volume ($1\text{kg}_{\text{H}_2} \rightarrow 11\text{Nm}^3$, soit 10X moins d'énergie par Nm^3 que le gaz naturel).
- Pour l'électrolyse, on retient généralement les valeurs suivantes (référence : électrolyse alcaline) :
 - Production : 400 kg/jour/MW soit environ 144 tonnes/an à raison de 8000 heures de fonctionnement annuel
 - Débit moyen : 200 Nm^3/h par MW
 - Rendement énergétique : $56\text{kWh}_{\text{électricité}}/\text{kg}_{\text{H}_2}$

2.1.2. Usages et zones de développement de l'hydrogène

Sur la production totale d'hydrogène pur en France¹⁰ : 32% sont commercialisées et 68% sont produites par des entreprises en interne, principalement pour être utilisées comme intrant chimique ou source d'énergie. Un cinquième de l'hydrogène pur produit est mélangé ou n'est pas utilisé ultérieurement. Les usages sont concentrés dans l'industrie chimique et le raffinage de pétrole.

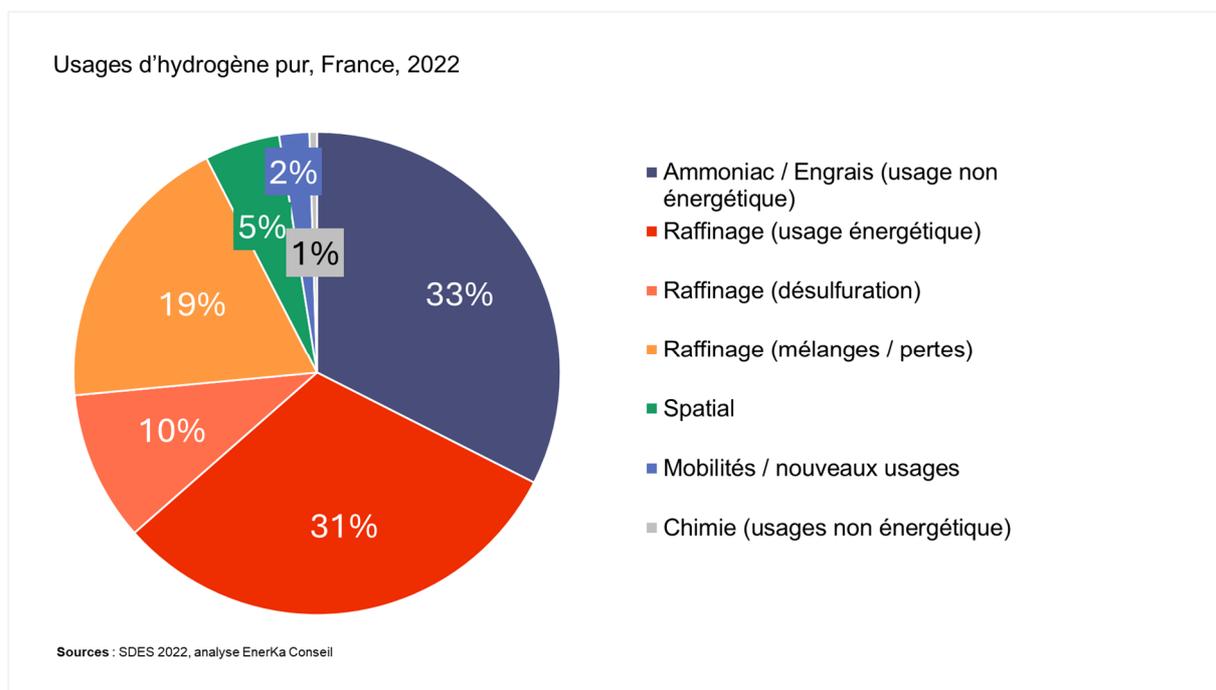


Figure 6 : Usages d'hydrogène pur en France – données 2022

¹⁰ <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/lhydrogene-pur-premiere-evaluation-des-ressources-et-des-usages-en-france-en-2022>



Les usages possibles sont néanmoins nombreux, et l'hydrogène est prometteur pour décarboner un certain nombre d'usages futurs et accompagner la transition énergétique. Un aperçu assez exhaustif des différents usages de l'hydrogène est disponible dans la figure n°7.

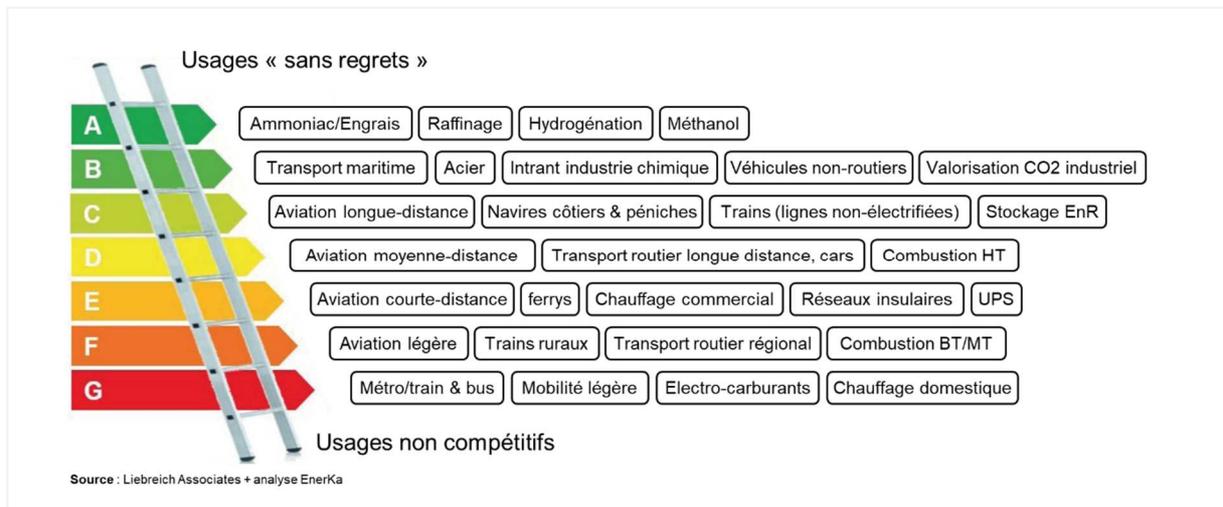


Figure 7 : Panorama des usages de l'hydrogène par niveau d'intérêt

Tous les nouveaux usages de l'hydrogène ne se valent pas ; certains usages qui ont peu d'autres alternatives pour se décarboner, par exemple dans l'industrie lourde ou certains procédés de combustion à très haute température, sont à développer en priorité tandis que d'autres usages sont encore loin d'être économiquement compétitifs (chauffage individuel, mobilité individuelle) et apparaissent comme peu prioritaires à développer à court terme.

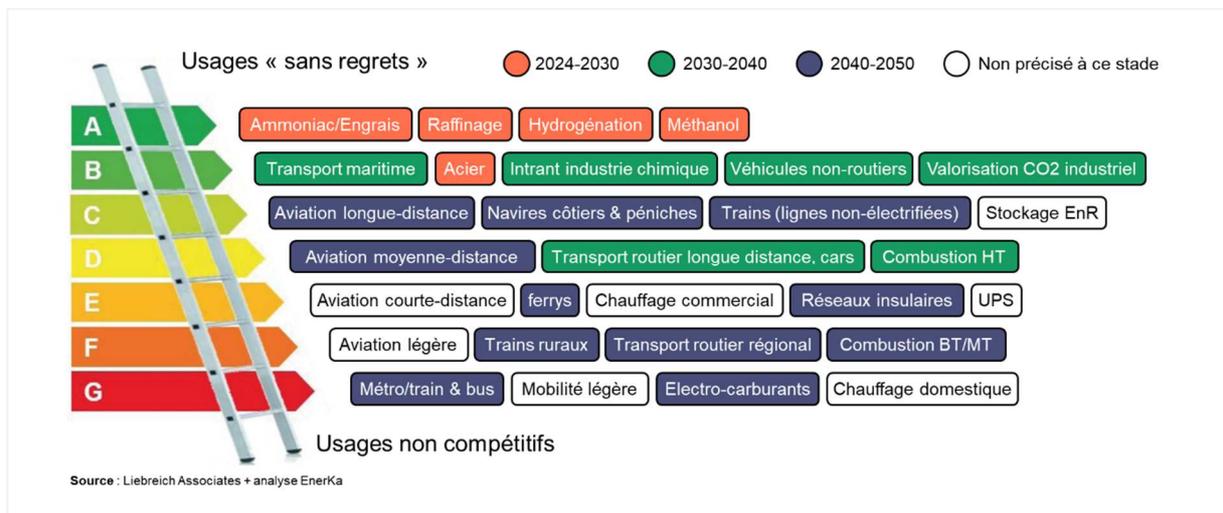


Figure 8 : Chronologie de développement des différents usages

Ainsi, les différents usages de l'hydrogène renouvelable/bas-carbone pourraient se développer à des pas de temps différents : certains usages massifs qualifiés de « sans regrets » sont susceptibles de se développer à court-moyen terme dans l'industrie lourde (raffinage, engrais, acier) tandis que les usages diffus et/ou privatifs de l'hydrogène (mobilité individuelle, chauffage ...) n'émergeront vraisemblablement que si le marché de l'hydrogène atteint une certaine taille critique et dans la mesure



où les autres alternatives envisageables ne peuvent plus passer à l'échelle (véhicules électriques à batterie, pompes à chaleur etc.).

L'hydrogène étant un gaz peu dense, la problématique de son transport depuis les lieux de production vers les lieux de consommation est centrale. En petites quantités, on peut envisager de le comprimer pour le transporter dans des réservoirs pressurisés. En revanche, en plus grandes quantités, il faut soit le liquéfier (-253°C), soit le produire sur place (production captive) soit construire des infrastructures de transport par canalisation (hydrogénoducs).

Ainsi, la localisation et la taille des projets de production d'hydrogène sont définis par l'équation technico-économique : en l'absence d'infrastructures de transport massives, les producteurs d'hydrogène sont contraints de localiser et dimensionner leur production à proximité des usages les plus intéressants à court terme. S'invitent alors les contraintes de maîtrise foncière pour l'implantation des installations et les capacités de raccordement au réseau.

La région Grand Est a établi une première feuille de route territorialisée pour le développement d'écosystèmes hydrogène qui tient compte de ces enjeux d'implantation. Dans le même esprit, en tenant compte de la nécessité de localiser les projets de production d'hydrogène à proximité des usages, des zones d'implantation privilégiées à proximité des plateformes industrielles, centres de population/activité et le long des dorsales (hydrogénoducs) et corridors (fret routier) hydrogène sont délimitées.

Un zonage simplifié de la production d'hydrogène aux différents horizons de temps a été défini pour les deux régions à partir des hypothèses de développement de l'hydrogène et du zonage élaboré dans le cadre de la feuille de route stratégique de la région Grand Est. Les hypothèses de zonage sont détaillées dans la figure 9.

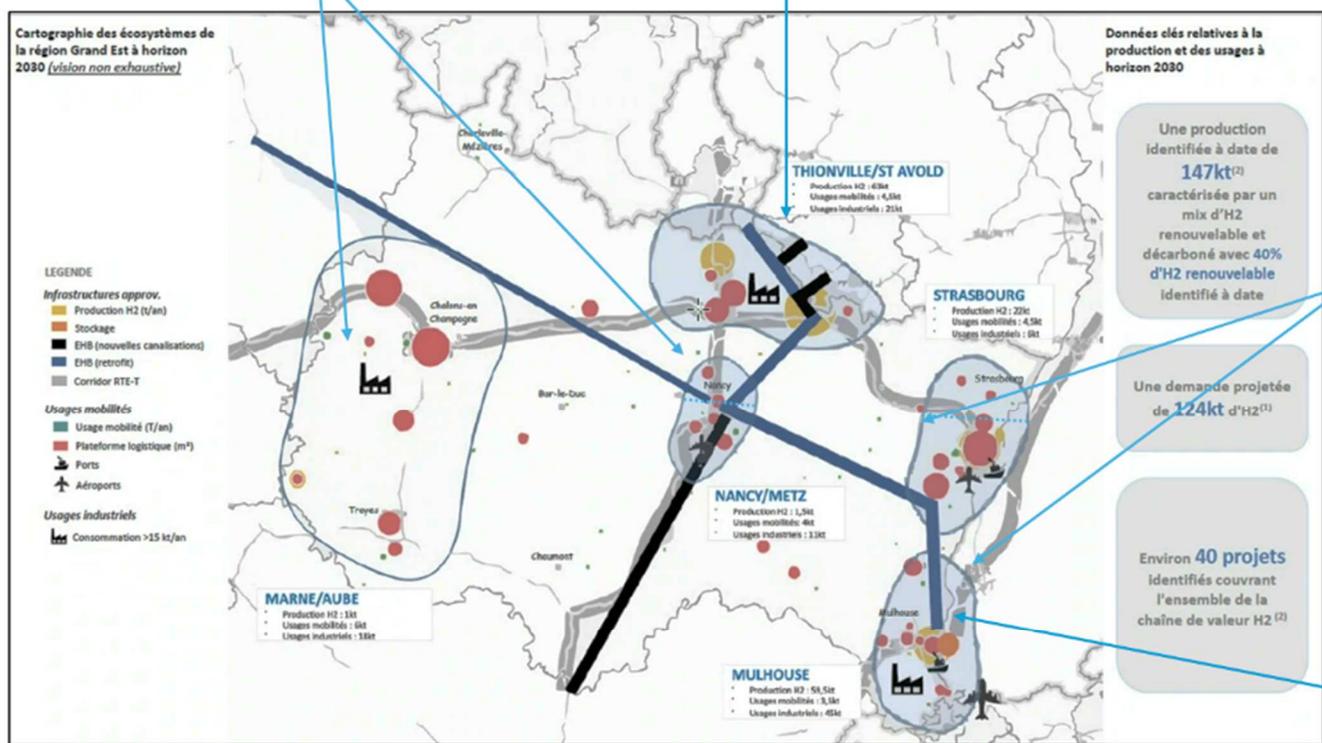


Zones projets intermédiaires
 À proximité des principales agglomérations et le long des corridors H2 (TEN-T) et dorsales H2 (EHB)

Zone projets massifs
 Saint-Avold/Carling

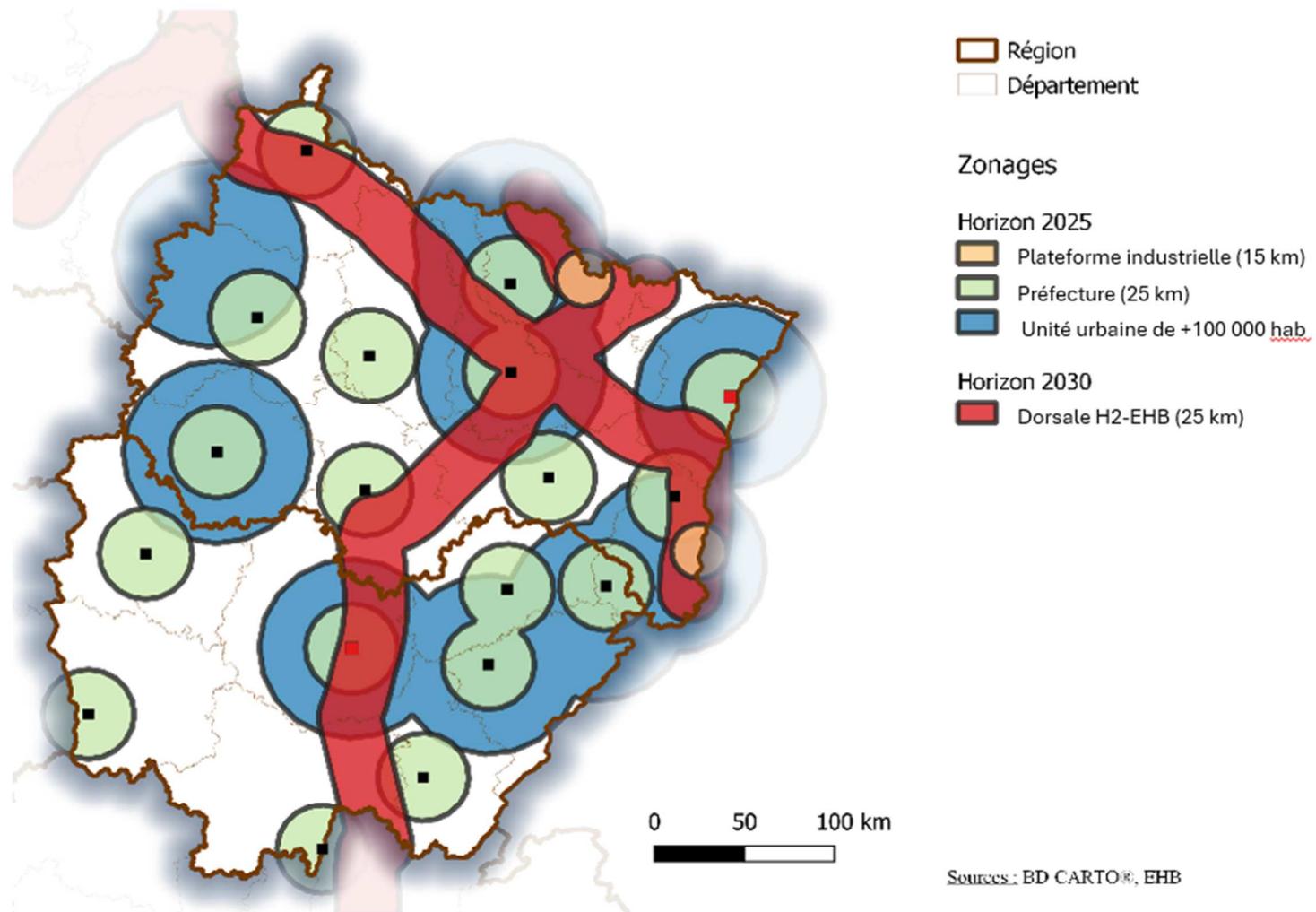
Zones projets intermédiaires
 À proximité des principales agglomérations et le long des corridors H2 (TEN-T) et dorsales H2 (EHB)

Zone projets massifs
 Mulhouse/Chalampé



Source : Région Grand Est

Figure 9 : Zones de développement privilégiées de l'hydrogène en région Grand Est



Source : analyse EnerKa Conseil

Figure 10 : Zones de développement privilégiées de l'hydrogène en région Grand Est et Bourgogne-Franche Comté aux horizons temporels considérés

2.2. Détail des consommations d'eau pour la production d'hydrogène

Un premier attendu de l'étude consistait à consolider des données sur les besoins en eau des différentes technologies de production de l'hydrogène. L'électrolyse de l'eau a été étudiée de façon très détaillée car c'est la technologie de référence envisagée pour la future production d'hydrogène renouvelable et/ou bas-carbone en cohérence avec la stratégie française. Le reformage de gaz naturel et la thermolyse de la biomasse ont également été documentés mais de façon moins détaillée.

L'approche de la consommation en eau pour un projet de production d'hydrogène distingue :

- La **consommation brute** d'eau (ou prélèvement), quelle que soit son origine, qui correspond à la quantité totale d'eau prélevée (AEP, AEI, eau patrimoniale, eau de réutilisation),
- La **consommation nette** d'eau, qui correspond à la quantité d'eau réellement consommée pour la production d'hydrogène, celle « électrolysée ». L'eau rejetée au milieu naturel, sous forme liquide, lors du processus de fabrication, notamment pour le refroidissement, est considérée comme de l'eau non consommée, puisqu'elle est prélevée et rejetée au milieu naturel. Quand les rejets en eau se font dans un système différent des prélèvements, notamment sous forme de vapeur (refroidissement évaporatif), ils ne sont pas retirés de la consommation nette d'eau, car ils ne peuvent pas être considérés comme une forme de retour au milieu aquatique à l'échelle locale d'un projet.

AEP fait référence à l'eau potable et AEI à l'eau industrielle.

Les besoins en eau pour la production d'hydrogène sont la résultante de plusieurs facteurs relatifs à la fois au projet et à son environnement (voir figure 11). En définitive, les développeurs doivent choisir :

- 1) la source d'alimentation pour le projet (AEP, AEI, ESO, REUT, dessalement d'eau de mer),
- 2) le système de traitement de l'eau en amont de la production d'hydrogène dont l'efficacité (et la quantité de rejets) varie selon la qualité de l'eau choisie et
- 3) le système de refroidissement adapté au contexte local et aux contraintes financières du projet.



Ces différents choix sont détaillés ci-après et déterminent les besoins en eau qui seront détaillés en termes de prélèvement, de consommation nette et de rejets.

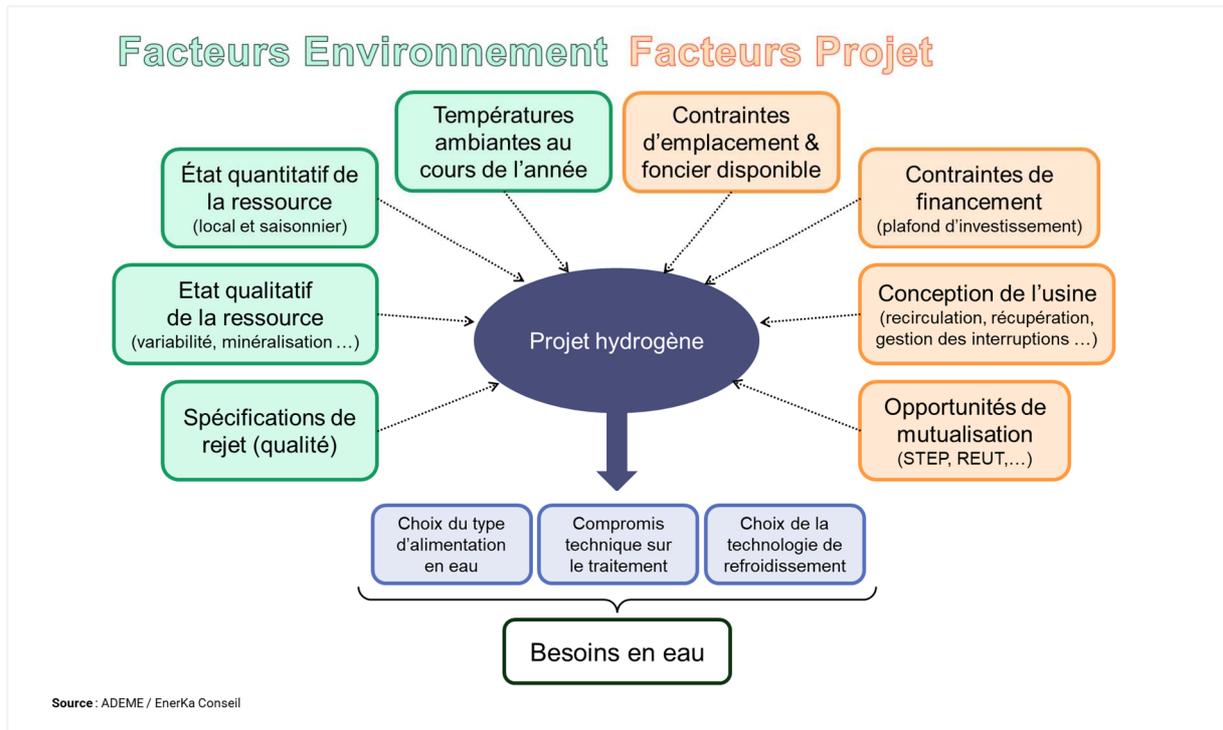


Figure 11 : Arbitrages nécessaires à l'installation d'un projet hydrogène

2.2.1. Cas de l'électrolyse

Il est apparu nécessaire de préciser le chiffre de 20 litres d'eau consommés par kilogramme d'hydrogène produit dans le cas de l'électrolyse, fréquemment utilisé (dans la bibliographie, un flou subsiste sur la consommation nette ou le volume d'eau prélevée), en fonction de la qualité d'eau entrante et du traitement d'eau associé, ainsi que du type de refroidissement utilisé et de la taille de l'installation prévue.

La valeur de 20L/kgH₂ se vérifie sur les installations d'électrolyse de petite puissance, elle ne suffit pas à décrire la réalité des projets de plus grande puissance, où les écarts observés par rapport à cette valeur sont plus importants.

2.2.1.1. Vue d'ensemble

Il y a deux besoins en eau principaux dans une unité d'électrolyse : le besoin en eau ultrapure pour le procédé électrochimique, qui nécessite une étape de traitement en amont (deminéralisation), et le besoin d'eau pour les unités de refroidissement, de qualité variable selon les technologies choisies.



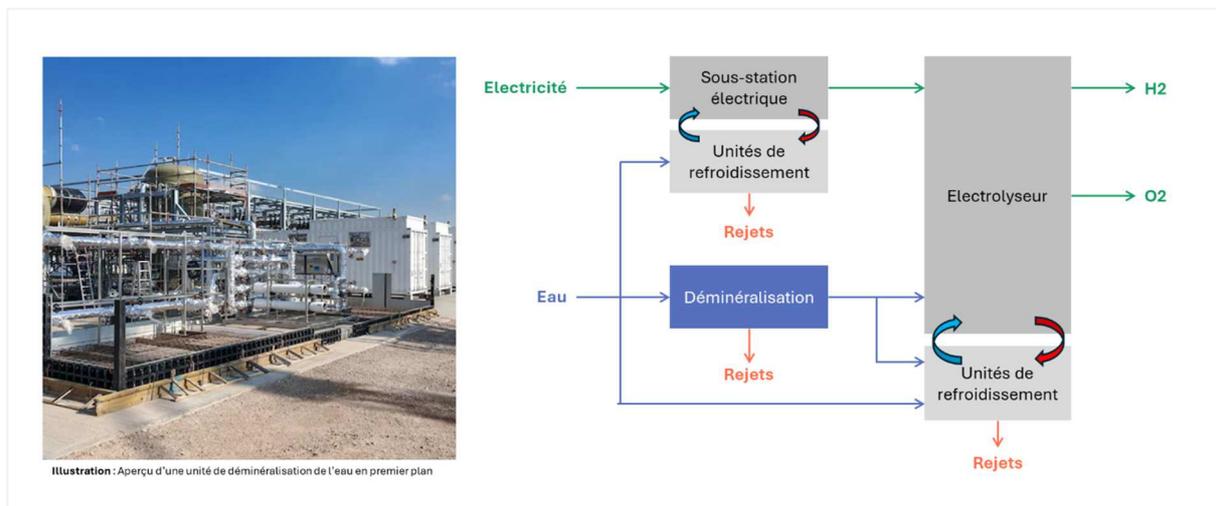


Figure 12: Différents postes de consommation d'eau dans une unité d'électrolyse

Nota : Le prélèvement d'eau des unités de refroidissement de la sous-station électrique n'est pas pris en compte dans les chiffres affichés ci-dessous. Seuls les projets de forte puissance, supérieure à plusieurs mégawatts (MW), utilisent un refroidissement à l'eau pour le transformateur haute-tension connecté au réseau RTE (réseau HTB).

2.2.1.2. Consommation d'eau pour le procédé et caractérisation des rejets

Le procédé d'électrolyse nécessite une eau ultrapure avec les spécifications suivantes a minima :

- **Conductivité** : $S < 2 \mu S/cm$ (l'exigence peut aller jusqu'à $< 0,1 \mu S/cm$ dans certains cas)
- **Dureté** : 0 ppm (aucune présence de calcium et de magnésium dissous dans l'eau)
- **Particules organiques** : 0 ppm
- **Résidus gazeux** : 0 ppm

Le procédé d'électrolyse en lui-même consomme environ 9L/kgH₂, quelle que soit la technologie utilisée. L'unité de traitement en amont de l'électrolyseur (essentiellement une déminéralisation) génère un flux d'eau ultrapure en concentrant toute la minéralisation et autres éléments présents dans l'eau entrante dans un rejet appelé concentrat.

Le procédé d'électrolyse (incluant le traitement de l'eau) n'ajoute pas de pollution à l'eau rejetée : les concentrats de déminéralisation sont qualitativement de même nature que l'eau entrante mais en plus forte concentration. La concentration de ces rejets varie généralement d'un facteur X2 (~9L/kgH₂ rejetés) à X4 (~3L/kgH₂ rejetés) en fonction de l'efficacité du système de déminéralisation (osmose inverse + résine échangeuse d'ions)¹¹. En outre, les concentrats de déminéralisation sont à température ambiante.

¹¹ Dans le cas de la déminéralisation « non optimisée », le prélèvement de 18L/kg (9+9) et le rejet de 9L/kg conduisent à une concentration d'un facteur X2 (soit 18/9), dans le cas de la déminéralisation « optimisée », le prélèvement de 12L/kg (9+3) et le rejet de 3L/kg conduisent à concentration d'un facteur X4 (soit 12/3).



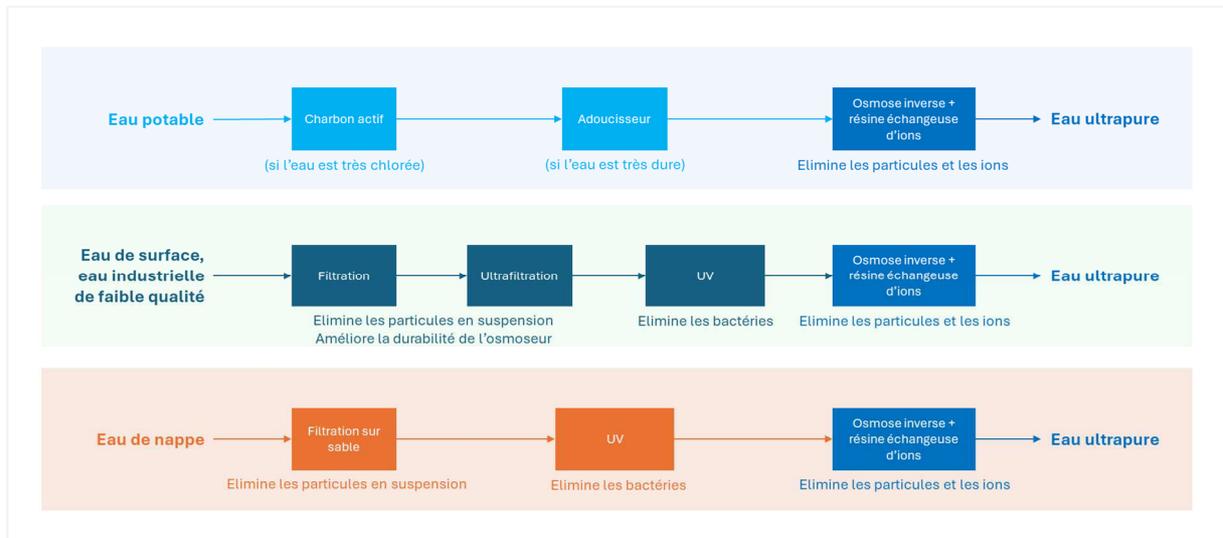


Figure 13 : Principaux traitements mis en œuvre en amont de l'électrolyse selon le type d'eau

La qualité et le facteur de concentration de ces rejets sont donc entièrement déterminés par le choix de la ressource en eau pour le projet. De manière générale, on peut retenir les chiffres suivants en fonction des qualités d'eau utilisées :

- **AEP/ESO** : 1,2m³ d'eau entrante produit généralement 1m³ d'eau ultrapure (~80% de rendement)
Nota : l'eau souterraine (ESO) a sensiblement les mêmes caractéristiques que l'eau potable (AEP)
- **ESU** : 1,4m³ d'eau entrante produit généralement 1m³ d'eau ultrapure (~70% de rendement)
- **REUT** : 1,5m³ d'eau entrante produit généralement 1m³ d'eau ultrapure (~65% de rendement)
- **Dessalement d'eau de mer** : les valeurs sont plus variables selon les technologies envisagées (osmose inverse ou évapo-condensation)

Selon la qualité d'eau entrante, divers procédés de traitement unitaires peuvent être combinés pour produire une eau ultrapure compatible avec l'électrochimie de l'électrolyseur. Ces procédés sont détaillés dans la figure n°13.



2.2.1.3. Consommation d'eau pour le refroidissement et caractérisation des rejets

La variabilité qu'on observe sur le prélèvement en eau des électrolyseurs provient essentiellement du refroidissement ; cette variabilité est déterminée en premier lieu par la technologie utilisée et le climat local (et selon le niveau de production estivale attendu).

Le flux d'eau circulant dans l'électrolyseur sort autour de 65°C (variable selon les technologies entre 60°C et 80°C) et doit être refroidi à 40°C pour évacuer les calories thermiques. Ce flux d'eau est constitué par l'électrolyte (dans le cas de l'électrolyse alcaline, eau +potasse) qui va échanger les calories avec le fluide caloporteur de la boucle de refroidissement via un échangeur thermique. Un électrolyseur n'ayant pas un rendement de 100%, il doit évacuer l'énergie résiduelle sous forme de chaleur. Cette puissance thermique est proportionnelle à la puissance instantanée (puissance nominale X facteur de charge).

Pour chaque calorie évacuée, le besoin en eau du groupe de refroidissement est très différent selon le type de technologie utilisée et selon la température extérieure (donc du climat local). Plusieurs technologies de refroidissement existent et se différencient notamment par rapport à leur consommation en eau (voir figure n°14).



Technologie	Tour aéroréfrigérante (100% sec)	Tour hybride (intermédiaire)	Tour adiabatique (intermédiaire)	Tour évaporative (100% humide)
Illustrations				
Principe fonctionnel	La tour aéroréfrigérante (TAR), également connu sous le vocable de « dry-cooler », est un échangeur de chaleur air/eau, dans lequel l'eau à refroidir est directement mise en contact avec l'air ambiant.	La tour hybride est un système qui allie le refroidissement évaporatif lors des périodes chaudes et le refroidissement sec à l'aide d'un refroidisseur à air en période plus fraîche ($T_{ext} < 30^{\circ}\text{C}$).	Dans un système de refroidissement adiabatique, l'air chaud est forcé sur des coussinets humidifiés grâce à un ventilateur mécanique et cède ses calories grâce à l'évaporation de l'eau.	La tour évaporative refroidit l'eau du procédé par évaporation à travers une surface de transfert sur laquelle un flux d'air (extérieur) est forcé au moyen d'un ventilateur mécanique
CapeX	\$\$\$\$\$	\$\$\$\$	\$\$\$	\$
OpEx	\$\$\$\$\$	\$\$\$\$	\$\$\$	\$
Consommation d'eau	0	💧💧	💧	💧💧💧💧💧
Emprise Foncière	★★★★★	★★★	★★★★★	★
Commentaires	<ul style="list-style-type: none"> Technologie privilégiée pour les projets de petite puissance (< 5MW) Risque d'interruption pendant les heures les plus chaudes de l'année lorsque la température de l'air extérieure se rapproche trop de la température à laquelle on veut refroidir (i.e. 40°C) 	<ul style="list-style-type: none"> Technologie particulièrement pertinente par rapport à l'adiabatique lorsque l'appoint de refroidissement est <3°C Technologie appréciée pour le gain de foncier Ne nécessite pas une eau de grande qualité Risque du développement de la bactérie Legionella dans les systèmes de refroidissement évaporatif 	<ul style="list-style-type: none"> Durée de vie limitée des coussinets (2 à 3 ans), nécessité de démonter les coussinets l'hiver (risque de détérioration lié au gel) Besoin d'une eau de qualité, pas nécessairement déminéralisée, mais suffisamment exempte de particules pour ne pas boucher les buses. En pratique, les systèmes adiabatiques sont branchés sur la même alimentation que l'électrolyseur 	<ul style="list-style-type: none"> Meilleur compromis économique et sur le foncier, mais une consommation d'eau 5X à 10 X plus importante : jusqu'à 40-50L/kgH2 selon le climat et la technologie utilisée Ne nécessite pas une eau de grande qualité Risque du développement de la bactérie Legionella dans les systèmes de refroidissement évaporatif

Figure 14 : Avantages et inconvénients des différentes technologies de refroidissement

Les tours évaporatives sont la solution la plus économique tant du point de vue du prix d'acquisition (CapEx) que des charges de fonctionnement (OpEx) au détriment de toute considération d'économie de la ressource en eau (consommation d'eau maximale pour un besoin de refroidissement donné). En comparaison des systèmes évaporatifs, les autres systèmes de refroidissement permettent de réduire la consommation d'eau mais sont nécessairement plus coûteux à l'acquisition et en fonctionnement.

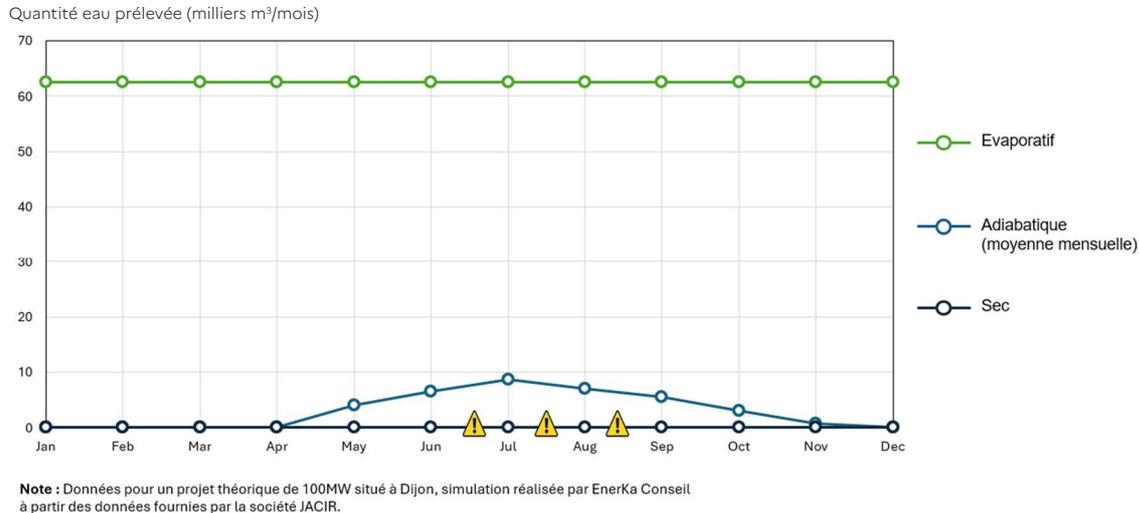


Figure 15: Simulation de la quantité d'eau prélevée pour différentes technologies de refroidissement

La différence de prélèvement en eau entre les différentes technologies se comprend aisément à la lecture du graphique de la figure 15 :

- Les tours évaporatives (en vert) offrent un refroidissement toute l'année quelle que soit la température de l'air extérieur mais consomment une quantité d'eau assez constante toute l'année.
- Les tours adiabatiques (en bleu moyen) fonctionnent la plupart du temps en mode sec et basculent en mode humide (composante évaporative) lorsque la température extérieure dépasse un certain seuil ce qui permet un refroidissement continu toute l'année.
- Les tours aéroréfrigérantes (en bleu foncé) ne consomment pas d'eau dans leur fonctionnement mais ne peuvent pas fonctionner en continu toute l'année si la température de l'air extérieur se rapproche trop de la température de la « source froide » (40°C) soit la température à maintenir en entrée de l'électrolyseur.

Arbitrage concernant la technologie hybride:

Les systèmes de tours hybrides (aéroréfrigérant + évaporatif), proposés par certains fabricants, permettent de pallier le risque d'interruption intrinsèque des systèmes aéroréfrigérants pendant les périodes chaudes où la température de l'air extérieur dépasse 35°C (moins de 5°C d'écart avec la source froide) tout en optimisant la consommation d'eau. Cette technologie peut économiser davantage d'eau que les systèmes adiabatiques dans des contextes où il ne fait pas trop chaud l'été (i.e. peu de jours où la température extérieure dépasse 35°C).

Toutefois, dans la pratique, ces systèmes de tours hybrides sont peu utilisés par les développeurs de projets hydrogène en France pour plusieurs raisons :

- 1) coût plus élevé que les systèmes adiabatiques
- 2) gain sur la consommation en eau non significatif par rapport à l'adiabatique dans le contexte Français,



3) composante évaporative qui est moins bien acceptée en France à cause du risque de dissémination de la légionellose.

De ce fait, il y a moins de retours d'expérience sur les tours hybrides en France et nous écarterons donc cette technologie pour la suite de l'analyse.

En mode humide, on peut considérer en première approche que les variations de consommation journalières sont proportionnelles au ΔT et l'amplitude thermique en été est plus importante entre le jour et la nuit (sauf lors des canicules ...). Ainsi, pour le mois de juillet, les variations « journalières » vont bien au-delà de la valeur moyenne mensuelle.

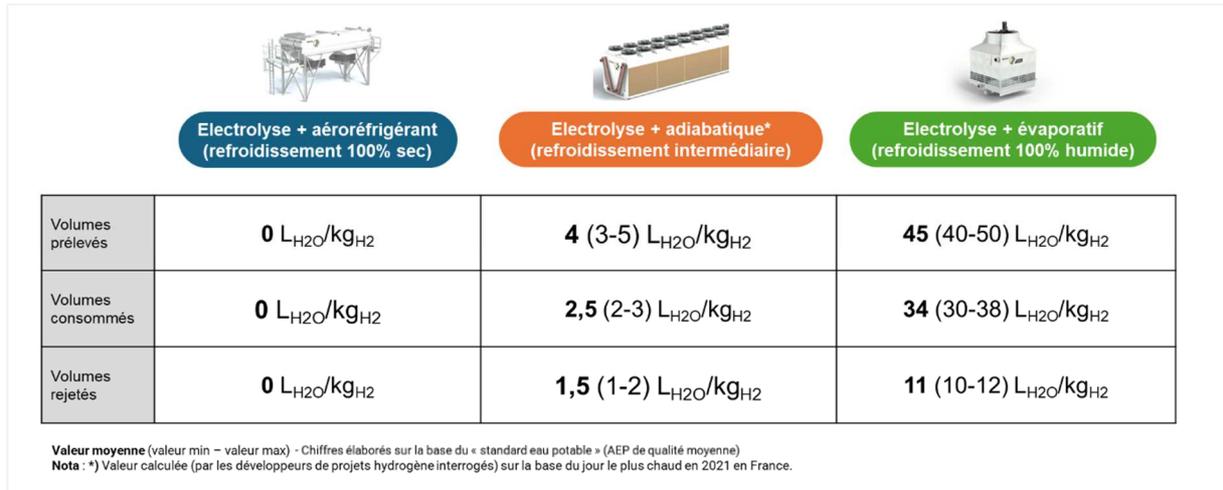


Figure 16: Détail des consommations d'eau par système de refroidissement

Les systèmes de refroidissement qui utilisent de l'eau avec une composante évaporative (systèmes adiabatiques, systèmes évaporatifs) concentrent dans les rejets la minéralisation déjà présente dans le flux entrant. Les rejets de refroidissement sont à la température de la boucle de retour, c'est-à-dire environ 40°C. Les effluents de refroidissement sont rassemblés avec les concentrats de filtration avant rejet en réseau d'assainissement ou rejet dans le milieu. Au besoin, un bassin de tamponnement peut être prévu pour permettre aux effluents d'atteindre la température ambiante avant rejet.



2.2.1.4. Synthèse des consommations et base de calcul pour l'étude de sensibilité de la ressource en eau

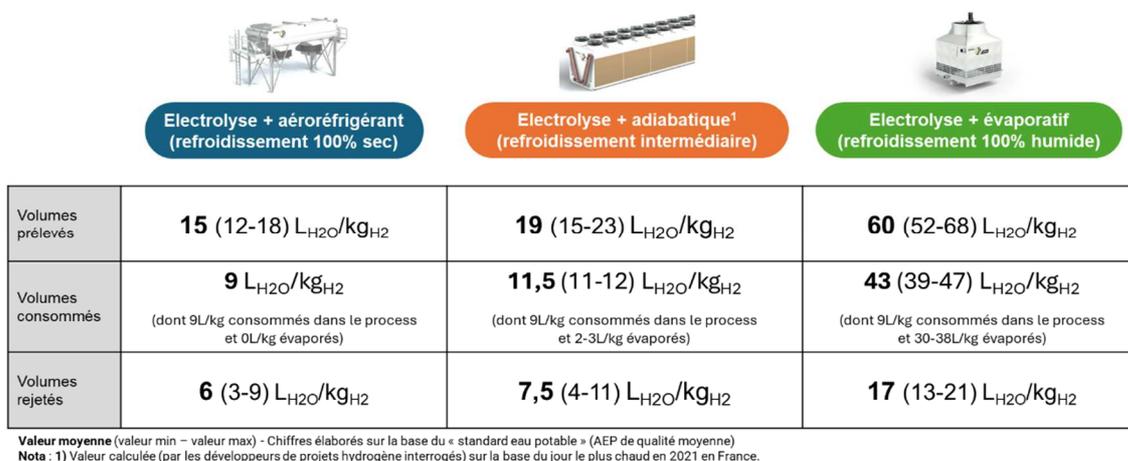


Figure 17: Total des besoins en eau pour l'électrolyse selon les scénarios de refroidissement

Pour les besoins de l'étude de sensibilité, on retiendra les valeurs de prélèvement suivantes :

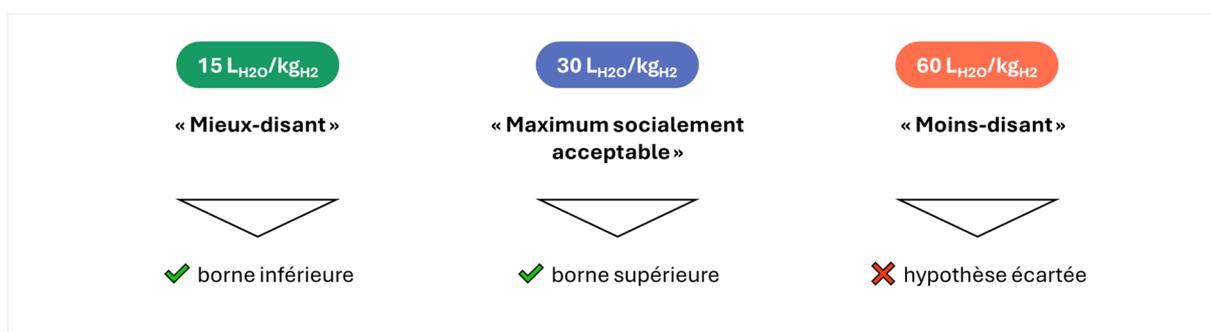


Figure 18: Base de calcul pour l'étude (niveaux de prélèvement électrolyseur)

L'hypothèse de 60L/kg (systèmes de refroidissement évaporatifs) n'a pas été retenue dans le cadre de cette étude car elle correspond à un choix technique (refroidissement évaporatif) fortement remis en cause par les différentes entités compétentes sur l'eau du point de vue de sa consommation excessive en eau et du risque sanitaire liée à l'évaporation. La borne supérieure de prélèvement d'eau acceptable est de 30 L/kg H₂. Cette valeur, issue des entretiens avec les développeurs, correspond au niveau de prélèvement maximum si le développeur n'optimise pas sa consommation en eau (sans recourir toutefois à un refroidissement évaporatif).



En synthèse (pour une unité d'électrolyse de puissance 1MW) :

- Une unité d'électrolyse de 1MW prélève en moyenne entre 2 000m³/an (base 15L/kg) et 4 000m³/an (base 30L/kg) selon les différents arbitrages techniques opérés.
- Le profil de prélèvement varie au cours de l'année selon le type de refroidissement retenu :
 - Refroidissement aéroréfrigérant (100% sec) : le prélèvement d'eau est constant toute l'année autour de ~170 m³/mois hors périodes d'interruption pour maintenance (généralement en été) ou en cas de fortes chaleurs > 35°C)
 - Refroidissement adiabatique : le niveau de prélèvement varie entre ~170 m³/mois au minimum et ~670 m³/mois lors des périodes de fortes chaleurs, sans période d'interruption technique en dehors des arrêts pour maintenance annuelle (généralement en été).
 - Refroidissement évaporatif (100% humide) : le prélèvement d'eau est constant toute l'année autour de ~670m³/mois hors périodes d'interruption pour maintenance (généralement en été).



2.2.2. Cas du reformage de gaz naturel et de la thermolyse de la biomasse

2.2.2.1. Reformage du gaz naturel

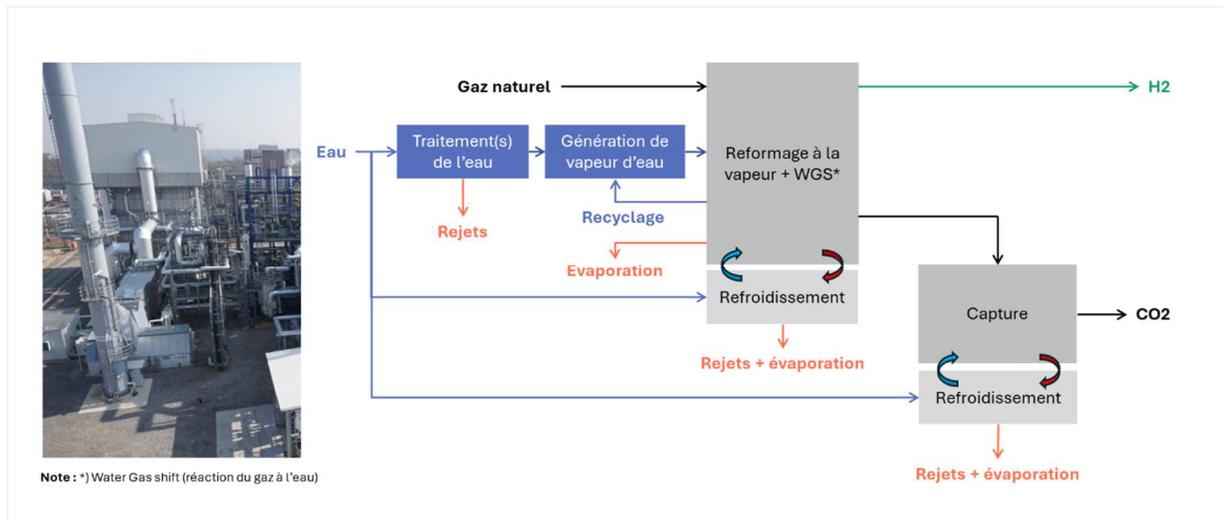


Figure 19: Différents postes de consommation d'eau dans le reformage du gaz naturel (avec capture du CO2)

2.2.2.2. Thermolyse de la biomasse

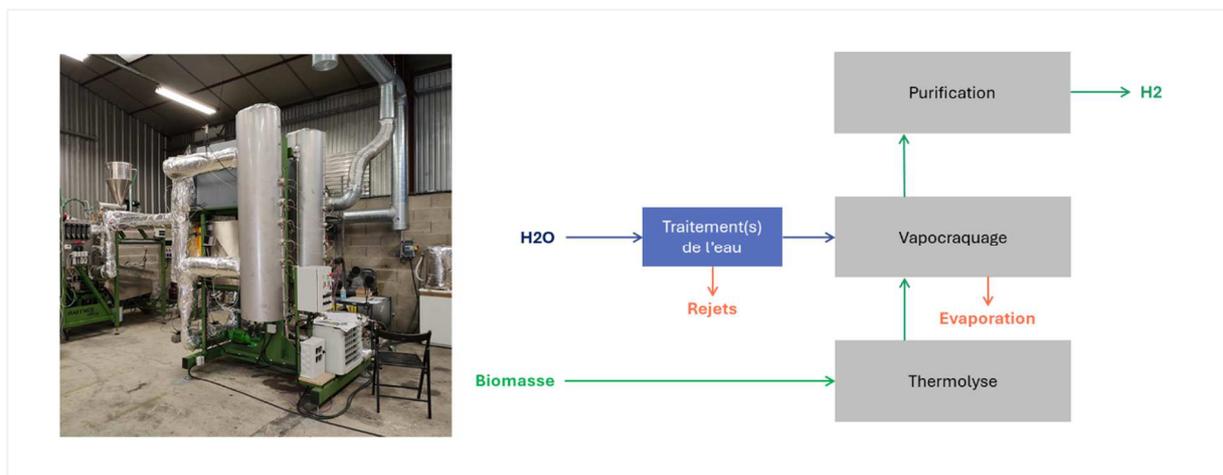


Figure 20: Différents postes de consommation d'eau dans la thermolyse de la biomasse (source Haffner Energy)



2.2.2.3. Synthèse des besoins en eau

	 Vaporeformage du gaz naturel ¹⁾	 Vaporeformage du gaz Naturel ¹⁾ + CCS	 Thermolyse de la biomasse ²⁾
Volumes prélevés	23 (18 – 27) L _{H2O} /kg _{H2}	36 (25 – 47) L _{H2O} /kg _{H2}	15 L _{H2O} /kg _{H2}
Volumes consommés	17 (13 – 20) L _{H2O} /kg _{H2} <small>(dont 5,5L/kg consommés dans le process et 7,5-14,5L/kg évaporés)</small>	26 (18 – 34) L _{H2O} /kg _{H2} <small>(dont 5,5L/kg consommés dans le process et 12,5-28,5L/kg évaporés)</small>	11 L _{H2O} /kg _{H2}
Volumes rejetés	6 (5 – 7) L _{H2O} /kg _{H2}	10 (7 – 13) L _{H2O} /kg _{H2}	4 L _{H2O} /kg _{H2}

Valeur moyenne (valeur min – valeur max) - Chiffres élaborés sur la base du « standard eau potable » (AEP de qualité moyenne)
Nota : 1) Hypothèse : refroidissement évaporatif 2) Analyse sur la base des données fournies par la société Haffner Energy

Figure 21: Détail des besoins en eau pour les procédés concurrents de l'électrolyse

Cet exercice permet de mettre en valeur que la production d'hydrogène par électrolyse de l'eau (avec mise en œuvre de systèmes de refroidissement économes en eau) est moins consommatrice d'eau que le reformage avec capture du CO₂ (intensité carbone comparable avec une électrolyse bas-carbone / renouvelable).

2.3. Comparaison des incidences économiques des options technologiques d'électrolyse vis-à-vis des enjeux « eau »

Après avoir analysé les différentes options technologiques du point de vue de leur consommation en eau, il s'agit d'examiner comment ces options impactent le coût et la rentabilité économique des projets hydrogène, à différentes échelles (projets diffus, projets intermédiaires 10-40MW et projets massifs > 100MW).

2.3.1. Elaboration des scénarios et formulation des hypothèses

L'analyse de sensibilité s'est basée sur des cas théoriques d'unités de production d'hydrogène par électrolyse (alcaline) de différentes tailles : 5MW, 20MW et 100MW, avec différentes ressources eau (AEP, AEI et REUT), et bien sûr différentes options de refroidissement (technologies sèche, adiabatique et évaporative) avec leurs inconvénients respectifs :

- Risque d'interruption pendant la période estivale (en plus de la période de maintenance annuelle qui est en général positionnée pendant l'été),
- Risque d'arrêt de restriction des prélèvements en eau pour les installations (sont exclus les sites qui utilisent une source REUT ou qui ont fortement réduit leur consommation).



Scénario	MW	Prix EXW	Rendement	Source	Refroidissement	Panne	Restriction	Commentaires
Référence 1	5	9€/kg	Moyen	AEP	Sec	0 jour	0 jour	Référence (cas le plus représentatif)
Scénario A	5	9€/kg	Faible	AEP	Sec	0 jour	0 jour	Utilisation d'une eau très dure ou design peu optimisé (type container) vis-à-vis de la consommation d'eau
Scénario B	5	9€/kg	Moyen	AEP	Sec	7 jours	0 jour	Panne électrolyseur en période de forte chaleur (> 37°C)
Scénario E	5	9€/kg	Faible	AEP	Sec	7 jours	7 jours	Scénario "catastrophe" cumulant une panne r en période de forte chaleur (>37°C) avec technologie sèche et une restriction AEP
Scénario C	5	9€/kg	Moyen	REUT	Sec	0 jour	0 jour	Réutilisation d'eaux usées traitées à la place d'un raccordement au réseau d'eau potable
Scénario D	5	9€/kg	Elevé	REUT	Sec	0 jour	0 jour	Scénario le plus économe en eau
Référence 2	20	7€/kg	Moyen	AEI	Adiabatique	0 jour	0 jour	Référence (le raccordement à un réseau d'eau industriel est le choix légitime)
Scénario C'	20	7€/kg	Elevé	AEI	Adiabatique	0 jour	0 jour	Design de l'unité de production d'eau ultrapure optimisé vis-à-vis de la consommation d'eau
Scénario E'	20	7€/kg	Moyen	AEI	Adiabatique	2 jours	0 jour	Pannes cumulées de l'électrolyseur en période de forte chaleur (technologie adiabatique)
Scénario J	20	7€/kg	Moyen	AEI	Adiabatique	0 jour	7 jours	Scénario de référence avec restriction sécheresse
Scénario H	20	7€/kg	Moyen	AEI	Evaporatif	0 jour	0 jour	Utilisation d'une technologie évaporative plutôt qu'une technologie adiabatique
Scénario F	20	7€/kg	Moyen	AEI	Sec	0 jour	0 jour	Utilisation d'une technologie sèche plutôt qu'une technologie adiabatique
Scénario G	20	7€/kg	Moyen	AEI	Sec	7 jours	0 jour	Panne électrolyseur en période de forte chaleur (>37°C) avec technologie sèche
Scénario A'	20	7€/kg	Moyen	AEP	Adiabatique	0 jour	0 jour	Raccordement au réseau d'eau potable
Scénario K	20	7€/kg	Faible	AEP	Sec	7 jours	7 jours	Scénario "catastrophe" cumulant une panne en période de forte chaleur (>37°C) avec technologie sèche et une restriction AEP
Scénario B'	20	7€/kg	Moyen	REUT	Adiabatique	0 jour	0 jour	Réutilisation d'eaux usées traitées
Scénario I	20	7€/kg	Elevé	REUT	Sec	0 jour	0 jour	Scénario le plus économe en eau
Référence 3	100	5,5€/kg	Moyen	AEI	Adiabatique	0 jour	0 jour	Référence
Scénario B''	100	5,5€/kg	Elevé	AEI	Adiabatique	0 jour	0 jour	Design de l'unité de production d'eau ultrapure optimisé vis-à-vis de la consommation d'eau
Scénario C''	100	5,5€/kg	Moyen	AEI	Adiabatique	2 jours	0 jour	Pannes cumulées de l'électrolyseur en période de forte chaleur (technologie adiabatique)
Scénario H'	100	5,5€/kg	Moyen	AEI	Adiabatique	0 jour	7 jours	Scénario de référence avec restriction sécheresse
Scénario F'	100	5,5€/kg	Moyen	AEI	Evaporatif	0 jour	0 jour	Utilisation d'une technologie évaporative plutôt qu'une technologie adiabatique
Scénario D''	100	5,5€/kg	Moyen	AEI	Sec	0 jour	0 jour	Utilisation d'une technologie sèche plutôt qu'une technologie adiabatique
Scénario E''	100	5,5€/kg	Moyen	AEI	Sec	7 jours	0 jour	Panne électrolyseur en période de forte chaleur (>37°C) avec technologie sèche
Scénario I'	100	5,5€/kg	Faible	AEI	Sec	7 jours	7 jours	Scénario "catastrophe" cumulant une panne en période de forte chaleur (>37°C) avec technologie sèche et une restriction AEP
Scénario A''	100	5,5€/kg	Moyen	REUT	Adiabatique	0 jour	0 jour	Réutilisation d'eaux usées traitées
Scénario G'	100	5,5€/kg	Elevé	REUT	Sec	0 jour	0 jour	Scénario le plus économe en eau

Figure 22: Plan de scénarisation

2.3.1.1. Partis-prix méthodologiques

- L'intérêt de l'analyse de sensibilité consiste à comparer différents scénarios par rapport à un scénario de référence (définis en figure 22) du point de vue de la rentabilité économique. Les résultats affichés s'entendent donc toujours en relatif par rapport au scénario de référence défini pour chaque gamme de puissance, et non dans l'absolu. Dans cette perspective, les cas d'étude ont été modélisés avec une précision réduite mais toutefois suffisante pour analyser les sensibilités sur les effets d'échelle entre les différents niveaux de puissance.
- Il a été objecté que les projets hydrogène ne sont pas compétitifs aujourd'hui sans subvention. Cela vaut bien entendu aussi pour cette étude. Toutefois, l'objectif de l'analyse de sensibilité est de comparer les projets entre eux du point de vue des aspects « eau », toutes choses égales par ailleurs. De ce fait, il a été décidé d'appliquer un prix identique pour tous les scénarios dans une même gamme de puissance (respectivement 9€/kg, 7€/kg et 5,5€/kg, prix « Départ Usine ») de manière à assurer une rentabilité positive aux projets (choix arbitraire d'une marge commerciale d'environ +0,5€/kg).

2.3.1.2. Hypothèses détaillées

Les hypothèses utilisées pour la simulation sont listées dans la figure n°23 :

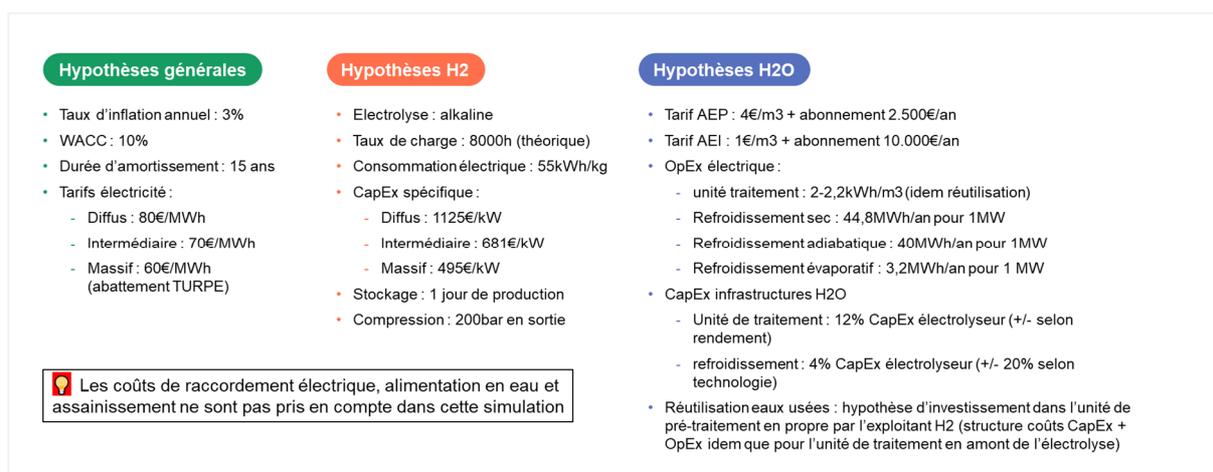


Figure 23: Principales hypothèses utilisées pour la simulation

Sur les hypothèses d'approvisionnement en eau, les tarifs d'eau potable et d'eau industrielle sont différents, pour assurer des qualités et quantités adaptées aux usages (exigences de qualité plus élevées pour l'eau destinée à l'alimentation humaine/eau potable, parfois élevées pour les eaux industrielles, en fonction des usages industriels (par exemple, en industrie agro-alimentaire, la qualité de l'eau peut être aussi exigeante que celle de l'eau potable), besoins en quantité potentiellement plus forts dans l'industrie). Il est retenu un prix générique de l'eau potable (AEP) à 4€/m³ (avec un abonnement de 2 500 €/an) et de l'eau industrielle (AEI) à 1€/m³ (avec un abonnement de 10 000 €/an). Ces tarifs ne traduisent pas les disparités sur les territoires.

Pour les scénarii de réutilisation des eaux usées traitées (REUT), il faut chiffrer l'investissement (théorique) dans une usine de prétraitement. En effet, dans le cas mono-usage de REUT exposé ci-avant, le développeur hydrogène et le fournisseur d'eau partagent l'investissement : le coût de l'approvisionnement en eau comporte une composante d'investissement (CapEx) et une composante



d'exploitation (OpEx). C'est le scénario le plus défavorable a priori du point de vue de la rentabilité financière pour le développeur hydrogène. En première approche, le scénario REUT présenté fait l'hypothèse de CapEx/OpEx identiques pour l'usine de traitement et l'usine de pré-traitement (cf figure 23). Cette hypothèse pourra être affinée avec des chiffres plus précis issus de cas d'étude réels.

2.3.2. Résultats

Commençons par étudier l'impact des différents scénarios sur le coût de l'hydrogène (figure n°24) exprimé en terme de coût actualisé (« levelized cost of hydrogen » ou LCOH) :

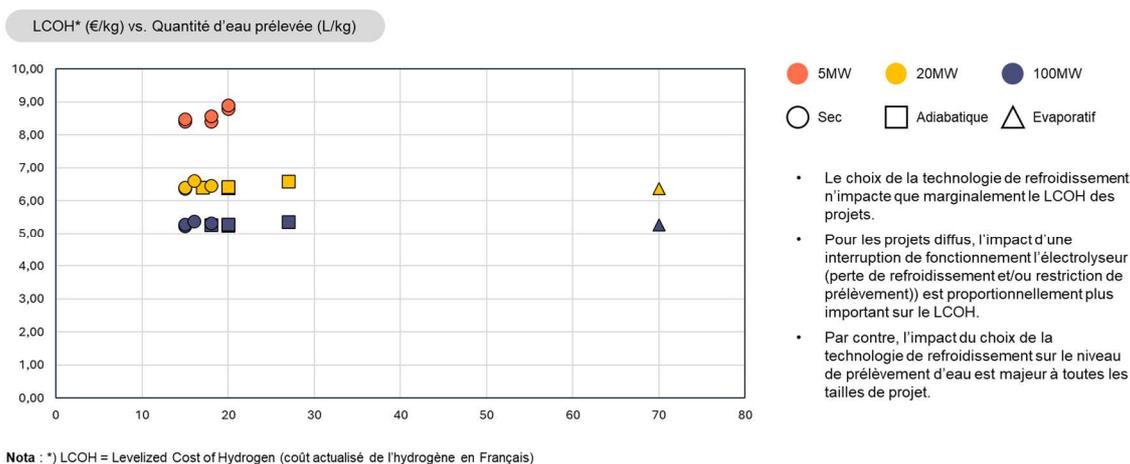


Figure 24: Simulation du coût de l'hydrogène vs. quantités d'eau prélevées

Plusieurs enseignements se dégagent de la lecture de ce premier graphique :

- Pour les projets de forte puissance (>20MW), le choix de la technologie de refroidissement n'impacte que marginalement le coût de l'hydrogène (LCOH).
- Pour les projets de petite puissance, l'impact d'une interruption de fonctionnement de l'électrolyseur (perte de refroidissement et/ou restriction de prélèvement) est proportionnellement plus important sur le coût de l'hydrogène (LCOH) : le point rouge (5MW) le plus à droite (scénario avec interruption) est davantage décalé vers le haut que dans les séries jaunes (20MW) et bleues foncé (100MW).
- Les technologies évaporatives ne réduisent pas le coût de l'hydrogène outre mesure mais présentent de très loin le plus fort niveau de prélèvement en eau,
- Par contre, l'impact du choix de la technologie de refroidissement sur le niveau de prélèvement d'eau est majeur à toutes les tailles de projet.

Les différents scénarios « eau » impactent à la marge le coût de l'hydrogène. Pour avoir une compréhension plus précise, il faut discriminer les différents scénarios en fonction de leur rentabilité financière (figure n°25) exprimée en TRI (taux de rendement interne sur 15 ans) :



Calcul du taux de rendement interne (TRI)

Le taux de rentabilité interne (TRI) d'un projet permet de déterminer à quel point il est souhaitable ou non d'entreprendre l'investissement : plus il est élevé, plus il est intéressant de lancer le projet. Le TRI permet ainsi de calculer la rentabilité d'un investissement en comparant les dépenses initiales de CapEx et les excédents de trésorerie perçus. Le calcul est basé sur la somme initiale investie, le nombre d'années et la valeur finale via la formule suivante : $TRI = (valeur\ finale / Montant\ investi)^{1/n} - 1$.

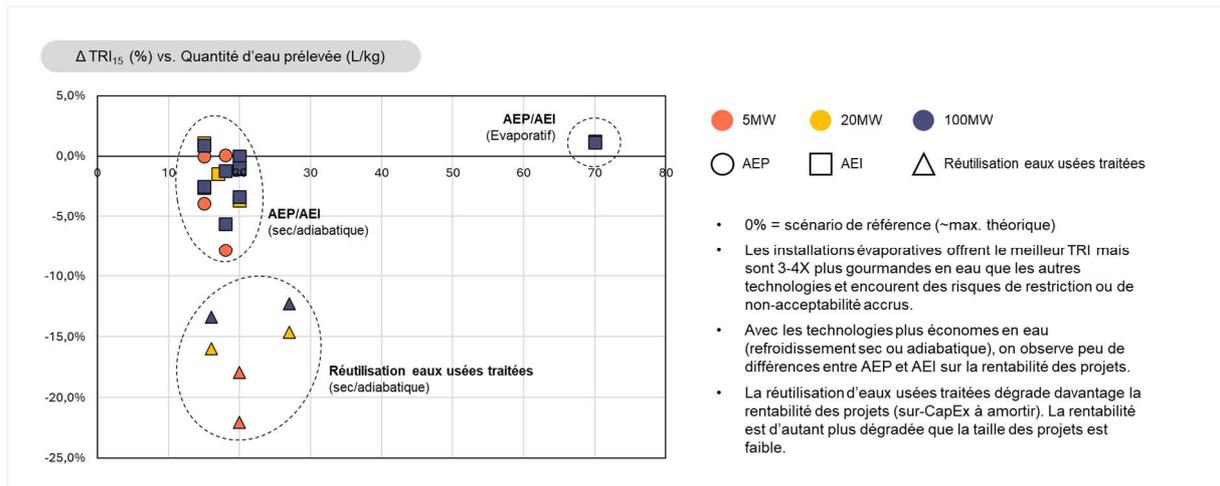


Figure 25: Simulation TRI à 15 ans en fonction des quantités d'eau prélevées

Dans ce graphique, on observe plusieurs « clusters » qui se dégagent nettement :

- Les scénarios utilisant le refroidissement évaporatif permettent d'atteindre des niveaux de rentabilité financière au-dessus du niveau de référence mais au prix d'une consommation d'eau trois à quatre fois plus importante que dans les scénarios avec des technologies hybrides ou sèches.
- Les différents scénarios de projets raccordés à des réseaux (AEP ou AEI) et utilisant des technologies sèches ou adiabatiques pour le refroidissement s'écartent peu du scénario de référence (< 5%) sauf pour les projets de plus petites tailles qui peuvent être proportionnellement plus impactés par certains scénarios d'arrêts de fonctionnement avec du refroidissement sec (5-10% d'écart avec le scénario de référence).
- Les scénarios de REUT en mono-usage font apparaître les plus grands écarts de rentabilité par rapport aux scénarios de référence. C'est principalement le coût de l'investissement supplémentaire dans l'usine de pré-traitement qui dégrade la rentabilité.

Cas d'un nouveau prélèvement en eaux souterraines :

L'option de prélever directement dans les eaux souterraines (ESO) n'a pas été intégrée à la simulation en première instance (option non privilégiée pour l'instant par les développeurs de projet hydrogène) mais cette option n'est pas sans intérêt. En première estimation, le coût de l'eau de seulement quelques centimes d'euros par m³ (pour une qualité similaire à l'eau de réseau) serait un facteur non-négligeable de rentabilité par rapport à un raccordement réseau.



2.3.3. Principaux enseignements de l'analyse de sensibilité

L'analyse de sensibilité apporte quatre enseignements principaux :

1. En raccordement réseau (AEP ou AEI), les différents choix technologiques sur le refroidissement impactent à la marge la rentabilité des projets d'électrolyse (< 5% Δ TRI).
2. En revanche, l'impact des choix technologiques de refroidissement sur les dépenses d'investissement (CapEx) n'est pas négligeable (de l'ordre de 2-3% du total, soit plusieurs millions d'euros sur les projets massifs). Même sur des montants d'investissement de plusieurs centaines de millions d'euros pour les projets de plus grande ampleur, les développeurs optimisent leur budget d'investissement au « million d'euros près ».
3. Si on ne considère que l'indicateur TRI, les choix les plus pertinents sont le refroidissement évaporatif ou sec mais ces deux choix sont risqués du point de vue de l'acceptabilité ou du risque d'interruption technique de l'électrolyseur. Du point de vue de la fiabilité et l'acceptabilité, le refroidissement adiabatique semble être un bon compromis technique dans une majorité des cas.
4. L'utilisation d'eaux non conventionnelles (réutilisation d'eaux usées traitées de STEP municipales¹²) est une solution qui va dans le sens de la réduction des prélèvements. Toutefois, si aucune mutualisation des investissements et de l'exploitation de l'usine de traitement d'eau supplémentaire à prévoir n'est possible avec d'autres usagers aux alentours (i.e. « mono-usage »), la solution REUT pénalise la rentabilité des projets (de l'ordre de -10% sur le TRI à 15 ans d'après la simulation) En revanche, si des mutualisations sont possibles (i.e. « multi-usages »), le coût de traitement supplémentaire de l'eau est sensiblement identique au coût de l'eau potable. Du point de vue strictement économique, la REUT multi-usages est comparable à une alimentation AEP.

Réutilisation et soutien à l'étiage :

Il faut toutefois noter que la réglementation REUT n'est pas en place et que des problèmes d'étiage peuvent survenir (débit cours d'eau, concentration des rejets après traitement & restriction d'usage/e rejet dans les milieux récepteurs). Les scénarios de REUT ne sont pas forcément opportuns dans une majorité des cas en milieu continental. En revanche, la REUT en milieu littoral présente davantage d'intérêts.

2.4. Enjeux de la production d'hydrogène vis-à-vis de la ressource en eau

2.4.1. Les ressources en eau

Quel que soit l'usage, sur le périmètre d'étude, les ressources en eau proprement dites, ressources naturelles, sont des eaux continentales, de surface (principalement les cours d'eau, les ressources de lacs n'ont pas été appréhendées dans le cadre de cette étude) ou souterraines. Ces ressources sont qualifiées de patrimoniales¹³ en référence à la Directive 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil de l'Union

¹² La qualité d'eau des STEP industrielles est généralement trop variable pour une réutilisation en production d'hydrogène

¹³ Considérant (1) de la Directive Cadre sur l'Eau : « L'eau n'est pas un bien marchand comme les autres mais un patrimoine qu'il faut protéger, défendre et traiter comme tel. »



Européenne du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau (dite Directive Cadre sur l'Eau ou « DCE »).

Ces ressources sont déjà mobilisées ¹⁴ à des fins diverses : alimentation en eau potable des populations, usages industriels, usage agricole, usage touristique, production d'énergie, ...

À leur entrée dans un système d'utilisation pour l'accomplissement d'un usage, ces eaux ne sont plus qualifiées de patrimoniales, au sens où leur utilisation est règlementée spécifiquement. Elles n'en constituent pas moins des ressources en eau pour l'accomplissement d'usages subséquents. Ainsi, par exemple, un système d'alimentation en eau potable sur un territoire, prélève une eau patrimoniale pour la distribuer, au premier chef aux fins de la consommation humaine, mais également pour servir des utilités humaines artisanales, industrielles, de loisirs, agricoles diverses (unités de fabrications agro-alimentaires, laveries automobiles, blanchisseries, piscines, abreuvement du bétail, ...).

Dans tous les cas de figure, « l'usager » prioritaire de l'eau doit être la nature elle-même et il convient de contrôler en premier lieu que tout nouveau prélèvement ne dégrade pas de manière significative le bon fonctionnement écologique des milieux aquatiques, et en deuxième lieu qu'il n'affecte pas les usages préexistants.

Cette règle doit s'appliquer aussi aux prélèvements sur les réseaux d'eau potable ou d'eau industrielle, ainsi qu'à la réutilisation d'eau non conventionnelle (pour rappel, la zone d'étude est située en secteur continental où tout nouvel usage basé sur une réutilisation d'eau va diminuer le rejet au cours d'eau et donc potentiellement affaiblir son débit, ce qui peut poser problème lorsque le cours d'eau doit encore parcourir plusieurs centaines de kilomètres jusqu'à la mer).

Au titre de la présente étude, les ressources en eau examinées ont été :

- les ressources naturelles, patrimoniales ;
- les ressources déjà engagées dans une utilisation, pour l'alimentation en eau potable (AEP) ou l'usage industriel (AEI) en tant qu'utilisation première.
- les ressources en eaux dites non conventionnelles (ENC) comme les eaux d'exhaure, les eaux grises des habitations ou de piscines, et les eaux usées traitées. Cela s'impose pour une majorité d'usages et de territoires, dans un contexte de nécessaire sobriété de sollicitation des ressources naturelles en eau.

Nous retenons donc une définition large des ressources en eau potentiellement utilisables pour la production d'hydrogène.

¹⁴ Considérant (39) de la Directive Cadre sur l'Eau : « "utilisation de l'eau": les services liés à l'utilisation de l'eau ainsi que toute autre activité (...) susceptible d'influer de manière sensible sur l'état des eaux. »



Eaux produites



Eau potable

- La majorité des projets de puissance inférieure à 6 MW se raccordent au réseau d'eau potable.
- L'intérêt d'un raccordement au réseau d'eau potable pour les petits projets tient à la simplicité et la facilité d'installation de modules containerisés clés-en-mains conçus pour fonctionner avec une qualité d'eau standard.
- Au vu des quantités et de la qualité des rejets (eau chargée plus concentrée en minéraux), ces derniers peuvent être rejetés dans les réseaux d'assainissement.

Eau industrielle

- L'option de raccordement à une eau industrielle devient particulièrement pertinente pour les projets d'écosystèmes hydrogène industriels.
- La faisabilité de raccordement dépend de la qualité d'eau, du volume disponible et du délai de raccordement (souvent long, de l'ordre de plusieurs années).
- Au vu des quantités et de la qualité des rejets (eau chargée plus concentrée en minéraux), ces derniers peuvent être rejetés dans le réseau d'effluent industriel.

Eaux patrimoniales



- Projet soumis à la rubrique IOTA (loi sur l'eau)
 - Impact les demandes d'autorisation
 - Exigences de rejets
- Selon plusieurs critères/seuils de prélèvement d'eau, le projet sera soumis à déclaration ou autorisation.
- Le raccordement aux eaux souterraines est privilégié (quantité de particules constantes) et l'eau peut naturellement être assez douce.
- Le raccordement aux eaux de surface est principalement étudié pour le refroidissement car la concentration en particules est trop variable pour une utilisation dans le procédé d'électrolyse.

Eaux non conventionnelles



- Il est possible dans certains cas de réutiliser des eaux dites non conventionnelles qui peuvent être de qualité variable selon leur nature et leur origine :
 - Les eaux d'exhaure (issue des eaux d'infiltration dans le sol) que l'on retrouve en bas d'infrastructures souterraines que l'on doit évacuer vers la surface pour ne pas déstabiliser les ouvrages et assurer la sécurité des personnes.
 - Les eaux grises issues des habitations ou les eaux de piscines : en faible quantité et très localement disponibles
 - Les eaux usées traitées urbaines ou industrielles ou mixtes : gisements de qualité variable mais très durables en termes de quantité.

Figure 26: Différentes ressources en eau mobilisables pour un projet industriel

La ressource en eau mobilisable pour un projet d'hydrogène est ainsi qualifiée de la façon suivante :

- **Eaux produites** : Les eaux déjà prélevées dans le milieu naturel, pour des ensembles d'usages identifiés : l'eau à destination humaine/domestique (appelée ici « eau potable », avec l'abréviation AEP) et l'eau à destination industrielle (appelée ici « eau industrielle », avec l'abréviation AEI),
- **Eaux patrimoniales** : Les eaux non prélevées, appelées ici « eaux patrimoniales », d'origine superficielle (cours d'eau, lacs) ou souterraine (nappes libres, nappes captives), dites ESU et ESO (appellations reprises de celles des masses d'eau, entités issues de l'application de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) du 23 octobre 2000, définies dans les SDAGE),
- **Eaux non conventionnelles** : Les eaux non conventionnelles, qui regroupent les eaux déjà prélevées, utilisées, traitées et qui pourraient être de nouveau utilisées pour un projet de production d'hydrogène, appelées ici « eaux de réutilisation », telles que les eaux issues de stations d'épuration des eaux usées, industrielles ou domestiques.

2.4.2. Choix de la ressource en eau mobilisée

Le choix de la ressource en eau mobilisée dépend fortement de la localisation du foncier pour l'implantation du projet d'hydrogène et des conditions réglementaires d'exploitation de la ressource en eau.

Le choix initial du foncier répond à un ensemble de critères (proximité des usages, disponibilité du foncier, proximité avec un poste source électrique, distance vis-à-vis des zones d'habitation les plus proche etc.) beaucoup plus large que le seul critère « eau ». Aussi, les développeurs doivent confirmer la disponibilité quantitative et qualitative de la ressource en eau sur les fonciers identifiés très tôt dans la vie du projet, et ce avant même d'engager toutes démarches ou contractualisations des terrains.

En outre, les contraintes réglementaires varient en fonction de la puissance envisagée et il y a plusieurs effets seuils d'origine réglementaire ou technique. Le schéma ci-dessous résume ces différents seuils en fonction de la taille des projets

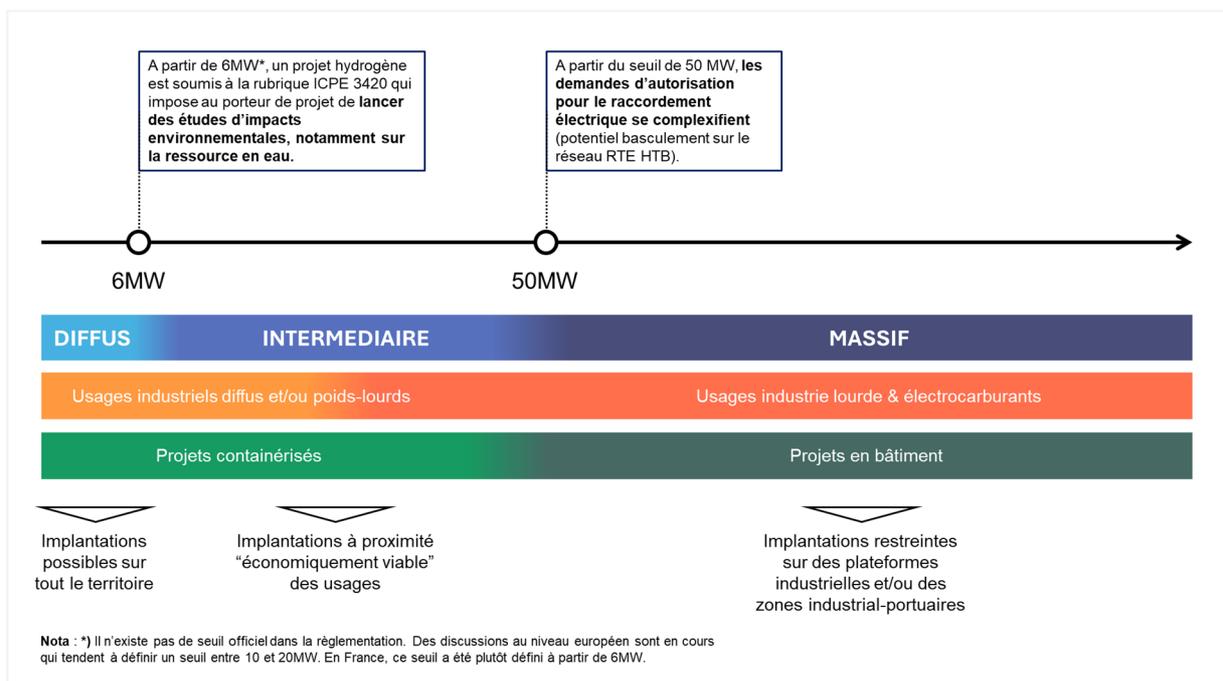


Figure 27: Seuils réglementaires et techniques en fonction de la taille des projets de production d'hydrogène

Suivant l'ampleur du projet, son emplacement et les indicateurs de faisabilité technico-économiques (foncier, CAPEX et OPEX, ...) exposés par la suite, les projets de production d'hydrogène peuvent mobiliser des eaux déjà prélevées dans le milieu naturel (AEP et AEI) ou non prélevées (eaux patrimoniales).

Les règles de sensibilité sur la ressource en eau sont différentes suivant le type d'eau mobilisée.

Il est à souligner que :

- **L'eau potabilisée doit prioritairement être dédiée à des usages destinés à la consommation humaine** (distribution d'eau potable, industries et artisanat agro-alimentaires), et que des raccordements d'usages non domestiques aux fins d'alimentation humaine s'inscrivent dans les équilibres des services publics de distribution d'eau. Le raccordement au réseau AEP est dépendant du règlement du service appliqué localement ;
- Les prélèvements pour l'eau potable et pour l'eau industrielle (AEP et AEI) dépendent des eaux souterraines et des eaux superficielles. Les arrêtés de restriction en période de sécheresse s'y appliquent et doivent être considérés. **La sobriété reste à rechercher** pour tous les prélèvements dans le milieu naturel.



Réutilisation des eaux usées traitées (REUT) pour la production d'hydrogène : ce qu'il faut savoir

Il convient de distinguer deux options pour la production d'hydrogène en REUT d'eaux usées traitées (à noter que la notion de REUT est plus large que les seules eaux usées traitées mais dans la suite du document, nous retiendrons cette définition réductrice) :

- **Multi-usages** : Si d'autres industriels à proximité du projet hydrogène sont également intéressés pour un approvisionnement en eau usée traitée, le fournisseur d'eau peut envisager d'investir dans une unité de traitement appropriée aux usages intéressés. Dans ce cas, l'eau traitée pourrait être vendue de l'ordre de 3 à 5 €/m³ selon la qualité de l'eau d'origine et souhaitée (modèle économique « water-as-a-service » équivalent à une alimentation réseau AEP pour le producteur d'hydrogène). Le prix dépend de la qualité mais aussi de la quantité à produire : plus le volume à produire est important et plus le prix peut diminuer.
- **Mono-usage** : Si seul le développeur hydrogène est intéressé, le fournisseur d'eau partage l'investissement (en minoritaire) avec le développeur et réalise l'exploitation et la maintenance de l'unité de traitement. Dans ce cas, le producteur d'hydrogène doit assumer un surinvestissement important dans l'unité de traitement d'eau supplémentaire par rapport à un scénario de raccordement réseau.

Un projet hydrogène en REUT a intérêt à s'installer à proximité de l'unité de traitement des eaux usées (1-2km au maximum) pour réduire les dépenses de raccordement. La faisabilité du projet dépend également de la quantité d'eau à transporter, de la durée d'amortissement choisie et des aides publiques au financement du réseau.

Point de vigilance sur la REUT : le rejet des eaux usées en aval de stations de traitement contribue au soutien des débits du cours d'eau récepteur en période d'étiage, aussi une utilisation de ces eaux usées traitées conduirait à réduire le soutien des débits des cours d'eau et la capacité du milieu naturel à conserver voire atteindre le bon état à l'aval. Lors de l'étude, il a par exemple été signalé que :

- Les rejets des stations de traitement des eaux usées collectives peuvent représenter jusqu'au tiers du débit de la rivière Moselle.
- Le potentiel de réutilisation des eaux traitées est indiqué à 5 à 10% des volumes des effluents traités pour assurer le débit minimum biologique du cours d'eau récepteur et/ou le remplissage des nappes souterraines.
- La préservation de la ressource en eau superficielle est prioritaire par rapport au développement de nouveaux projets utilisant les eaux usées traitées.

Aussi, dans la majorité des secteurs en milieu continental, la réutilisation des eaux usées traitées ne permettrait pas d'assurer la préservation du milieu aquatique. En revanche, la contrainte est réduite en zone littorale. Par exemple, dans la zone du Havre (Seine-Maritime), un projet de recyclage de plus de 8 Mm³/an est à l'étude, pour du multi-usages industriel sur le littoral de La Manche. L'intérêt réside dans la mobilisation des eaux usées traitées actuellement rejetées à la mer et qui contribuent dans une moindre mesure au soutien d'étiage ou à l'écologie de la masse d'eau réceptrice.

- La question a été soulevée au commencement de l'étude de l'intérêt de mobiliser les digestats de méthanisation (méthaniseurs agricoles ou territoriaux qui traitent des déchets organiques agricoles ou provenant d'industries agro-alimentaires, voire des biodéchets domestiques) pour la production d'hydrogène. Les digestats de méthanisation ne sont pas mobilisables en REUT, car ils sont trop chargés en matière en suspensions (MES), azote et phosphore, y compris les eaux issues de la déshydratation de ces digestats.
- La réutilisation des eaux usées traitées va dans le sens de la réduction des prélèvements totaux de la ressource en eau (remobilisation d'eau déjà prélevée).

Face aux données encore limitées sur ce type d'eau, la réutilisation des eaux usées traitées n'a pas été considérée dans l'élaboration du potentiel hydrogène équivalent. Des travaux complémentaires seraient à mener (cf § 4.3).

Sources : Veolia, Agences de l'eau



2.4.3. Synthèse des enjeux exprimés lors des entretiens

2.4.3.1. Récapitulatif des entretiens “métiers” réalisés

Treize acteurs impliqués dans la production d'hydrogène, que ce soit dans le développement de projet ou la fourniture d'équipements, et le traitement d'eau pour la production d'hydrogène ont été interviewés dans le cadre de cette étude. La liste des acteurs interviewés est détaillée dans la figure n°28:

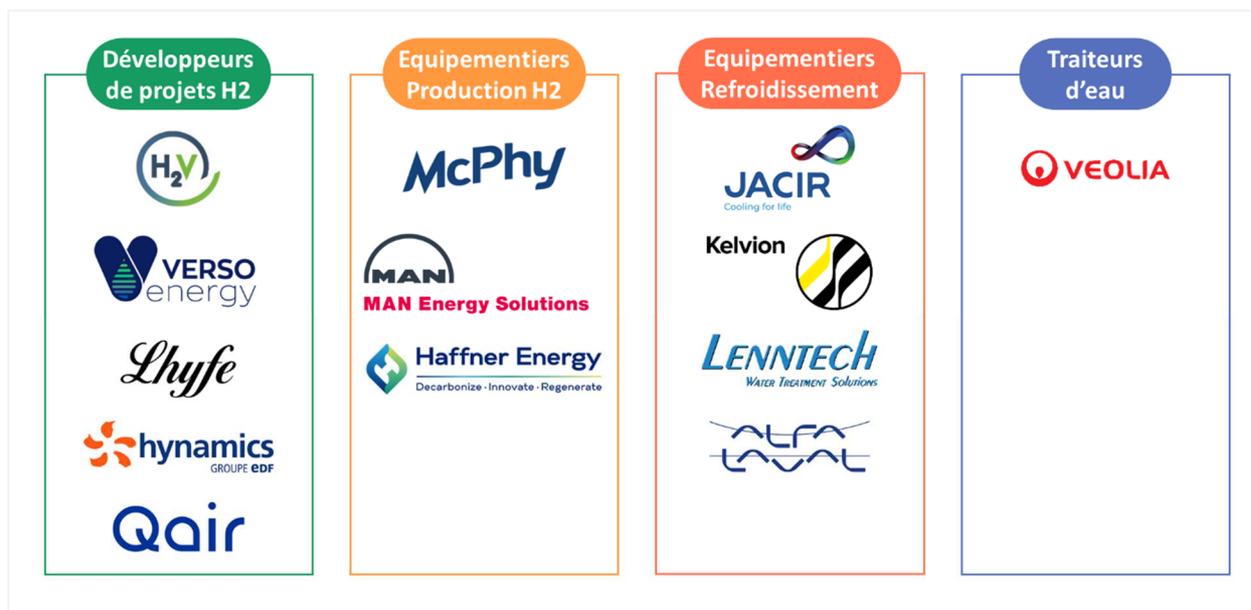


Figure 28: Sociétés interrogées dans le cadre de l'étude

2.4.3.2. Le point de vue des développeurs de projets hydrogène

Préservation de la ressource :

- **Un besoin identifié de sécuriser la ressource en eau très en amont dans la vie des projets** : même si la part de l'eau dans les dépenses d'investissement (CapEx) et les charges d'exploitation (OpEx) d'un projet hydrogène est minime (de l'ordre de 2-3%), l'eau est un intrant indispensable pour la production d'hydrogène (au même titre que l'électricité pour l'électrolyse), quelle que soit la technologie utilisée.
- **Des projets qui évoluent vers plus de sobriété**. La prise en compte des enjeux de préservation de la ressource en eau par les développeurs de projets hydrogène a fortement évolué en l'espace de quelques années. Les premiers projets de taille industrielle prévoyaient des raccordements en eau au plus facile (majoritairement AEP) et n'intégraient aucune précaution particulière sur la sauvegarde de la ressource. Ainsi, les prélèvements spécifiques divulgués lors des premières consultations publiques (CNDP) pouvaient dépasser fréquemment le seuil de 30L/kgH2 (qui est considéré comme la limite supérieure acceptable aujourd'hui), certains projets non optimisés du point de vue de l'eau dépassaient même les 60L/kgH2. Désormais, plusieurs développeurs de projets de production massive visent des niveaux de prélèvement en-deçà de 20L/kgH2.
- Des solutions de réutilisation d'eaux non-conventionnelles (ENC) de plus en plus examinés pour les projets intermédiaires ou massifs. De nombreux développeurs hydrogène examinent désormais systématiquement des solutions de réutilisation d'eaux non-conventionnelles pour



améliorer l'acceptabilité de leurs projets et réduire leur exposition aux risques de restrictions de prélèvement pendant la période estivale.

Choix de la ressource :

- La disponibilité d'un foncier suffisant et pouvant être viabilisé apparaît être le premier critère de choix avant la ressource en eau.
- **Pour les petits projets diffus**, les développeurs partent souvent du principe que l'eau sera mobilisable quel que soit le foncier (le raccordement au réseau communal AEP étant l'option par défaut) et cherchent surtout à voir si les terrains peuvent être viabilisés. En outre, les développeurs optent le plus souvent pour des solutions containérisées pour les projets de faible puissance. Ces solutions containérisées sont financièrement optimisées et conçues pour utiliser un standard d'eau de qualité potable, ce qui oriente la plupart du temps le choix des développeurs vers un raccordement AEP. Il conviendra que le développeur s'assure le plus en amont possible du projet de la disponibilité de la ressource en eau potable.
La réutilisation d'eaux grises ou d'eau de pluie peut localement être envisagée pour améliorer en partie le bilan eau des projets. Les effluents sont majoritairement rejetés en réseau d'assainissement, qui, compte-tenu de la localisation de ces petits projets, sont toujours à proximité.
- **Pour les projets intermédiaires et massifs**, les développeurs ont davantage de craintes sur l'acceptation et envisagent un plus grand nombre d'options de raccordement : raccordement au réseau industriel (selon localisation), forages et/ou captages d'eaux superficielles, réutilisation d'eaux usées traitées par des stations de traitement municipales (STEP), dessalement d'eau de mer pour les projets littoraux, réutilisation des eaux d'exhaures dans certaines localisations particulières (comme par exemple dans l'ancien bassin houiller en Moselle). A charge pour eux de démontrer que la solution retenue présente le moins d'impact sur la ressource en eau. La localisation du terrain n'offre pas systématiquement toutes les options. En particulier, le terrain ne permet pas forcément le soutirage car les développeurs examinent en premier lieu la disponibilité du foncier avant de s'intéresser à la question d'éventuels prélèvements d'eau sur ou à proximité immédiate du site. Pour les projets de forte puissance (au-delà de 30-40MW), les développeurs s'orientent systématiquement vers des solutions en bâtiment (par opposition aux solutions containérisées) qui permettent de faire varier un plus grand nombre de paramètres de conception. Ainsi, les projets de forte puissance peuvent paradoxalement être plus optimisés du point de vue de la mobilisation de la ressource en eau que les projets de faible puissance (optimisation de la valeur de prélèvement en dessous de 20L H₂O/kgH₂).
- Le choix du rejet en réseau d'assainissement ou en milieu naturel est principalement dicté par la localisation (proximité avec les infrastructures d'assainissement) et la contrainte administrative (constitution de dossier loi sur l'eau pour le rejet en milieu naturel). La gestion des effluents ne pose pas de problèmes significatifs, ni du point de vue de la quantité, ni de la qualité, ni de la température : dans le cas du rejet en milieu naturel (le plus exigeant), même si certains cours d'eau ont un niveau d'acceptabilité très faible, il y a le plus souvent des solutions techniques à mettre en œuvre (bassins de tamponnement, dilution des rejets etc.). En cas de difficulté, le rejet en réseau d'assainissement collectif est à envisager.



Considérations technico-économiques :

- De manière générale, les développeurs réduisent les coûts partout où ils peuvent car il n'y a aucun surcoût acceptable à l'heure actuelle : l'hydrogène est de toute façon trop cher et non compétitif en l'absence de subventions en comparaison aux carburants fossiles.
- Même si les OpEx sont le principal poste de coût dans le coût final de l'hydrogène électrolytique (en particulier les charges d'électricité), les CapEx doivent également être optimisés pour assurer le financement à risque minimal des projets. En effet, les financeurs ne financent que les CapEx et en aucun cas le coût total du projet : chaque million compte, même sur un budget d'investissement de plusieurs centaines de millions d'euros.
- Ainsi, certains choix technologiques qui améliorent les OpEx et réduisent in fine le coût de l'hydrogène peuvent devenir difficiles à financer si les CapEx additionnels s'avèrent trop importants au regard des critères des investisseurs (ex. tours de refroidissement hybrides). Toute solution de facilité pour les développeurs est donc appréciable mais à l'évidence jamais au détriment de l'acceptabilité des projets.
- L'incidence du choix de la source d'eau utilisée et de la stratégie de refroidissement sur le coût de l'hydrogène produit est faible, de l'ordre de 1-4c€/kg, soit < 0,01% du coût de l'hydrogène produit (voir simulation technico-économique au paragraphe 2.3). En revanche, les impacts sur la rentabilité du projet sont plus importants (< 10%) même s'ils restent au second plan devant d'autres impacts comme l'approvisionnement électrique. Pour le développeur hydrogène, le compromis de conception d'un projet se situe entre le gain sur la marge, le niveau de financement accessible, l'acceptabilité du projet ainsi que les contraintes administratives qui poussent à l'économie de la ressource en eau.



2.4.3.3. Le point de vue des acteurs institutionnels

Lors des entretiens menés en début d'étude puis lors des échanges complémentaires (ARS, BRGM, agences de l'eau) au fil de l'étude et pendant les COTECH/COPILs, les points de vue développés par les acteurs institutionnels sur l'articulation entre la ressource en eau et le développement de la filière hydrogène ont abordé les grands thèmes repris ci-après.

- **Prise en compte de la disponibilité de la ressource en eau dans chaque projet de production d'hydrogène.**
- **Intégration de la production d'hydrogène dans l'approche territoriale de la gestion de la ressource en eau/Prise en compte du Plan Eau.**
- **Prise en compte économique de la disponibilité de la ressource en eau.**

Pour chacun de ces grands thèmes, sont présentés dans l'annexe 2 les éléments d'attention soulevés par les acteurs, qui correspondent à la retranscription des attentes des personnes interrogées, elles peuvent être redondantes ou différentes des hypothèses retenues pour l'étude. Il est apparu néanmoins nécessaire, dans la démarche de co-construction, de rendre compte de ces propos.

2.4.4. Principales ressources en eau dans le périmètre d'étude

Les données synthétiques présentées ci-après sont traitées de façon différente par chacune des régions. Il n'a pas été possible, dans le temps imparti, d'aboutir à une harmonisation des données.

En région Grand Est

A l'amont des grands bassins versants nationaux et internationaux (Rhin, Moselle, Meuse, Seine, Rhône), la région Grand Est compte 21 000 km de cours d'eau et 3255 plans d'eau, dont 60 de plus de 50 ha. Trois lacs-réservoirs aménagés (Forêt d'Orient sur la Seine, Temple-Amance sur l'Aube, Der-Chantecoq sur la Marne) sont utilisés pour le soutien d'étiage et la protection de la région parisienne contre les inondations. Ces ressources en eau sont indispensables à bon nombre d'usages : alimentation en eau potable, industries, agriculture, navigation, énergie. ¹⁵.

La région Grand Est est caractérisée par une ressource en eau souterraine abondante et bien répartie sur le territoire. Elle abrite de vastes aquifères d'origine sédimentaire (principalement craie, calcaire et sables) ou alluviale (en lien avec les grands cours d'eau, au premier rang desquels l'aquifère alluvial du fossé rhénan, mais aussi des plaines de l'Aisne, de l'Aube, de la Marne, de la Seine, la zone alluviale du Perthois à l'est, de la Bassée à l'ouest). Les formations crayeuses (et plus particulièrement la formation crayeuse du séno-turonien, dite « nappe de la craie »), alluviales, et certaines formations calcaires (calcaire de Champigny) abritent des aquifères très puissants et intensément exploités, et donc particulièrement stratégiques pour la région. Il s'agit aussi d'aquifères particulièrement vulnérables aux pollutions, au regard de leur situation à l'affleurement en zone de pression agricole ou viticole (nappe de la craie et calcaire de Champigny en flanc de vallée), et pour les nappes alluviales de la rapidité des temps de transfert.

En région Bourgogne Franche-Comté

La Bourgogne-Franche-Comté est une région à forte dominante naturelle, couverte à 36 % par la forêt et à 26 % de prairies naturelles. Sillonnée par de grands écosystèmes alluviaux, elle présente des milieux

¹⁵ <https://www.grandest.fr/preserver-biodiversite/preserver-eau/>



remarquables et très variés (surfaces de pré-bois importantes, sous-sol karstique de première importance, nombreux milieux humides diffus mais extrêmement prégnants, pelouses sèches...)¹⁶.

La région est concernée par trois grands bassins versants : Rhône-Méditerranée, Seine Normandie et Loire-Bretagne. Parmi les masses d'eau superficielles sont recensés 41 plans d'eau de plus de 50 ha, dont le Lac de Saint Point, Vouglans et le lac de Pannecières. Les deux principales pressions identifiées, à dire d'experts, comme influençant l'état des masses d'eau superficielles, au regard des critères de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) de 2000, sont :

- La morphologie des cours d'eau et la continuité écologique pour l'état écologique
- Les pollutions diffuses (nitrates et pesticides) pour l'état physico-chimique. Ces pollutions affectent également les eaux souterraines. La quantité d'eau disponible est également une pression qui influe sur le bon état de la ressource en eau.¹⁷

Les volumes prélevés par année (2018-2021) et par région sont donnés par la BNPE (tableau ci-après), ainsi que la répartition des usages de la ressource en eau par région (en annexe 3).

	BFC tous usages	Grand-Est tous usages	BFC tous usages hors énergie et eau turbinée	GE tous usages hors énergie et eau turbinée	Ensemble 2 Régions tous usages hors énergie et eau turbinée
2018	68 826	22 528	1 407	2 500	3 907
2019	64 928	21 980	1 404	2 376	3 780
2020	63 118	18 441	1 419	2 338	3 757
2021	82 431	19 548	1 404	2 242	3 646
Moyenne	69 826	20 624	1 409	2 364	3 773

Tableau 1 : Répartition des volumes d'eau prélevés en millions de m3 par année et par région, tous usages – source BNPE

¹⁶<https://www.bourgogne-franche-comte.developpement-durable.gouv.fr/les-chiffres-cles-de-l-eau-en-bourgogne-franche-a10476.html>

¹⁷ La Directive Cadre sur l'Eau du 23 octobre 2000 (DCE) définit un cadre pour la gestion et la protection de l'eau par grand bassin hydrographique. Elle fixe des objectifs pour la préservation et la restauration de l'état des eaux superficielles et souterraines. L'objectif général est d'atteindre d'ici 2015 (avec des dérogations possibles en 2021 et 2027) le bon état des différents milieux sur tout le territoire européen. La Directive Cadre sur l'Eau définit le "bon état" d'une masse d'eau de surface lorsque l'état écologique et l'état chimique de celle-ci sont au moins "bons" :

- L'état écologique d'une masse d'eau de surface résulte de l'appréciation de la structure et du fonctionnement des écosystèmes aquatiques associés à cette masse d'eau. Il est déterminé à l'aide d'éléments de qualité : biologiques (espèces végétales et animales), hydromorphologiques et physico-chimiques, appréciés par des indicateurs (par exemple les indices invertébrés ou poissons en cours d'eau). Il est désigné par l'une des cinq classes suivantes : très bon, bon, moyen, médiocre et mauvais.
- L'état chimique d'une masse d'eau de surface est déterminé au regard du respect des normes de qualité environnementales (NQE) par le biais de valeurs seuils. Deux classes sont définies : bon (respect) et pas bon (non-respect). 41 substances sont contrôlées : 8 substances dites dangereuses et 33 substances prioritaires.

Source : <https://www.rhone.gouv.fr/>



2.4.5. Enjeux des restrictions sur les ressources en eau pour les usages industriels

Les prélèvements sur les ressources en eau pour la production d'hydrogène, comme tout usage industriel, peuvent être soumis à restriction en période de sécheresse, voire de crise de répartition de la ressource en eau entre plusieurs usages de l'eau. Il est acquis que les prélèvements d'eaux destinés à la production d'eau potable est l'usage prioritaire, dans tous les cas.

Pour toutes les activités industrielles relevant du régime des ICPE, il doit être pris en compte l'arrêté ministériel (AM) du 30 juin 2023 relatif aux mesures de restriction, en période de sécheresse, portant sur les prélèvements d'eau et la consommation d'eau des ICPE - articles R211-66 du code de l'environnement (niveau de gravité) et R211-67 (zone d'alerte)¹⁸.

L'arrêté ministériel stipule notamment : « Les installations classées (...) sont soumises en période de sécheresse, en fonction des niveaux de gravité ci-après, aux dispositions suivantes » :

- **Vigilance** : sensibilisation accrue du personnel aux règles de bon usage et d'économie d'eau selon une procédure écrite affichée sur site ;
- **Alerte** : réduction du prélèvement d'eau de 5 % ;
- **Alerte renforcée** : réduction du prélèvement d'eau de 10 % ;
- **Crise** : réduction du prélèvement d'eau de 25 %.

Les arrêtés départementaux portant les dispositions relatives aux usages industriels, inclus dans les arrêtés-cadres relatifs à la gestion de la ressource en eau en période de sécheresse, pris dans chacun des 17 départements du périmètre d'étude, pour certains en interdépartemental, signés principalement en 2022 et 2023, reprennent, quasiment tous, ces dispositions pour les usages industriels.

Ils reprennent également les quatre niveaux de gravité croissante dans la gestion de la sécheresse, en fonction du débit des cours d'eau, fixés dans les arrêtés des préfets coordonnateurs de bassin relatif au renforcement de la coordination des mesures de gestion de la sécheresse :

- Loire-Bretagne : du 28 janvier 2022
- Rhône-Méditerranée : n°21-327 du 23 juillet 2021
- Rhin-Meuse : n°22/005 du 5 janvier 2022
- Seine-Normandie : n° IDF-2022-02-22-00008 du 22 février 2022

Le tableau en annexe 5 recense ces arrêtés et mentionne l'emplacement des dispositions relatives à l'industrie dans chacun des arrêtés départementaux.

En tout état de cause, il est acquis, pour tout usage/prélèvement/consommation d'eau intégré dans une installation classée pour la protection de l'environnement (ICPE) que s'applique l'arrêté spécifique à la dite-installation ICPE, arrêté établi dans le cadre de la procédure d'autorisation, d'enregistrement ou de déclaration de l'installation (instruction par les unités territoriales des services de la DREAL dans chaque département). Des conditions spécifiques restrictives peuvent être intégrées à l'arrêté réglementant l'installation (ex : limitation de prélèvement en fonction d'un niveau piézométrique de référence, ou d'un débit minimum réservé au cours d'eau, ou d'une capacité résiduelle de stockage dans une retenue, ...).

¹⁸ Legifrance, <https://www.bourgogne-franche-comte.developpement-durable.gouv.fr/secheresse-un-nouvel-arrete-ministeriel-pour-les-a10156.html>



L'impact des arrêtés-cadre, datant de 2022-2023, sur le comportement des industries ne peut être identifié à ce jour, par manque de recul temporel (à peine un an).

Par ailleurs, sont définies, dans chaque grand bassin hydrographique, les zones de répartition des eaux (ZRE) qui sont des « zones présentant une insuffisance, autre qu'exceptionnelle, des ressources par rapport aux besoins ». Le classement s'applique aux eaux superficielles et souterraines (ESU et ESO). Une ZRE est caractérisée par une insuffisance chronique des ressources en eau par rapport aux besoins des usagers.

Le classement en ZRE constitue un signal fort de reconnaissance du déséquilibre durablement installé entre la ressource et les prélèvements en eau existants. Elle suppose en préalable à la délivrance de nouvelles autorisations, l'engagement d'une démarche d'évaluation précise du déséquilibre constaté, de la répartition spatiale des prélèvements et si nécessaire de la réduction de ce déséquilibre en concertation avec les différents usagers, dans un souci d'équité et dans un objectif de restauration durable d'un équilibre quantitatif. Cet outil participe à la démarche globale à mettre en place suite aux études d'évaluation des volumes prélevables globaux (études EVPG) : élaboration du plan de gestion quantitative des ressources en eau (PGRE), établissement des règles de répartition des volumes prélevés et révision des autorisations.

L'inscription d'une ressource (bassin hydrologique ou système aquifère) en ZRE constitue le moyen d'assurer une gestion plus fine et renforcée des demandes de prélèvements dans cette ressource, en application de la rubrique 1.3.1.0. du Titre 1er de l'article R214-1 relatif au régime des procédures d'autorisation et de déclaration sur les prélèvements de la ressource en eau.

Dans les zones classées en ZRE, tout prélèvement supérieur ou égal à 8 m³/h (soit l'équivalent du débit de prélèvement horaire d'un électrolyseur de 16 MW¹⁹) dans les eaux souterraines, les eaux de surface et leurs nappes d'accompagnement est soumis à autorisation, à l'exception des prélèvements soumis à une convention relative au débit affecté (art. R211-73 du CE), et des prélèvements inférieurs à 1000 m³/an (soit l'équivalent du débit de prélèvement annuel d'un électrolyseur de 0,25 MW¹⁷) réputés domestiques. A titre de repère, la production d'hydrogène par électrolyse de l'eau pour une puissance de 3 MW requiert environ 12.000 m³/an de prélèvement (base 30L H₂O/kg H₂ et refroidissement en technologie sèche), et une alimentation au débit moyen horaire de 1,5 m³/h en production à pleine puissance.

¹⁹ Hypothèses de calcul utilisées : 400kg/jour par MW, 8000h de fonctionnement annuel, consommation d'eau : 30L/kgH₂.



Par cette implication réglementaire, le classement en ZRE permet une connaissance accrue des prélèvements existants et la gestion du régime des procédures d'autorisation/déclaration de la loi sur l'eau (R241 du CE) à l'échelle d'un bassin versant ou d'une entité hydrogéologique en prenant en compte les effets cumulés des autorisations individuelles.

Dans l'étude menée par l'agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse en 2024, « ANALYSE TECHNIQUE ET PROSPECTIVE DE LA PRODUCTION D'HYDROGÈNE VERT PAR ÉLECTROLYSE ET DE SES IMPACTS SUR LA RESSOURCE EN EAU DANS LES BASSINS DE RHÔNE MÉDITERRANÉE » (version du rapport d'étude de juin 2024, non validé), l'approche des risques liés aux restrictions des usages des ressources en eau est effectuée par le croisement de la localisation des projets hydrogène avec les sous-bassins en tension quantitative de la ressource en eau superficielle (ESU). Cette approche est également déployée sur le périmètre de la présente étude et donne lieu à une représentation cartographique présentée au chapitre 3.

L'illustration suivante, figure 29, est tirée de l'étude menée par l'agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse. Cette carte permet de repérer les projets susceptibles d'être territorialement concernés par des ressources superficielles en tension quantitative, mais ne permet pas une caractérisation plus fine du risque de restriction d'usage de l'eau.



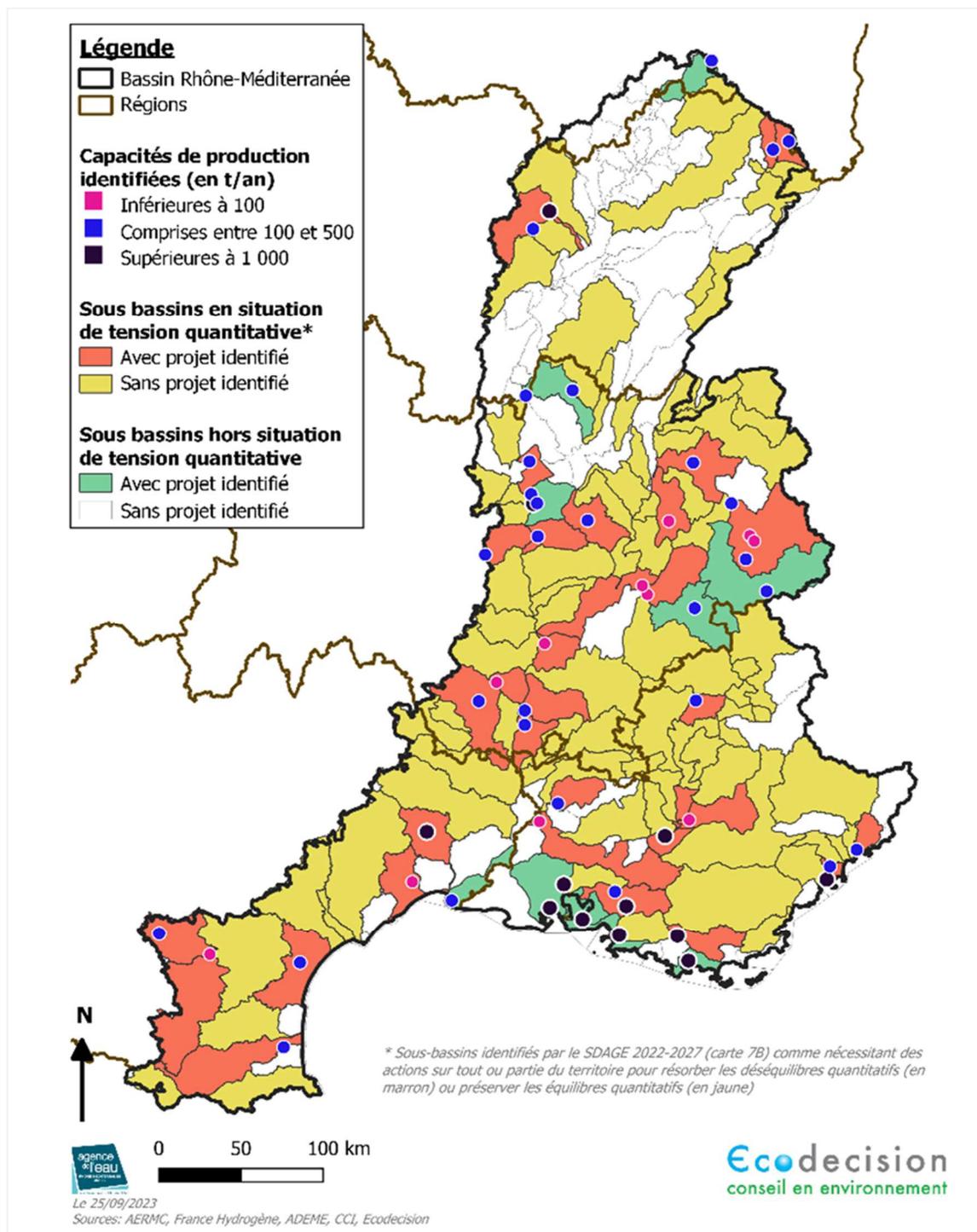


Figure 29 : Implantations identifiées de projets de production d'hydrogène et tension quantitative des sous-bassins du bassin Rhône Méditerranée

Dans le cadre de la présente étude, au-delà des cartes présentées au chapitre 3 , établies sur des principes méthodologiques similaires à ceux employés dans le cadre de l'étude de l'agence Rhône Méditerranée, sont proposés des cartes de sensibilité qui permettent d'appréhender plus finement les capacités de réponse des systèmes AEP et AEI préexistants, et les risques territoriaux de restrictions d'usages par



l'exposé des dispositions des arrêtés départementaux qui encadrent la gestion de la ressource en eau en période de sécheresse (cf annexe 5).

Les restrictions susceptibles d'intervenir porteraient sur les prélèvements d'eau dans les eaux patrimoniales, mais également dans les réseaux d'AEP ou AEI, soumis à restriction hors du strict usage pour l'eau potable. Aussi, le développeur/exploitant d'un projet hydrogène devra se soumettre aux restrictions de prélèvement sur les ressources en eau, et ne pourra éviter l'influence des éventuels arrêtés sécheresse sur sa production en misant sur une technologie de refroidissement plutôt qu'une autre.

L'application des arrêtés-cadre départementaux donne lieu à des « réunions sécheresse » au cours desquelles se rencontrent les différentes représentations des usagers et se discutent les modalités d'équilibre entre les restrictions et leurs incidences sur les ressources et les usagers concernés, notamment les filières industrielles.

A cet égard, les filières industrielles qui ont fourni des efforts substantiels sur leur prélèvement/consommations en eau bénéficient d'aménagements. Ainsi, lors d'un entretien métier, il a été annoncé que les arrêtés sécheresse ne concernent pas les sites industriels qui font de la réutilisation d'eaux non conventionnelles ou qui ont fortement réduit leur consommation (par rapport à une année de référence N-2).

En outre, pour les projets qui opteraient pour un refroidissement adiabatique, il convient de souligner que l'utilisation de l'eau aux fins de refroidissement n'est pas liée à la quantité de chaleur à dissiper, mais seulement à l'efficacité du système d'humidification par rapport à la masse d'air qui le traverse. De plus, ce besoin d'eau intervient uniquement lors des journées les plus chaudes (lorsque la température de l'air ambiant est trop élevée pour que le refroidissement sec s'opère), limitant ainsi l'utilisation de l'eau au strict nécessaire, contrairement aux systèmes évaporatifs où l'utilisation de l'eau est étroitement liée à la quantité de chaleur à dissiper et est donc constante en phase de production. Ces éléments sont précisés au chapitre 2.2.1.3. Dans ces conditions, en dehors des périodes de restrictions des usages industriels de l'eau auxquels devraient se soumettre les unités de production d'hydrogène et les installations de refroidissement associées, et dès lors que la température de l'air extérieure n'est pas un critère de restriction, les unités de refroidissement, particulièrement en technologie sèche ou adiabatique, ne se verraient pas contraintes par des restrictions d'usage en période estivale. Ainsi, la production d'hydrogène et le refroidissement nécessaire du système de production ne génèrent pas ni ne subissent un surcroît de risque de déséquilibre entre la disponibilité de ressource en eau et les usages au-delà des risques génériques de restriction en périodes de sécheresse.



3. Analyse du potentiel de production d'hydrogène au regard de la ressource locale en eau à l'échelle des deux régions

3.1. Méthode retenue pour l'étude

Une large partie du temps d'étude a été dévolue à l'élaboration, la mise au point et la validation d'une méthode la plus systématique possible pour approcher la sensibilité de la ressource à l'échelle du territoire des deux régions au regard de la production potentielle d'hydrogène. Plusieurs méthodes ont été envisagées mais écartées car jugées non-techniquement réalistes, avant de converger vers une analyse combinée de sensibilité eau et de potentiel hydrogène. Le chapitre suivant décrit succinctement le cheminement parcouru pour aboutir à la méthode finalement retenue.

3.1.1. Présentation des différentes données sur la ressource en eau

Plusieurs sources publiques de données ont été considérées au cours de l'étude :

Banque Nationale des prélèvements quantitatifs en eau (BNPE)

- Les informations portent sur les volumes annuels directement prélevés sur la ressource en eau et sont déclinées par localisation et catégorie d'usage,
- La recherche peut se faire à plusieurs échelles : France entière, Région, Département, Commune,
- Données de volumes prélevés mesurés ou estimés puis déclarés par les usagers soumis à la redevance pour prélèvement auprès des agences de l'eau,
- Cela comprend les volumes supérieurs à 10 000 m³ (ou 7 000 m³ en ZRE). Les petits volumes ne sont donc pas comptabilisés (pour rappel, 10 000 m³/an correspondent à 2,5 MW d' électrolyse -base de calcul 30L/kg-, 7 000 m³/an correspondent à 1.75MW d' électrolyse sur la même base de calcul),
- Certains usages sont exonérés de redevance : les exhaustes d'eaux de mines, les travaux souterrains, le drainage pour le maintien à sec des bâtiments et ouvrages, l'aquaculture, la géothermie, ... les informations relatives à ces usages ne figurent donc pas dans la banque de données,
- La BNPE ne s'intéresse qu'à l'eau prélevée, et non à l'eau consommée.



Base nationale sur l'intercommunalité (BANATIC)

- Permet d'accéder aux informations sur les établissements publics de coopération intercommunale (EPCI) avec ou sans fiscalité propre et les syndicats mixtes
- Via la cartographie, l'accès à ces données combiné aux données de prélèvements BNPE permet de traiter de l'extraterritorialité des ressources en eau utilisées (un prélèvement d'eau potable pouvant être géographiquement extérieur à l'intercommunalité qui en assure la distribution)

Observatoire national des services d'eau et d'assainissement (SISPEA) :

- Données sur la production d'eau potable,
- Lorsqu'une collectivité « compétente » pour l'usage AEP est identifiée, accès aux données du service : entités de gestion, membres de la collectivité (EPCI), données ARS (code points de prélèvements),
- Par entité de gestion, et par année, indicateurs sur le service : production d'eau propre au service, volumes importés, exportés, rendement réseau, ... schéma des volumes,

Systèmes d'information sur l'eau des bassins hydrographiques :

- Données sur les masses d'eau souterraines et superficielles, les objectifs de qualité, les pressions identifiées.
- Zonage des secteurs fragiles du point de vue quantitatif (traitement de la sectorisation propre à chaque grand bassin).
- ZRE = Zones de répartition des eaux (zones présentant une insuffisance, autre qu'exceptionnelle, des ressources par rapport aux besoins, où les prélèvements sont soumis à des conditions plus strictes, procédure d'autorisation IOTA²⁰ pour des prélèvements de plus de 8m³/h)
- Approche qualitative de l'état des masses d'eau superficielles (MESU) et Souterraines (MESO)
- Arrêtés d'orientation de bassins et arrêtés "sécheresse"/ Restrictions en cours
- Arrêtés de coordination des mesures sécheresse par grand bassin : définition des sous-bassins à enjeux, orientations communes des arrêtés cadres départementaux
- Arrêtés-cadres interdépartementaux : ex : axe Saône – tableau des mesures de restriction des usages de l'eau (niveaux de vigilance, d'alerte, d'alerte renforcée, de crise et restrictions par type d'usage graduées selon ces niveaux)
- Arrêtés-cadres et restrictions au niveau départemental : zones d'alerte et tableau des mesures de restriction des usages de l'eau

Nota : on pourrait également mentionner à titre informatif la base Propluvia qui porte sur les restrictions en cours mais qui n'a pas été utilisée dans l'étude.

²⁰ Installations, ouvrages, travaux, activités soumis à la réglementation sur l'eau (code de l'environnement).



3.1.2. Rétrospective sur les évolutions de la méthode d'étude

3.1.2.1. Une première étape commune à toutes les propositions méthodologiques

L'ensemble des méthodes proposées reposent sur une première étape commune consistant à superposer la carte des implantations de production d'hydrogène présumées et la carte des aléas sur ressources patrimoniales (ESU/ESO) pour se faire une première idée des territoires où des difficultés peuvent se matérialiser. Cette approche est comparable à celle qui a été développée en 2023 sur le bassin Rhône-Méditerranée présentée plus haut.

Cette première étape est illustrée par la figure 30.

L'analyse de ces premières cartographies donne une première indication de risque potentiel d'indisponibilité de ressource, mais ne permet pas de conclure sur la réalité de ce risque même si un projet de production d'hydrogène est géographiquement situé sur un secteur fragile quantitativement ou en mauvais état quantitatif.

Les contraintes effectives dépendent des déterminants de la fragilité, des quantités relatives..., et il est nécessaire d'approfondir l'analyse localement. Cet approfondissement a été partiellement réalisé dans le cadre des études de cas qui seront présentées. Est retenu par exemple le cas du projet de Chalampé, qui malgré une situation géographique ouvrant une indication de fragilité potentielle de ressource, du fait de la forte pression des prélèvements existants, pourrait ne pas subir de contrainte majeure liée à l'eau car l'aquifère concerné (alluvions rhénanes) ne serait pas localement sensible au besoin de prélèvement supplémentaire du projet.



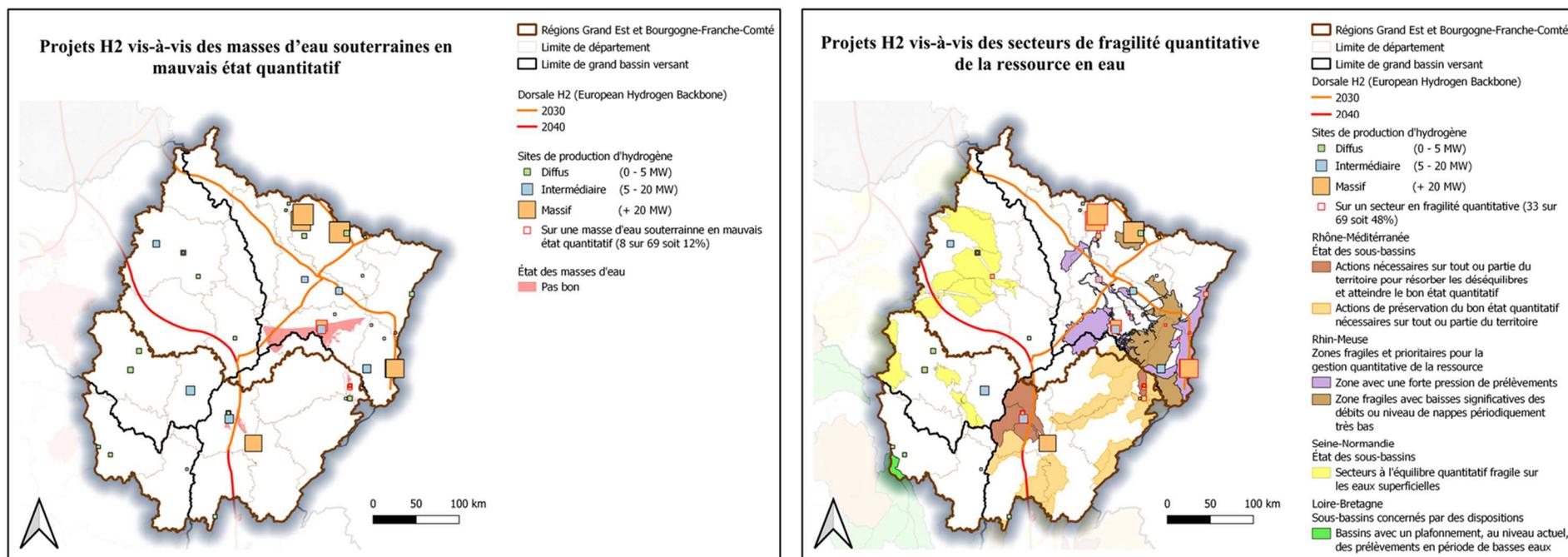


Figure 30: Superposition des projets hydrogène et des zones de fragilité quantitative sur la ressource eau

Nota : Les méthodes d'agrégation retenues pour évaluer la fragilité quantitative des ressources patrimoniales varient d'une agence de l'eau à une autre, d'où la pluralité des terminologies utilisées dans les cartographies de la figure n°30.

3.1.2.2. Proposition méthodologique n°1 : analyse de « potentiel eau »

L'idée initiale consistait à projeter un potentiel de production d'hydrogène sur les « volumes restants disponibles » au niveau de chaque entité de gestion eau (EGE). En effet, chaque EGE gère son équilibre quantitatif en fonction de l'évolution de ses prélèvements (forages, captages), de ses imports/exports depuis/vers des entités adjacentes, des différents usagers dans sa zone de chalandise et de l'état de son réseau de distribution. De ce fait, les EGE sont les plus à même d'évaluer dans quelle mesure elles peuvent configurer leur équilibre de gestion en dégageant des volumes additionnels mobilisables, par exemple pour des projets hydrogène, tout en assurant l'équilibre dans la gestion de la ressource au niveau local.

Toutefois, il n'est pas possible de disposer des données permettant de reconstituer, de façon systématique, l'équilibre quantitatif de chaque EGE (de nombreuses données agrégées sont élaborées à partir de « dire d'experts » lorsque la donnée sous-jacente n'existe pas ou n'est pas quantifiée), ni possible d'interroger toutes les EGE du territoire d'étude (plusieurs milliers d'établissements), dans le cadre de la présente étude.

Également, un recouplement strict avec les découpages administratifs des communes ou des EPCI n'est pas possible (ce qui exclut d'utiliser les données BNPE). Aussi, comme toutes les EGE prélèvent in fine dans les mêmes masses patrimoniales, il ne serait pas possible de s'assurer que l'équilibre de gestion de la ressource est préservé à un niveau supérieur.

Comme indiqué précédemment, l'étude n'est pas une étude des volumes d'eau prélevables pour les projets d'hydrogène (les volumes prélevables se définissent au regard d'une ressource déterminée sur un périmètre géographique qui s'y rapporte, tel un périmètre d'extension de nappe ou un bassin versant, et adressent l'ensemble des prélèvements « possibles », alors que le potentiel de production d'hydrogène s'appuie sur le recours possible à des ressources en eau non déficitaires).

Enfin, l'analyse de potentiel se confronte à la difficulté de rattacher les prélèvements AEP/AEI aux masses d'eau ESO/ESU (données sensibles, complexité hydrogéologique rendant impossible de traiter les enjeux hydrogéologiques à cette échelle, difficulté technique à faire le lien entre les points de prélèvements en eaux souterraines et/ou superficielles).

Aussi, il a été décidé d'aborder l'étude sous la forme d'une analyse de sensibilité de la ressource en eau.

3.1.2.3. Proposition méthodologique n°2 : analyse de sensibilité eau par arborescence

La deuxième idée consistait à adapter le niveau de finesse de l'analyse en fonction des territoires et de la taille des projets, en calculant une « sensibilité eau » exprimée en % de volumes prélevés, produits ou distribués, à partir de laquelle il est possible de projeter un potentiel hydrogène en s'appuyant sur une consommation spécifique, exprimée en L/kgH₂.

La définition d'une ou des valeur(s) de sensibilité se ferait en ajustant la valeur de la sensibilité par un raisonnement en arborescence. Des premières valeurs de sensibilité ont été testées pour chaque ressource en eau (AEP, AEI) à partir d'études de cas (voir section « validation des hypothèses de sensibilité »).

Les étapes proposées étaient :

- Identification des déterminants de la sensibilité eau en fonction de chaque ressource (AEP = volumes produits dans SISPEA, AEI = volumes prélevés dans BNPE, ESO/ESU = arrêtés de restriction préfectoraux),
- Puis calcul de sensibilité, selon des règles à définir.



Dans la pratique, cette méthode s'est avérée trop complexe à mettre en œuvre de façon systématique, avec des difficultés à intégrer des études de cas plus locales lorsque l'analyse systématique n'est plus possible.

3.1.2.4. Proposition méthodologique n°3 : analyse de sensibilité « matricielle »

Pour pallier le problème rencontré dans la méthodologie n°2, la proposition a été faite de reprendre la méthode par analyse de sensibilité en discriminant le calcul de potentiel hydrogène en fonction de la taille des projets H2 et des sources d'eau mobilisées.

Cette méthode propose uniquement une analyse en volumes annualisés et ne tient pas compte des extrêmes (situation de débit maxi/mini, en particulier pendant la période estivale lorsque les consommations d'eau sont maximales alors que les ressources eau sont à l'étiage).

Par ailleurs, l'interprétation des cartes était rendue très compliquée car il s'est révélé difficile en pratique d'ajuster les valeurs de sensibilité en fonction de la taille des projets.

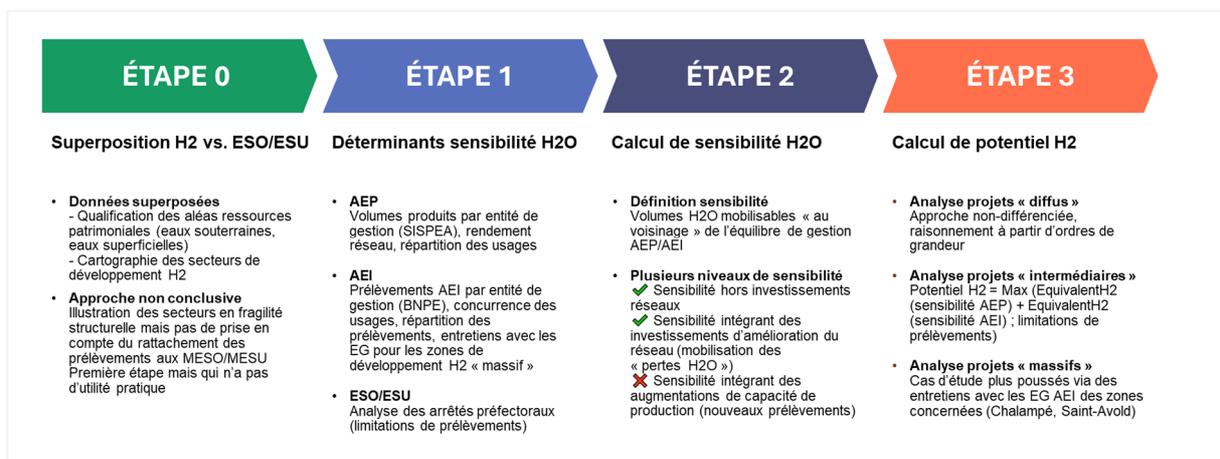


Figure 31: Résumé de la proposition méthodologique n°3

3.1.2.5. Proposition méthodologique n°4 : analyse de sensibilité + études de cas

Pour pallier le problème d'interprétation des cartes rencontré dans la méthode n°3, la proposition a été faite de ne pas segmenter les analyses en fonction de la taille des projets mais en fonction des niveaux de prélèvements (bases de calcul présentées ci-avant) en considérant que la taille des projets impacte peu en pratique la consommation spécifique. En effet, la technologie de refroidissement a un impact majeur.

La systématisation de toutes les analyses s'est révélée irréaliste dans le temps et le budget de l'étude. Il a donc été décidé que les analyses systématiques se baseraient uniquement sur les volumes annualisés tandis qu'une approche en débit serait proposée sous forme d'études de cas.

Par ailleurs, dans le cadre des projets massifs, seule l'approche locale est pertinente. L'approche par étude de cas permet donc d'aborder les cas de projets massifs et des analyses complémentaires en débit.

3.1.3. Choix de la méthode d'étude retenue

3.1.3.1. Principe méthodologique retenu



La méthodologie finalisée a été présentée et consolidée aux COTECH 2 et 3, d'une part via le schéma méthodologique, la consolidation des seuils de sensibilité Eau, d'autre part via les enseignements de l'application des intentions aux études de cas, sur des projets diffus, intermédiaires et massifs.

La méthode systématique est consolidée par des études de cas, sur des projets de plusieurs tailles.

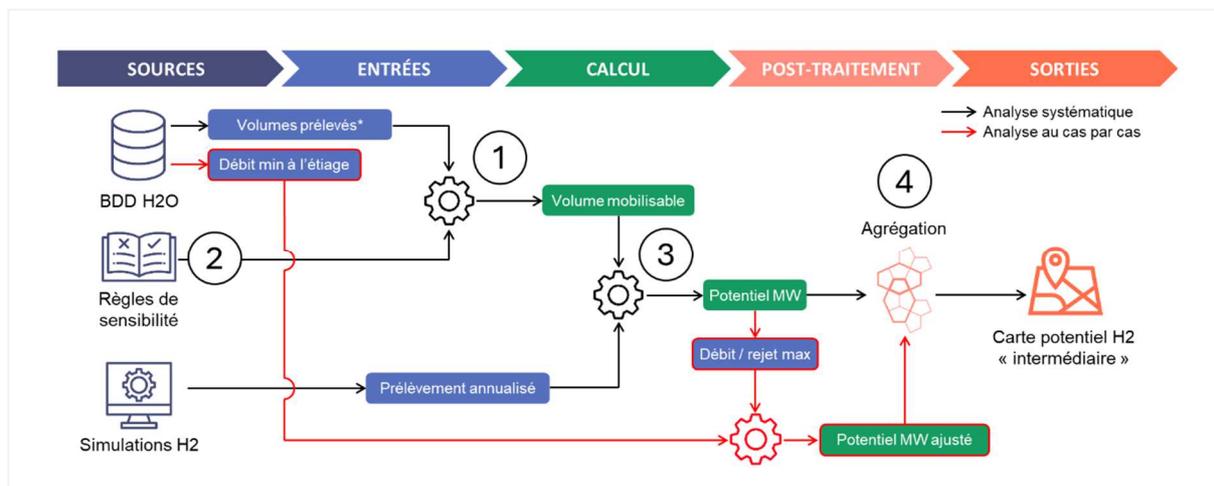


Figure 32: Schéma de la méthode retenue pour les projets diffus et intermédiaires

La méthode systématique détermine les volumes d' eau mobilisables au sein des territoires pour la production d' hydrogène puis les potentiels hydrogène équivalents (libellés en MW) selon la séquence suivante :

Définition du potentiel hydrogène équivalent (PHE)

Il y aurait différentes façons possibles de définir un « potentiel hydrogène ». Dans la méthode d'étude retenue, le potentiel défini exprime uniquement la puissance d'électrolyse équivalente pouvant théoriquement être mise en œuvre en utilisant les volumes d'eau disponibles évalués via l'analyse de sensibilité, toutes choses égales par ailleurs. Le PHE ainsi défini ne préjuge donc aucunement de la disponibilité de la ressource électrique, du foncier, de l'existence de consommateurs à proximité, du risque de cannibalisation entre des projets sur un même territoire etc.

Le potentiel hydrogène équivalent est donc exprimé en MW car la notion de puissance électrolytique est plus parlante que des milliers de m³ annuels pour la plupart des personnes.

Comme il a été indiqué plus haut, ce PHE ne peut pas être considéré comme un « potentiel maximal » dont l'évaluation reviendrait à réaliser une étude de volumes prélevables qui est hors de portée à l'échelle du territoire des deux régions dans le contexte de la présente étude. Ce n'est pas non plus un potentiel « minimal ». Le PHE est défini de manière *ad hoc* en regard de l'analyse de sensibilité élaborée dans l'étude.

1. Les volumes d'eau mobilisables sont calculés à partir d'un taux de sensibilité appliqué aux prélèvements pour l'eau potable et/ou industrielle à la maille communale. Un abattement de 15 % des prélèvements (effort de sobriété dans le cadre du plan eau) est intégré dans le calcul des volumes mobilisables.
2. Les valeurs de sensibilité sont choisies de manière à ne pas remettre en cause les équilibres de gestion de l'eau existants (voir section 3.1.3.3).



3. Ces volumes d'eau mobilisables sont convertis en potentiel hydrogène équivalent à partir des données de prélèvement (hypothèse basse : 15 L H₂O/kgH₂ ; hypothèse haute : 30 L H₂O/kgH₂).
4. Les calculs sont effectués à la maille communale puis agrégés à la maille EPCI avec des corrections au cas par cas d'après l'expertise des organismes compétents et membres du comité technique.

Limites : La méthode d'étude ne tient compte ni des ressources en eau supplémentaires qu'il serait possible et opportun de développer moyennant des nouvelles infrastructures de production (forages, captages) ni la concurrence des autres usages de l'eau (irrigation, industrie).

3.1.3.2. Données « eau » retenues

Sont présentés, en annexe 4, les choix relatifs aux données retenues pour caractériser, dans la présente étude, la ressource en eau, notamment pour l'alimentation en eau potable (AEP) et pour l'alimentation en eau industrielle (AEI)

L'année 2021 a été retenue comme année de référence. En effet, l'année 2020 a été exclue en raison de sa singularité liée au COVID, et les années 2019 et 2021 sont sensiblement équivalentes (aux ordres de grandeur pertinents pour une telle étude) du point de vue des quantités d'eau prélevées (2% d'écart sur l'ensemble des 2 régions, AEP + AEI). L'année la plus complète disponible au cours de l'étude a donc été retenue. L'utilisation d'une valeur moyennée 2019-2020-2021 aurait été possible, sans apporter d'éléments complémentaires prégnants.

		2019	2020	2021	Moyenne
Grand-Est	AEP	430,4	439,2	423,9	431,2
	AEI	492,6	449,5	467,3	469,8
Bourgogne-Franche-Comté	AEP	263,2	279,1	275,1	272,5
	AEI	75,9	70,2	70,4	72,2 =
Somme		1 262,1	1 238,0	1 236,7	1 245,6 =
Ecart à la moyenne		1,3%	-0,6%	-0,7%	

Tableau 2 : Valeurs et moyennes annuelles des prélèvements AEP et AEI en millions de m³ (BNPE) de 2019 à 2021

Sont présentées ici les raisons retenues pour les données des eaux prélevées (AEP et AEI) en fonction de la taille des projets d'hydrogène, diffus, intermédiaires et massifs, reprises en synthèse dans la figure 33 :

- Les **données AEP issues de BNPE** agrégées à la maille départementale sont mobilisées pour l'approche systématique des projets H₂ diffus et intermédiaires, car elles permettent une cartographie de sensibilité à la maille des départements avec un bon indice de confiance, en :
 - Lissant la difficulté liée à l'extra-territorialité des prélèvements, marginale à l'échelle départementale, et de faire l'approximation que les volumes prélevés servent le territoire pour l'usage AEP ;
 - Déterminant un seuil de « sensibilité » du territoire à des besoins en AEP pour un nouvel usage => « Potentiel » maximal de déploiement H₂ par alimentation à partir des systèmes AEP.



- Les **données AEP issues de SISPEA** sont utilisées pour :
 - Un traitement statistique, qui conduit à affiner les règles de sensibilité (dégressivité des seuils liée aux rendements des systèmes AEP), dans l'approche systématique, par les données déclarées des collectivités (PRPDE), à des mailles diverses (communes, CC, CA, Métro, Syndicats) ;
 - Travailler sur des indicateurs de pertinence des modalités de satisfaction des besoins de l'usage de l'eau nouveau qui permettraient de ne pas accroître la pression de prélèvement sur les ressources de manière significative, donc au-delà des seuils de sensibilité définis, dans l'approche circonstanciée (les études de cas) pour les projets de production H2 de taille intermédiaire).

- Les **données AEI issues de BNPE** sont mobilisées pour l'approche systématique des projets H2 intermédiaires, car elles permettent une cartographie de sensibilité à la maille des EPCI avec un indice de confiance assez bon et à la maille des départements avec indice de confiance bon, en :
 - Permettant un calcul de « sensibilité » / « potentiel théorique » (maille des EPCI) même si le périmètre des prélèvements n'est pas nécessairement celui de la consommation d'eau (extra-territorialité des prélèvements potentiellement peu fréquente à l'échelle des EPCI (CC, CA, Métropole)/localisation industrie(s) consommatrice(s)).
 - Lissant la difficulté liée à l'extra-territorialité des prélèvements, marginale à l'échelle départementale, et de faire l'approximation que les volumes prélevés servent le territoire pour l'usage AEI ;
 - Déterminant un seuil de « sensibilité » du territoire à des besoins en AEI pour un nouvel usage => « Potentiel » de déploiement H2 par alimentation à partir des systèmes AEI.

- Les **données AEP + AEI issues de BNPE** sont mobilisées pour l'approche systématique des projets H2 intermédiaires, car elles permettent une cartographie de sensibilité à la maille des EPCI avec un indice de confiance moyen et à la maille des départements avec indice de confiance bon, en :
 - Permettant un calcul de « sensibilité » / « potentiel théorique » (maille des EPCI) même si le périmètre des prélèvements n'est pas nécessairement celui de la consommation d'eau (extra-territorialité des prélèvements potentiellement peu fréquente à l'échelle des EPCI (CC, CA, Métropole)/ localisation industrie(s) consommatrice(s)) ;
 - Lissant la difficulté liée à l'extra-territorialité des prélèvements, marginale à l'échelle départementale, et de faire l'approximation que les volumes prélevés servent le territoire pour l'usage AEP + AEI ;
 - Déterminant un seuil de « sensibilité » du territoire à des besoins en AEP + AEI pour un nouvel usage => « Potentiel » de déploiement H2 par alimentation à partir des systèmes AEP + AEI.

Limites : l'examen de sensibilité ne permet pas de renseigner quant aux modalités de satisfaction du besoin. Exemples de modalités : nouveau prélèvement, amélioration de rendement, augmentation des volumes AEP mis en distribution ou mobilisés sur une plateforme industrielle, substitution d'usage... L'examen de sensibilité, traduit en « potentiel », établit un niveau jusqu'auquel la pression de prélèvement sur le territoire, supposée satisfaire les usages préexistants (eau potable ou industriel), ne devrait pas s'accroître au point de générer un déséquilibre sur l'usage AEP et/ou AEI.



	PROJETS H2 DIFFUS	PROJETS H2 INTERMEDIAIRES	PROJETS H2 MASSIFS
AEP			X
AEI	<p>BNPE La donnée BNPE répond au besoin méthodologique à l'échelle de la région et du département</p> <p>BNPE L'analyse BNPE au niveau communal n'est pas pertinente car certaines communes ne prélèvent pas directement d'eau sur leur territoire mais transfèrent de l'eau depuis les territoires voisins (suivant les points de prélèvement possibles dans les eaux patrimoniales et la structure des infrastructures de stockage et réseaux)</p> <p>SISPEA Les données SISPEA sur la production AEP au niveau communal ne sont pas pertinentes car l'échelon communal ne coïncide pas nécessairement avec les entités de gestion AEP.</p>	<p>SISPEA Données SISPEA sur la production AEP au niveau des entités de gestion concernées sous réserve de la saisie des données. Les données SISPEA peuvent permettre d'apporter des éléments de tendance et de connoter l'implantation au regard d'économies d'eau potentielles sur le territoire (données rendements de réseau à la maille des entités de gestion vs. plan eau = 10% économie horizon 2030).</p> <p>BNPE Les données BNPE peuvent permettre d'apporter des premiers éléments de réponse sur l'AEI au niveau communal / entité de gestion supra-communal, sous réserve de pouvoir attacher les prélèvements à des masses d'eau (tentative de faire le lien avec les masses d'eau)</p>	<p>BNPE La donnée BNPE ne répond pas au besoin méthodologique à l'échelle communale pour le déploiement d'un écosystème massif.</p> <p>BNPE Tentative de rattacher cartographie points de prélèvements industriels données BNPE à des entités de gestion pertinentes au regard des systèmes H2 analysés (BNPE + ressources documentaires complémentaires & adaptation de l'échelle).</p> <p>BNPE A partir des données BNPE, tentative de discriminer entre AEI vs. nouveaux prélèvements dédiés eau patrimoniale, sous réserve de pouvoir attacher les prélèvements à des masses d'eau (tentative de faire le lien avec les masses d'eau)</p>
ESO / ESU	<p>Pas de limitation / restriction sur les volumes disponibles à cette échelle de projets, quelle que soit l'origine de l'eau considérée. Ex: électrolyseur 2,5MW, besoin eau 6.000 m3/an (< seuil des redevables en ZRE). Le plafond des prélèvements domestiques (1000 m3/an) ne nécessitant pas d'autorisation, correspond à un électrolyseur H2 de 0,4 – 0,5 MW.</p>	<p>SDAGE Données Agences (SDAGE) : ESO bon état / mauvais état quantitatif, ESU « secteurs fragiles »</p> <p>Données DREAL : cartes, données de suivi, arrêté d'orientations</p> <p>DREAL Données départementales: cartes, données de suivi, arrêtés de gestion de crise sécheresse</p> <p>Arrêtés cadres préfectoraux et interdépartementaux: zonages, seuils d'alerte, gradation des restrictions par usage</p>	

BNPE **SISPEA** **SDAGE** **DREAL**

Figure 33: Bases de données eau et échelles pertinentes pour l'analyse

3.1.3.3. Consolidation des seuils de sensibilité

Des seuils de sensibilité ont été définis sur la base d'une analyse statistique des données de prélèvements d'eau pour l'usage AEP tirées des bases de données BNPE et SISPEA. Il s'agissait de rechercher des niveaux de soutirage théoriques sur les infrastructures AEP compatibles avec des conditions de services non perturbées et cohérents avec des seuils réglementaires existants. Le référentiel AEP a été choisi, alors qu'il a été souligné que l'utilisation de l'eau aux fins de consommation humaine est prioritaire et que le raccordement aux infrastructures AEP n'est pas à considérer comme une orientation privilégiée, parce qu'il permettait de fonder une analyse statistique sur des données tangibles, et justement parce que l'analyse de sensibilité définie au regard de cet usage primordial impose une attention particulière quant au choix des indications discriminantes.

Comme vu précédemment, le volume annuel à partir duquel un prélèvement d'eau dans le milieu naturel est soumis à une procédure au titre du code de l'environnement est défini à 1.000 m³/an. En deçà, le prélèvement est dit « domestique » et n'appelle pas de procédure car il est supposé ne pas avoir un effet significatif sur la ressource en eau. C'est le premier indicateur de référence considéré pour la définition des seuils de sensibilité, comme détaillé par la suite.

L'autre référence réglementaire considérée est celle des obligations en ZRE (zones de répartition des eaux) quant à l'atteinte de performances des réseaux AEP : le rendement minimum pour les réseaux d'eau potable en ZRE est fixé à 70% par le décret n° 2012-97 du 27 janvier 2012 (décret relatif à la définition d'un descriptif détaillé des réseaux des services publics de l'eau et de l'assainissement et d'un plan d'actions pour la réduction des pertes d'eau du réseau de distribution d'eau potable). Ce décret précise que le rendement minimum est applicable uniquement pour les prélèvements de plus de 2 millions de mètres cubes par an. L'analyse statistique s'est aussi fondée sur ce niveau de prélèvement de 2 millions de mètres cubes par an, au-delà duquel le rendement cible des réseaux est majoré par la réglementation, le rendement minimum standard à atteindre étant sinon de 65%.

Le traitement des informations tirées des bases de données BNPE et SISPEA a permis de définir que les entités gestionnaires AEP sur le périmètre d'étude qui prélèvent moins de 2 millions de mètres cubes par an, produisent en moyenne environ 180.000 m³/an. En référence au premier indicateur réglementaire de 1000 m³/an définissant les prélèvements domestiques, un premier seuil de sensibilité a été défini à 0,5% en zone de fragilité quantitative des ressources en eau, pour ces collectivités prélevant moins de 2 millions de mètres cubes par an (0,5% appliqué au volume moyen produit de 180.000 m³/an = 900 m³/an). Il a été considéré un seuil de 1% hors zones de fragilité quantitative des ressources en eau, qui appliqué à la moyenne des volumes produits par ces collectivités correspond sensiblement au besoin en eau d'un électrolyseur de 1MW (qui requiert environ 2.000 m³/an avec un refroidissement en technologie sèche), estimé compatible avec les capacités productives des collectivités gestionnaires concernées.

Pour les collectivités prélevant plus de 2 millions de mètres cubes par an, les seuils de sensibilité définis ont été abaissés.

A partir des données BNPE et SISPEA, il a été défini que les entités gestionnaires de l'alimentation en eau potable sur le périmètre d'étude qui prélèvent plus de 2 millions de mètres cubes par an, atteignent une production d'eau moyenne d'environ 6.300.000 m³/an. Le seuil de sensibilité en zone de fragilité quantitative des ressources en eau a été choisi à 0,2% ; appliqué à la production d'eau moyenne des collectivités concernées, il définit un volume d'eau annuel de 12.500 m³/an qui correspond sensiblement



au besoin en eau d'un électrolyseur de 3 MW²¹. Ce seuil de sensibilité est apparu compatible avec les capacités des infrastructures AEP considérées, nonobstant les efforts de sobriété à fournir dans le cadre du Plan Eau. Hors zones de fragilité, le seuil de sensibilité de 0,5% a été choisi, considéré compatible avec les capacités productives des collectivités gestionnaires concernées.

Ce raisonnement, fondé sur des statistiques AEP, a été étendu quelle que soit la nature de l'eau mobilisée considérée. Il est de plus rappelé que ce raisonnement théorique vise à calibrer des seuils de sensibilité quantitative, sans qu'il soit induit un raccordement aux infrastructures AEP, l'usage alimentaire de l'eau distribuée par ces infrastructures étant à préserver en priorité.

Au bilan, les seuils de sensibilité ainsi définis sont indiqués dans le tableau qui suit.

Proposition de seuils de sensibilité	Collectivités prélevant moins de 2 Mm ³ /an	Collectivités prélevant plus de 2 Mm ³ /an
En ZRE (zone de répartition des eaux) / Zones de fragilité	0,5%	0,2%
Hors ZRE / Zones de fragilité	1%	0,5%

Tableau 3 : Seuils de sensibilité retenus pour le déroulement de l'étude

- L'examen de sensibilité, traduit en « potentiel » d'usage nouveau, s'inscrit dans un contexte de recherche de sobriété de l'ensemble des usages de l'eau. Il se définit au regard de seuils d'équilibre besoins – ressources pour les usages préexistants, en considérant les efforts à réaliser pour atténuer la pression de prélèvement sur les ressources.
- L'examen de sensibilité ne permet pas de renseigner quant aux modalités de satisfaction du besoin : nouveau prélèvement, amélioration de rendement, augmentation des volumes mobilisés, substitution d'usage... L'examen de sensibilité, traduit en « potentiel », établit un niveau en dessous duquel la pression de prélèvement sur le territoire, supposée satisfaire les usages préexistants, ne devrait pas s'accroître au point de générer un déséquilibre sur ces usages.
- Fixer un seuil de sensibilité à 1%, c'est dire qu'il faut économiser 11% pour tenir le plan de sobriété à -10% et disposer de ce 1% pour un usage industriel nouveau tel que H2. A noter également que la sobriété ne passe pas que par les rendements, mais aussi par le délestage de certains usages du réseau AEP (nettoyage de chaussées, arrosage espaces verts, réserves incendie).
- Les électrolyseurs diffus, s'ils sont déployés, le seront dans des zones où des usages existent. Il est assez probable qu'ils seront davantage déployés dans des zones où se concentrent des populations et activités desservies occasionnant ces usages. Sur des collectivités de « petite taille », produisant peu d'AEP, s'il y a du diffus, ce sera vraisemblablement du petit diffus. Le besoin pour 1MW se situe autour de 1% du volume moyen produit par les entités produisant moins de 2Mm³ qui ont déclaré dans SISPEA pour 2022.

²¹ Hypothèses de calcul utilisées : 400kg/jour par MW, 8000h de fonctionnement annuel, consommation d'eau : 30L/kg_{H2}.



- Pour les plus grosses collectivités, prélevant plus de 2Mm³, un électrolyseur de 6MW (barre haute du diffus) aurait un besoin de l'ordre de 0,2% du volume moyen produit par les entités produisant plus de 2Mm³ qui ont déclaré dans SISPEA pour 2022.
- Il faut aussi noter que les collectivités (entités) qui produisent plus de 2Mm³, au nombre de 44 dans SISPEA 2022, ont pour une écrasante majorité des rendements de plus de 75%, ce qui rend les plans d'économie d'eau plus difficiles et qui justifie également d'abaisser le seuil de sensibilité (ces collectivités ont donc peu de marge de manœuvre sur les rendements pour satisfaire de nouveaux usages). Il est donc bien légitime d'établir une règle de dégressivité des seuils (seuils plus bas pour les collectivités produisant plus de 2Mm³) en plus de l'argument relatif à la correction du biais « plus on prélève, plus on peut accroître les usages (implicitement par accroissement des prélèvements) » .
- Par ailleurs, un effort de sobriété de -15% a été uniformément appliqué (Plan Eau) aux valeurs de prélèvement. Cette valeur de 15% a été appliquée en référence à l'objectif retenu sur le bassin Rhône Méditerranée, et considérant qu'un nouvel usage de type industriel serait attendu à un niveau de sobriété plus élevé que le standard général national (l'usage AEP étant en tout état de cause privilégié sur les autres usages de l'eau).

L'appartenance à une ZRE n'interdit pas de nouveaux usages, elle les contraint. Soit le nouvel usage est raccordé à un système existant qui dispose de l'autorisation de prélèvement suffisante et des capacités structurelles adaptées au raccordement, et la localisation en ZRE est transparente (elle n'induit rien au plan procédural). Soit un prélèvement dans le milieu naturel est à prévoir, auquel cas celui-ci est soumis aux procédures IOTA, et son sort dépend de l'étude d'incidence sur la ressource en eau et de l'instruction des services. S'il est exact qu'en ZRE certaines communes ne peuvent plus se développer, il est aussi à noter que certaines le peuvent malgré leur appartenance à une ZRE. Les ZRE ne sont pas homogènes, et les prélèvements ne sont pas tous contraints en pratique.

L'application des seuils de sensibilité a donné lieu à un traitement cartographique présenté dans la suite de ce rapport. Les calculs sont réalisés à la maille communale (communes en tant que supports des prélèvements), en fonction de son appartenance ou pas à une zone de fragilité quantitative, et selon que les prélèvements à cette échelle excèdent ou non les 2 millions de mètres cubes, par application du seuil de sensibilité déduit de ces conditions aux volumes prélevés actuels diminués de 15%.

Par exemple, le « potentiel eau » déduit de l'application du seuil de sensibilité en zone de fragilité aux prélèvements existants qui seraient de 3 millions de mètres cubes est de 5.100 m³ issu du calcul suivant :

0,2% (seuil en zone de fragilité pour prélèvement > 2 Mm³) x 85% (sobriété) x 3 Mm³



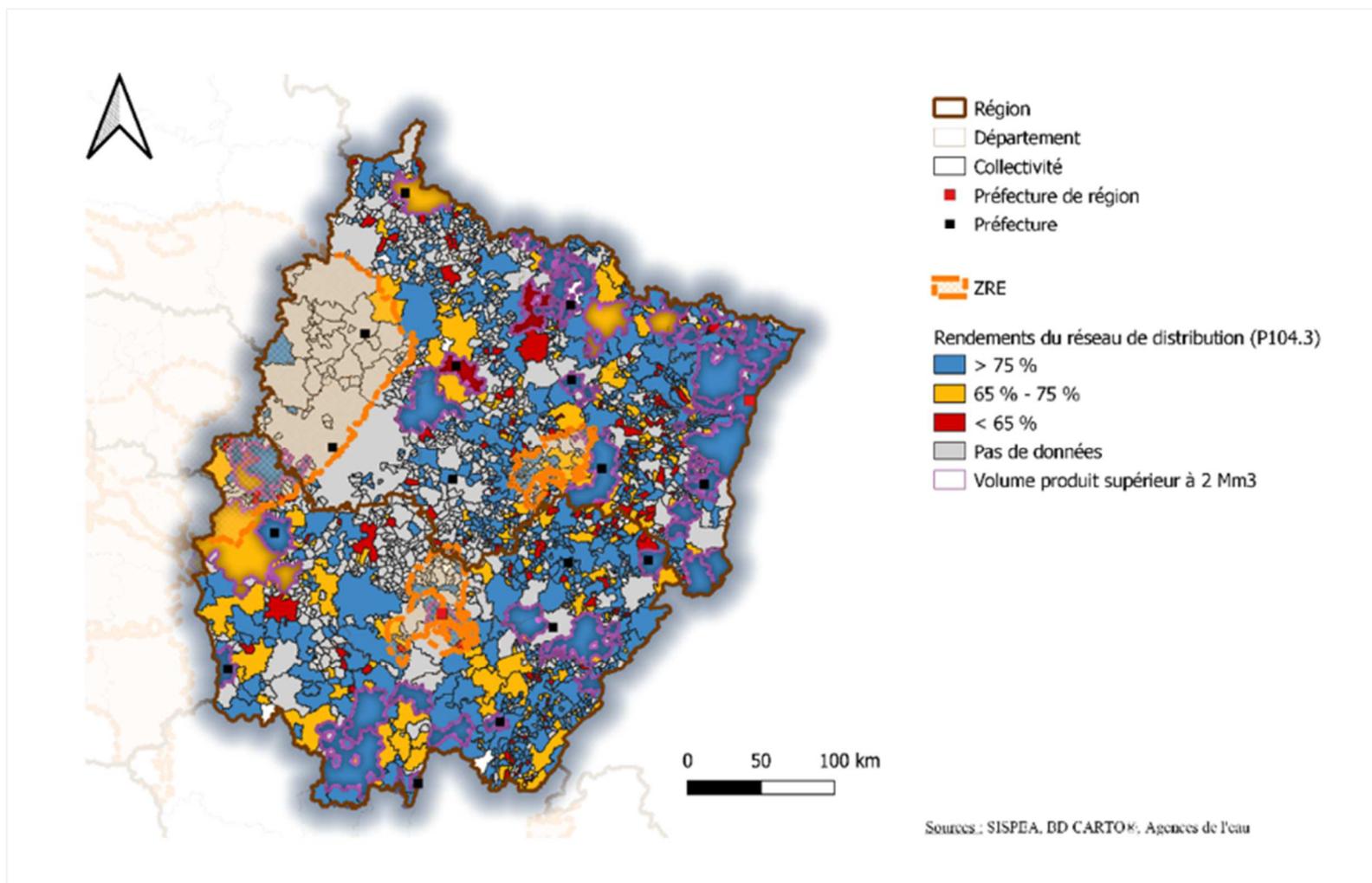


Figure 34: Illustration de la distribution géographique des rendements des réseaux AEP sur le périmètre d'étude

La figure 35 présente les valeurs de sensibilité (fixées selon la localisation en zone de fragilité, et le niveau de prélèvement actuel) appliquées sur chacun des prélèvements ESU/ESO pour l'eau potable (AEP) et l'eau industrielle (AEI) dans les deux régions :

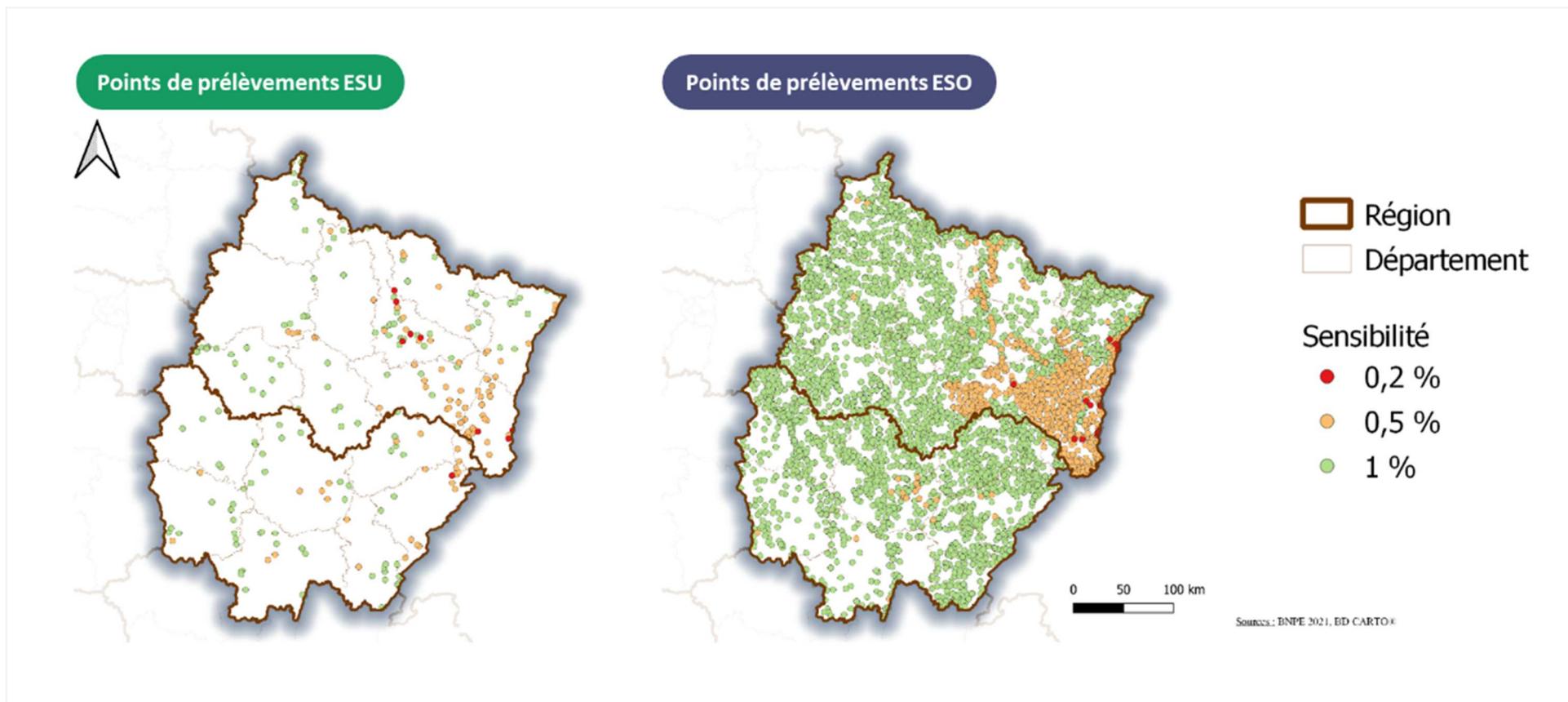


Figure 35: Ajustement des règles de sensibilité

3.1.3.4. Règles d'additionnalité et prise en compte indirecte des eaux patrimoniales

L'intérêt de la méthode de sensibilité consiste à réaliser l'analyse au voisinage de l'équilibre de gestion des systèmes existants de production AEP et AEI. Cela a deux implications majeures :

- **Règles d'additionnalité** : Même si dans l'absolu on ne peut pas considérer les systèmes AEP et AEI comme des compartiments entièrement disjoints (puisqu'ils prélèvent dans les mêmes masses d'eau patrimoniales), on peut néanmoins faire l'hypothèse simplificatrice que les systèmes AEP et AEI sont indépendants au voisinage de leurs équilibres de gestion respectifs. Il devient ainsi possible d'additionner les potentiels hydrogène équivalents calculés à partir des valeurs de sensibilité appliqués sur les prélèvements AEP et AEI.
- **Prise en compte indirecte des eaux patrimoniales** : Les règles de sensibilité ne s'appliquent que pour les prélèvements AEP et AEI. Comment les ressources patrimoniales sont-elles alors comptabilisées ? Dans la mesure où on se place au voisinage de l'équilibre de gestion des systèmes AEP/AEI existants, on respecte de facto l'équilibre existant sur les masses d'eau patrimoniales. Que les volumes mobilisables calculés à partir de l'analyse de sensibilité soient in fine prélevés sur des réseaux AEP ou AEI ou via des forages ESO ou captages ESU a finalement peu d'importance. Quand on pense aux ressources patrimoniales, on pense instinctivement en termes de volumes prélevables mais on a vu qu'une telle méthode d'étude était hors de portée dans le contexte de l'étude. Dans la méthode retenue, on ne sait pas dire s'il est possible de prélever davantage que les volumes indiqués. En revanche, la méthode d'analyse de sensibilité au voisinage de l'équilibre de gestion garantit par construction que les prélèvements des volumes mobilisables ne déstabilisent pas les systèmes existants, quels que soient les points de prélèvement (AEP, AEI, ESO, ESU)

3.1.3.5. Choix des mailles pertinentes

La maille pertinente retenue est celle des départements.

En effet, aux échelles plus réduites, les limites sont les suivantes :

- A la maille communale
 - Pour les eaux destinées à l'alimentation en eau potable (AEP), l'indice de confiance est faible à cause de l'extra-territorialité des prélèvements AEP. Les zones à fort potentiel sont très disséminées géographiquement sur le territoire.
 - Pour les eaux industrielles (AEI) : l'indice de confiance est plus important à la maille communale que pour l'AEP car les réseaux AEI ne sont présents qu'à certains endroits du territoire, contrairement aux réseaux AEP qui couvrent la totalité du territoire. Les zones à fort potentiel sont très disséminées géographiquement sur le territoire.
- A la maille des EPCI, par agrégation des données communales :
 - Pour les eaux destinées à l'alimentation en eau potable (AEP), l'indice de confiance est moyen, au vu de l'extraterritorialité des prélèvements,
 - Pour les eaux industrielles (AEI) : l'indice de confiance est plus important que pour l'AEP car les réseaux AEI ne sont présents qu'à certains endroits du territoire, contrairement aux réseaux AEP qui couvrent la totalité du territoire. On y remarque quelques territoires singuliers où il y a déjà une forte implantation industrielle (Strasbourg, Chalampé, Tavaux...).



La figure ci-dessous traduit le **potentiel équivalent à l'échelle départementale**, par tranche de 50 MW, avec deux hypothèses : un prélèvement de 15 litres d'eau par kilogramme d'hydrogène produit (L/kgH₂) et un prélèvement de 30 litres d'eau par kilogramme d'hydrogène produit.

Les sources des données sont la Banque Nationale des Prélèvements en Eau (BNPE) en 2021, la BD Carto[®], la Dorsale hydrogène européenne (European Hydrogen Backbone - EHB) et les agences de l'eau.

L'indice de confiance pour le présent calcul du potentiel est fort à la maille départementale, le problème de l'extraterritorialité des prélèvements AEP (alimentation en eau potable) devient marginal à la maille départementale.

Le calcul met en évidence de fortes disparités de potentiel de production d'hydrogène entre les territoires, pour chacune des deux hypothèses, les variations pouvant aller du simple au double.



Puissance équivalente pour une base de 15 L/kgH_2 , à partir des prélèvements d'eau potable par département, ajustée par la sensibilité

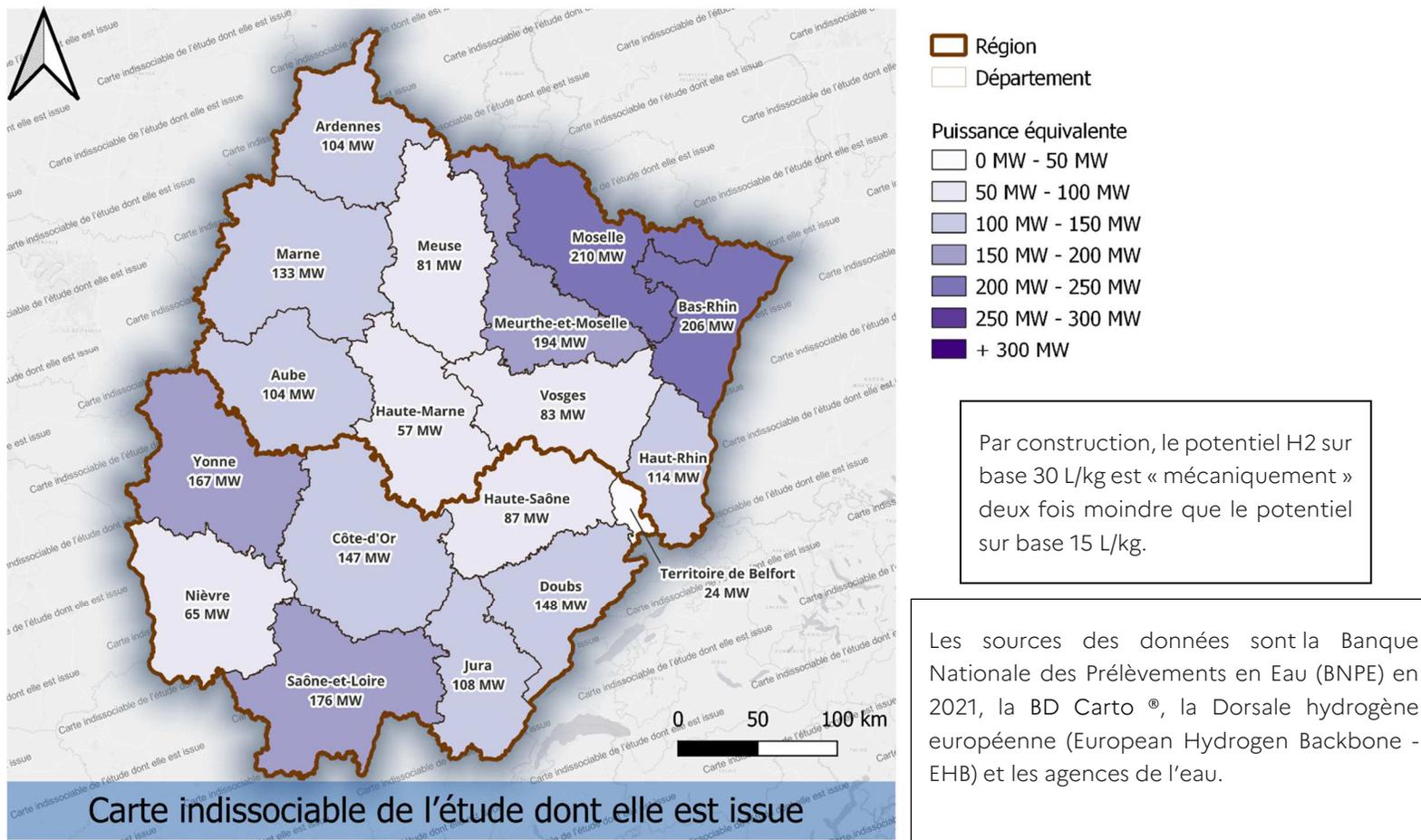
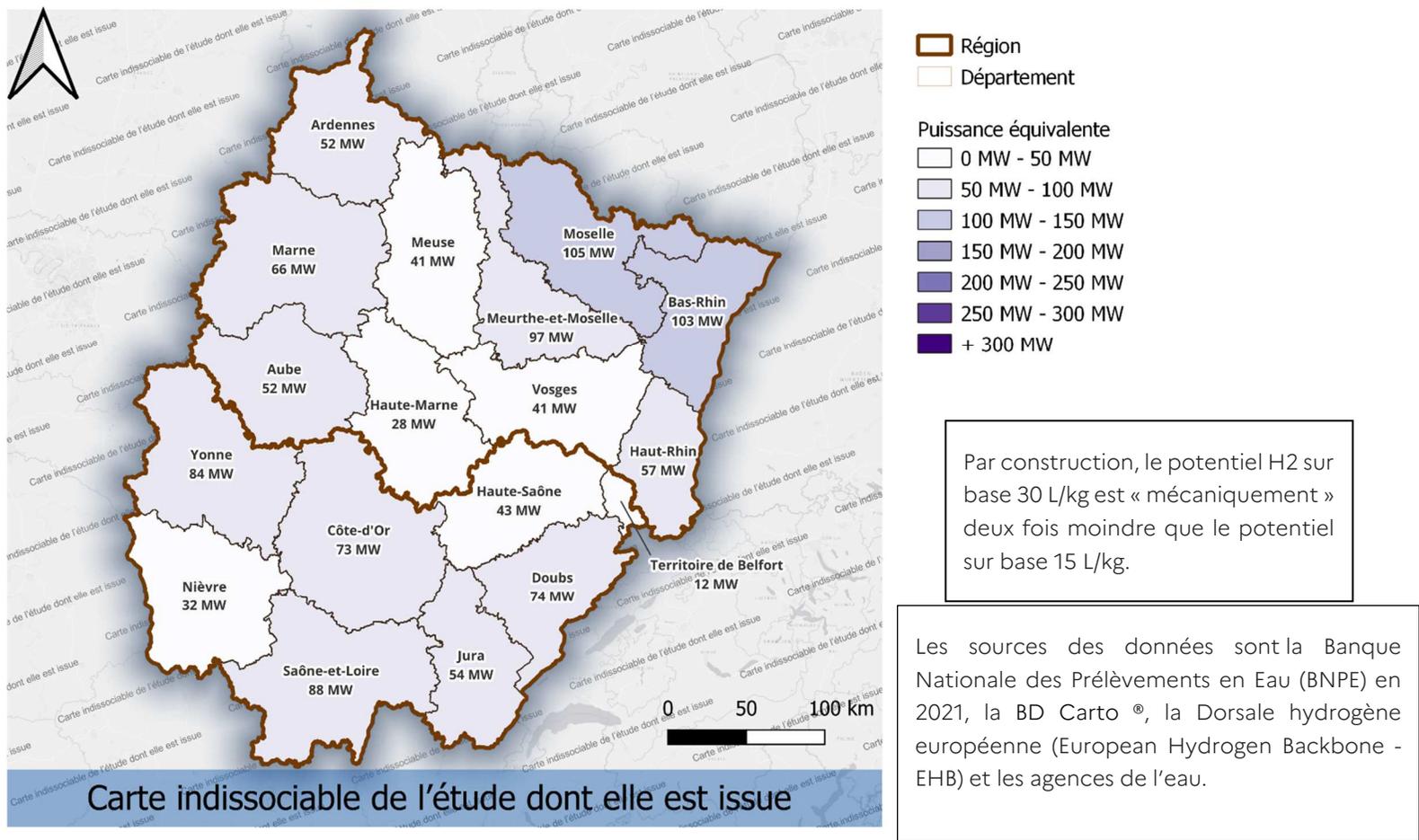


Figure 36: Potentiel hydrogène équivalent à l'échelle départementale sur base 15 L/kg H2

Puissance équivalente pour une base de 30 L/kgH₂, à partir des prélèvements d'eau potable par département, ajustée par la sensibilité



- Région
 - Département
- Puissance équivalente**
- 0 MW - 50 MW
 - 50 MW - 100 MW
 - 100 MW - 150 MW
 - 150 MW - 200 MW
 - 200 MW - 250 MW
 - 250 MW - 300 MW
 - + 300 MW

Par construction, le potentiel H2 sur base 30 L/kg est « mécaniquement » deux fois moindre que le potentiel sur base 15 L/kg.

Les sources des données sont la Banque Nationale des Prélèvements en Eau (BNPE) en 2021, la BD Carto®, la Dorsale hydrogène européenne (European Hydrogen Backbone - EHB) et les agences de l'eau.

Figure 37: Potentiel hydrogène équivalent à l'échelle départementale sur base 30 L/kg H2

Pour les eaux destinées à l'alimentation en eau potable, l'échelle départementale permet un indice de confiance fort à la maille départementale (le problème de l'extra-territorialité des prélèvements AEP devient marginal à la maille départementale). Elle met en évidence les fortes disparités de potentiel hydrogène équivalent entre les territoires (variations du simple au double).

Pour les eaux industrielles, les cartes à l'échelle départementale reflètent les zones d'implantation industrielles qui sont déjà fortement consommatrices d'eau, et qui sont de ce fait installées dans des zones où la ressource en eau a été considérée existante lors de l'installation des activités.

A noter que l'utilisation des prélèvements pour définir l'indice de confiance entraîne des biais. Notamment, il semble que les départements les moins industrialisés et les moins peuplés présentent les puissances équivalentes les plus faibles. Pour expliquer cela, prendre en compte les prélèvements eau par équivalent habitant avait été envisagé, cette hypothèse a été confrontée à des interprétations complexes et difficiles à organiser dans le cadre de l'étude, abandonnée en conséquence. En effet, de fortes disparités de niveau de prélèvement par habitant sont relevées : par exemple 215 m³/hab/an dans l'Yonne (environ 340 000 habitants), contre moins de 60 en Moselle (Environ 1 036 000 habitants). Les disparités s'accroissent en rapportant les prélèvements au nombre d'habitants. Il a ainsi été considéré plus approprié de raisonner sur les prélèvements en valeur absolue sans s'attacher à la population, traduisant peu ou prou une capacité des ressources à les satisfaire actuellement (notamment avec l'application des -15 % de sobriété). La dimension prospective sur la capacité des ressources en eau à continuer à les satisfaire du fait du changement climatique serait un élément complémentaire opportun.

En focalisant sur la ressource en eau, des « études de volumes prélevables » permettraient de déterminer les volumes d'eau encore disponibles et exploitables pour chaque aquifère et pour chaque cours d'eau des deux régions. Toutefois, à ce stade de la réflexion, il a été considéré que le déploiement de la filière hydrogène ne justifie pas que l'étude des volumes prélevables, qui porterait sur les projets à l'échelle massive ou intermédiaire, répartis de façon non uniforme sur le territoire, soit engagée sur la totalité du territoire d'étude.

3.1.3.6. Limites d'utilisation des données « eau » pour l'étude

Les limites d'utilisation des données « eau » pour la présente étude sont les suivantes :

- Les données se rapportant aux services d'eaux destinées à l'alimentation en eau potable (AEP) et/ou à l'usage industriel (AEI) ne peuvent être facilement, par un traitement automatique à l'échelle du territoire d'étude, reliées à la masse d'eau de prélèvement (ESO ou ESU), rendant délicat le lien entre les besoins en eau d'un projet industriel à un endroit donné, et la sensibilité de la (des) masse(s) d'eau ressource(s) actuellement mobilisées, importante au regard de l'application de la Directive Cadre sur l'Eau. En revanche, la donnée a été mobilisée dans les études de cas.
- L'extraterritorialité des données sur certains secteurs géographiques, notamment pour les prélèvements d'eau à usage humain (AEP), rend difficile l'analyse de l'incidence des besoins en eau sur un secteur géographique précis, rattaché à une entité de gestion (EG).
- La marge d'erreur du calcul de potentiel hydrogène équivalent augmente en réduisant le périmètre d'agrégation. Travailler à l'échelle départementale moyenne la disponibilité de la ressource en eau de façon importante (plus fiable mais beaucoup moins précis) alors que dans la réalité la disponibilité de l'eau est beaucoup plus hétérogène au sein d'un même département.



Territorialisation des données et extra-territorialité des prélèvements

Les prélèvements destinés à l'alimentation en eau potable d'une collectivité peuvent être extérieurs à la dite-collectivité. Par exemple, une source peut être implantée sur une commune A (ou une entité de gestion A) et servir à alimenter les habitants de la commune B (ou une entité de gestion B), voisine ou non, qui ne dispose pas de sa propre ressource en eau (qualité ou quantité incompatibles avec les besoins humains). L'utilisation de l'eau d'une commune par une autre mobilise la notion d'extra-territorialité des prélèvements.

Ainsi, un prélèvement extra-territorial est un prélèvement exercé par l'entité de gestion sur un territoire qui n'est pas le sien.

Pour autant, les données disponibles sur les prélèvements d'eau sont gérées différemment par les bases nationales de données SISPEA et BNPE :

- Dans SISPEA : la déclaration des prélèvements est faite par PRPDE (collectivité organisatrice de la gestion d'alimentation en eau potable), ici la commune ou l'entité de gestion B,
- Dans BNPE : la déclaration des prélèvements se fait à la maille communale, au lieu de prélèvement, ici la commune ou l'entité de gestion A.

Les données à la maille communale intéressent le niveau de prélèvement AEP sur le territoire de chaque commune. Le traitement cartographique permet de déterminer si les prélèvements sont en ZRE (la zone de répartition des eaux (ZRE) étant caractérisée par une liste de communes) et/ou en zone de fragilité quantitative (ESO ou ESU). Elles permettent d'appliquer les règles de sensibilité attachées au lieu de prélèvement ainsi qu'un calcul de « sensibilité » / « potentiel théorique ». Toutefois, le résultat de ce calcul ne peut pas être interprété en matière de sensibilité de l'AEP car le périmètre des prélèvements peut être différent de celui de la distribution d'eau.

L'agrégation des données communales à la maille EPCI permet d'appliquer les règles de sensibilité attachées au lieu de prélèvement. De nouveau, le résultat de ce calcul se heurte à une difficulté d'interprétation en matière de sensibilité de l'AEP, car le périmètre des prélèvements peut encore être différent de celui de la distribution d'eau.

L'agrégation des données communales à la maille départementale permet de lisser la difficulté liée à l'extra-territorialité des prélèvements, marginale à l'échelle départementale, et de faire l'approximation que les volumes prélevés servent le territoire pour l'usage AEP. Elle permet de déterminer un seuil de « sensibilité » du territoire à des besoins en AEP pour un nouvel usage. A partir de cette agrégation, il est possible d'estimer le potentiel de déploiement de l'hydrogène par alimentation à partir des systèmes AEP.

À noter que les collectivités déclarantes sur SISPEA représentent ~70% de la population des régions BFC et GE. Ces données sont donc moins exhaustives que la BNPE.

- A l'échelle du périmètre de l'étude, l'articulation entre les projets de production H2 intermédiaires et massifs et la sensibilité des ressources en eau ne peut que s'en tenir à cette représentation cartographique des zones de fragilité quantitative et à l'expression de ce point d'alerte. Les procédures existantes (ICPE, IOTA) et les exigences de concertation permettent de préciser la donnée et de traiter l'impact quantitatif local significatif dans le cas des projets intermédiaires et massifs.
- Les études de cas ne permettent pas de trancher assurément que, sur le périmètre d'étude, le potentiel H2 ne sera pas altéré par des situations critiques liées aux rejets des systèmes de production d'hydrogène à l'étiage. Mais des faisceaux d'indices permettent toutefois de considérer qu'il n'y a pas lieu de corriger les potentiels définis (zones de développement hydrogène à proximité de « grands » cours d'eau, mobilisation de systèmes d'assainissement, le cas échéant stockages tampons simples à mettre en œuvre).



3.2. Résultats de l'étude de sensibilité : approche cartographique et études de cas

3.2.1. Approches cartographiques

3.2.1.1. Zones en fragilité quantitative

Les deux cartes suivantes situent les projets identifiés de production d'hydrogène (dorsales H2 2030 et 2040, sites de production de chaque taille (diffus, intermédiaire et massif)) et permettent de localiser :

- Les masses d'eau souterraines en mauvais état quantitatif (« état pas bon ») : nappe des Grès du Trias au sud de la faille de Vittel (FRCG104) en Grand-Est et Alluvions de la Savoureuse (FRDG362), Alluvions plaine de la Tille (FRDG387), Alluvions nappe de Dijon sud (FRDG171) en Bourgogne-Franche-Comté,
- Les zones de fragilité quantitative des ressources en eau, souterraines et superficielles, qui comprennent :
 - i. Sur le bassin Rhin-Meuse : les zones fragiles et prioritaires pour l'accompagnement des démarches de gestion quantitative de la ressource en eau, c'est-à-dire les zones avec un forte pression de prélèvements, les zones fragiles avec baisse significative des débits ou niveau de nappe périodiquement très bas, et les zones fragiles en lien avec la qualité.
 - ii. Sur le bassin Rhône-Méditerranée-Corse : les masses d'eau nécessitant des actions de préservation du bon état ou de résorption des déséquilibres.
 - iii. Sur le bassin Seine-Normandie : les secteurs à l'équilibre quantitatif fragile, sur les eaux superficielles.
 - iv. Sur le bassin Loire-Bretagne : les sous-bassins dans lesquels intervient un plafonnement des prélèvements en période de basses eaux.
 - v. Les différences de représentation sont liées aux approches différentes suivant les agences de l'eau/SDAGE/grands bassins.
 - vi. Les zones de répartition des eaux (ZRE), qui caractérisent les ressources en eau souterraines ou superficielles en pression quantitative, ne sont pas indiquées ici car :
 1. Leur multiplicité rendrait la carte peu lisible,
 2. Leur identification est considérée par les agences de l'eau comme moins pertinente que les masses d'eau en fragilité quantitative, plus ciblées.



La figure ci-dessous présente les projets hydrogène identifiés à ce jour et les masses d'eau souterraines en mauvais état quantitatif sur le territoire d'étude pour faire le lien entre le développement hydrogène et la fragilité de la ressource en eaux souterraines.

Les sources des données sont la Banque Nationale des Prélèvements en Eau (BNPE) en 2021, la BD Carto®, la Dorsale hydrogène européenne (European Hydrogen Backbone - EHB) et les agences de l'eau.

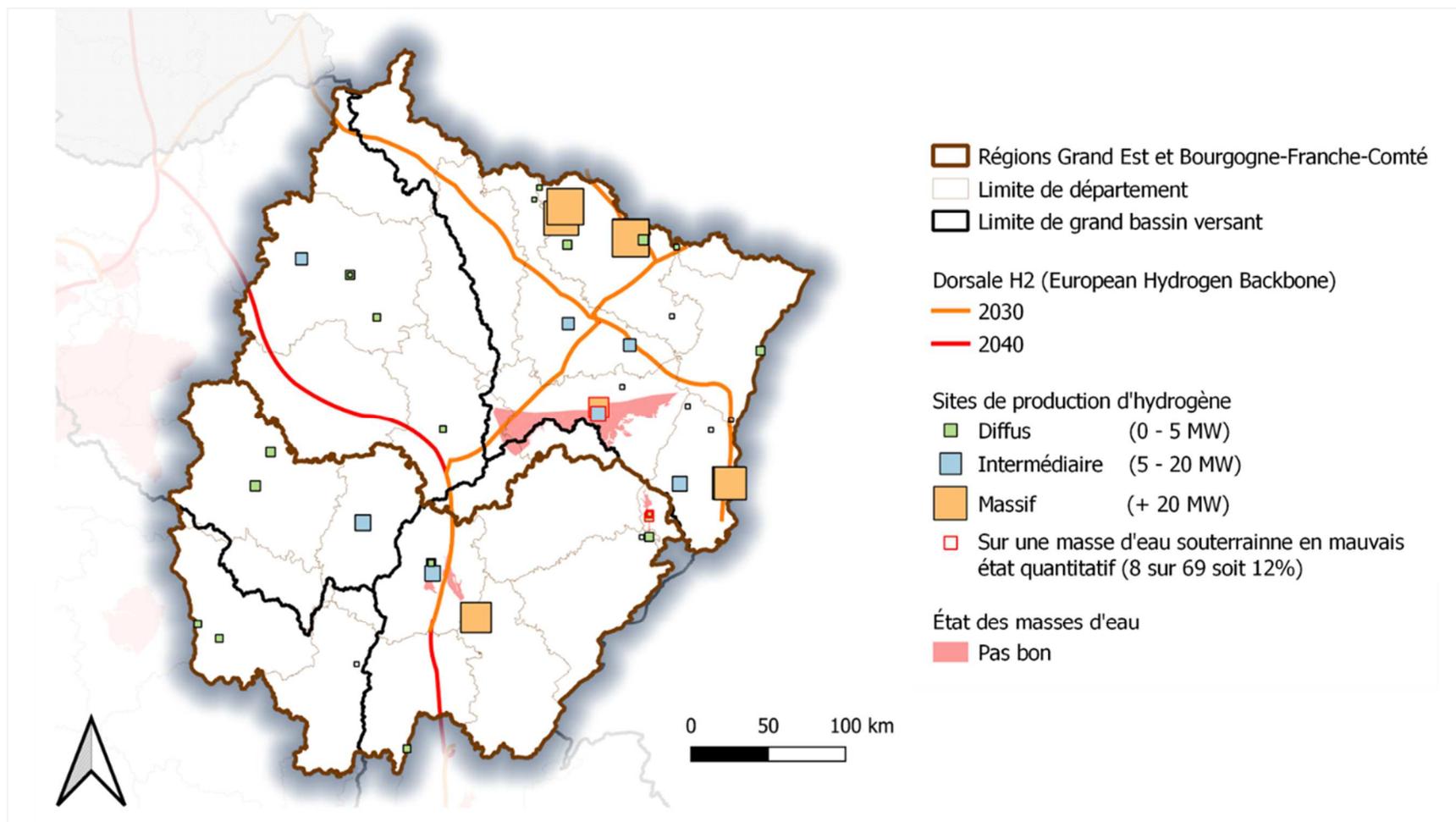
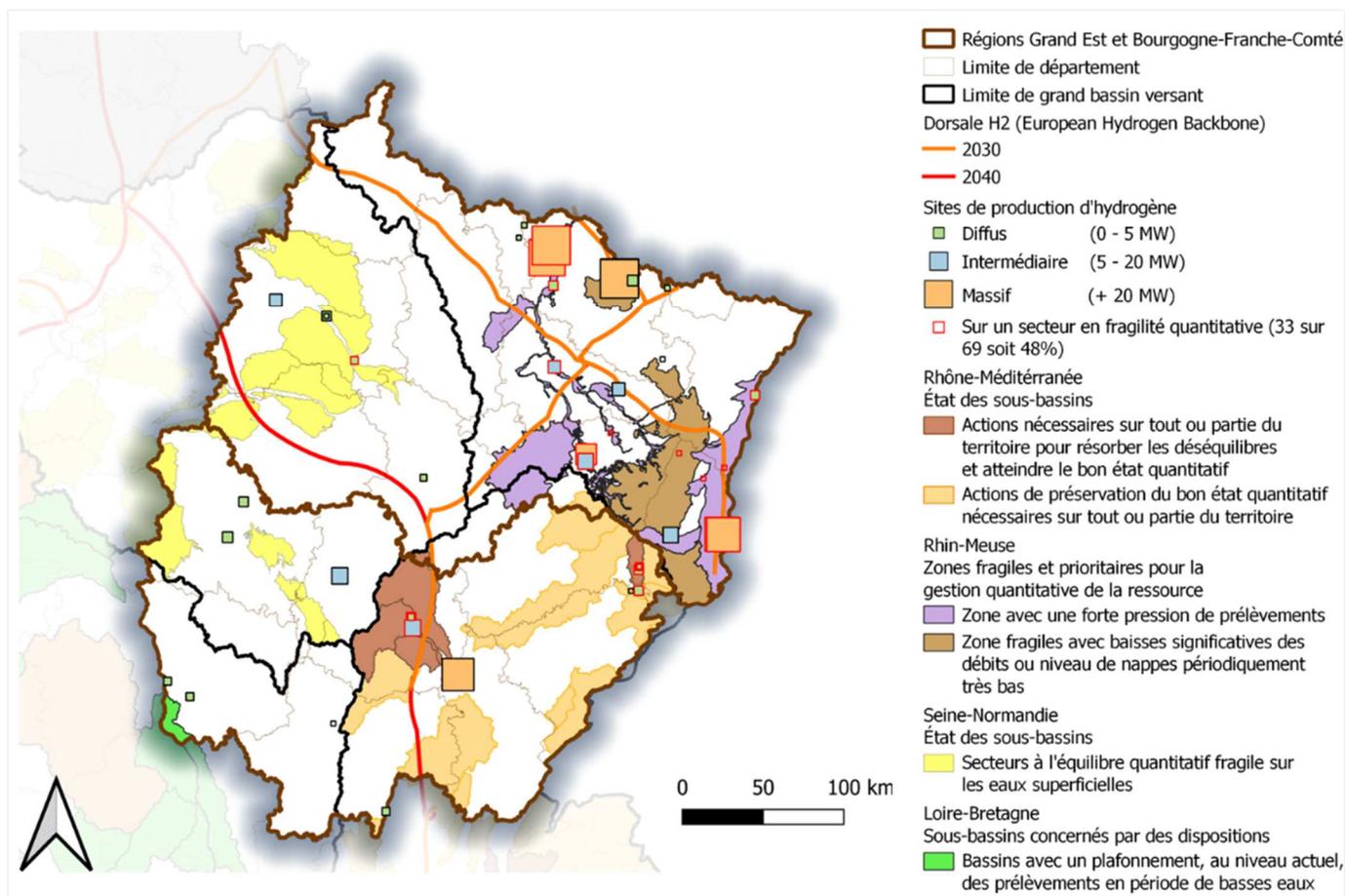


Figure 38: Carte des projets hydrogène annoncés vis-à-vis des masses d'eau souterraines en mauvais état quantitatif



Nota : Le point correspondant à la plateforme d'Inovyn-Ineos à proximité de Dole dans le département du Jura produit un hydrogène résiduel (co-production), donc avec une consommation d'eau très réduite a priori (la consommation d'eau est affectée à l'activité principale du site et non à la production d'hydrogène).

Cette figure présente les projets hydrogène identifiés à ce jour et les secteurs de fragilité quantitative des ressources en eau, pour faire le lien entre le développement hydrogène et la fragilité de la ressource en eaux, en mettant en évidence la diversité d'approche de la fragilité dans chaque agence de l'eau/grand bassin versant.

Les sources des données sont la Banque Nationale des Prélèvements en Eau (BNPE) en 2021, la BD Carto®, la Dorsale hydrogène européenne (European Hydrogen Backbone - EHB) et les agences de l'eau.

Figure 39: Carte des projets hydrogène annoncés vis-à-vis des secteurs de fragilité quantitative des ressources en eau

3.2.1.2. Potentiel hydrogène équivalent aux échelles des départements

La première carte situe, à l'échelle du territoire d'étude, les résultats de l'estimation du potentiel de production d'hydrogène équivalent, à partir des prélèvements d'eau destinée à l'alimentation en eau potable, tout en respectant la priorité de prélèvement pour l'alimentation des populations, les modalités de réduction des prélèvements du Plan Eau (sécurité de -15% par rapport aux prélèvements actuels). Même si elle a été utilisée dans la méthodologie décrite au § 3.1.3, la compilation des données à l'échelle des EPCI, compétents en eau ou non, n'a pas été fournie sous forme de cartographie. Comme expliqué au § 3.1.3.6, elle ne permet de s'affranchir qu'en partie des limites de l'exercice liées à l'extraterritorialité des prélèvements (une source desservant une commune tout en provenant d'une autre commune, non desservie).

Les cartes sont réalisées à partir des données relatives à la gestion de l'eau, et à sa disponibilité, issues des bases de données nationales BNPE et BANATIC, de celles des agences de l'eau (AE), de celles de la dorsale hydrogène européenne (EHB = European Hydrogen Backbone). Les fonds de carte sont issus de BD Carto[®].

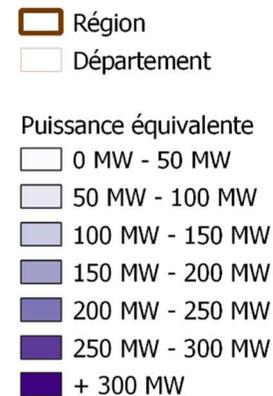
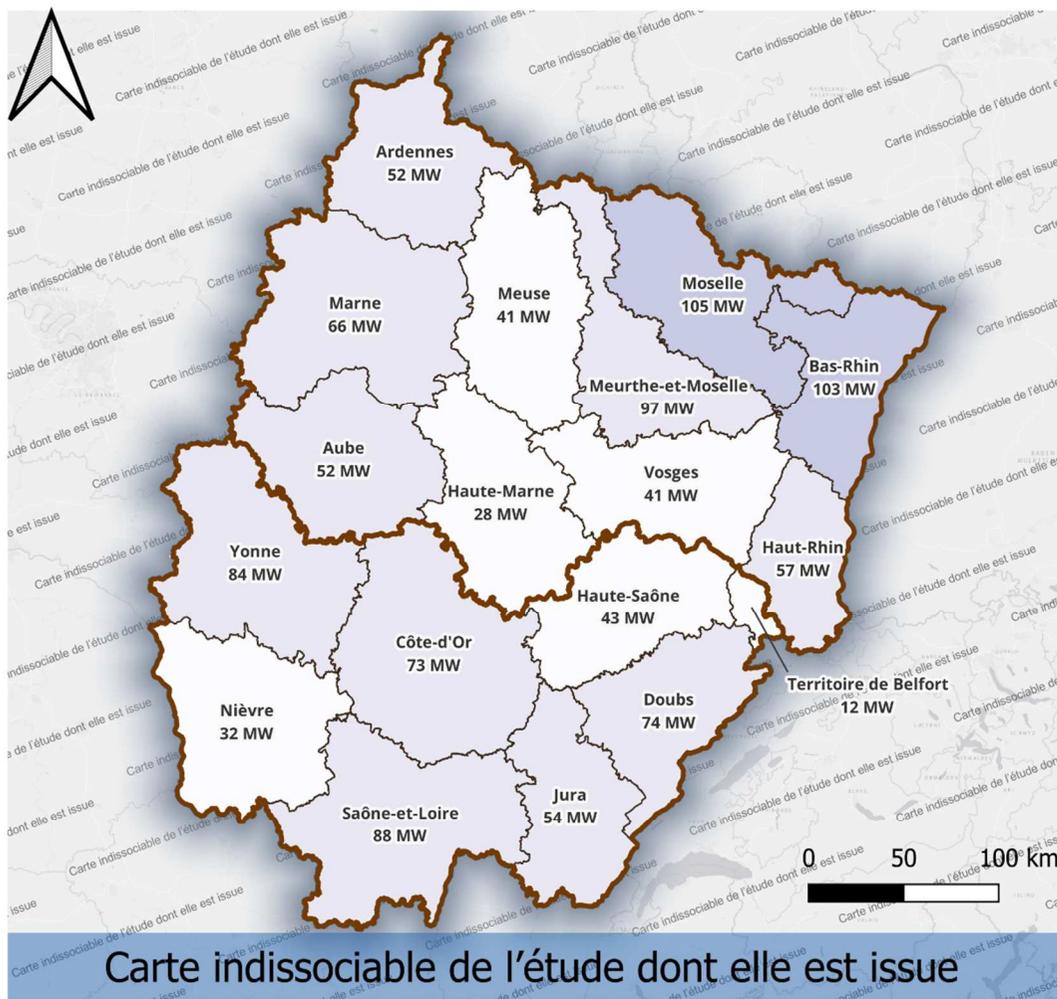
Nota : Il est possible de lire toutes les cartes avec une base de calcul de 15L/kgH₂, elles sont données en annexe 6. Il suffit pour cela de multiplier par deux chaque valeur de potentiel hydrogène équivalent (calcul strictement proportionnel)

Prise en compte des projets H₂ existants : Les valeurs de potentiel hydrogène équivalent (PHE) ne tiennent pas compte des projets déjà existants. En toute rigueur, il faudrait retrancher les puissances des unités déjà opérationnelles. Par exemple, la valeur de PHE dans le Territoire de Belfort, évaluée à 24 MW, est en réalité 22 MW si on tient compte du projet d'Hydynamics à Danjoutin.

Les trois cartes suivantes s'appuient sur la compilation des données à l'échelle des **départements** : par une utilisation des prélèvements existants pour l'alimentation en eau potable, par une utilisation des prélèvements existants pour les eaux industrielles, par une mise ensemble des deux destinations de prélèvements. Les puissances équivalentes de production d'hydrogène sont ainsi exprimées à l'échelle de chaque département en fonction de la disponibilité de la ressource en eau déjà prélevée dans le milieu naturel : la plus élevée étant représentée par le Bas-Rhin, la plus faible par le territoire de Belfort dont il convient de signaler qu'il dépend de prélèvements extraterritoriaux (même à l'échelle départementale, la question de l'extra-territorialité des prélèvements n'est pas totalement gommée).

A noter que, pour un département comme le Jura, la puissance équivalente est accrue du fait d'une seule industrie qui se situe à l'extrême nord du département. Le recours à des expertises ciblées d'acteurs institutionnels, qui sera nécessaire pour toute analyse fine de la faisabilité des projets hydrogène, met en évidence que le résultat brut, à l'échelle du département ne reflète pas l'hétérogénéité interne du périmètre départemental. La photographie du potentiel départemental ne restitue pas la réalité de détail de l'ensemble du département, ce qui constitue une des limites de l'exercice cartographique.

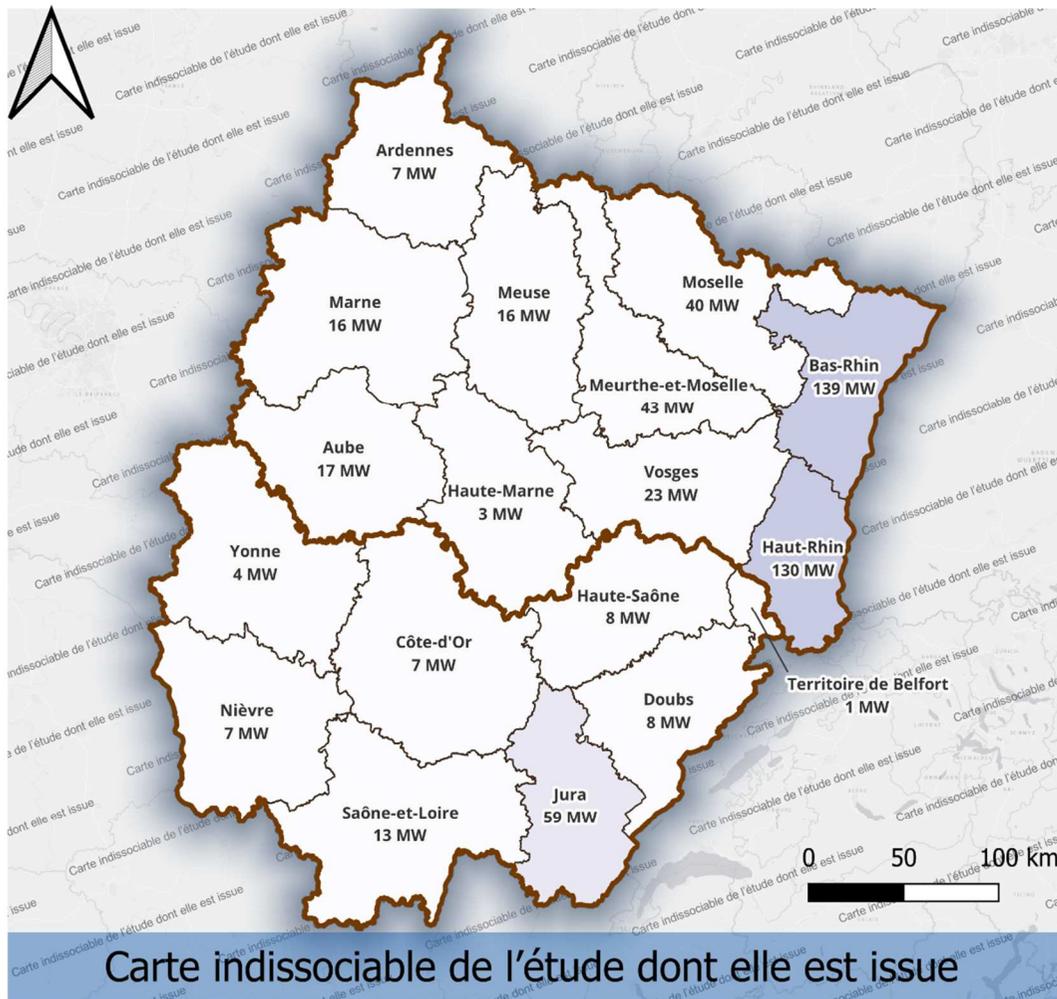




Cette figure présente le potentiel hydrogène équivalent (sur la base d'un prélèvement d'eau de 30L/kgH₂) avec une alimentation en eau assurée à partir des prélèvements AEP, à l'échelle des départements, ajusté par la sensibilité.

Les sources des données sont la Banque Nationale des Prélèvements en Eau (BNPE) en 2021, la BD Carto®, la Dorsale hydrogène européenne (European Hydrogen Backbone - EHB), les agences de l'eau et la base de données BANATIC.

Figure 40: Potentiel hydrogène équivalent (base 30L/kgH₂) à partir des prélèvements AEP à l'échelle des départements



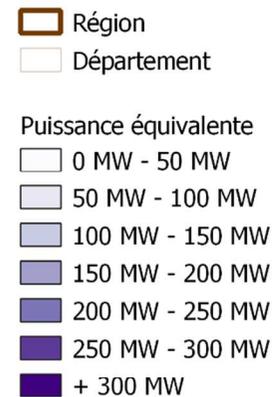
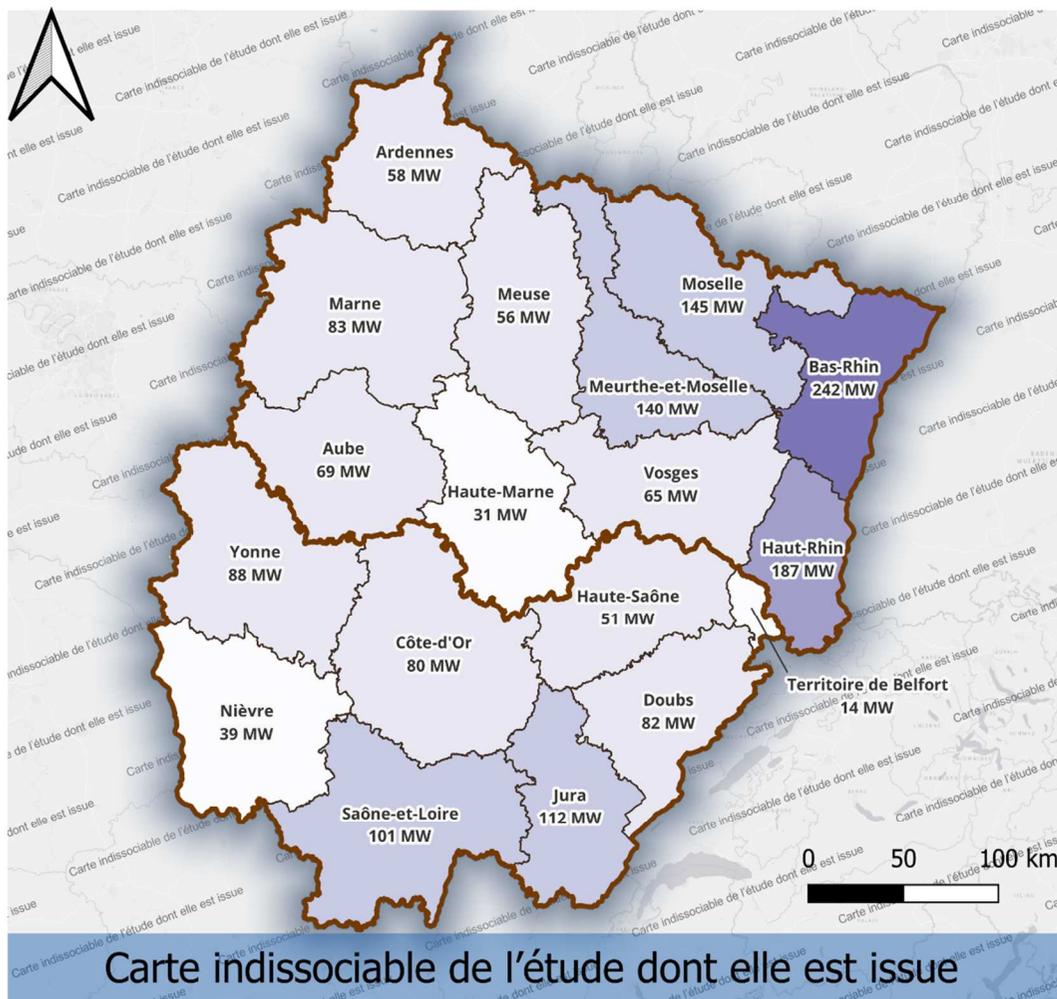
Région
 Département

Puissance équivalente
 0 MW - 50 MW
 50 MW - 100 MW
 100 MW - 150 MW
 150 MW - 200 MW
 200 MW - 250 MW
 250 MW - 300 MW
 + 300 MW

Cette figure présente le potentiel hydrogène équivalent (sur la base d'un prélèvement d'eau de 30L/kgH₂) avec une alimentation en eau assurée à partir des prélèvements AEI, à l'échelle des départements, ajusté par la sensibilité.

Les sources des données sont la Banque Nationale des Prélèvements en Eau (BNPE) en 2021, la BD Carto[®], la Dorsale hydrogène européenne (European Hydrogen Backbone - EHB) et les agences de l'eau.

Figure 41: Potentiel hydrogène équivalent (base 30L/kgH₂) à partir des prélèvements AEI à l'échelle des départements



Cette figure présente le potentiel hydrogène équivalent (sur la base d'un prélèvement d'eau de 30L/kgH₂) avec une alimentation en eau assurée à partir des prélèvements AEP et AEI, à l'échelle des départements, ajusté par la sensibilité.

Les sources des données sont la Banque Nationale des Prélèvements en Eau (BNPE) en 2021, la BD Carto®, la Dorsale hydrogène européenne (European Hydrogen Backbone - EHB), les agences de l'eau et la base de données BANATIC.

Figure 42: Potentiel hydrogène équivalent (base 30L/kgH₂) à partir des prélèvements AEP+AEI à l'échelle des départements

3.2.1.3. Intersection avec les zones privilégiées de développement de l'hydrogène

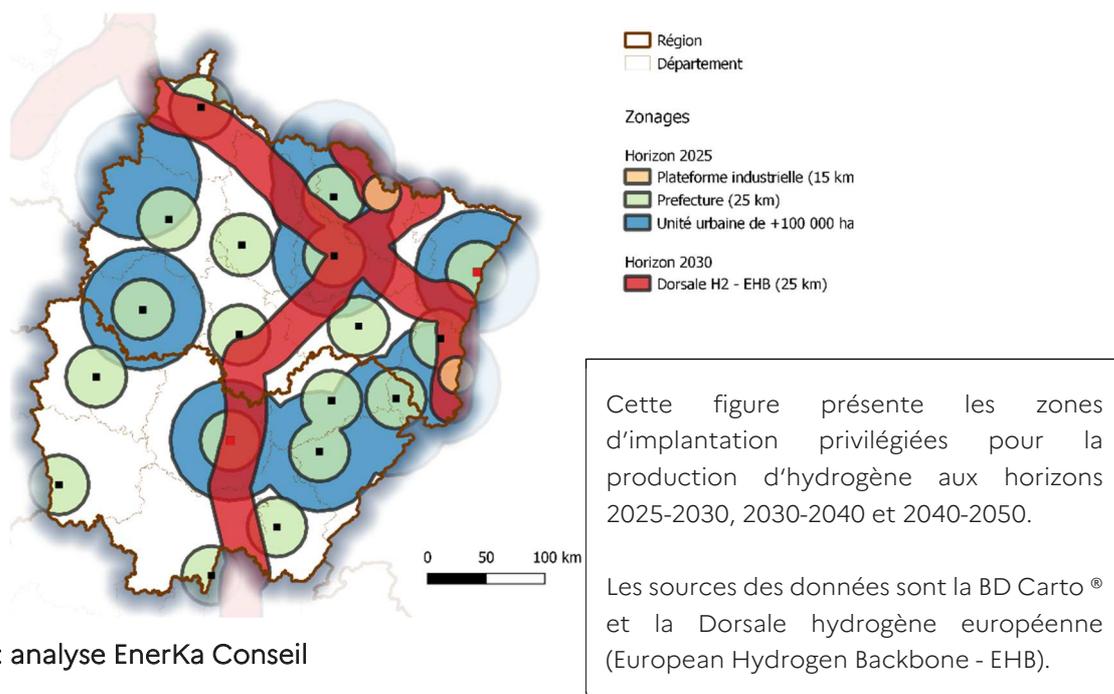
La première carte (figure 46) reprend la présentation des principaux axes (dorsales, plateformes industrielles et unités urbaines) de déploiement prioritaire de la production d'hydrogène indiqués dans le chapitre 2.1.

Les cartes suivantes permettent d'illustrer le recoupement entre le potentiel de production d'hydrogène, tel que déterminé dans le paragraphe précédent, sous forme de puissance équivalente, avec le développement prévisible de la production, aux échéances temporelles 2025-2030 (aux échelles départementale et régionale), puis 2030-2040 (idem), enfin 2040-2050 (uniquement à l'échelle régionale).

Il a été choisi d'appliquer le potentiel hydrogène équivalent à partir des prélèvements AEP+AEI (comme illustré par exemple en figure 45) pour la période 2040-2050.

Les zones en surbrillance y représentent les zones de déploiement telles que présentées sur la première carte : les zones de déploiement sont proches des centres de densité de consommations potentielles (plateformes industrielles, unités urbaines principales), puis suivent les dorsales. Les valeurs correspondent au potentiel calculé par EPCI, département ou région sur ces seules zones de déploiement (agrégation des données communales) ; ceci consiste à transposer la méthode à l'échelle des zones de déploiement plutôt qu'en suivant strictement les limites administratives des collectivités territoriales. Le potentiel croit dans le temps, et les zones « exclues » (zones grises) du potentiel « disponible » pour des usages hydrogène se restreignent au fur-et-à mesure de l'extension de la couverture hydrogène du territoire.

L'attrition du potentiel par sa réduction aux seules zones de déploiement prioritaire de l'hydrogène est modéré, ce qui s'explique aisément par le fait que ces zones coïncident largement avec les secteurs à fortes densités de prélèvements qui présentent encore théoriquement des capacités d'accès aux ressources en eau via les infrastructures existantes (AEP, AEI) ou directement (dans les limites définies par l'application des seuils de sensibilité aux prélèvements existants sur ces deux usages préexistants). Les ordres de grandeur pour les 2 régions sont de 1,5 GW environ, ce qui correspond à une capacité productive de l'ordre de 195.000 tonnes d'hydrogène par an.

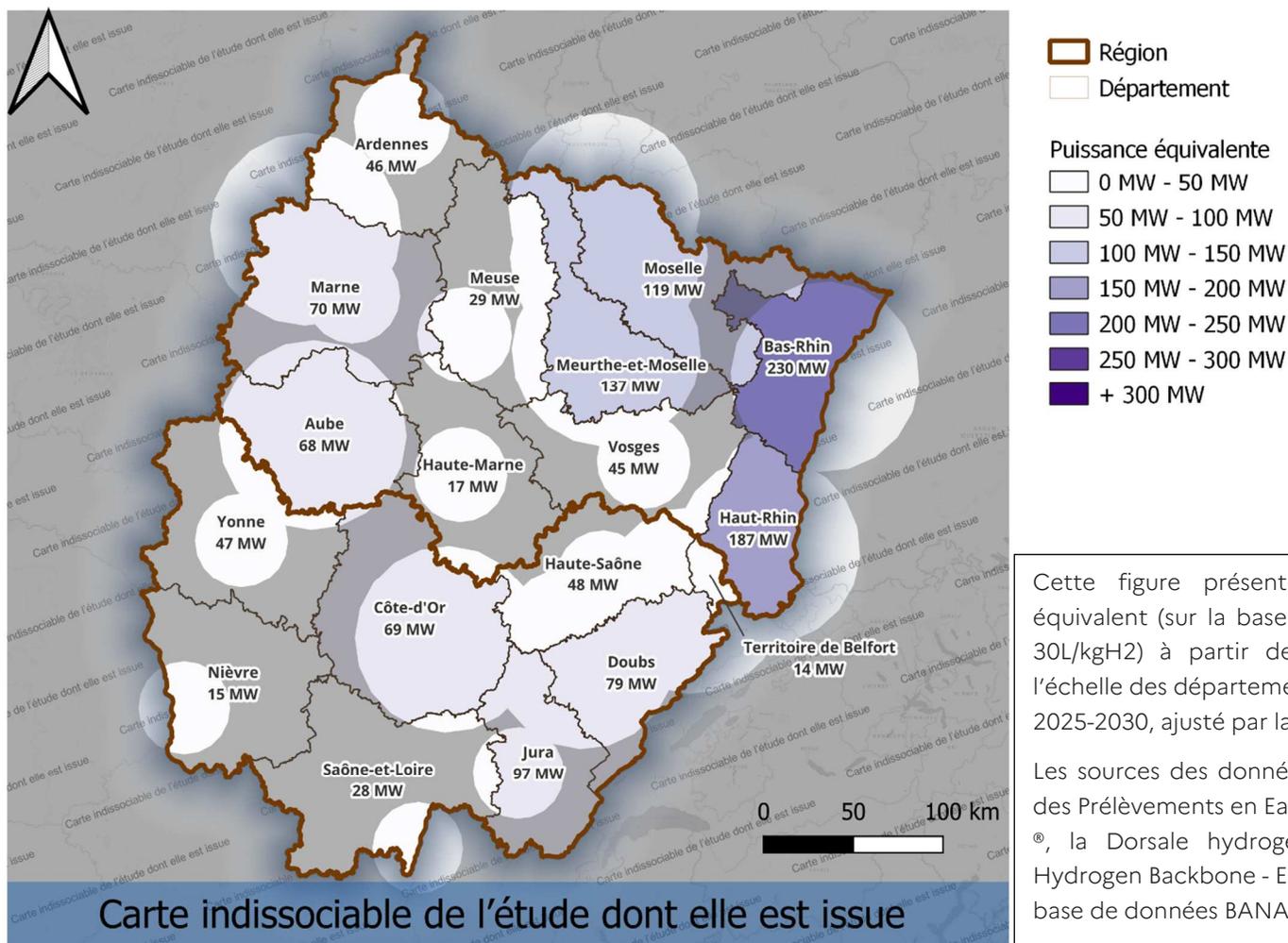


Source : analyse EnerKa Conseil

Figure 43: Zones d'implantation privilégiées pour la production d'hydrogène aux horizons 2025-2030, 2030-2040 et 2040-2050



Période 2025-2030

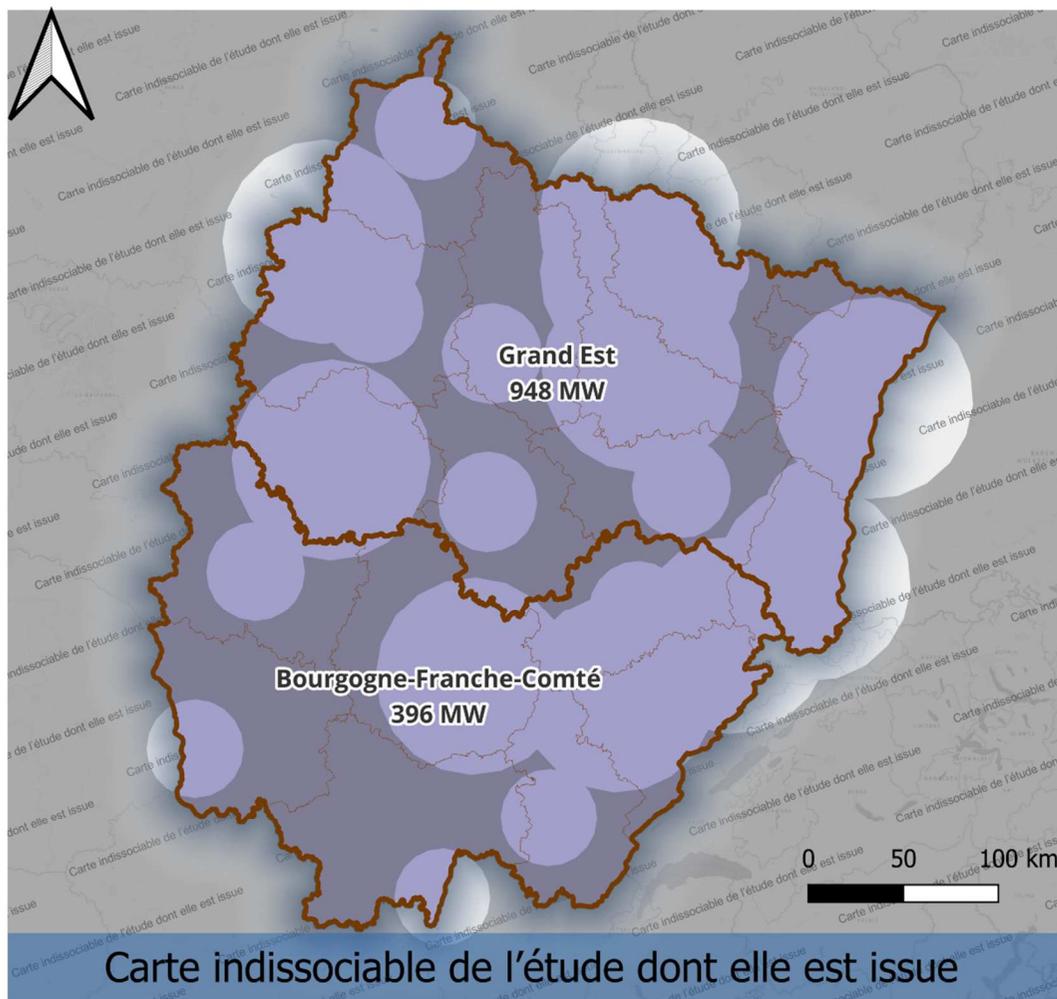


Cette figure présente le potentiel hydrogène équivalent (sur la base d'un prélèvement d'eau de 30L/kgH₂) à partir des prélèvements AEP+AEI à l'échelle des départements, identifié pour la période 2025-2030, ajusté par la sensibilité.

Les sources des données sont la Banque Nationale des Prélèvements en Eau (BNPE) en 2021, la BD Carto[®], la Dorsale hydrogène européenne (European Hydrogen Backbone - EHB), les agences de l'eau et la base de données BANATIC.

Figure 44: Potentiel hydrogène équivalent (base 30L/kgH₂) à partir des prélèvements AEP+AEI à l'échelle départementale, période 2025-2030

Période 2025-2030



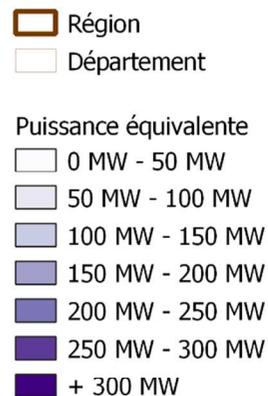
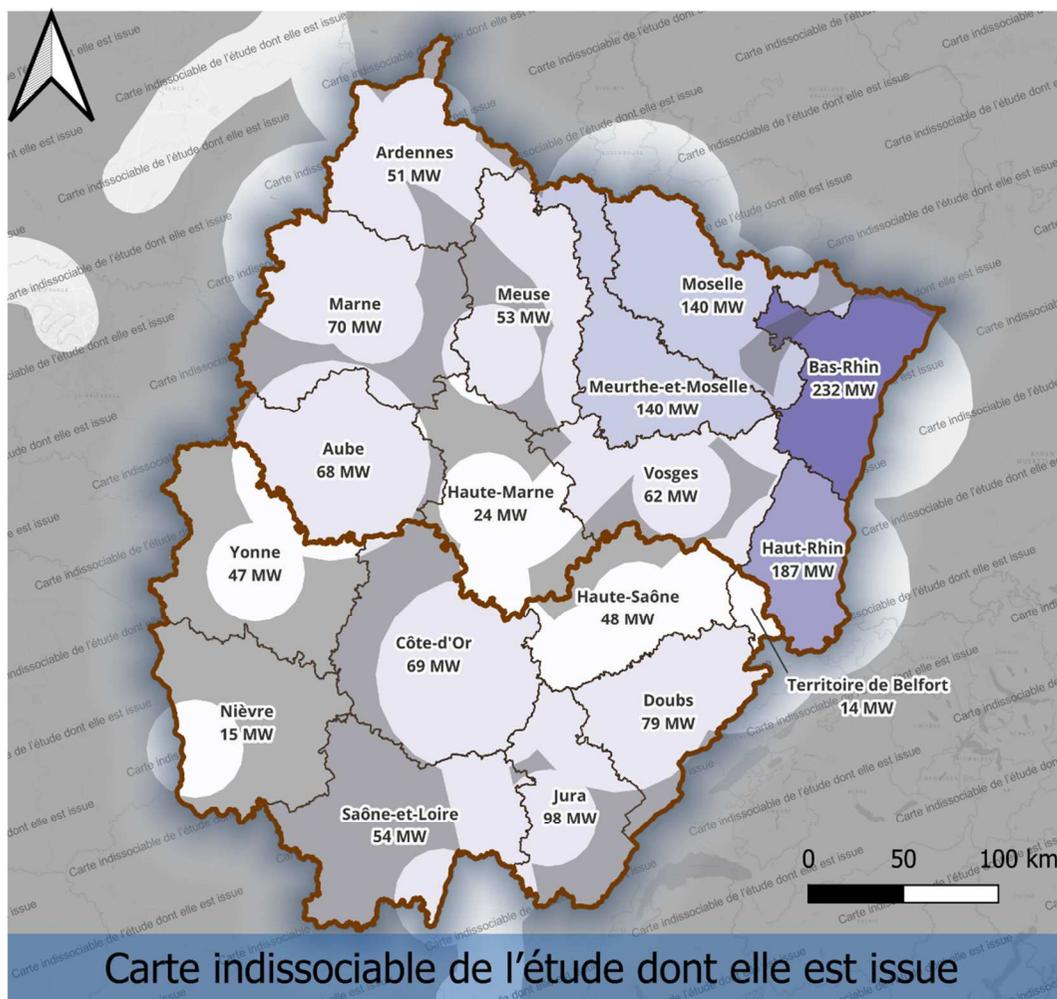
■ Région
□ Département

Cette figure présente le potentiel hydrogène équivalent (sur la base d'un prélèvement d'eau de 30L/kgH₂) à partir des prélèvements AEP+AEI à l'échelle des régions, identifié pour la période 2025-2030, ajusté par la sensibilité.

Les sources des données sont la Banque Nationale des Prélèvements en Eau (BNPE) en 2021, la BD Carto[®], la Dorsale hydrogène européenne (European Hydrogen Backbone - EHB), les agences de l'eau et la base de données BANATIC.

Figure 45: Potentiel hydrogène équivalent (base 30L/kgH₂) à partir des prélèvements AEP+AEI à l'échelle régionale, 2025-2030

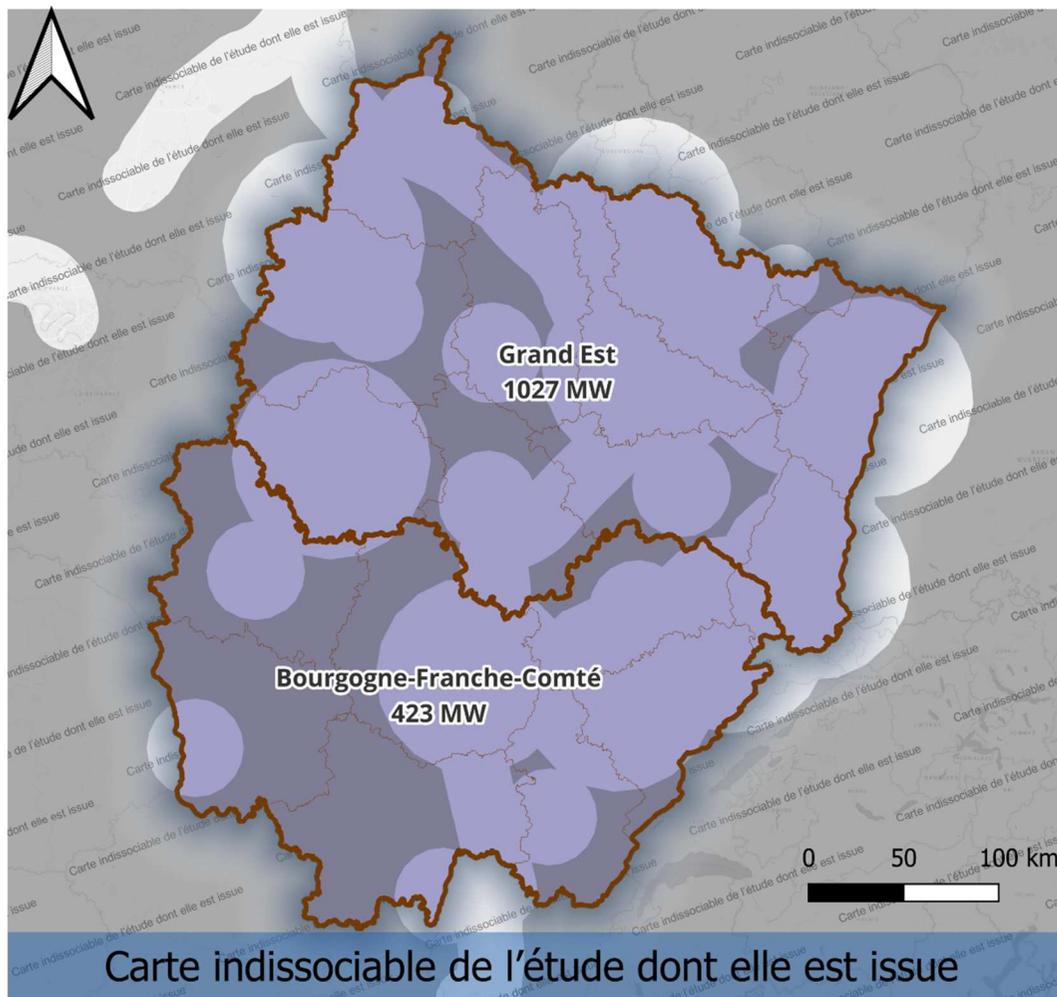
Période 2030-2040



Cette figure présente le potentiel hydrogène équivalent (sur la base d'un prélèvement d'eau de 30L/kgH₂) à partir des prélèvements AEP+AEI à l'échelle des départements, identifié pour la période 2030-2040, ajusté par la sensibilité. Les sources des données sont la Banque Nationale des Prélèvements en Eau (BNPE) en 2021, la BD Carto®, la Dorsale hydrogène européenne (European Hydrogen Backbone - EHB), les agences de l'eau et la base de données BANATIC.

Figure 46: Potentiel hydrogène équivalent (base 30L/kgH₂) à partir des prélèvements AEP+AEI à l'échelle départementale ; 2030-2040

Période 2030-2040



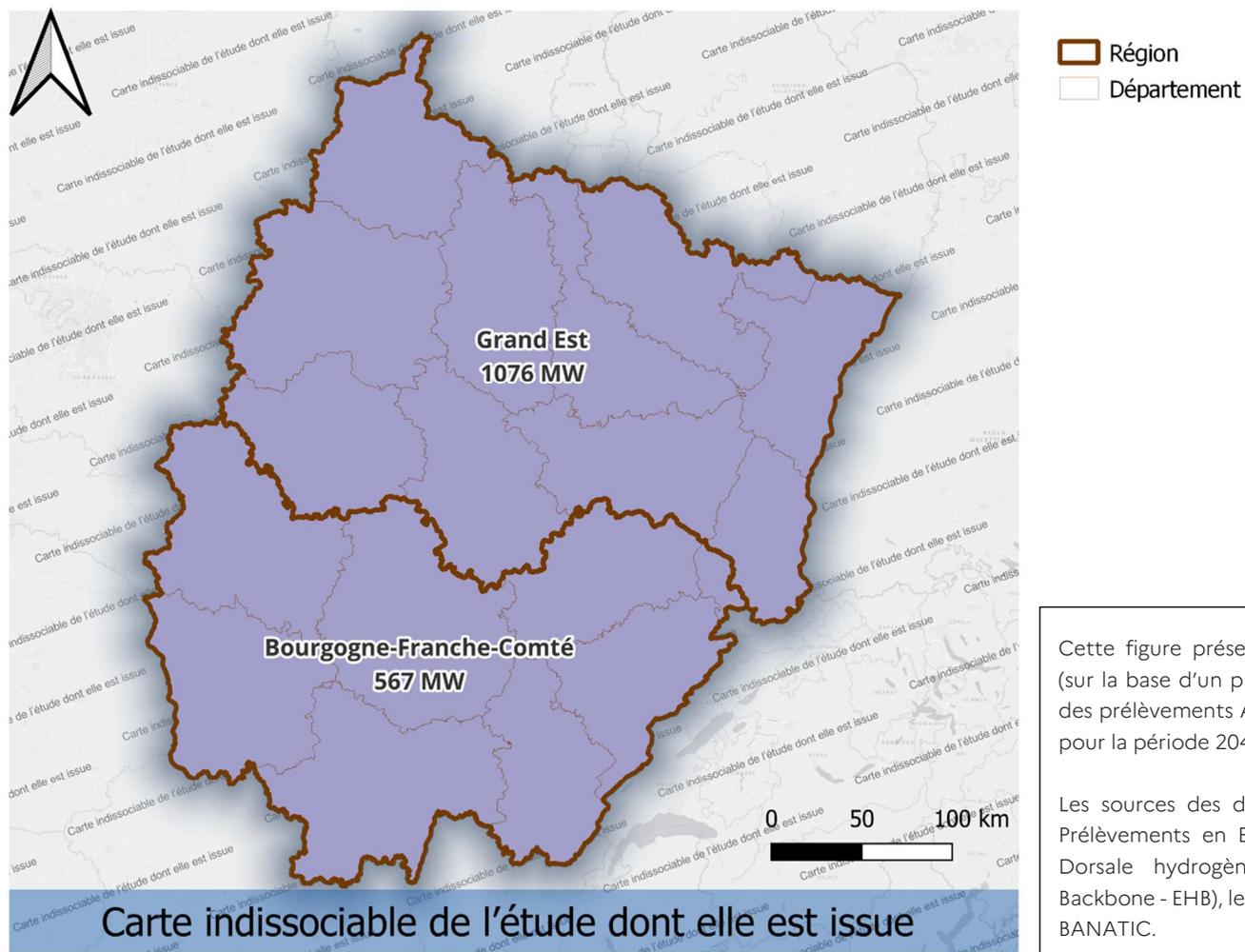
■ Région
□ Département

Cette figure présente le potentiel hydrogène équivalent (sur la base d'un prélèvement d'eau de 30L/kgH₂) à partir des prélèvements AEP+AEI à l'échelle des régions, identifié pour la période 2030-2040, ajusté par la sensibilité.

Les sources des données sont la Banque Nationale des Prélèvements en Eau (BNPE) en 2021, la BD Carto[®], la Dorsale hydrogène européenne (European Hydrogen Backbone - EHB), les agences de l'eau et la base de données BANATIC.

Figure 47: Potentiel hydrogène équivalent (base 30L/kgH₂) à partir des prélèvements AEP+AEI à l'échelle régionale, 2030-2040

Période 2040-2050



Cette figure présente le potentiel hydrogène équivalent (sur la base d'un prélèvement d'eau de 30L/kgH₂) à partir des prélèvements AEP+AEI à l'échelle des régions, identifié pour la période 2040-2050, ajusté par la sensibilité.

Les sources des données sont la Banque Nationale des Prélèvements en Eau (BNPE) en 2021, la BD Carto®, la Dorsale hydrogène européenne (European Hydrogen Backbone - EHB), les agences de l'eau et la base de données BANATIC.

Figure 48: Potentiel hydrogène équivalent (base 30L/kgH₂) à partir des prélèvements AEP+AEI à l'échelle régionale, 2040-2050

Synthèse

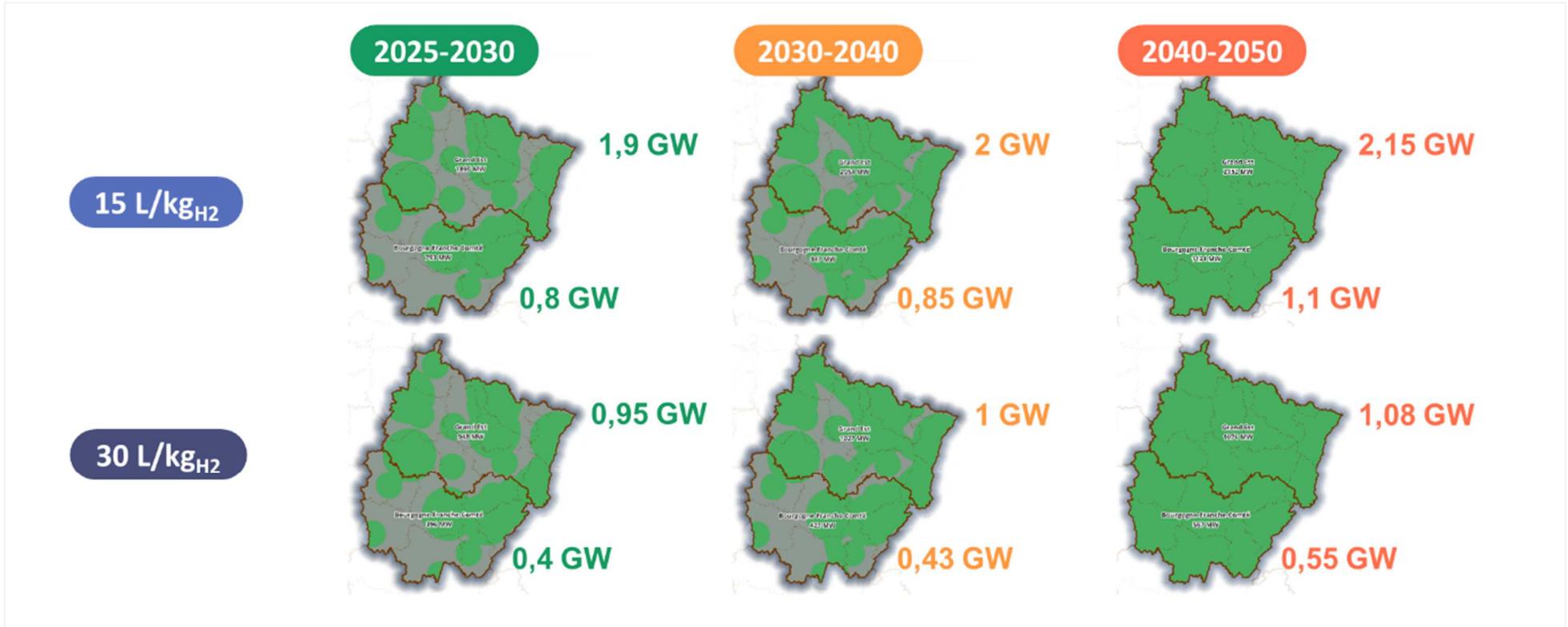


Figure 49: Synthèse des potentiels hydrogène équivalents à l'échelle des deux régions aux différents horizons temporels envisagés

L'application de zonages hydrogène réduit le potentiel hydrogène équivalent (PHE) de l'ordre de 10-30% selon les configurations (voir valeurs ci-dessous) car les zones d'implantation privilégiées pour l'hydrogène, à proximité des usages, correspondent peu ou prou aux centres de population et centres industriels où les systèmes AEP et AEI sont déjà fortement développés.

Région	Prélèvement d'eau	Périodes		
		2025-2030	2030-2040	2040-2050
Grand-Est	15 L/kg _{H2}	1896	2054	2152
	30 L/kg _{H2}	948	1027	1076
Bourgogne-Franche-Comté	15 L/kg _{H2}	793	847	1134
	30 L/kg _{H2}	396,5	423,5	567
Grand-Est et Bourgogne-Franche-Comté	15 L/kg _{H2}	2689	2901	3286
	30 L/kg _{H2}	1344,5	1450,5	1643

Tableau 4 : Récapitulatif du potentiel H2 équivalent en MW installable, par région et par période

Région	Prélèvement d'eau	Périodes		
		2025-2030	2030-2040	2040-2050
Grand-Est	15 L/kg _{H2}	246,48	267,02	279,76
	30 L/kg _{H2}	123,24	133,51	139,88
Bourgogne-Franche-Comté	15 L/kg _{H2}	103,09	110,11	147,42
	30 L/kg _{H2}	51,55	55,06	73,71
Grand-Est et Bourgogne-Franche-Comté	15 L/kg _{H2}	349,57	377,13	427,18
	30 L/kg _{H2}	174,79	188,57	213,59

Tableau 5 : Récapitulatif du potentiel H2 équivalent en kTH2/an, par région et par période



3.2.2. Eclairages complémentaires des études de cas

En complément des analyses « systématiques » menées à partir des données SISPEA et BNPE, quatre études de cas ont été réalisées afin d'explorer les limites de la méthode d'étude systématique et d'apporter des éclairages complémentaires. Le cas des projets diffus étant déjà traité, les études de cas ont été réparties de façon à éclairer les problématiques associées aux projets de taille intermédiaire et massive (voir figure n°55) :

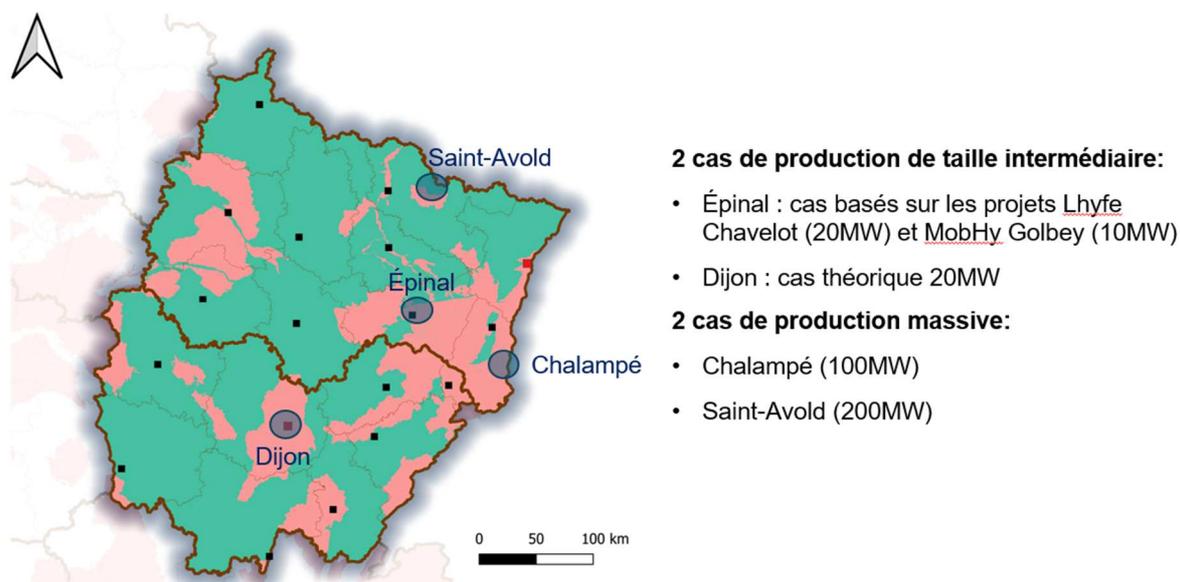


Figure 50: Situation des études de cas

3.2.2.1. Enjeux et objectifs des études de cas

- Ce que les études de cas ne sont pas ...
 - Une étude d'impact des projets de production d'hydrogène au sens des attendus du code de l'environnement,
 - Une étude d'opportunité / Faisabilité des projets de production d'hydrogène,
 - Une exégèse des données et études sur l'eau des territoires concernés,
 - Une revue exhaustive des informations sur l'eau et sur les projets de production d'hydrogène dans les périmètres concernés,
- Les études de cas permettent de :
 - Conforter les modalités de détermination des règles de sensibilité sur l'eau,
 - Consolider l'approche cartographique et didactique sur les potentiels de production d'hydrogène sur les projets diffus et de taille intermédiaire,
 - Confirmer les limites de l'exercice sur les cas de production massive (et confirmer l'intérêt des études d'impacts par ailleurs),
 - Recenser les points d'alertes et retirer des enseignements pour nourrir le guide des bonnes pratiques.

3.2.2.2. Cas d'étude sur Epinal (30MW) sur la base des projets annoncés

- **Analyse de la fragilité quantitative de la ressource en eau dans le secteur d'implantation**

Les 2 projets sont situés en zone fragile du point de vue de la gestion de la ressource en eau, avec une forte pression de prélèvement. Toutefois, ils sont situés au nord de la partie de la nappe GTI en mauvais état quantitatif, donc hors de la zone où les prélèvements nouveaux sont interdits.

- **Potentiel hydrogène équivalent**

Les deux projets envisagés totalisent 30MW d'électrolyse, à comparer aux 31MW de potentiel hydrogène équivalent évalué pour la communauté d'agglomération (CA) d'Epinal. Ces 2 projets ont été annoncés par certains acteurs de la filière selon un état des lieux effectué par les prestataires de cette étude, ils sont pris à titre illustratifs et ne signifient pas qu'ils seront réalisés pour autant. Le potentiel hydrogène équivalent à l'échelle de l'EPCI est quasiment saturé.

Pour rappel, il s'agit d'un potentiel calculé à partir des données BNPE (AEP + AEI) et agrégées à la maille EPCI (CA d'Epinal) avec un indice de confiance moyen à cette maille (extra-territorialité potentielle des prélèvements AEP).

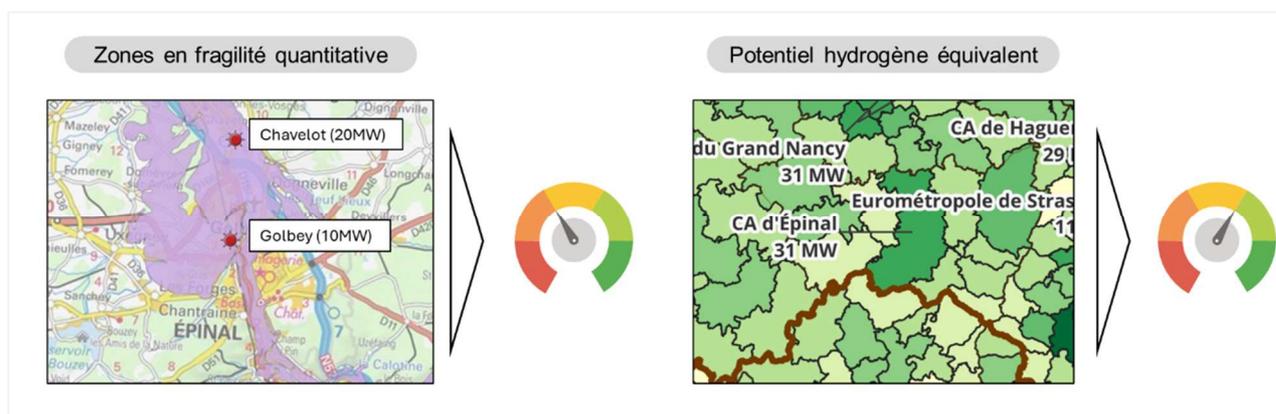


Figure 51: Cas d'Epinal : zones en fragilité & potentiel hydrogène équivalent ²²

- **Bouclage en débit / rejet**

La figure n°57 résume l'analyse de bouclage en débit à l'étiage sur la dilution des rejets. Au vu des caractéristiques des rejets d'unités de production d'hydrogène par électrolyse, les facteurs de dilution calculés sur les rejets en pointe ne présentent pas de sensibilité particulière pour les milieux récepteurs. A supposer que les deux projets identifiés rejettent leurs effluents dans le même milieu récepteur (cas le plus exigeant du point de vue de la gestion des rejets), le potentiel hydrogène équivalent de 31MW calculé pour la CA d'Epinal n'est pas remis en cause par les contraintes de rejet à l'étiage dans la Moselle, dont le débit à l'étiage n'est pas contraignant pour ces projets de production d'hydrogène.

- **Gain sur les rendements de réseau**

Sur la commune de Golbey où est envisagé le projet Mob'Hy (10MW), le rendement du réseau AEP s'élève à 83,3%. Il s'agit d'un rendement de distribution plutôt bon ; il n'y a pas de gisement d'efficacité facile à exploiter pour mobiliser des volumes supplémentaires à dédier à la production d'hydrogène. Toutefois, le projet Mob'Hy représente 3,2% des volumes AEP prélevés

²² La carte à droite de la figure 36 est issue d'une carte à la maille EPCI réalisée durant l'étude mais non publiée dans l'étude



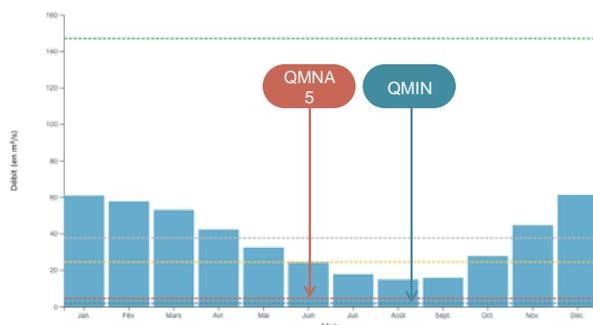
sur la commune de Golbey (base 15L/kgH2), ce qui est au-dessus du seuil de sensibilité de 1% mais cette valeur ne tient pas compte des volumes prélevés en dehors de la commune de Golbey et distribués à Golbey (extra-territorialité des prélèvements). Golbey est alimentée à partir de la source d'Olima qui n'est pas issue d'une masse d'eau en tension (grès du trias inférieur en partie libre) mais cette ressource alimente elle-même un ruisseau qui conflue avec la Moselle qui est signalée comme particulièrement fragile. Il n'y a pas a priori d'alerte forte car la somme des deux projets reste inférieure au potentiel hydrogène équivalent (défini à partir du seuil de sensibilité de 1%) mais il conviendra de veiller à ce que ces deux projets soient menés avec les technologies les moins consommatrices en eau pour ne pas affaiblir encore plus les débits de la Moselle.

En revanche, sur la commune de Chavelot où va s'implanter le projet Lhyfe (20MW), le rendement du réseau AEP est de 42,4%, ce qui est plutôt bas. En l'état, le projet de Lhyfe représente 24% des volumes AEP mobilisés sur la commune et 58% des volumes AEP distribués. Ce projet est donc difficilement envisageable en l'état sans ressources eau extérieures à la commune de Chavelot. Toutefois, au vu du rendement de réseau, il semble possible d'imaginer mobiliser des volumes additionnels en améliorant ce rendement :

- En tenant compte d'un abattement de -15% sur les prélèvements (Plan Eau), la commune de Chavelot prélève sur son territoire environ 164 000m³/an dont environ 95 000m³/an sont perdus à cause de l'inefficience du réseau (57,6%).
- En réduisant les pertes à 20% seulement (80% de rendement cible), les pertes ne seraient plus que de 33 000m³/an.
- La différence de 62 000m³/an pourrait être mobilisée pour la production d'hydrogène, soit un potentiel hydrogène équivalent de 31MW additionnels (calcul base 15L/kgH2).

Le projet Lhyfe ne représenterait alors plus que 30% des volumes AEP distribués sur la commune. Cette nouvelle valeur reste toujours trop élevée en l'état mais ne tient pas compte de l'extraterritorialité des prélèvements à l'échelle de la commune de Chavelot. A l'évidence, un projet de cette taille (intermédiaire) mobilise la ressource en eau au-delà du seul territoire communal.

Relevé de la station hydrométrique sur la Moselle à Épinal :



QMNA5 = 5,15 m³/s (débit mensuel minimal ayant la probabilité de ne pas être dépassé une année sur 5)

QMIN = 1,84 m³/s (débit le plus bas connu)

Paramètres H2O (cumul des 2 projets) : 30 MW - 4ktpa H2

- Besoin annualisé = 120k m³/an (base 30L/kg, 60k m³/an sur base 15L/kg)
- Besoin moyen en période de pointe de refroidissement = 30m³/h (base 1m³/h/MW), soit 8,3.10⁻³ m³/s
- Rejets moyens en période de refroidissement = 15 m³/h, soit 4,2.10⁻³ m³/s (hypothèse 50% du besoin)

Analyse :

- Rejets pointe = 0,08% QMNA5 → Facteur de dilution = 1,2.10³
- Rejets pointe = 0,2% QMIN → Facteur de dilution = 4,4.10²



Rejet de pointe à l'étiage insensible

BOUCLAGE REJETS SAISONNIERS
→ CONFIRMATION POTENTIEL

Figure 52: Cas d'Epinal : bouclage en débit / rejet

- **Principaux enseignements**

L'impact quantitatif des deux projets hydrogène sur les prélèvements d'eau est significatif dans un contexte de nécessaire sobriété. A ce titre, il serait pertinent de :



- Mettre en œuvre des meilleures technologies disponibles (MTD) au regard des besoins en eau afin de viser une consommation « exemplaire » de l'ordre de 15L/kgH2.
- Réaliser des efforts de sobriété conjugués en collaboration avec le territoire d'implantation (gisements d'efficacité sur les réseaux d'eau pour mobiliser des volumes additionnels)

3.2.2.3. Cas d'étude théorique sur Dijon (20MW)

- **Analyse de la fragilité quantitative de la ressource en eau dans le secteur d'implantation**

Le territoire de Dijon Métropole est situé dans une zone en fragilité où des « actions de préservation du bon état quantitatif (ESO) sont nécessaires sur tout ou partie du territoire ». Il s'agira de démontrer que l'implantation d'un tel projet ne nuit pas à la gestion des actions de préservation de la ressource.

- **Potentiel hydrogène équivalent**

Le projet de 20 MW envisagé dépasse le potentiel hydrogène équivalent de 7 MW évalué pour le territoire de Dijon Métropole. Cela signifie-t-il que le projet est inopportun à cette implantation ? A l'évidence non car la ville de Dijon importe la majorité de son eau potable depuis les territoires voisins (indice de confiance moyen à la maille EPCI). C'est un cas typique d'extra-territorialité des prélèvements.

Dans les cas avérés d'extra-territorialité, il faudrait considérer les territoires adjacents où sont réalisés les prélèvements pour avoir une vue plus juste du potentiel hydrogène équivalent

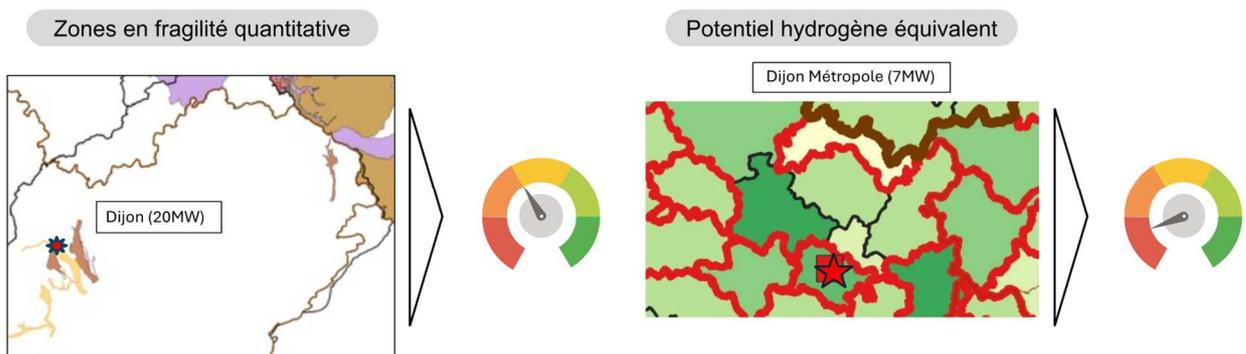


Figure 53: Cas (théorique) de Dijon : zones en fragilité & potentiel hydrogène équivalent²³

- **Bouclage en débit / rejet**

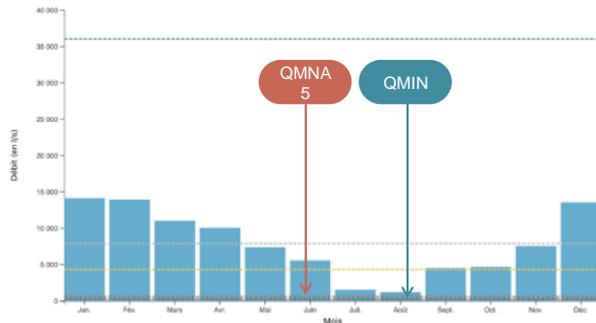
La figure n°59 résume l'analyse de bouclage en débit à l'étiage sur la dilution des rejets. Les facteurs de dilution calculés sur les rejets en pointe dans l'Ouche sont plus faibles, d'un ordre de grandeur, par rapport aux rejets dans la Moselle (voir calcul précédent) mais ils ne sont pas critiques du point de vue du milieu récepteur.

A supposer que le projet théorique envisagé rejette ses effluents dans l'Ouche, le potentiel hydrogène équivalent de 20MW calculé pour la Métropole de Dijon n'est pas remis en cause par les contraintes de rejet à l'étiage.

²³ La carte à droite de la figure 58 est issue d'une carte à la maille EPCI réalisée durant l'étude mais non publiée dans l'étude



Relevé de la station hydrométrique sur l'Ouche à Dijon :



QMNA5 = 0,535 m³/s (débit mensuel minimal ayant la probabilité de ne pas être dépassé une année sur 5)

QMIN = 0,196 m³/s (débit le plus bas connu)

Paramètres H2O : 20 MW - 2,66ktpa H2

- Volume annualisé = 80k m³/an (base 30L/kg, 40k m³/an sur base 15L/kg)
- Débit moyen en période de pointe de refroidissement = 20m³/h (base 1m³/h/MW)
- Rejets moyens en point de refroidissement = 10 m³/h, soit $2,8 \cdot 10^{-3}$ m³/s (hypothèse 50% du besoin)

Analyse :

- Rejets pointe = 0,52% QMNA5 → Facteur de dilution = 193
- Rejets pointe = 1,4% QMIN → Facteur de dilution = 71



Rejet de pointe à l'étiage insensible

BOUCLAGE REJETS SAISONNIERS
→ CONFIRMATION POTENTIEL

Figure 54: Cas (théorique) de Dijon : bouclage en débit / rejet

• Gain sur les rendements de réseau

Sur le territoire de Dijon Métropole où pourrait s'implanter le projet, le rendement du réseau AEP s'élève à 81,8% (entité de gestion eau : SEMOP ODIVEA Nord Dijonnais). Il s'agit d'un rendement de distribution plutôt bon ; il n'y a pas de gisement d'efficacité facile à exploiter pour mobiliser des volumes supplémentaires à dédier à la production d'hydrogène.

Par ailleurs, le projet représente seulement 0,25% des volumes de l'EGE SEMOP ODIVEA Nord Dijonnais (14 969 000m³/an après abattement de -15% du Plan Eau) sur une base de calcul de 15L/kgH2.

Le volume annuel AEP mobilisé sur la seule entité de gestion considérée est largement supérieur au volume prélevé pour l'AEP sur le territoire de l'EPCI. Cette situation s'explique par la mobilisation d'un champ captant en nappe alluviale de la Saône à l'extérieur du périmètre de l'EPCI Dijon métropole (extra-territorialité d'une large partie des prélèvements). Cette situation confirme que la marge d'erreur du calcul de potentiel hydrogène équivalent augmente en réduisant le périmètre d'agrégation. Pour les prélèvements AEP, l'agrégation à la maille EPCI est entachée d'une forte incertitude.

• Principaux enseignements

L'impact quantitatif d'un tel projet hydrogène sur les prélèvements d'eau est non négligeable dans un contexte de nécessaire sobriété. A ce titre, il serait pertinent de :

- Mettre en œuvre des meilleures technologies disponibles (MTD) au regard des besoins en eau afin de viser un prélèvement « exemplaire » de l'ordre de 15L/kgH2.
- Adopter une logique de partenariat avec le territoire (PTGE, réutilisation d'eaux usées traitées).



3.2.2.4. Cas d'étude sur Chalampé (100-200MW)



Figure 55: vue aérienne de la plateforme Alsachimie à Chalampé

- **Analyse de la fragilité quantitative de la ressource en eau dans le secteur d'implantation**

Le projet est situé en zone fragile pour la gestion de la ressource en eau, zone avec une forte pression de prélèvement. Les prélèvements AEI sur la commune de Chalampé s'élèvent à 120 580 000 m³/an, avec 11 ouvrages dont 3 en ESU dans le canal d'Alsace (81,1%), le reste en ESO (nappe d'Alsace, alluvions rhénanes) pour un volume de 22 820 000 m³/an (18,9%).

- **Potentiel hydrogène équivalent**

La Communauté d'Agglomération de Mulhouse-Agglomération (qui inclut la commune de Chalampé) affiche un potentiel hydrogène équivalent de 215MW avec une base de 15L/kgH₂ et 121MW avec une base de 30L/kgH₂. Dans cette perspective, les projets de 100-200MW en développement dans la zone de Chalampé vont prélever la quasi-totalité des volumes mobilisables sur l'ensemble du territoire de la Communauté d'Agglomération de Mulhouse-Agglomération. Il faut évidemment regarder plus en détails les autres possibilités d'approvisionnement ESO/ESU notamment, du fait de la proximité du Rhin et de la nappe alluviale rhénane.



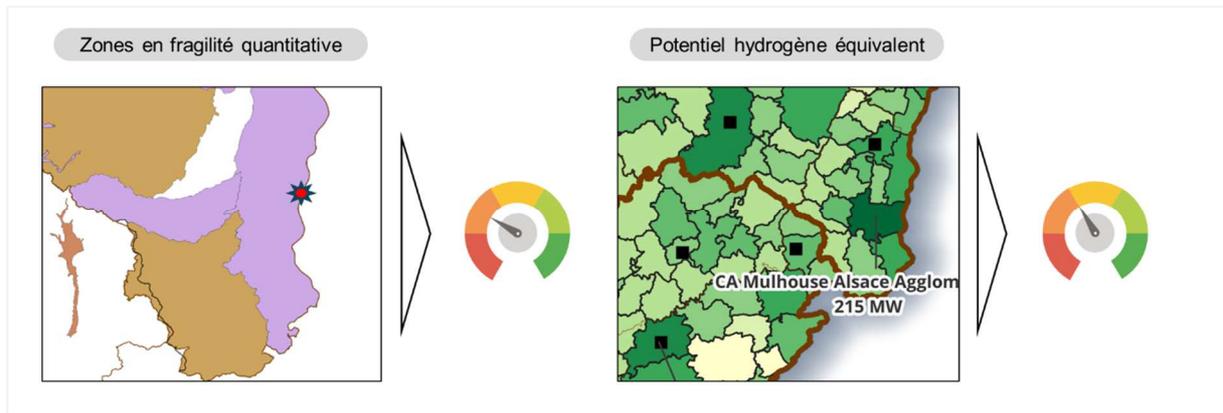


Figure 56: Cas de Chalampé : zones en fragilité & potentiel hydrogène équivalent²⁴

- Débit de prélèvements & alertes sécheresse

Le total des prélèvements des projets implantés sur la plateforme chimique de Chalampé représente 1-2% des prélèvements AEI (en eaux souterraines) à proximité de la plateforme (22 820 000 m³/an) avec une base 15L/kgH₂ (2-4% avec une base 30L/kgH₂).

En outre, la zone de Chalampé est une zone de sables et graviers rhénans / alluvions épaisses permettant de forts débits de prélèvement²⁵ et hors du périmètre d’alerte ESO Ried centre Alsace (projet de PTGE / GES’Eau’R).

Comme indiqué sur la figure n°62, il n’y a pas de point d’alerte particulier sur ce secteur du point de vue des débits de prélèvements et des alertes sécheresse.

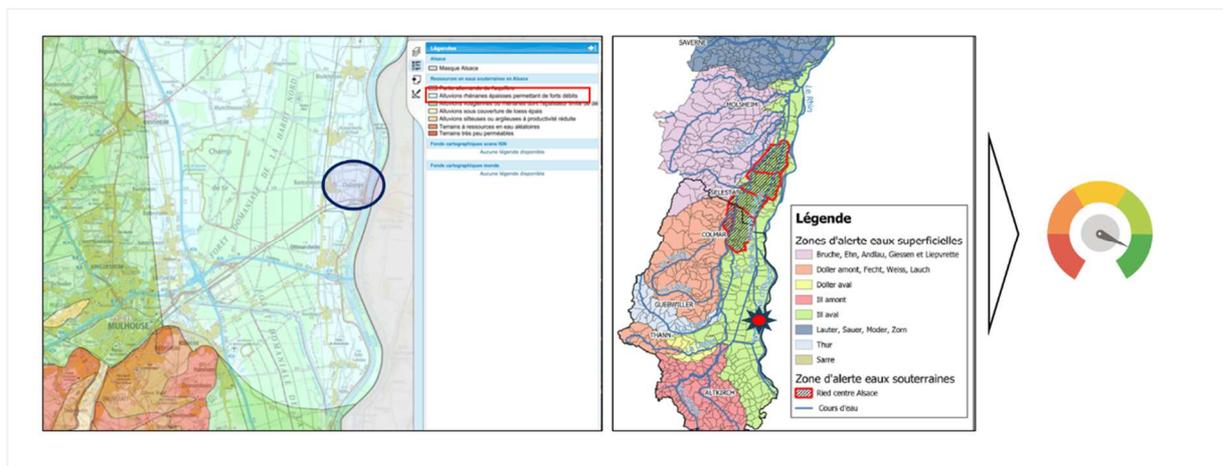


Figure 57: Cas de Chalampé : prélèvements & alertes sécheresse

- Recharge des nappes

Le graphique suivant, tiré de l’étude de l’état quantitatif de la ressource en eau du Grand-Est, fait état de l’évolution des moyennes mensuelles de recharge des nappes dans la zone de Chalampé aux horizons 2030 et 2050. La lame d’eau est l’eau qui se déverse sur la surface du sol, dont une

²⁴ La carte à droite de la figure 61 est issue d’une carte à la maille EPCI réalisée durant l’étude mais non publiée dans l’étude

²⁵ Arrêté cadre interdépartemental Bas-Rhin & Haut-Rhin du 8 juin 2023 définit une zone d’alerte ESO Ried centre Alsace



partie s'infiltrer dans le sol à travers les pores et les fissures des roches, ce qui contribue à alimenter les nappes phréatiques. L'étude ne fait pas apparaître de déficit attendu de la recharge de la nappe dans laquelle serait prélevée l'alimentation en eau des projets hydrogène, l'évolution portant davantage sur des décalages temporels et d'intensités de recharge que sur la capacité totale de recharge quel que soit le scénario d'évolution climatique considéré.

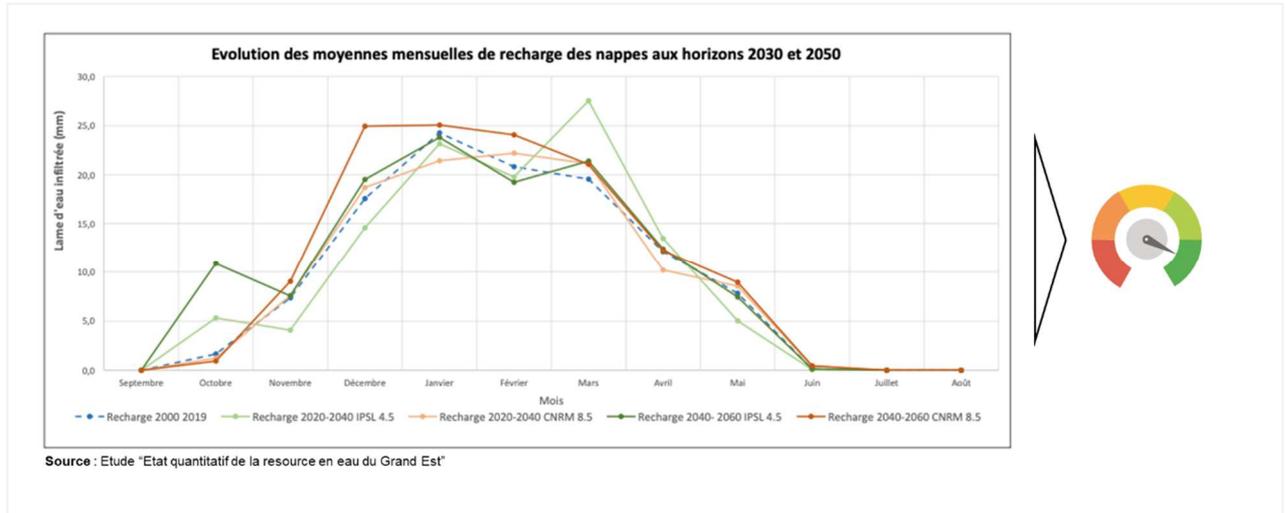


Figure 58: Cas de Chalampé : recharge de nappe

- **Bouclage en débit / rejet**

La figure n°64 résume l'analyse de bouclage en débit à l'étiage sur la dilution des rejets dans le Rhin. Les facteurs de dilution calculés sur les rejets en pointe dans les ESU de la zone de Chalampé (en bordure du Rhin) sont très importants et ne présentent aucun impact pour le milieu récepteur.

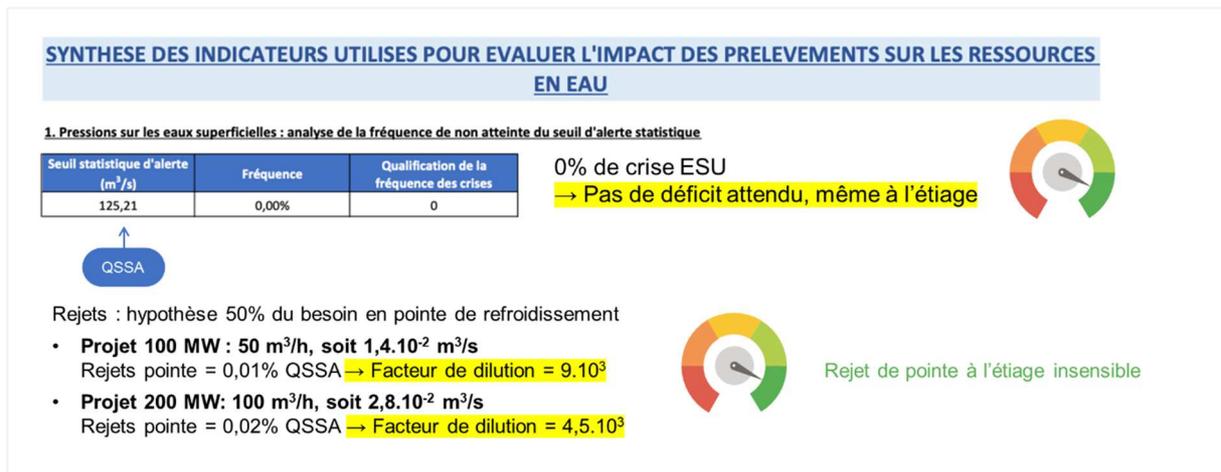


Figure 59: Cas de Chalampé : bouclage en rejet / débit



3.2.2.5. Cas d'étude sur Carling-Saint-Avoid



Nota : La photo est orientée nord-ouest

Figure 60: Vue aérienne de la plateforme Chemesis de Carling-Saint-Avoid

- **Analyse de la fragilité quantitative de la ressource en eau dans le secteur d'implantation**

Les projets EMIL'HY et CarlHYng sont situés hors zones fragiles pour la gestion de la ressource en eau. Les prélèvements AEI sur les communes de Carling – Saint-Avoid et Porcellette s'élèvent à 6 776 103 m³/an en 2021 et à 9 837 103 m³/an en 2022. Les prélèvements actuels sont réalisés quasi en totalité dans les eaux souterraines, gérés par Société des Eaux de l'Est (SEE).

- **Potentiel hydrogène équivalent**

La Communauté d'Agglomération de Saint-Avoid Synergie (qui inclut les communes de Carling – Saint-Avoid et Porcellette sur lesquelles sont implantés les projets hydrogène) affiche un potentiel hydrogène équivalent de 54MW avec une base de 15L/kgH₂.

Dans cette perspective, les projets de 200 à 400 MW en développement dans la zone de Carling-Saint-Avoid nécessiteraient des volumes mobilisables largement supérieurs aux possibles du territoire de la Communauté d'Agglomération. La méthode d'approche systématique ne peut s'appliquer de fait sur ce cas d'études. A titre d'illustration, les calculs des besoins en eau, fondés sur l'hypothèse de mobilisation de 30 l H₂O/kg H₂ considérée dans l'application de la méthode systématique, sont synthétisés dans le tableau qui suit.

Projet	Puissance (MW)	Production H ₂ (tpa)	Base (L/kg)	Besoin H ₂ O (m ³ /an)	Prélèvement AEI à proximité implantation (m ³ /an)	Ratio : Besoin H ₂ O / Prélèvements AEI x 85%
EMIL'HY 1 + 2 (Base 30L/kg)	400	53.200	30	1.600.000	9.837.000	19,1%
CarlHYng 300MW (Base 30L/kg)	300	40.000	30	1.200.000	9.837.000	14,3%

Tableau 6 : Ratio des besoins en eau pour l'hydrogène par rapport aux prélèvements AEI du territoire

D'une part, la variabilité d'une année sur l'autre des données de prélèvements d'eau AEI devra être explorée/expliquée pour une meilleure appréhension du potentiel de développement de l'hydrogène, d'autre part, l'analyse détaillée des autres possibilités d'approvisionnement ESO/ESU



se confronte à un réseau hydrographique superficiel diffus (multitude de petits cours d'eau sur lesquels les données quantitatives ne sont pas connues).

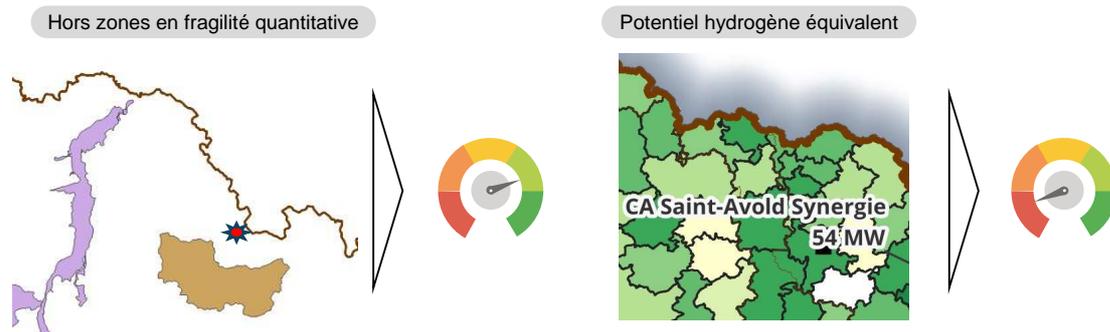


Figure 61: Cas de Carling-Saint-Avold : zones en fragilité & potentiel hydrogène équivalent²⁶

- **Recours aux données présentées lors de la CNDP**

La présentation de chaque projet à la CNDP (Commission Nationale du Débat Public) porte des enseignements sur la gestion prévisionnelle de la ressource en eau de projet massif :

- o CarlHYng pour 300MW affiche une capacité de production d'hydrogène de ~51.000 tH2 (base théorique de 40.000 tonnes selon les hypothèses de la présente étude) et un besoin en eau de 800.000 m³/an²⁷, soit l'équivalent de 16 l/kg H2, malgré le caractère massif de ce projet.
- o EMIL'HY 1 et 2 pour 400 MW représenterait, sur la base des hypothèses de la présente étude, un besoin en eau de 1 600 000 m³/an, en considérant une mobilisation de 30 l/kg H2.

Les échanges lors de la concertation préalable apportent un éclairage sur les enjeux de la ressource en eau (<https://www.debatpublic.fr/projet-emilhy-de-production-dhydrogene-bas-carbone-et-renouvelable-saint-avold-4723>).

L'alimentation en eau du process s'effectuerait « par pompage dans la nappe phréatique, les forages existants, au nombre de 55 sur la plateforme CHEMESIS, seront suffisants pour approvisionner le projet, sans avoir besoin de recourir à des forages supplémentaires. Le besoin est évalué à 400 000 m³/an²⁸, soit 5% des prélèvements effectués par les industriels de la plateforme. La Société des Eaux de l'Est (SEE), a animé un atelier à ce sujet et a confirmé que les capacités actuelles permettent d'alimenter à la fois l'unité de

²⁶ La carte à droite de la figure 66 est issue d'une carte à la maille EPCI réalisée durant l'étude mais non publiée dans l'étude

²⁷ Les auteurs du projet CarlHYng annoncent une production d'hydrogène par MW d'électrolyse installée nettement supérieure aux ratios utilisés dans le cadre de la méthode systématique déployée dans la présente étude. La méthode systématique pose l'hypothèse de la production de 40.000 tH2pa pour 300 MW d'électrolyse, là où le projet optimisé projette 51.000 tH2pa. L'utilisation d'eau associée au projet, optimisée elle aussi, est ramenée à 16l/kg H2, là où la méthode systématique fonde un PHE sur une hypothèse de 30 l/kg H2.

²⁸ L'écart entre la méthode systématique appliquée au territoire d'étude et l'examen d'un projet optimisé, est, pour le projet EMIL'HY comme pour le projet CarlHYng, du même ordre de grandeur : là où la prudence de l'approche du PHE retient en base une hypothèse de besoin de 30 l H2O/kg H2, l'optimisation de projets à l'échelle d'une production massive semble rapprocher le besoin en eau de l'hypothèse basse formulée dans l'étude, de l'ordre de 15 l H2O / kg H2. Ainsi, la première tranche du projet EMIL'HY mobiliserait environ 5% des prélèvements opérés actuellement sur la plateforme industrielle, la deuxième tranche du projet venant doubler le besoin en eau, le portant à environ 10% des prélèvements actuels (là où la méthode systématique, sur l'hypothèse de 30 l H2O / kg H2, atteint 19,1%).



200 MW et l'unité supplémentaire de 200 MW. » (source : bilan de la concertation février-avril 2024).

La réunion thématique #2 sur la maîtrise des impacts environnementaux du projet EMIL'HY s'est tenue le 26 mars 2024 à L'Hôpital en présence de représentants du projet et de 54 participants. Parmi les interrogations émises lors de cette réunion, la problématique de l'utilisation des ressources en eau a été mise en avant.

En réponse, il a été indiqué que :

- l'eau du projet ne fera pas concurrence aux prélèvements en eau nécessaire à la consommation humaine,
- la part de l'eau que va prélever le projet est d'environ 5% du total des prélèvements opérés actuellement sur la plateforme (400 000 m³/an),
- l'impact du pompage pour le projet n'est pas significatif ni directement quantifiable sur l'effet des remontées de nappes mais qu'il pourrait avoir un impact positif.

Les principes annoncés pour optimiser le recours à la ressource en eau du projet sont :

- La réduction de prélèvements par des choix de conception techniques,
- La circularité et le recours au recyclage maximisé,
- Le traitement des eaux pour en minimiser les impacts sur le milieu.



« l'eau pour alimenter l'électrolyseur résulte du pompage d'eau dite industrielle via des forages situés sous la plateforme CHEMESIS. Son sous-sol étant largement pollué par l'activité de la carbochimie pendant des décennies, nous nous interrogeons sur la qualité de cette eau ? Comment est-elle traitée ? Où vont les résidus ? Le SAGE du bassin houiller lorrain réfléchit à l'utilisation des eaux de pompage des futurs rabattement de nappe pour contrer la remontée de la nappe des GTI; cette eau pourrait-elle être utilisée pour alimenter les électrolyseurs au lieu du dispositif mis en place par la Société des Eaux de l'Est (SEE) ? »

Figure 62: Questions émises par ADELP (Association de Défense de l'Environnement et de lutte contre la pollution en Moselle Est) lors de la réunion du 26 mars 2024



« Bien que limitée sur le secteur du fait des quantités disponibles, la tension sur la ressource en eau devra faire l'objet d'un suivi méticuleux tout au long de l'exploitation. Un ralentissement, voire un arrêt de la production devant être envisagé en cas de tension trop forte sur la ressource. »

Figure 63: Prise de position d'Europe Ecologie Les Verts lors de la réunion du 26 mars 2024

- **Principaux enseignements**

L'impact quantitatif d'un tel projet hydrogène sur les prélèvements d'eau est non négligeable dans un contexte de nécessaire sobriété. A ce titre, il serait pertinent de :

- o Mettre en œuvre des meilleures technologies disponibles (MTD) pour la production d'hydrogène, économes en eau, en misant sur la circularité et le recyclage des eaux.
- o Mobiliser éventuellement des eaux non conventionnelles : au cas d'espèce, eaux d'exhaure avec impact positif du pompage attendu.
- o Traiter les eaux utilisées avant leur rejet au milieu naturel.



3.2.2.6. Principaux enseignements des études de cas

Au-delà des limites d'utilisation des données, les études de cas apportent plusieurs enseignements :

- Un point d'alerte est indispensable pour les développeurs et les institutionnels si les projets de production d'hydrogène prévoient de s'implanter dans des zones en fragilité.
- La marge d'erreur du calcul de potentiel hydrogène équivalent augmente en réduisant le périmètre d'agrégation, tout en perdant de fait en précision.
- Un dépassement du potentiel défini ne signifie en aucun cas que le déploiement d'un projet de production H2 serait inopportun ou non faisable. A contrario, un projet en-deçà du potentiel défini pourrait avoir une chance de ne poser aucune difficulté de mise en œuvre d'un point de vue de la quantité d'eau à mobiliser.
- L'analyse fine des besoins en eau, des ressources en eau disponibles, des meilleures technologies disponibles est indispensable pour tout projet, particulièrement les projets dits massifs et intermédiaires.
- Le recours à la concertation publique, obligatoire ou volontaire, est un outil de partage sur le territoire du projet, favorisant l'acceptabilité sociétale de celui-ci.
- Tous les résultats issus de la présente étude sont à envisager en tenant compte des limites qui sont clairement exprimées, dont la non prise en compte de la prospective des ressources en eau en 2050-2100, de l'émergence de besoins en eau concurrents dans l'avenir, des effets du changement climatique.



4. Limites de l'étude, préconisations et suites à donner

4.1. Limites de l'étude

Précision des données en fonction du périmètre considéré

La première limite de l'étude porte sur la maille de traitement des données eau. La marge d'erreur du calcul de potentiel H2 augmente en réduisant le périmètre d'agrégation, particulièrement pour les prélèvements AEP. L'extra-territorialité de l'origine de la ressource en eau est une réalité complexifiant l'approche systématique à l'échelle de la commune ou de l'EPCI. Comme on peut le voir avec l'étude de cas d'Epinal où, même si le projet de production d'H2 envisagé est égal au potentiel maximum, il existe des marges de manœuvre pour son développement.

Réduire le périmètre d'agrégation à l'échelle intercommunale, voire départementale, conduit toutefois à des données d'entrée de calcul moins précises sur la disponibilité de la ressource en eau, à l'échelle d'un projet d'implantation d'une unité de production d'hydrogène. L'étude d'impact spécifique à chaque projet hydrogène a pour objet d'affiner l'approche relative à la disponibilité de l'eau pour l'ensemble des besoins pour celui-ci.

Comme souligné à plusieurs reprises, la méthodologie systématique déployée dans l'étude permet d'identifier des points d'alerte en fonction de la localisation des projets, et ne permet pas d'apporter de réponse définitive et ne saurait se substituer à une étude d'impacts ICPE ou IOTA. Les projets de production H2 de taille massive auront un impact quantitatif significatif sur la ressource en eau. La situation en zone de fragilité quantitative constitue un point d'alerte, mais ne signifie pas nécessairement que le déploiement serait inopportun ou non faisable. Un dépassement du potentiel défini ne signifie en aucun cas que le déploiement d'un projet de production H2 serait inopportun ou non faisable. A contrario, un projet en-deçà du potentiel défini a toute chance de ne poser aucune difficulté de mise en œuvre d'un point de vue de la quantité d'eau à mobiliser.

A l'échelle du périmètre de l'étude, l'articulation des projets de production H2 intermédiaires et massifs et de la sensibilité des ressources en eau ne peut que s'en tenir à la représentation cartographique des zones de fragilité quantitative. Les procédures existantes (ICPE, IOTA) et les exigences de concertation permettent de traiter l'impact quantitatif local significatif dans le cas des projets intermédiaires et massifs.

Précautions relatives à l'utilisation des cartographies issues de l'étude

Les études de cas ne permettent pas de trancher assurément que, sur le périmètre d'étude, le potentiel H2 ne sera pas altéré par des situations critiques liées aux rejets des systèmes de production H2 à l'étiage. Des faisceaux d'indices permettent toutefois de considérer qu'il n'y a pas lieu de corriger les potentiels définis (zones de développement H2 à proximité de « grands » cours d'eau, mobilisation de systèmes d'assainissement, le cas échéant stockages tampons simples à mettre en œuvre). De plus, les masses d'eau (ESO et ESU) affectées par les prélèvements d'eau (AEP et AEI) peuvent être distinctes des masses d'eau affectées par les rejets de l'installation de production d'hydrogène : le prélèvement en eau peut se faire dans la masse d'eau X et le rejet dans la masse d'eau Y, sans interconnexion physique entre les deux. Ainsi, la pression quantitative exercée sur une masse d'eau X peut ne pas générer de contrainte supplémentaire sur la masse d'eau Y réceptrice des rejets si celle-ci est distincte ; chaque projet, par l'évaluation environnementale qu'il requiert, sera circonstancié, et des choix stratégiques seront opérés quant au



moindre impact. La séquence « Eviter – Réduire – Compenser », qui sera argumentée dans chaque étude d'impact de projet, donnera les informations nécessaires à l'administration pour instruire la demande en connaissance de l'éventuelle criticité de rejets à l'étiage dans des masses d'eau déjà fragiles quant à leur hydraulité et capacité de dilution, ou dont la fragilité serait renforcée par le déploiement du projet lui-même. Les situations étant nécessairement circonscrites aux territoires d'implantation des projets, et à l'évolution des usages de l'eau sur ces territoires (abaissement ou accroissement de certaines pressions quantitatives ou / et qualitatives sur les milieux aquatiques), il ne peut être envisagé de graduer les potentiels définis en appliquant une méthode systématique par l'introduction d'une nouvelle variable dont la consistance est dépendante d'une multiplicité de paramètres locaux.

-> Ainsi, l'utilisation de la cartographie doit être systématiquement accompagnée d'une explication du contexte de la production de la carte, de l'origine des données, de l'intention portée à la présentation, de la partie rédigée des explications.

Autres points d'attention

Concernant les projets de production d'hydrogène dans le Nord Moselle, avec une forte puissance d'électrolyse, à destination de l'exportation vers l'Allemagne, la question de l'exportation de l'hydrogène produit sur la ressource en eau utilisée localement n'a pu être traitée. Il en est de même pour les données eau et les projets hydrogène hors du périmètre Grand Est et Bourgogne-Franche-Comté. Il pourrait être opportun de réaliser ce genre d'étude dans d'autres régions et/ou à d'autres usages de l'eau.

Cette étude ne détaille pas en profondeur une prospective de la production d'hydrogène sur les 2 régions concernées.

Enfin, l'étude n'a pas la prétention de prendre en compte l'évolution, le dérèglement du climat, puisqu'elle se situe hors prospective pour les données eau notamment. La méthodologie actuelle pourrait être adaptée afin de prendre en compte des données prospectives sur l'eau à horizon 2050-2100, en intégrant les données Explore2, en prenant en compte le principe de la gestion intégrée des ressources en eau.

4.2. Préconisations

Les préconisations finales, issues des différentes phases de l'étude ainsi que de la richesse des échanges avec les partenaires sollicités de janvier à juin 2024, sont les suivantes :

- Dans les projets de production d'hydrogène, il conviendra de prévoir, dès leur conception, la mise en œuvre des meilleures technologies disponibles (MTD) H2 économes en eau, prélevée et consommée (en particulier pour le refroidissement des équipements de production d'hydrogène),
- Il est indispensable de mener un travail partenarial avec le territoire d'implantation pour anticiper les efforts de sobriété d'eau, conjugués avec les acteurs locaux, dans la logique portée actuellement par les PTGE (notamment concernant l'amélioration des rendements de distribution),
- Il sera recherché la mobilisation prioritaire des systèmes de production d'eau existants (AEI/AEP) en relation avec les gestionnaires locaux, permettant une approche intégrative des impacts environnementaux d'un produit, d'un service, d'une filière, et une intention d'économie de territoire,



- La mobilisation éventuelle d'eaux non conventionnelles sera recherchée, en identifiant les ressources locales, avec une attention particulière à la qualité des rejets de la production mais aussi le respect des volumes de prélèvements pour le soutien des débits à l'étiage,
- Pour la mobilisation de prélèvements complémentaires, il conviendra d'identifier les ressources les moins fragiles, de s'insérer le plus tôt possible dans les procédures liées aux rubriques IOTA et les phases de l'évaluation environnementale associées,
- La séquence ERC (« Eviter, réduire, compenser ») sera particulièrement soignée, y compris sur l'approche de l'acceptabilité sociétale des projets,
- Pour les projets massifs, la concertation territoriale sera prévue, y compris si cette concertation n'est pas requise par la réglementation. Si le projet devait être soumis à la CNDP (Commission Nationale du Débat Public), le cadre formel garantit un effort de concertation avec les acteurs du territoire concernés par la gestion de l'eau.

4.3. Suites à donner : scénarios d'études complémentaires à la présente étude

Cette étude s'est confrontée à de nombreuses limites et a généré des questions qui restent pour l'instant sans réponse :

- Quel est l'impact de la saisonnalité des prélèvements pour la production d'hydrogène sur les ressources en eau mobilisées et inversement de la saisonnalité de la disponibilité de la ressource en eau sur la production d'hydrogène ? Ce sujet a été pris en compte seulement pour les études de cas, pas dans l'approche systématique et mérite d'être approfondi. Il sera étudié de près d'autant plus que les périodes estivales, les plus sensibles pour les milieux aquatiques, risquent de correspondre aux périodes les plus propices à la production d'hydrogène, compte tenu des coûts d'électricité renouvelable plus bas venant de la forte disponibilité d'électricité renouvelable à cette période.
- Comment maximiser le potentiel de production d'hydrogène en été lorsque la disponibilité en électricité renouvelable est la plus forte alors que la ressource en eau est la moins disponible ? La question nécessite une réponse systémique au niveau de la gestion des réseaux électriques de transport et de distribution qui dépasse le strict cadre de cette étude.
- Quelle(s) possibilité(s) de développer des nouveaux prélèvements en eau pour augmenter le potentiel de production d'hydrogène ? La disponibilité de la ressource en eau sera-t-elle toujours équivalente ?
- Quelles sont les contraintes et le potentiel de mobilisation des eaux non-conventionnelles pour la production d'hydrogène, à la fois du point de vue de la qualité chimique de ces eaux et des traitements ad hoc à mettre en œuvre et du point de vue des nombreuses contraintes environnementales liées à la bonne conservation des milieux récepteurs ?

Afin de répondre en partie à ces questions ouvertes, plusieurs scénarios d'étude complémentaires ont été imaginés. Nous détaillons ici quatre scénarios possibles :

4.3.1. Scénario d'étude n°1

- **Proposition d'intitulé** : Etude de la sensibilité de la ressource en eau au regard de la production potentielle d'hydrogène dans les différents scénarios « Transition 2050 » de l'ADEME
- **Finalité et objectif(s)** : une telle future étude pourrait reprendre la méthode de sensibilité développée dans la présente étude et l'étendre à l'ensemble du territoire national, avec des déclinaisons selon les niveaux d'ambition sur la production-consommation d'hydrogène



explicités dans les différents scénarios « Transition 2050 » de l'ADEME. En outre, une telle étude devrait également considérer l'externalisation des impacts avec les importations d'hydrogène depuis l'étranger, sous forme d'hydrogène liquide ou de dérivés de l'hydrogène (e-ammoniac, e-méthanol, e-SAF).

- **Périmètre et échelle de l'étude** : niveau national
- **Estimation des moyens et compétences nécessaires** : 5 ETP sur 18-24 mois
- **Pertinence du scénario d'étude** : Il est tout à fait faisable d'étendre le domaine de la présente étude à l'ensemble du territoire national : le choix de la méthode d'étude de sensibilité et le choix des données permettent une transposition facile à un contexte d'étude plus étendu géographiquement. **A l'instar** de la présente étude, ce nouveau scénario d'étude n'a d'intérêt que du fait que les estimations de consommation en eau au niveau national étaient trop globales et ne peuvent être correctement appréhendées qu'au niveau local. Dans des régions ayant une façade littorale, la pertinence du recours au REUT et/ou à l'eau de mer serait étudiée. Cependant, la compilation de l'ensemble des études régionales qu'il faudrait réaliser rendrait sa mise en œuvre très longue et fastidieuse. Lancer les études sur la base du volontariat pour chaque région demandeuse semble plus réaliste.

4.3.2. Scénario d'étude n°2

- **Proposition d'intitulé** : Etude de volume prélevable pour la production d'hydrogène intégrant les effets du dérèglement climatique
- **Finalité et objectif(s)** : Une telle étude aurait pour objectif de prendre en compte l'évolution de la ressource en eau, en particulier la ressource en eau disponible pour la production d'hydrogène, sous l'effet du dérèglement climatique et des stratégies d'atténuation ou d'adaptation au dérèglement climatique.

L'évolution quantitative (et si possible qualitative) de la ressource en eau devrait être appréciée avec un pas de temps saisonnier et un horizon prospectif à 2050, voire 2060. En outre, la saisonnalité des prélèvements étant fortement corrélée à la saisonnalité des usages, il faudrait également tenir compte des usages et de leur évolution sur le temps long, avec tous les changements susceptibles d'intervenir dans l'horizon d'étude. Enfin, il faudrait tenir compte de l'hétérogénéité spatiale des ressources en eau, certaines ressources étant peu sensibles car surabondantes tandis que d'autres étant extrêmement sensibles, ce qui nécessite d'avoir une finesse d'approche territoriale suffisante (à minima à l'échelle des sous-bassins versants). L'analyse de potentiel devrait également prendre en compte l'impact des saisons sur la disponibilité de la ressource.

Une telle étude nécessiterait : 1) de faire le lien entre les points de prélèvement et les masses d'eaux patrimoniales, 2) d'étudier les scénarios possibles d'évolution des masses d'eaux patrimoniales (évolution quantitative et qualitative) sous les effets conjugués 3) des effets du dérèglement climatique (approches probabilistes selon les différents scénarios du GIEC et utilisation de l'étude Explore 2, suite de l'étude prospective Explore 2070) et 4) des nouveaux usages, au premier ordre desquels on trouvera les usages agricoles (scénarios d'évolution des plans de culture en fonction de l'évolution climatique) puis ensuite seulement les usages industriels parmi lesquels la production d'hydrogène.

- **Périmètre et échelle de l'étude** : du point de vue de l'étude des données eau, l'échelle la plus naturelle serait l'échelle du bassin versant, avec une précision jusqu'au sous-bassin versant. Toutefois, si une telle étude prospective devait être mise en jeu, il faudrait la restreindre aux zones de développement privilégiées de la production d'hydrogène.



- **Estimation des moyens et compétences nécessaires** : équipe multidisciplinaire avec un effort d'environ 10 ETP sur 18 à 24 mois, voire davantage selon le périmètre d'étude.

Outre les compétences en ingénierie des données (et connaissance des données eau) pour manipuler les données des bassins hydrographiques et rattacher les points de prélèvement aux masses d'eaux patrimoniales, il faudrait également déployer des compétences en hydrogéologie pour étudier l'évolution des masses d'eaux souterraines et des compétences en modélisation des effets du dérèglement du climat, des compétences de scénarisation pour modéliser les différents scénarios bio-physico-socio-économiques, et en dernier mais non des moindres, des compétences en coordination de projets multidisciplinaires complexes.

Une telle étude nécessiterait d'impliquer fortement les agences de l'eau, les ARS, le BRGM et un certain nombre d'acteurs locaux usagers ou gestionnaires de l'eau (entités de gestion eau, industriels, syndicats agricoles ...), ce qui représenterait une complexité supplémentaire de coordination.

- **Pertinence du scénario d'étude** : Ce scénario d'étude semble clairement le plus ambitieux (Attention toutefois à ne pas refaire le travail des SDAGE !). Une telle approche aurait l'avantage de déterminer un potentiel maximum accessible pour la production d'hydrogène (indépendamment des autres contraintes et ressources nécessaires : électricité renouvelable, raccordement au réseau, métaux précieux etc.). Toutefois, l'effort d'une telle étude semble dépasser de beaucoup le seul enjeu de l'hydrogène, la pression sur la ressource en eau de la production d'hydrogène restant extrêmement modérée au regard des besoins sur l'irrigation par exemple.

4.3.3. Scénario d'étude n°3

- **Proposition d'intitulé** : Etude du potentiel d'utilisation d'eaux non conventionnelles pour la production d'hydrogène
- **Finalité et objectif(s)** : De nombreuses questions ont émergé concernant l'utilisation d'eaux non conventionnelles (valorisation des eaux d'exhaure, synergies d'utilisation au sein de zones industrielles, réutilisation d'eaux usées traitées par les STEP municipales, valorisation des effluents de la grande méthanisation ...). La question de la réutilisation des eaux usées est toute récente en France. De ce point de vue, la présente étude n'a pu qu'effleurer le sujet alors qu'il y a de nombreux cas de valorisation d'effluents à explorer. Il serait ainsi envisageable de mieux appréhender le potentiel des eaux non conventionnelles, même si c'est prendre le sujet de prospective climatique uniquement sur les volets « adaptation » et « sobriété ».
- **Périmètre et échelle de l'étude** : périmètre régional avec une échelle permettant d'appréhender correctement les impacts sur les milieux récepteurs.
- **Estimation des moyens et compétences nécessaires** : un effort d'environ 3- ETP pendant 12 à 18 mois

L'équipe mobilisée devrait avoir les compétences et connaissances suivantes : connaissance des technologies de traitement de l'eau, conduite d'entretien avec des acteurs spécialisés du domaine, modélisation technico-économique sur divers cas d'étude (idéalement réels, sinon théoriques), compétences cartographiques, connaissances approfondies dans les secteurs de l'énergie et de l'eau ainsi que dans l'étude des milieux naturels

Une telle étude nécessiterait d'impliquer a minima les agences de l'eau, les ARS, les services de l'état et les industriels spécialisés dans le traitement de l'eau, ce qui représenterait un niveau de coordination déjà conséquent.



- **Pertinence du scénario d'étude** : une telle étude répondrait au triple besoin d'établir les stratégies possibles d'un point de vue qualitatif et quantitatif, d'objectiver les conditions propices et d'identifier les territoires pertinents pour de tels développements. Elle aurait une réelle plus-value pour éclairer et objectiver les possibles dans ce domaine.

4.3.4. Scénario d'étude n°4

- **Proposition d'intitulé** : Etude de la sensibilité de la ressource en eau au regard de la production potentielle d'hydrogène restreinte sur les zones de développement privilégiées de l'hydrogène.
- **Finalité et objectif(s)** : Une telle étude serait un entre-deux entre le scénario d'étude n°2 et les études d'impacts réglementaires réalisées par les industriels porteurs des projets. L'intérêt de l'étude consisterait à fournir un document de planification des zones à forte densité de développement dans la production d'hydrogène là où la ressource en eau serait particulièrement sollicitée, avec des impacts croisés importants entre les différents usages de l'eau au sein d'une même zone.
- **Périmètre et échelle de l'étude** : zone de développement de la production d'hydrogène (avec plusieurs possibilités d'implantations de sites de production)
- **Estimation des moyens et compétences nécessaires** : en première approche, un effort d'environ 3 ETP pendant 12 à 18 mois semble approprié.

Ce type d'étude nécessiterait peu ou prou le même type de compétences que celles mobilisées pour des études d'impact des projets industriels particulièrement importants, mais sur un laps de temps plus important pour couvrir une densité d'usages plus importante au sein d'une même zone industrielle.

L'implication des services de l'état (DREAL, SGARE) et des acteurs régionaux (régions, agences de développement économique) qui vont utiliser ces documents de planification pour harmoniser le développement économique semble également indispensable.

- **Pertinence du scénario d'étude** : une telle étude permettrait de mieux appréhender les pressions sur la ressource au niveau local (meilleure territorialisation) mais ne serait pas pour autant sans risques car il y aura toujours des difficultés à appréhender différents contextes micro-locaux. Toutefois, une telle étude n'est pas jugée opportune car, si par anticipation, des agences de l'Etat se mobilisent pour déterminer les ressources mobilisables et planifier leur utilisation, cela risque de dédouaner les porteurs de projet de leur démonstration. Il y a un danger à inverser la charge de la preuve. Or c'est bien aux développeurs de projets de réaliser les études d'impact.



5. Conclusions de l'étude

- L'étude permet d'affiner les risques liés à la disponibilité de la ressource en eau en fonction de la taille et de la localisation des projets de production d'hydrogène et met en lumière des disparités territoriales fortes sur le potentiel de production d'hydrogène.
- Le prélèvement en eau (L/kg_{H2}) de la production d'hydrogène via électrolyse peut varier de 15 à 30L/kg_{H2} et dépend en premier lieu des choix technologiques (refroidissement) et de la localisation (climat) ; la taille des projets influe peu sur la consommation en eau. La valeur de 60L/kg n'a pas été retenue dans le cadre de cette étude car elle correspond à un choix technique (refroidissement évaporatif) fortement remis en cause par les différentes entités compétentes sur l'eau du point de vue de sa consommation excessive en eau et du risque sanitaire liée à l'évaporation
- Les installations évaporatives pour le refroidissement des équipements de production d'hydrogène, offrent théoriquement la meilleure rentabilité économique mais sont trois à quatre fois plus gourmandes en eau que les autres technologies et encourent des risques de restriction ou de non-acceptabilité accrus.
- Le choix de la technologie de refroidissement et de la source d'eau utilisée influencent la rentabilité économique (TRI) du projet jusqu'à +/- 10% de la valeur de celui-ci. Les développeurs de projet doivent trouver le bon compromis entre rentabilité économique du projet et acceptation sociale des projets, notamment vis-à-vis de l'impact sur la ressource en eau.
- Les impacts qualitatifs de l'électrolyse sont mineurs : La production d'hydrogène par électrolyse ne produit pas de substances polluantes nouvelles par rapport à celles présentes initialement dans la source d'eau utilisée. Les rejets de filtration concentrent la minéralisation initialement présente et peuvent être dilués au besoin dans un bassin de tamponnement avant rejet dans le milieu récepteur. Les rejets de refroidissement ont une température n'excédant pas 40° C et peuvent également être traités par tamponnement avant rejet.
- Même en cas de projet de production d'hydrogène dans une zone de fragilité, des marges de manœuvre existent pour le déploiement des projets de production d'hydrogène tout en respectant l'équilibre de la ressource en eau (amélioration de l'efficacité du réseau eau, choix de la technologie de refroidissement, mobilisation d'eaux non-conventionnelles)
- La maille à laquelle on analyse les données eaux a beaucoup d'influence sur la marge d'appréciation des projets, principalement à cause de l'extra-territorialité des prélèvements et dans une moindre mesure à cause de la disparité des données eau.
- Le développement de projets de production d'hydrogène de petite taille (< 2MW) a un impact très limité sur la ressource en eau. En revanche, les projets de taille intermédiaire et massifs ont des prélèvements d'eau significatifs.
- La méthodologie systématique déployée dans l'étude ne permet pas d'apporter de réponse définitive et ne saurait se substituer à une étude d'impacts ICPE ou IOTA. En revanche, elle permet d'identifier des points d'alerte en fonction de la localisation des projets.
- Il faut travailler en amont et en transparence avec les acteurs locaux de l'eau et des milieux aquatiques avant d'engager toutes démarches pour confirmer la disponibilité quantitative et qualitative de la ressource en eau et la sensibilité du milieu.
- En prenant uniquement en compte les aspects relatifs à la ressource eau, le potentiel de production d'hydrogène sans déstabiliser les infrastructures existantes pour l'eau potable et l'eau



industrielle (sensibilité eau < 1% des volumes prélevés) pour les deux régions de l'étude est de l'ordre de 1,3 GW à l'horizon 2030.

- Cette étude nécessiterait une suite afin de prendre en compte l'évolution attendue de la disponibilité des ressources régionales en eau, sachant d'ores et déjà que la tendance sera baissière voire fortement baissière à l'horizon 2050.



LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1 - EQUIPE EN CHARGE DE LA CONDUITE DE L'ETUDE

ANNEXE 2 - DEMARCHE DE CO-CONSTRUCTION DE LA
METHODOLOGIE D'ETUDE

ANNEXE 3 - DONNEES 2018 BNPE SUR LES PRELEVEMENTS EN EAU
PAR USAGE ET PAR REGION

ANNEXE 4 - DONNEES UTILISEES POUR CARACTERISER LES
RESSOURCES EN EAU AEP ET AEI

ANNEXE 5 - ARRETES-CADRES SECHERESSE ET DISPOSITIONS
RELATIVES A L'INDUSTRIE

ANNEXE 6 - CARTES DES POTENTIELS AVEC UNE
CONSOMMATION D'EAU A 15 L/KGH2

ANNEXE 7 - PRINCIPALES HYPOTHESES STRUCTURANTES SUR LE
DEVELOPPEMENT DE L'HYDROGENE



ANNEXE 1 - EQUIPE EN CHARGE DE LA CONDUITE DE L'ETUDE

5.1.1. Maîtrise d'ouvrage ADEME

L'encadrement de l'étude a été assuré par Eric Gaspard, Référent Hydrogène Inter-régional Grand Est / Bourgogne Franche Comté, et Thomas Belaud, Ingénieur Fonds Chaleur/Référent Plans de paysage, au sein de l'ADEME Direction Régionale Grand Est. Les co-bénéfices de cette étude sont :

- La mobilisation des acteurs des territoires qui participent également aux groupes régionaux d'adaptation au changement climatique,
- L'éclairage de la question récurrente de l'acceptabilité des projets d'énergie renouvelable,
- L'intérêt de mieux connaître ces nouvelles technologies de l'hydrogène et d'avoir des regards croisés entre les filières eau et hydrogène.

5.1.2. Groupement de prestataires en charge de la maîtrise d'œuvre

La réalisation de l'étude a été confiée au groupement EnerKa Conseil (expertise hydrogène), ATESyn (expertise eau) et Akajoule (expertise cartographique). Les expertises respectives des trois prestataires sont résumées dans la figure suivante :



Figure 64: Présentation des prestataires de l'étude



L'étude a mobilisé l'équipe de réalisation suivante :



Figure 65: Présentation des membres de l'équipe de réalisation



ANNEXE 2 - DEMARCHE DE CO-CONSTRUCTION DE LA METHODOLOGIE D'ETUDE

L'ADEME a souhaité associer un maximum d'acteurs publics concernés par la filière eau ou la filière hydrogène dès le démarrage de l'étude, en partant du constat que la nécessité de développer une vision intégrée des ressources amène aussi à développer des approches intégrées de co-construction de nouvelles méthodes d'étude.



Figure 66: Délimitation régions et agences de l'eau concernées

Instances de co-construction

En dehors des échanges réguliers entre la maîtrise d'ouvrage ADEME et les prestataires, les développements méthodologiques ont été présentés, débattus et validés lors des trois comités techniques (COTECH) qui ont rassemblé l'ADEME, les Agences de l'Eau Rhin-Meuse, Seine-Normandie, Rhône-Méditerranée Corse, Loire-Bretagne, les Régions Grand Est et Bourgogne Franche-Comté et les DREAL Grand Est et Bourgogne Franche-Comté ainsi que les préfetures et SGAR/E des 2 régions.

Les développements travaillés en COPIL ont ensuite été portés à connaissance d'un panel plus large d'acteurs lors des comités de pilotage (COPIL), qui ont rassemblé les structures présentes aux COTECH,



ainsi que les DRAAF Grand Est et Bourgogne Franche-Comté, les DREETS Grand Est et Bourgogne Franche-Comté, l'Agence Economique Régionale (Bourgogne Franche-Comté), le Pôle de compétitivité Véhicule du Futur, le Pôle de compétitivité Hydreos/Aquanova, l'OFB, FNE (France Nature Environnement), les SGARE Grand Est et BFC.

Les institutions ayant participé à la démarche de co-construction méthodologique sont listées ci-dessous.

Institutions représentées	Lancement	COTECH 1	COFIL 1	COTECH 2	COTECH 3	COFIL 2
	25/01	14/03	27/03	18/04	23/05	06/06
	Mulhouse	Dijon	Belfort	Visio	Visio	Metz
ADEME Grand Est	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
ADEME Bourgogne-FC		Oui	Oui			Oui
ADEME siège		Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Préfecture Territoire de Belfort			Oui			
Préfecture de Région BFC		Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
SGARE Grand Est		Oui				Oui
SGARE Bourgogne-FC		Oui		Oui	Oui	Oui
Conseil Régional Grand Est	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Conseil Régional Bourgogne-FC		Oui		Oui	Oui	Oui
AE Seine-Normandie	Oui	Oui	Oui		Oui	Oui
AE Rhin-Meuse	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
AE Rhône-Méditerranée	Oui	Oui	Oui		Oui	Oui
AE Loire-Bretagne	Oui	Oui	Oui		Oui	Oui
DREAL Grand Est		Oui	Oui		Oui	
DREAL Bourgogne-FC		Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
DRAAF Grand Est			Oui			
DRAAF Bourgogne-FC						
DREETS Grand Est						Oui
DREETS Bourgogne-FC			Oui			Oui
BRGM Grand Est ²⁹			Oui	Oui		Oui
Pôle Véhicule du Futur			Oui			Oui
Pôle de compétitivité Aquanova			Oui			Oui
Agence économique BFC						Oui

Tableau 7 : Institutions représentées en réunions

Parties prenantes

Lors de la réunion de lancement ont été identifiées les parties prenantes à l'étude, en tant que participantes des réunions ponctuant le déroulé de l'étude ou susceptibles d'être intéressées/mobilisées, notamment via des entretiens, a minima comme invitées au webinaire de restitution. Les compétences attendues/connues pour ces acteurs des filières eau et/ou hydrogène étaient multiples :

- Police de l'environnement (ICPE, eau, environnement dont Natura 2000)
- Police de l'énergie

²⁹ Délégation Champagne- Ardennes



- Production de données (hydrologie, ...)
- Recherche, acquisition de connaissances
- Mise en réseau
- Evaluation environnementale

La plupart des structures, identifiées lors de la réunion de lancement du 25 janvier 2024, ont en effet été mobilisées.

Groupes	Structures	Contact établi
Services de l'Etat	Préfecture de Région Bourgogne-Franche-Comté (BFC)	Oui
	Préfecture de Région Grand-Est (GE)	Oui
	Préfectures départements (SGAR) (8 en BFC, 10 en GE)	Non
	DREAL Grand-Est	Oui
	DREAL Bourgogne-Franche-Comté	Oui
	DDT départements (8 en BFC, 10 en GE) – dont DDT51 et DDT54	Non
	Appui technique OFB/ARS	Oui
Acteurs économiques	Agence économique BFC	Oui
	Région GE	Oui
	CCI dans les départements (8 en BFC, 10 en GE)	Non
	Gestionnaires d'eaux industrielles	Non
Collectivités territoriales	Région BFC	Oui
	Région GE	Oui
	Départements	Non
	Ville de Mulhouse	Non
	Gestionnaires d'unités d'eau potable et gestionnaires d'eaux industrielles	Non
Acteurs techniques	Pôles de compétitivité : Véhicule du futur/Hydreos	Oui
	ADEME BFC et GE	Oui
	Agences de l'eau	Oui
	Territoires d'industries : BioEconomy for Change	Oui
	Association de 3 industriels (Chalampé) - Pilote ZIBAC - Arkema (site de Carling) - Bassin houiller (étude usages eaux de pompage)	Non

Tableau 8 : Liste des parties prenantes identifiées



Le tableau ci-dessous résume les attentes vis-à-vis des parties prenantes émises lors de la réunion du 25 janvier 2024 :

Éléments d'entretien	Objectifs
Attentes de la partie prenante	Impliquer au maximum
Précisions sur les limites de l'étude	Identifier les points sensibles, ne pas alimenter de frustrations
Contributions pressenties par la partie prenante vs. contributions imaginées par les auteurs de l'étude : discussion sur les écarts	Lever les freins à la collecte d'informations, soutenir l'implication de la partie prenante
Collecte de données	Efficacité dans le traitement des données collectées
Conditions d'accès aux informations, autorisations éventuelles (accès sécurisés)	Sécuriser l'accès aux données
Format des données	Faciliter le traitement (tenue du calendrier)
Explications sur la construction des données	Fiabiliser le traitement, partager les hypothèses de travail

Tableau 9 : Attentes vis-à-vis des parties prenantes

Par ailleurs, les consultants d'EnerKa Conseil et d'ATESyn ont participé au Salon Hyvolution qui s'est tenu les 30 et 31 janvier et 1er février 2024, à Paris, ce qui a facilité les mises en relation avec plusieurs acteurs de la filière Hydrogène, parmi eux : la Région Bourgogne Franche Comté, l'Agence Economique Régionale de Bourgogne Franche Comté, France Hydrogène, ATAWAY, GazelEnergie, Lhyfe, Hynamics, Q Energy, etc.

Entretiens institutionnels

Les structures interrogées représentent les acteurs parties prenantes des thématiques abordées lors de cette étude :

- Experts de l'eau et des enjeux transversaux (biodiversité),
- Experts de l'hydrogène,
- Représentants des industriels de la filière,
- Collectivités en charge de la stratégie régionale.

Dix-sept personnes appartenant aux services de l'Etat, aux collectivités et acteurs économiques territoriaux et acteurs techniques ont été sollicités lors d'entretiens groupés ou individuels réalisés dans le courant des mois de février à avril 2024.





Figure 67: Entretiens menés pour affiner la méthodologie et compléter les données eau/hydrogène



Ces entretiens ont permis de faire émerger des attentes et enjeux, dont certains ont pu être pris en compte dans l'étude. De façon très synthétique, ont été retenus les points suivants :

- Principaux enjeux exprimés : Pédagogie, stratégie
- Principaux livrables : Outil d'aide à la décision pour les pouvoirs publics et les porteurs de projets hydrogène
- Points d'attention : Ne pas ralentir le développement de la filière, prendre en compte la vulnérabilité de la ressource en eau et les enjeux de sobriété, associer les acteurs de terrain

La figure 73 détaille l'ensemble des enjeux exprimés, attentes sur les livrables et points d'attention formulés à l'attention de l'équipe de réalisation et la prise en compte possible de ces items au cours de l'étude (✓ : prise en compte, ✗ : non prise en compte).

Éléments abordés lors des entretiens institutionnels

Lors des entretiens menés en début d'étude (février-mars 2024) puis lors des échanges complémentaires (ARS, BRGM, agences de l'eau) au fil de l'étude et pendant les COTECH/COPILs, les points de vue développés par les acteurs institutionnels sur l'articulation entre la ressource en eau et le développement de la filière hydrogène ont abordé plusieurs grands thèmes. Pour chacun de ces grands thèmes, sont présentés ici les éléments d'attention soulevés par les acteurs. Les notes ci-après correspondent à la retranscription des attentes des personnes interrogées, elles peuvent être redondantes ou différentes des hypothèses retenues pour l'étude. Il est apparu néanmoins nécessaire, dans la démarche de co-construction, de rendre compte de ces dires :

Prise en compte de la ressource en eau dans les projets de production d'hydrogène :

- **Par postulat, la production d'hydrogène aura un impact sur la ressource en eau dont l'avenir est déjà en questionnement.** Il est acté la nécessité de prendre en compte la sensibilité de la ressource en eau dès l'amont des projets d'implantation de production d'hydrogène notamment au regard :
 - Des caractéristiques de la ressource en eau disponible : origine de l'eau (ESU/ESO), nécessité d'un traitement avant utilisation dans la production d'hydrogène (AEP/AEI/eaux patrimoniales/eaux non conventionnelles), restrictions potentielles des usages de l'eau, y compris les usages industriels, en périodes de sécheresse ;
 - De la concurrence potentielle entre les usages industriels ayant besoin d'eau, qu'ils soient existants ou étudiés, en prélevant sur la même ressource en eau ;
 - De l'opportunité d'exploiter les surplus d'eaux (d'exhaures) dans certaines parties du bassin hydrographique Rhin-Meuse ;
 - De la nécessité de prendre en compte les évolutions d'hydraulicité³⁰ (y compris au cours d'une année) pour différencier les territoires (caractérisation et disponibilité en eau, et modes de gestion de la ressource) ;
 - De la sensibilité du milieu récepteur et de l'impact du rejet sur le milieu et la biodiversité (caractéristiques physico-chimiques et thermie).

³⁰ Hydraulicité (terme lié à l'hydrologie, la quantité d'eau de la ressource en eau, variable dans l'espace et dans le temps) : « Rapport du débit mensuel (ou annuel) à sa moyenne interannuelle. L'hydraulicité permet de positionner simplement le débit d'une année ou d'un mois donné par rapport à une année ou un mois considéré comme « normal » (source : <https://www.eaufrance.fr/glossaire/hydraulicite>).



- **Distinguer les niveaux de besoins en eau dans la production** : la consommation brute et la consommation nette suivant les procédés, la qualité de l'eau utilisée et celle de l'eau rejetée après process,
- **Aborder tous les aspects « eau » d'un projet hydrogène**, de l'amont à l'aval, du prélèvement au rejet, en passant par le risque accidentel (non-approvisionnement en eau, déversement polluant dans les eaux, capacité de réception du milieu récepteur insuffisante).
- **Donner des clés pour analyser un projet en première approche au regard de la sensibilité de la ressource en eau** (pour les services instructeurs des projets de production d'hydrogène (police des eaux, police des ICPE, les Préfets, les financeurs), et s'assurer de maintenir un débit ou volume d'eau minimal pour le biotope, la qualité du milieu aquatique. L'application de la réglementation sur l'eau sera prise en compte par les services de l'Etat instruisant les dossiers (ICPE et/ou IOTA, par les DDT et/ou les DREAL).
- Une attention particulière à la **concurrence avec l'utilisation de la ressource en eau** destinée à l'alimentation en eau potable humaine, systématiquement prioritaire, sera apportée, notamment par les services des ARS :
 - Le suivi des collectivités dites « à pénuries récurrentes » pour lesquelles des listes existent au niveau des départements et des agences de l'eau ;
 - Les politiques d'allègement du niveau de consommation sur les réseaux AEP, de réduction des prélèvements en eau, de mobilisation des eaux impropres à la consommation humaine (EICH), telles que les eaux de pluie, les eaux non conventionnelles. La mobilisation d'une eau de qualité potable à des fins industrielles peut être questionnée.

Sur des problèmes qualitatifs éventuellement générés par une pression quantitative excessive, en Grand-Est, l'ARS indique l'absence de problèmes majeurs identifiés au regard de la qualité sanitaire des eaux du fait de la pression quantitative, même si une vigilance s'impose en périodes de faible hydraulité quant à la capacité de dilution des polluants par les milieux aquatiques affectés par d'éventuelles tensions quantitatives. L'ARS adresse un point de vigilance sur la température des eaux et d'éventuels prélèvements et rejets dans des zones de baignade : le risque de dépassement des seuils de concentrations en cyanobactéries est à examiner. Pour la production d'hydrogène, il est difficile préciser, à ce stade d'étude, les régimes de température des eaux rejetées en sortie d'électrolyseur puis en sortie de bassin de tamponnement. L'étude d'impact de chaque projet devra aborder cet item, en affinant par exemple l'analyse des chroniques de températures extérieures, et de l'évolution de celles-ci en régime diurne/nocturne et les impacts de celles-ci sur les milieux aquatiques récepteurs.

Sur le bassin Rhin-Meuse, un réseau de suivi en continu de la température de l'eau a été déployé en région Grand-Est, en partenariat avec la DREAL et l'OFB ; ce réseau comprend une centaine de stations et s'appuie sur les stations du réseau hydrométrique de la DREAL.

Intégrer la production d'hydrogène dans l'approche territoriale de la gestion de la ressource en eau :

- Le Plan Eau adopté en mars 2023 par le gouvernement fixe un objectif de réduction des prélèvements en eau de 10% à l'horizon 2030 et détaille une liste de mesures concernant trois enjeux :
 - Sobriété des usages : comptage des prélèvements, planification de l'usage de la ressource, économies,
 - Optimisation de la disponibilité : réduction des pertes, valorisation des eaux non conventionnelles et amélioration du stockage,
 - Préservation de la qualité : prévention des pollutions diffuses, préservation et restauration du grand cycle de l'eau.



- Le Plan Eau est décliné par chacune des régions et des agences de l'eau. Les mesures prises dans les territoires devront être spécifiquement prises en compte. En particulier, sur le territoire Rhône-Méditerranée-Corse, l'objectif de diminution de la consommation est de 15% alors qu'il est de 10% au niveau national.
- **La filière hydrogène se doit d'être particulièrement attentive aux mesures de planification à venir, visant à décliner, territoire par territoire, l'objectif de sobriété :**
 - Respect de chaque plan régional d'adaptation au changement climatique, précisant la trajectoire de réduction des prélèvements au regard des projections d'évolution de la ressource en eau et des usages.
 - Prise en compte des objectifs chiffrés de réduction des prélèvements définis dans les documents de gestion de l'eau à l'échelle des 1 100 sous-bassins du pays, à savoir les schémas d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE) et les projets de territoire pour la gestion de l'eau (PTGE),
 - Veille sur la fin aux autorisations de prélèvement au-delà de ce qui est soutenable dans les bassins versants dits en déséquilibre,
 - Prise en compte des années 2018-2019-2020 comme années de référence du Plan Eau.
- Lors des divers temps d'échanges de l'étude, plusieurs questions ont été émises sans réponse circonstanciée possible à ce niveau d'analyse :
 - **La pertinence de l'implantation des productions massives d'hydrogène en fonction de la densité de population**, au regard de l'acceptabilité environnementale (disponibilité de la ressource en eau potentiellement plus faible dans les zones de forte population) et sociétale,
 - Les raisons de la production d'hydrogène au regard d'autres enjeux d'usages de l'eau des territoires locaux, tels que ceux de production agricole liée à la souveraineté alimentaire, notamment quant aux risques de concurrence sur la ressource en eau prélevée. A l'échelle régionale, la BNPE donne accès aux volumes prélevés dans les ressources naturelles par grand pan d'activité (agriculture, industrie, eau potable, etc.). Ces données sont présentées en annexe 3. A noter qu'elles ne permettent pas de traiter de la saisonnalité des besoins, notamment au regard de l'usage agricole, dans des périodes où les restrictions pourraient affecter les deux usages : production alimentaire et production H2. Si des tensions apparaissaient sur la ressource, les préfets rendraient des arbitrages.
 - La gestion de la pression sur la ressource en eau dans le cas de projets de production d'hydrogène de forte puissance, destinés à l'export d'hydrogène, comme en Moselle (projets EmilHy et CarlHYng orientés vers la fourniture d'hydrogène bas carbone pour le compte de l'industriel métallurgiste Sarrois SHS) ?
- La prise en compte du contexte européen, prégnant pour les deux régions concernées par l'étude qui sont frontalières d'autres pays européens, dont les stratégies de développement de la filière hydrogène sont en interaction avec la stratégie française. Chaque région se trouve par conséquent impliquée dans la gestion des équilibres transfrontaliers pour déployer sa propre politique de développement de la filière.
 - La notion de « potentiel maximal de prélèvement sur la ressource en eau pour l'hydrogène », en considérant que le potentiel doit être modulé en fonction des autres usages de l'eau en développement. Cette notion de potentiel « maximal » s'apparente à celle de volumes prélevables dont la détermination ne s'établit pas aux mêmes échelles et ne s'applique pas



aux mêmes objets : les volumes prélevables³¹ se définissent au regard d'une ressource déterminée sur un périmètre géographique qui s'y rapporte, tel un périmètre d'extension de nappe ou un bassin versant, et adressent l'ensemble des prélèvements « possibles ». L'étude de la sensibilité des ressources en eau approche le potentiel de production d'hydrogène en mobilisant les systèmes existants (réseaux et infrastructures associées), pour les usages AEP ou AEI, en intégrant une réduction de 15% des prélèvements en eau par rapport à l'actuel pour tenir compte des efforts nécessaires de sobriété, et adresse l'équilibre desdits systèmes. Bien que non exclusif d'autres usages que celui de la production d'hydrogène, le potentiel ne peut pas être qualifié de maximal, au sens où il reviendrait à considérer que les usages AEP et AEI sur lesquels il se fonde exploitent le maximum possible des ressources qu'ils mobilisent, ce qui est généralement inexact. En outre, la notion de potentiel « maximal » occulterait le recours possible pour la production d'hydrogène à d'autres ressources patrimoniales en eau, non déficitaires, sur lesquelles les « volumes prélevables » ne sont pas atteints (quitte à mobiliser des transferts d'eau depuis un territoire autre que celui d'implantation), ou le recours aux eaux non conventionnelles.

Prise en compte économique de la disponibilité de la ressource en eau :

- A rebours des stratégies de réduction des consommations d'eau, certains gestionnaires d'infrastructures publiques d'alimentation en eau potable rencontrent des difficultés d'équilibre budgétaire du fait des baisses d'assiette de facturation, et pourraient être intéressés à délivrer de l'eau pour des nouveaux usages tels que la production d'hydrogène (volumes comparables à des volumes de desserte AEP collective dans le cas de projets hydrogène diffus < 5MW), sous réserve de la disponibilité en eau (ZRE, PTGE...).

³¹ Extrait du site EauFrance – L'eau dans le bassin Rhône-Méditerranée : « Les études fournissent les éléments qui doivent permettre un ajustement des autorisations de prélèvement d'eau dans les rivières ou les nappes concernées, en conformité avec les ressources disponibles et sans perturber le fonctionnement des milieux naturels. Les résultats des études ne sont pas des valeurs absolues. Il faut tenir compte des incertitudes sur les données recueillies soit sur les débits, soit sur les réductions de prélèvements à atteindre, en fonction des méthodologies adoptées. Ces études ont pour objectif d'évaluer des objectifs quantitatifs aux points de référence du SDAGE pour les eaux de surface et pour les eaux souterraines. »

(<https://www.rhone-mediterranee.eaufrance.fr/sobriete-des-usages-et-partage-de-la-ressourceprelevements-en-eau/etudes-devaluation-des-volumes>)



Enjeux exprimés

- ✓ Construire une vision globale du sujet hydrogène/eau
- ✓ Préciser les territoires où il y aurait des déficits eau/hydrogène
- ✓ Apporter des éléments relatifs à la ressource en eau pour la stratégie régionale Grand-Est, donner des éléments d'aide à la décision aux services de l'Etat
- ✓ Préciser la sensibilité de certaines zones
- ✗ Vérifier la cohérence avec la trajectoire 2030 de France Hydrogène
- ✓ Fournir des éléments de pédagogie hydrogène/eau et déployer une approche globale empreinte des réalités de terrain
- ✓ Approcher les risques de conflits d'usage de l'eau (y compris en tenant compte des évolutions d'hydraulicité suivant les territoires)
- ✗ Replacer la production d'hydrogène dans une approche sociétale et environnementale (aborder tous les aspects d'un projet hydrogène, de l'amont à l'aval, du prélèvement au rejet, en passant par le risque accidentel, et l'acceptabilité locale)

Attentes sur les livrables

- ✗ Faire le lien entre les besoins en eau de la filière H2 en comparaison avec ceux des autres industries et usages (sous forme de pourcentage de consommation).
- ✗ Mettre en avant les risques de concurrence sur la ressource en eau
- ✓ Détailler les prélèvements, la consommation d'eau et les rejets dans les différents procédés de production de l'hydrogène
- ✗ Intégrer la temporalité des tensions sur la ressource en eau
- ✗ Identifier des endroits très favorables avec un excès d'eau et inversement les zones en tension pour rendre des avis politiques au niveau de la région Grand-Est
- ✓ Cartographier les enjeux eau/H2 en vue d'appréhender un cheminement logique de territoire, en mettant en valeur les technologies, les préconisations et les retours d'expérience.
- ✗ Avoir un outil simple d'utilisation pour guider les collectivités sur les questions liées à la disponibilité en eau, notamment eau potable
- ✗ Formuler des feux rouges/verts à destination essentiellement des porteurs de projet sur les zones sensibles
- ✓ Préciser les solutions possibles en termes de prélèvement et de rejet dans les milieux naturels
- ✗ Faire le lien avec les discussions MAEC (Mesures agroenvironnementales et Climatiques) dans les régions

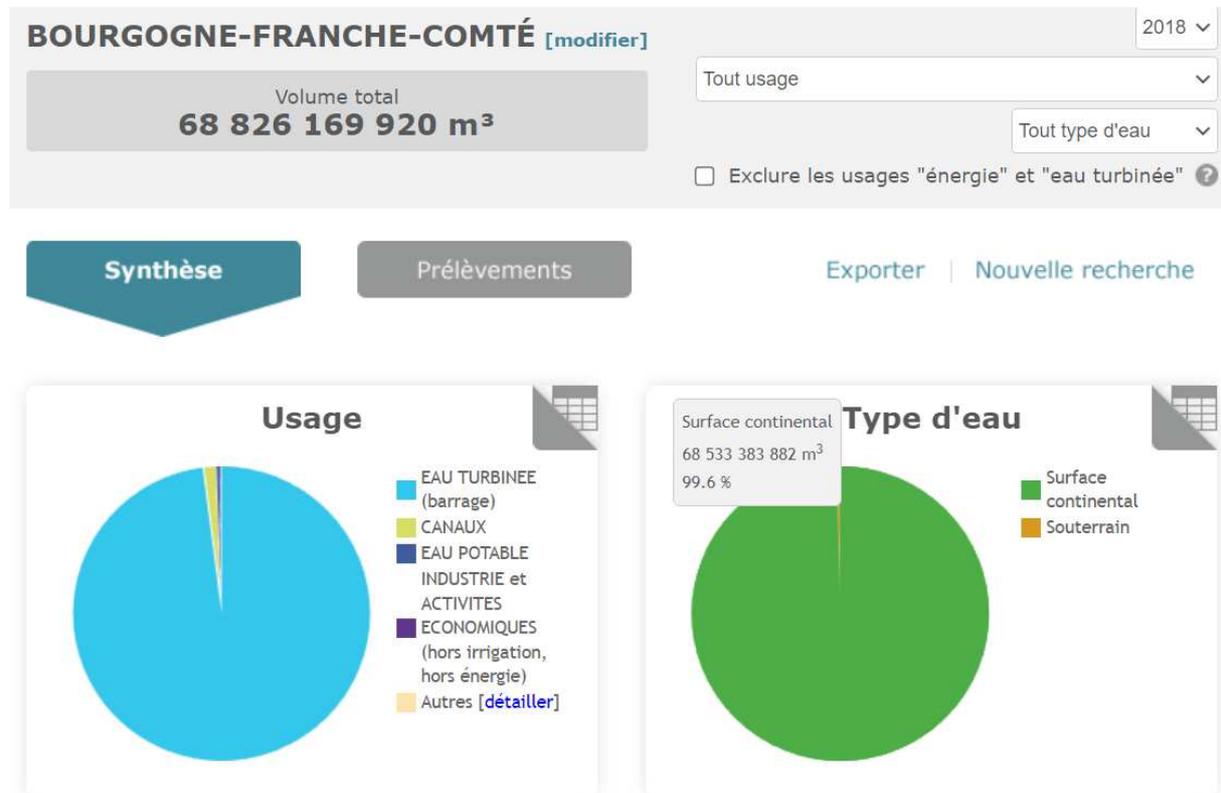
Points d'attention

- ✓ Préciser ce que l'étude n'est pas
- ✓ Ne pas mettre en danger la filière hydrogène avec les conclusions de l'étude
- ✓ Bien expliquer les hypothèses retenues
- ✓ Associer les acteurs de terrain à la démarche « pour être plutôt grossièrement juste que précisément faux », éviter les simplifications, les raisonnements tronqués ou les amalgames
- ✓ Solliciter les industriels concernés,
- ✓ Avoir les éléments d'information précis (données fines des agences de l'eau)
- ✓ Prendre en compte le Plan Eau du gouvernement, les restrictions d'eau et la gestion territorialisée de l'eau, les priorités de production végétale
- ✓ S'assurer que la version finale de l'étude AERMC sera disponible et utilisable et rendre tous les partenaires destinataires de l'étude finale

Figure 68: Enjeux, attentes et points d'attention exprimés

ANNEXE 3 – DONNEES 2018 BNPE SUR LES PRELEVEMENTS EN EAU PAR USAGE ET PAR REGION

ANNEE 2018



BOURGOGNE-FRANCHE-COMTÉ [\[modifier\]](#)

2018 ▾

Volume total
1 407 370 014 m³

Tout usage ▾

Tout type d'eau ▾

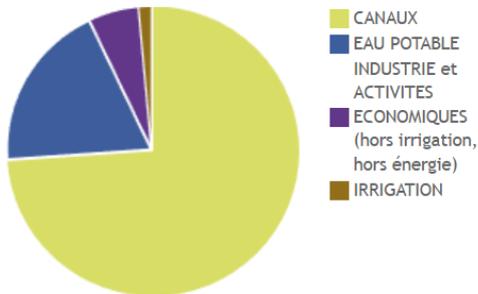
Exclure les usages "énergie" et "eau turbinée" ?

Synthèse

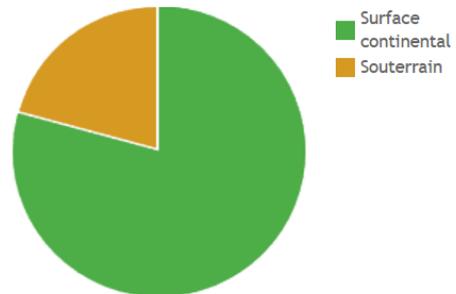
Prélèvements

[Exporter](#) | [Nouvelle recherche](#)

Usage



Type d'eau



GRAND EST [\[modifier\]](#)

2018 ▾

Volume total
22 528 142 218 m³

Tout usage ▾

Tout type d'eau ▾

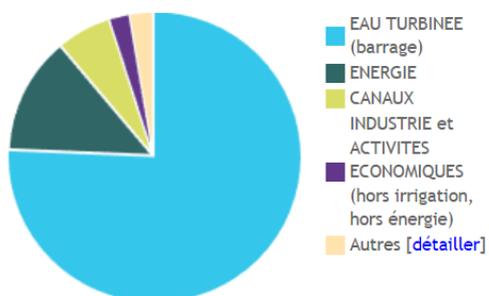
Exclure les usages "énergie" et "eau turbinée" ?

Synthèse

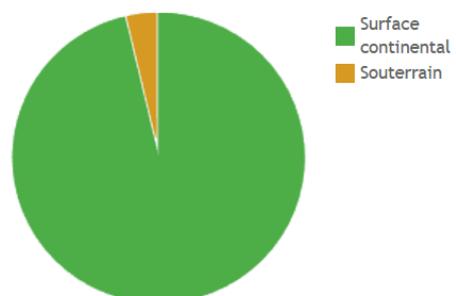
Prélèvements

[Exporter](#) | [Nouvelle recherche](#)

Usage



Type d'eau



GRAND EST [\[modifier\]](#)

2018

Volume total
2 499 623 624 m³

Tout usage

Tout type d'eau

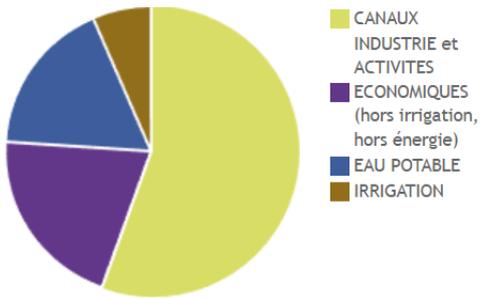
Exclure les usages "énergie" et "eau turbinée" ?

Synthèse

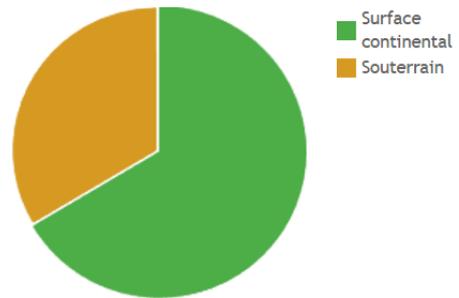
Prélèvements

[Exporter](#) | [Nouvelle recherche](#)

Usage



Type d'eau



ANNEE 2019

BOURGOGNE-FRANCHE-COMTÉ [modifier]

2019 ▼

Volume total
64 928 105 325 m³

Tout usage ▼

Tout type d'eau ▼

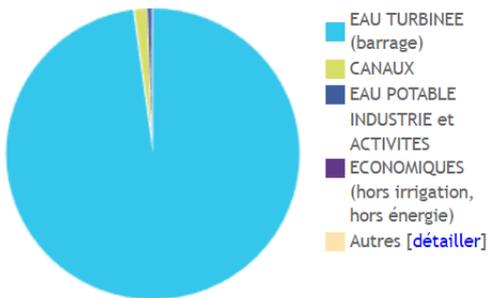
Exclure les usages "énergie" et "eau turbinée" ?

Synthèse

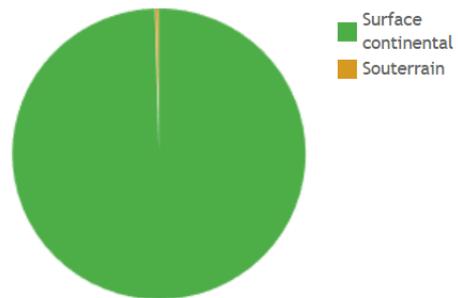
Prélèvements

Exporter | Nouvelle recherche

Usage



Type d'eau



BOURGOGNE-FRANCHE-COMTÉ [modifier]

2019 ▼

Volume total
1 403 852 633 m³

Tout usage ▼

Tout type d'eau ▼

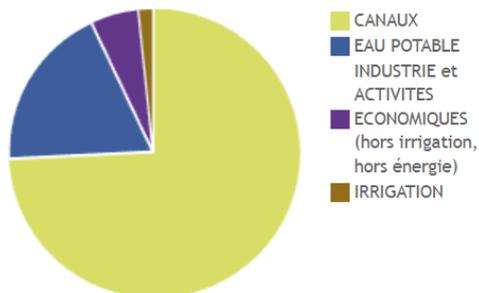
Exclure les usages "énergie" et "eau turbinée" ?

Synthèse

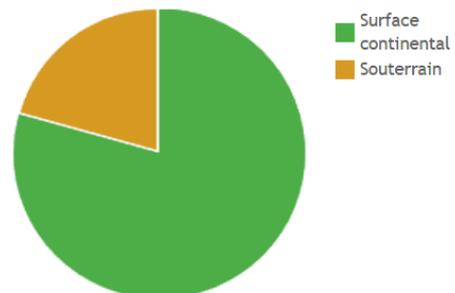
Prélèvements

Exporter | Nouvelle recherche

Usage



Type d'eau



GRAND EST [modifier]

2019

Volume total
21 980 126 618 m³

Tout usage

Tout type d'eau

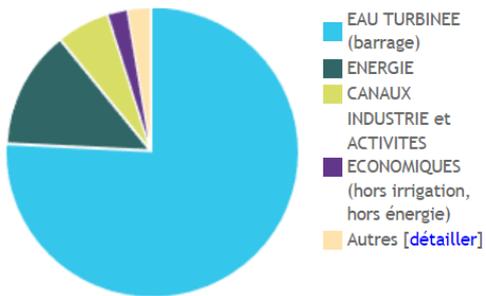
Exclure les usages "énergie" et "eau turbinée" ?

Synthèse

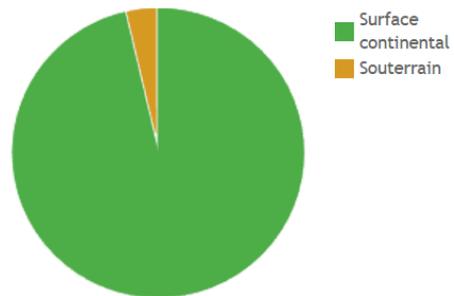
Prélèvements

Exporter | Nouvelle recherche

Usage



Type d'eau



GRAND EST [modifier]

2019

Volume total
2 376 305 785 m³

Tout usage

Tout type d'eau

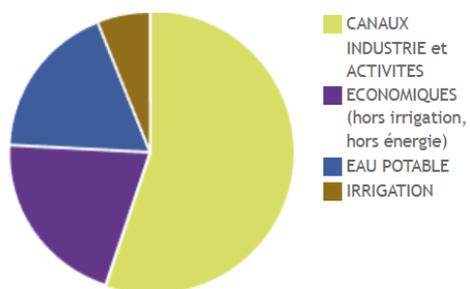
Exclure les usages "énergie" et "eau turbinée" ?

Synthèse

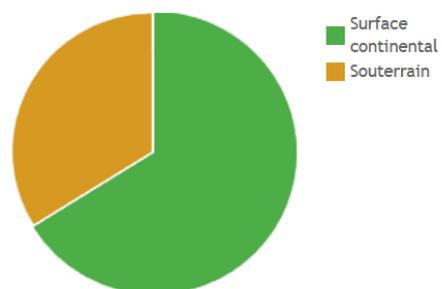
Prélèvements

Exporter | Nouvelle recherche

Usage



Type d'eau



ANNEE 2020

BOURGOGNE-FRANCHE-COMTÉ [modifier]

2020 ▾

Volume total
63 117 970 746 m³

Tout usage ▾

Tout type d'eau ▾

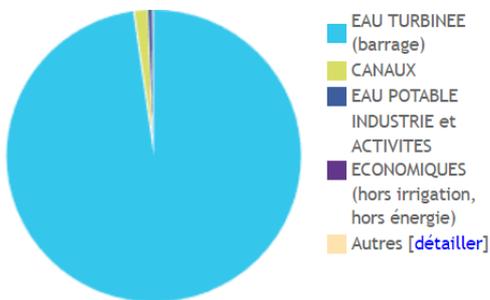
Exclure les usages "énergie" et "eau turbinée" ?

Synthèse

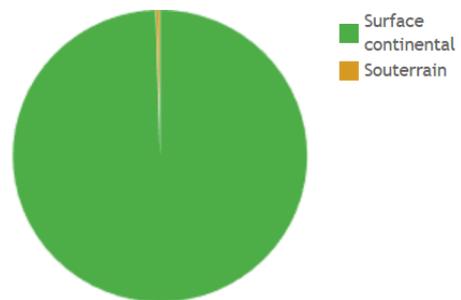
Prélèvements

Exporter | Nouvelle recherche

Usage



Type d'eau



BOURGOGNE-FRANCHE-COMTÉ [modifier]

2020 ▾

Volume total
1 418 994 531 m³

Tout usage ▾

Tout type d'eau ▾

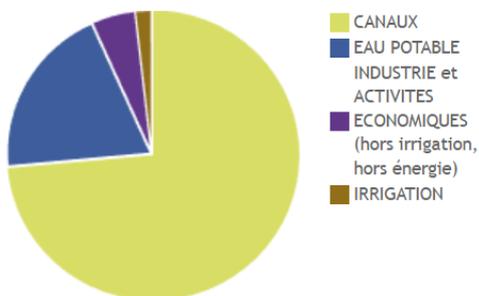
Exclure les usages "énergie" et "eau turbinée" ?

Synthèse

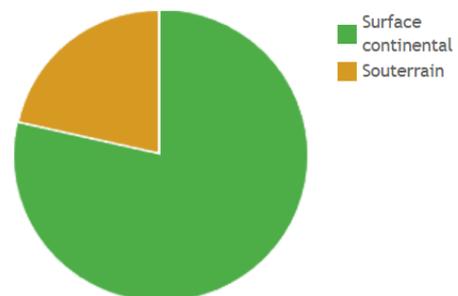
Prélèvements

Exporter | Nouvelle recherche

Usage



Type d'eau



GRAND EST [modifier]

2020

Volume total
18 440 834 016 m³

Tout usage

Tout type d'eau

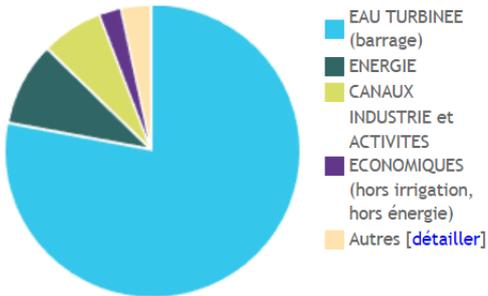
Exclure les usages "énergie" et "eau turbinée" ?

Synthèse

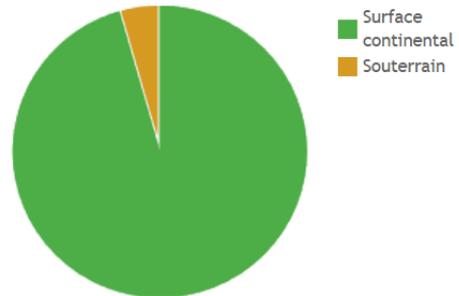
Prélèvements

Exporter | Nouvelle recherche

Usage



Type d'eau



GRAND EST [modifier]

2020

Volume total
2 338 217 751 m³

Tout usage

Tout type d'eau

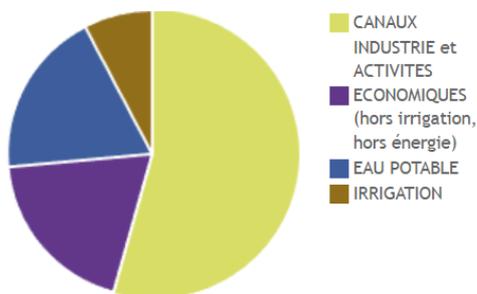
Exclure les usages "énergie" et "eau turbinée" ?

Synthèse

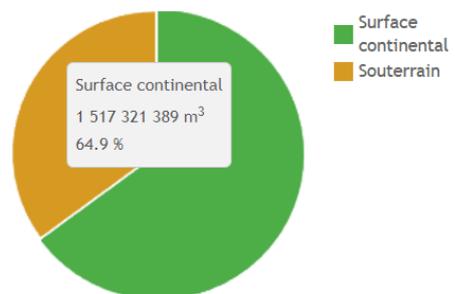
Prélèvements

Exporter | Nouvelle recherche

Usage



Type d'eau



ANNEE 2021

BOURGOGNE-FRANCHE-COMTÉ [modifier]

2021

Volume total
82 430 909 764 m³

Tout usage

Tout type d'eau

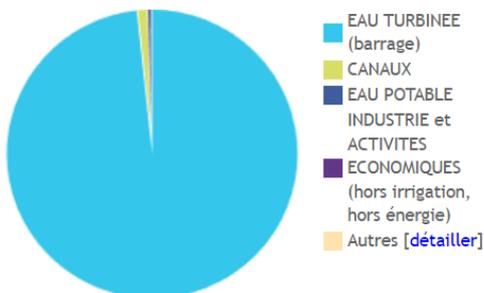
Exclure les usages "énergie" et "eau turbinée" ?

Synthèse

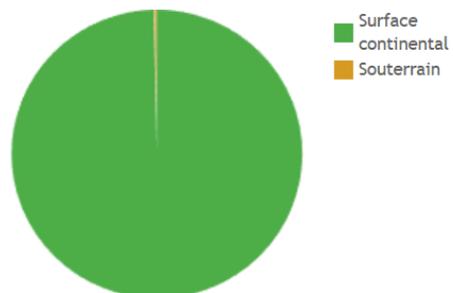
Prélèvements

Exporter | Nouvelle recherche

Usage



Type d'eau



BOURGOGNE-FRANCHE-COMTÉ [modifier]

2021

Volume total
1 403 839 479 m³

Tout usage

Tout type d'eau

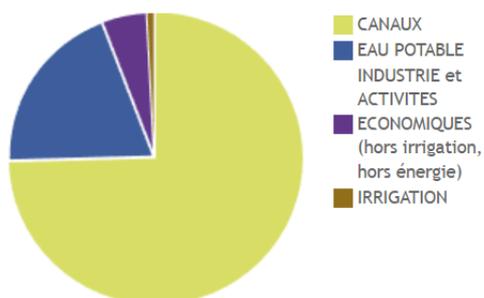
Exclure les usages "énergie" et "eau turbinée" ?

Synthèse

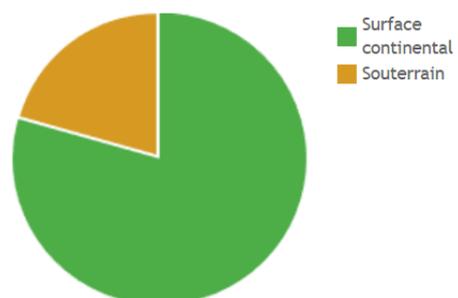
Prélèvements

Exporter | Nouvelle recherche

Usage



Type d'eau



GRAND EST [modifier]

2021

Volume total
19 458 129 822 m³

Tout usage

Tout type d'eau

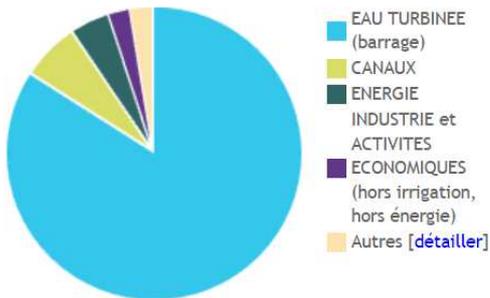
Exclure les usages "énergie" et "eau turbinée" ?

Synthèse

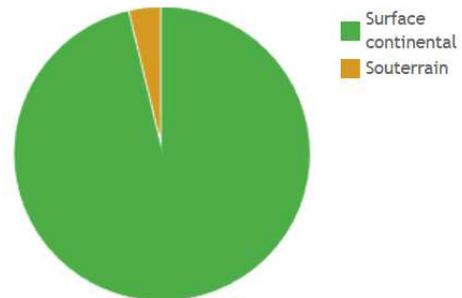
Prélèvements

Exporter | Nouvelle recherche

Usage



Type d'eau



GRAND EST [modifier]

2021

Volume total
2 241 895 643 m³

Tout usage

Tout type d'eau

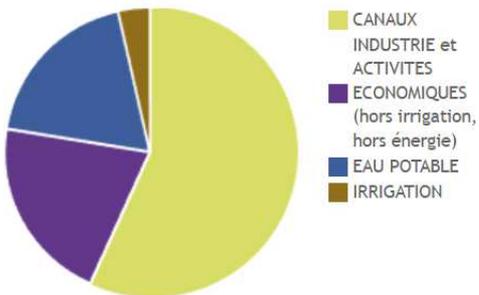
Exclure les usages "énergie" et "eau turbinée" ?

Synthèse

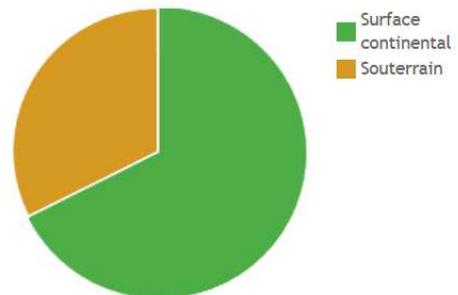
Prélèvements

Exporter | Nouvelle recherche

Usage



Type d'eau



ANNEXE 4 – DONNEES UTILISEES POUR CARACTERISER LES RESSOURCES EN EAU AEP ET AEI

Données relatives à l'alimentation en eau potable (AEP) issues de la BNPE utilisées pour l'approche systématique pour les projets diffus et intermédiaires :

- Les données à la maille communale :
 - Intéressent le niveau de prélèvement AEP sur le territoire de chaque commune considérée, et permettent de considérer ESO ou ESU
 - Par traitement cartographique, permettent de déterminer si les prélèvements sont en ZRE (ZRE = listes de communes) et/ou en zone de fragilité quantitative ESO ou ESU
 - Permettent d'appliquer les règles de sensibilité attachées au lieu de prélèvement (seuils de sensibilité différenciés selon les zones) => Permettent des agrégations à des échelles supra-communales
 - Permettent un calcul de « sensibilité » / « potentiel théorique » mais résultat non interprétable car ne permet pas de déterminer si le système AEP considéré est « sensible » à un besoin en eau supplémentaire car le périmètre des prélèvements n'est pas nécessairement celui de la distribution d'eau (extra-territorialité des prélèvements, cf. cas de Nancy)
- Les données à la maille EPCI par agrégation des données communales
 - Intéressent le niveau de prélèvement sur le territoire de chaque EPCI considéré, et permettent de considérer ESO ou ESU
 - Permettent d'appliquer les règles de sensibilité attachées au lieu de prélèvement
 - Permettent un calcul de « sensibilité » / « potentiel théorique » mais résultat non interprétable car ne permet pas de déterminer si le(s) système(s) AEP concerné(s) est(sont) « sensible(s) » à un besoin en eau supplémentaire : le périmètre des prélèvements n'est pas celui de la distribution d'eau (extra-territorialité des prélèvements, cf. cas de la métropole de Nancy)
- Les données agrégées à la maille départementale
 - Intéressent le niveau de prélèvement sur le territoire de chaque département considéré, et permettent de considérer ESO ou ESU
 - Permettent d'appliquer les règles de sensibilité attachées au lieu de prélèvement
 - Permettent de lisser la difficulté liée à l'extra-territorialité des prélèvements, marginale à l'échelle départementale, et de faire l'approximation que les volumes prélevés servent le territoire pour l'usage AEP.
 - Permettent de déterminer un seuil de « sensibilité » du territoire à des besoins en AEP pour un nouvel usage → « Potentiel » maximal de déploiement H2 par alimentation à partir des systèmes AEP.
 - **Nota** : l'examen de sensibilité ne permet pas de renseigner quant aux modalités de satisfaction du besoin. Exemples de modalités : nouveau prélèvement, amélioration de rendement, augmentation des volumes mis en distribution, substitution d'usage... L'examen de sensibilité, traduit en « potentiel », établit un niveau jusqu'auquel la pression de prélèvement sur le territoire, supposée satisfaire les usages préexistants, ne devrait pas s'accroître au point de générer un déséquilibre sur l'usage AEP.



En synthèse :

Les données AEP issues de la BNPE agrégées à la maille départementale sont mobilisées pour l'approche systématique des projets H2 diffus et intermédiaires, car elles permettent une cartographie de sensibilité à la maille des départements avec un bon indice de confiance, en :

- lissant la difficulté liée à l'extra-territorialité des prélèvements, marginale à l'échelle départementale, et de faire l'approximation que les volumes prélevés servent le territoire pour l'usage AEP,
- déterminant un seuil de « sensibilité » du territoire à des besoins en AEP pour un nouvel usage => « Potentiel » maximal de déploiement H2 par alimentation à partir des systèmes AEP.

Données relatives à l'alimentation en eau potable (AEP) issues de SISPEA utilisées pour l'approche systématique pour les projets diffus et intermédiaires :

- Données SISPEA à la maille communale existent ou sont déductibles facilement seulement si Commune = EG (entité de gestion)
- Beaucoup de lacunes dans les saisies SISPEA des PRPDE³² (en 2022, 61% collectivités non renseignées, dont une majorité de communes) => Ne satisfont pas l'analyse systématique. Volumes prélevés mieux renseignés dans BNPE => utilisation BNPE
- Données SISPEA à la maille EPCI existent ou sont déductibles facilement seulement si EPCI = Σ EG, or c'est très variable. Agrégation inopérante de données SISPEA communales, trop lacunaires. => Ne satisfont pas l'analyse systématique. Volumes prélevés par agrégation des données BNPE à la maille communale, plus complètes => utilisation BNPE
- Données collectivités déclarées (PRPDE) - mailles diverses (communes, CC, CA, Métro, Syndicats) :
 - Intéressent les rendements des systèmes AEP
 - Permettent un traitement statistique pour affiner les règles de sensibilité (dégressivité des seuils)
 - Traitement cartographique => déterminer le meilleur usage dans l'affinage des règles de sensibilité

Pourquoi choisir le paramètre Volumes produits plutôt que Volumes consommés (ou distribués) pour réaliser les approches statistiques utiles à la définition des règles de sensibilité mobilisées dans l'approche systématique ?

- Volumes produits : donnée la mieux renseignée (concerne les collectivités productrices mais non distributrices, et les collectivités productrices et distributrices). Volume le plus « intégrateur » sur la maille considérée.
- Volumes distribués (ou consommés) : donnée moins intéressante sur la maille car pertes en amont, et consommations sans comptage, volumes de service, non considérés dans l'analyse + ne concerne que les collectivités distributrices => davantage de lacunes
 - Intelligibilité et intérêt discutables
- Volumes mis en distribution : donnée moins intéressante sur la maille car imports / exports en amont. Ne concerne que les collectivités distributrices => davantage de lacunes

³² Personnes responsables de la production et distribution de l'eau



→ intelligibilité et intérêt discutables

En synthèse :

Les données AEP issues de SISPEA sont utilisées pour :

- un traitement statistique, qui conduit à affiner les règles de sensibilité (dégressivité des seuils liée aux rendements des systèmes AEP), dans l'approche systématique, par les données déclarées des collectivités (PRPDE), à des mailles diverses (communes, CC, CA, Métro, Syndicats),
- travailler sur des indicateurs de pertinence des modalités de satisfaction des besoins de l'usage de l'eau nouveau qui permettraient de ne pas accroître la pression de prélèvement sur les ressources de manière significative, donc au-delà des seuils de sensibilité définis, dans l'approche circonstanciée (les études de cas) pour les projets de production H2 de taille intermédiaire.



Données relatives à l'eau industrielle (AEI) issues de la BNPE utilisées pour l'approche systématique pour les projets diffus et intermédiaires :

- Les données à la maille communale :
 - Intéressent le niveau de prélèvement sur le territoire de chaque commune considérée, et permettent de considérer ESO ou ESU
 - Par traitement cartographique, permettent de déterminer si les prélèvements sont en ZRE (ZRE = listes de communes)
 - En zone de fragilité quantitative ESO ou ESU
 - Permettent d'appliquer les règles de sensibilité attachées au lieu de prélèvement (seuils de sensibilité différenciés selon les zones) → Permettent des agrégations à des échelles supra-communales
 - Permettent un calcul de « sensibilité » / « potentiel théorique » mais résultat d'interprétation délicate car le périmètre des prélèvements n'est pas nécessairement celui de la consommation d'eau (extra-territorialité des prélèvements / localisation industrie(s) consommatrice(s)).
 - L'extra-territorialité des prélèvements est potentiellement moins fréquente en AEI qu'en AEP car industries hydro-dépendantes localisées à proximité des ressources mobilisées.
- Les données à la maille EPCI par agrégation des données communales :
 - Intéressent le niveau de prélèvement sur le territoire de chaque EPCI considéré, et permettent de considérer ESO ou ESU
 - Permettent d'appliquer les règles de sensibilité attachées au lieu de prélèvement
 - Permettent un calcul de « sensibilité » / « potentiel théorique » même si le périmètre des prélèvements n'est pas nécessairement celui de la consommation d'eau (extra-territorialité des prélèvements / localisation industrie(s) consommatrice(s)).
 - Extra-territorialité des prélèvements potentiellement peu fréquente à l'échelle des EPCI (CC, CA, Métropole) → Cartographie de sensibilité à la maille des EPCI avec indice de confiance assez bon
- Les données agrégées à la maille départementale :
 - Intéressent le niveau de prélèvement sur le territoire de chaque département considéré, et permettent de considérer ESO ou ESU
 - Permettent d'appliquer les règles de sensibilité attachées au lieu de prélèvement
 - Permettent de lisser la difficulté liée à l'extra-territorialité des prélèvements, marginale à l'échelle départementale, et de faire l'approximation que les volumes prélevés servent le territoire pour l'usage AEI.
 - Permettent de déterminer un seuil de « sensibilité » du territoire à des besoins en AEI pour un nouvel usage → « Potentiel » de déploiement H2 par alimentation à partir des systèmes AEI.
 - Cartographie de sensibilité à la maille des départements avec indice de confiance bon.



Nota : l'examen de sensibilité ne permet pas de renseigner quant aux modalités de satisfaction du besoin. Exemples de modalités : nouveau prélèvement, amélioration de rendement, augmentation des volumes mobilisés sur une plateforme industrielle, substitution d'usage... L'examen de sensibilité, traduit en « potentiel », établit un niveau jusqu'auquel la pression de prélèvement sur le territoire, supposée satisfaire les usages industriels préexistants, ne devrait pas s'accroître au point de générer un déséquilibre sur

En synthèse :

Les données AEI issues de la BNPE sont mobilisées pour l'approche systématique des projets H2 intermédiaires, car elles permettent une cartographie de sensibilité à la maille des EPCI avec un indice de confiance assez bon et à la maille des départements avec indice de confiance bon, en :

- Permettant un calcul de « sensibilité » / « potentiel théorique » (maille des EPCI) même si le périmètre des prélèvements n'est pas nécessairement celui de la consommation d'eau (extra-territorialité des prélèvements potentiellement peu fréquente à l'échelle des EPCI (CC, CA, Métropole) / localisation industrie(s) consommatrice(s)).
- Lissant la difficulté liée à l'extra-territorialité des prélèvements, marginale à l'échelle départementale, et de faire l'approximation que les volumes prélevés servent le territoire pour l'usage AEI,
- Déterminant un seuil de « sensibilité » du territoire à des besoins en AEI pour un nouvel usage => « Potentiel » de déploiement H2 par alimentation à partir des systèmes AEI.

l'usage AEI.

Données relatives à l'alimentation en eau potable et à l'eau industrielle (AEP + AEI) issues de la BNPE utilisées pour l'approche systématique pour les projets intermédiaires :

- Les données à la maille EPCI par agrégation des données communales :
 - Intéressent le niveau de prélèvement sur le territoire de chaque EPCI considéré, et permettent de considérer ESO ou ESU
 - Permettent d'appliquer les règles de sensibilité attachées au lieu de prélèvement
 - Permettent un calcul de « sensibilité » / « potentiel théorique » même si le périmètre des prélèvements n'est pas nécessairement celui de la consommation d'eau (extra-territorialité des prélèvements / localisation des consommations AEP et AEI). → Cartographie de sensibilité à la maille des EPCI avec indice de confiance moyen.
- Les données agrégées à la maille départementale :
 - Intéressent le niveau de prélèvement sur le territoire de chaque département considéré, et permettent de considérer ESO ou ESU
 - Permettent d'appliquer les règles de sensibilité attachées au lieu de prélèvement
 - Permettent de lisser la difficulté liée à l'extra-territorialité des prélèvements, marginale à l'échelle départementale, et de faire l'approximation que les volumes prélevés servent le territoire pour les usages AEP et AEI.
 - Permettent de déterminer un seuil de « sensibilité » du territoire à des besoins en AEP et AEI pour un nouvel usage → « Potentiel » de déploiement H2 par alimentation à partir des systèmes AEP et AEI.
 - Cartographie de sensibilité à la maille des départements avec indice de confiance bon.



ANNEXE 5 - ARRETES-CADRES SECHERESSE ET DISPOSITIONS RELATIVES A L'INDUSTRIE

AP = arrêté préfectoral

Bassin hydro	Région	N° dpt	Date AP	Numéro AP	Date arrêté cadre interdépartemental le cas échéant	Départements concernés	Rivières/nappes concernées
RMC/LB	BFC	21	20/05/2022 ³³	615	20/05/2022 (n°649) ³⁴	01/21/69/70/71/88 (coordination 21)	Axe Saône
RMC	BFC	25	12/06/2023 ³⁵	25-202306-12-00008	12/06/2023 (n°90-2023-06-15-00002) ³⁶	25/70/90	Sous-bassin Allan
RMC	BFC	70	12/07/2023 ³⁷	70-2023-07-12-00002	20/05/2022 (n°649)	01/21/69/70/71/88 (coordination 21)	Axe Saône
					12/06/2023 (n°90-2023-06-15-00002)	25/70/90	Sous-bassin Allan
RMC	BFC	39	29/06/2023 ³⁸	2023-06-28-001	20/05/2022 (n°649)	01/21/69/70/71/88 (coordination 21)	Axe Saône
LB	BFC	58	30/05/2023 ³⁹	58-2023-05-30-00001			Système de gestion coordonné de l'axe Loire-Allier
RMC/LB	BFC	71	25/05/2022 ⁴⁰				
RMC	BFC	90	l'ensemble des communes du département sont incluses dans le bassin versant de l'Allan ⁴¹		15/06/2023 (n°90-2023-06-15-00002)	25/70/90	Sous-bassin Allan
SN	BFC	89	27/05/2021 ⁴²	DDT/SEE/2021/0030			
SN	GE	8	30/05/2022 ⁴³	2022-267			
SN	GE	10	24/04/2024 ⁴⁴	DDT/SEB/PREMA-2024-115-001			
SN	GE	51	23/02/2022 ⁴⁵	12-2022-SEC			

³³ Lien vers l'arrêté : <https://www.cote-dor.gouv.fr/Actions-de-l-Etat/Environnement/Eau/Gestion-de-la-ressource-en-eau/Gestion-de-l-etiage>

³⁴ Lien vers l'arrêté : <https://www.cote-dor.gouv.fr/Actions-de-l-Etat/Environnement/Eau/Gestion-de-la-ressource-en-eau/Gestion-de-l-etiage>

³⁵ Lien vers l'arrêté : https://www.doubs.gouv.fr/contenu/telechargement/39434/267831/file/230612_AP_cadre_departemental_secheresse.pdf

³⁶ Lien vers l'arrêté : https://www.doubs.gouv.fr/contenu/telechargement/39434/267831/file/230612_AP_cadre_departemental_secheresse.pdf

³⁷ Lien vers l'arrêté : https://propluvia-data.s3.gra.io.cloud.ovh.net/pdf/ArretesCadres/20230712_AP_cadre_Haute-Sa%C3%B4ne_2023_sign%C3%A9.pdf

³⁸ Lien vers l'arrêté : https://www.jura.gouv.fr/contenu/telechargement/27571/214878/file/Arr%C3%AAt%C3%A9Cadre_2023_sign%C3%A9.pdf

³⁹ Lien vers l'arrêté : <https://www.donzy.fr/medias/2024/01/Arrete-N58-2023-05-30-00001-sur-les-mesures-de-preservation-quantitative-de-la-ressource-en-eau-dans-le-departement-de-la-Nievre.pdf>

⁴⁰ Lien vers l'arrêté : https://www.saone-et-loire.gouv.fr/contenu/telechargement/20105/179572/file/ap_cadre_2022_vraa.pdf

⁴¹ Lien vers l'arrêté : https://www.haute-saone.gouv.fr/contenu/telechargement/41357/331154/file/Arr%C3%AAt%C3%A9_cadre_interd%C3%A9partemental_Allan-2023_sign%C3%A9.pdf

⁴² Lien vers l'arrêté : https://www.yonne.gouv.fr/contenu/telechargement/34231/255801/file/AP_plan_secheresse_Yonne_2021.pdf

⁴³ Lien vers l'arrêté : https://www.ardennes.gouv.fr/contenu/telechargement/5554/46599/file/arrete_2022-267_cadre_secheresse.pdf

⁴⁴ Lien vers l'arrêté : https://www.aube.gouv.fr/contenu/telechargement/38237/271957/file/240424_Arr%C3%AAt%C3%A9_cadre_s%C3%A9cheresse_10.pdf

⁴⁵ Lien vers l'arrêté : https://www.marne.gouv.fr/contenu/telechargement/34940/217285/file/12-2022-SEC_AP_s%C3%A9cheresse.pdf

Bassin hydro	Région	N° dpt	Date AP	Numéro AP	Date arrêté cadre interdépartemental le cas échéant	Départements concernés	Rivières/nappes concernées
RMC/SN	GE	52	08/06/2023 ⁴⁶	52-2023-06-00068			
RM	GE	56	27/04/2023 ⁴⁷	DDT-ERC-2023-08			
RM	GE	55	23/05/2022 ⁴⁸	2022-9046			
RM	GE	57	26/06/2023 ⁴⁹	2023-DDT/SABE/EAU n°29			
RM	GE	67	08/06/2023 ⁵⁰	arrêté interdépartemental			
RM	GE	68					
RMC/RM	GE	88	13/07/2023 ⁵¹	262/2023	20/05/2022 (n°649)	01/21/69/70/71/88 (coordination 21)	Axe Saône

Tableau 10 : Liste des arrêtés sécheresse et dispositions relatives à l'industrie

Les installations classées mentionnées à l'article 1er de l'arrêté ministériel du 30 juin 2023 (relatif aux mesures de restriction, en période de sécheresse, portant sur les prélèvements d'eau et la consommation d'eau des ICPE - articles R211-66 du code de l'environnement (niveau de gravité) et R211-67 (zone d'alerte)), à l'exclusion des installations et des exploitants mentionnés à l'article 3, sont soumises en période de sécheresse, en fonction des niveaux de gravité ci-après, aux dispositions suivantes :

- vigilance : sensibilisation accrue du personnel aux règles de bon usage et d'économie d'eau selon une procédure écrite affichée sur site ;
- alerte : réduction du prélèvement d'eau de 5 % ;
- alerte renforcée : réduction du prélèvement d'eau de 10 % ;
- crise : réduction du prélèvement d'eau de 25 %.

⁴⁶ Lien vers l'arrêté : https://www.haute-marne.gouv.fr/contenu/telechargement/22418/180968/file/AP_CadreSecheresse_2023.pdf

⁴⁷ Lien vers l'arrêté : https://www.meurthe-et-moselle.gouv.fr/index.php/contenu/telechargement/29775/226107/file/AP-DDT-ERC-2022-028_cadre_limitation_suspension_usage_de_l_eau.pdf%20-%20Raccourci.pdf

⁴⁸ Lien vers l'arrêté : https://www.grand-est.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/05_ap_cadre_secheresse_55_2022.pdf

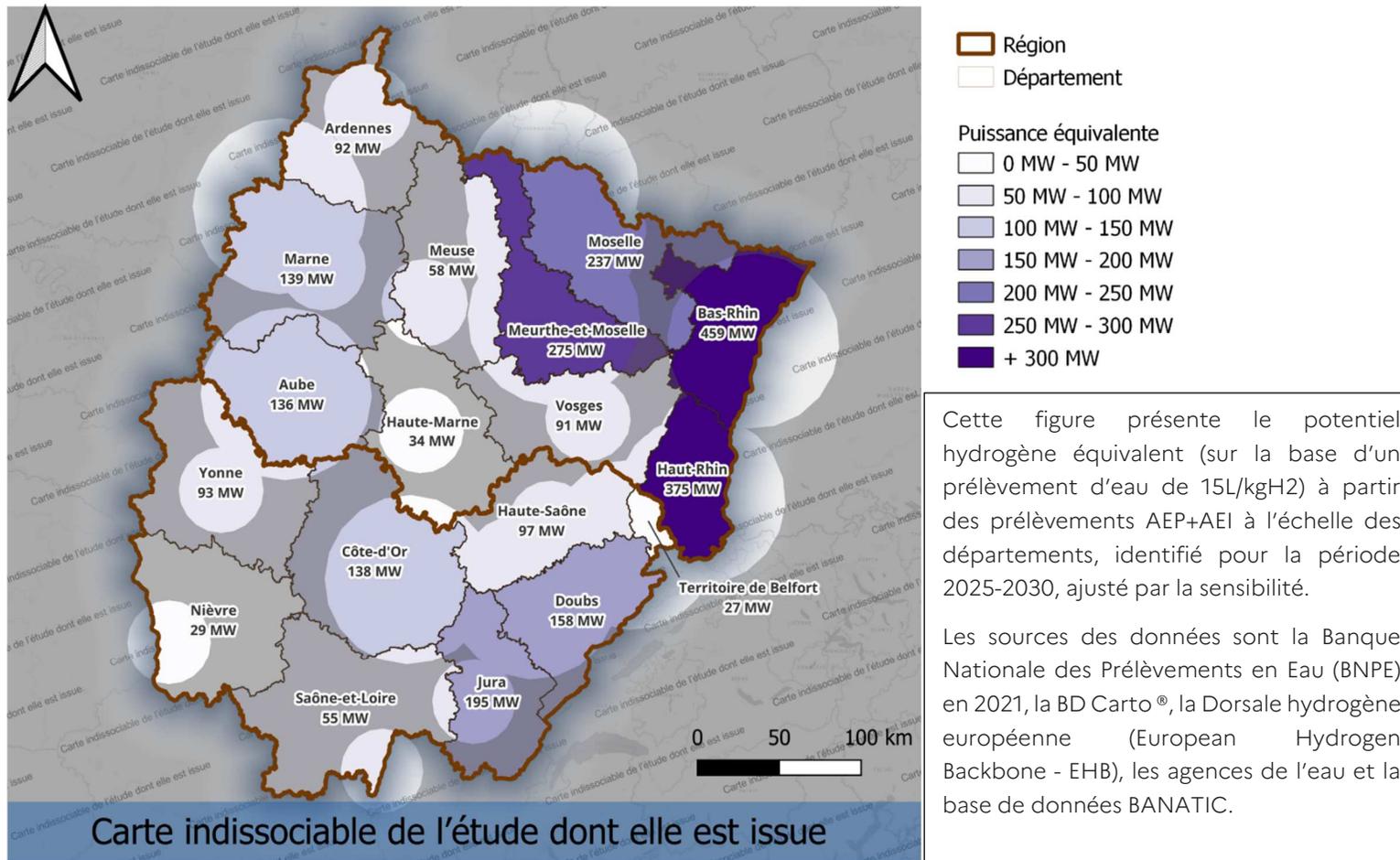
⁴⁹ Lien vers l'arrêté : https://www.moselle.gouv.fr/contenu/telechargement/29788/233341/file/AP%20cadre_restriction%20eau_n%C2%B029.pdf

⁵⁰ Lien vers l'arrêté : https://www.bas-rhin.gouv.fr/contenu/telechargement/51361/375793/file/ACI_67_68_s%C3%A9cheresse_08062023.pdf

⁵¹ Lien vers l'arrêté : https://www.vosges.gouv.fr/contenu/telechargement/26831/212376/file/AP_262-2023_arrete_cadre_departemental_13072023.pdf

ANNEXE 6 - CARTES DES POTENTIELS AVEC UN PRELEVEMENT D'EAU A 15 L/KGH2

Période 2025-2030

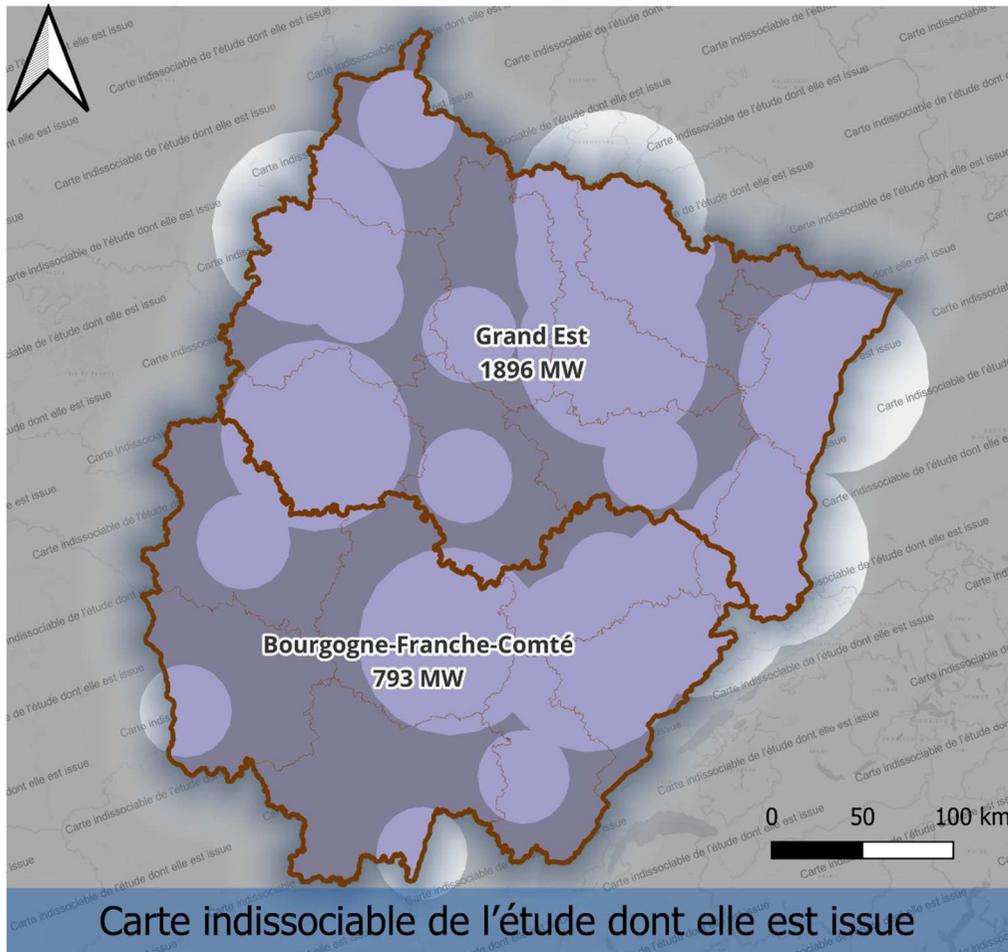


Cette figure présente le potentiel hydrogène équivalent (sur la base d'un prélèvement d'eau de 15L/kgH2) à partir des prélèvements AEP+AEI à l'échelle des départements, identifié pour la période 2025-2030, ajusté par la sensibilité.

Les sources des données sont la Banque Nationale des Prélèvements en Eau (BNPE) en 2021, la BD Carto®, la Dorsale hydrogène européenne (European Hydrogen Backbone - EHB), les agences de l'eau et la base de données BANATIC.

Figure 69: Potentiel hydrogène équivalent (base 15L/kgH2) à partir des prélèvements AEP+AEI à l'échelle départementale, période 2025-2030

Période 2025-2030



Cette figure présente le potentiel hydrogène équivalent (sur la base d'un prélèvement d'eau de 15L/kgH2) à partir des prélèvements AEP+AEI à l'échelle des régions, identifié pour la période 2025-2030, ajusté par la sensibilité.

Les sources des données sont la Banque Nationale des Prélèvements en Eau (BNPE) en 2021, la BD Carto®, la Dorsale hydrogène européenne (European Hydrogen Backbone - EHB), les agences de l'eau et la base de données BANATIC.

Figure 70: Potentiel hydrogène équivalent (base 15L/kgH2) à partir des prélèvements AEP+AEI à l'échelle régionale, 2025-2030

Période 2030-2040

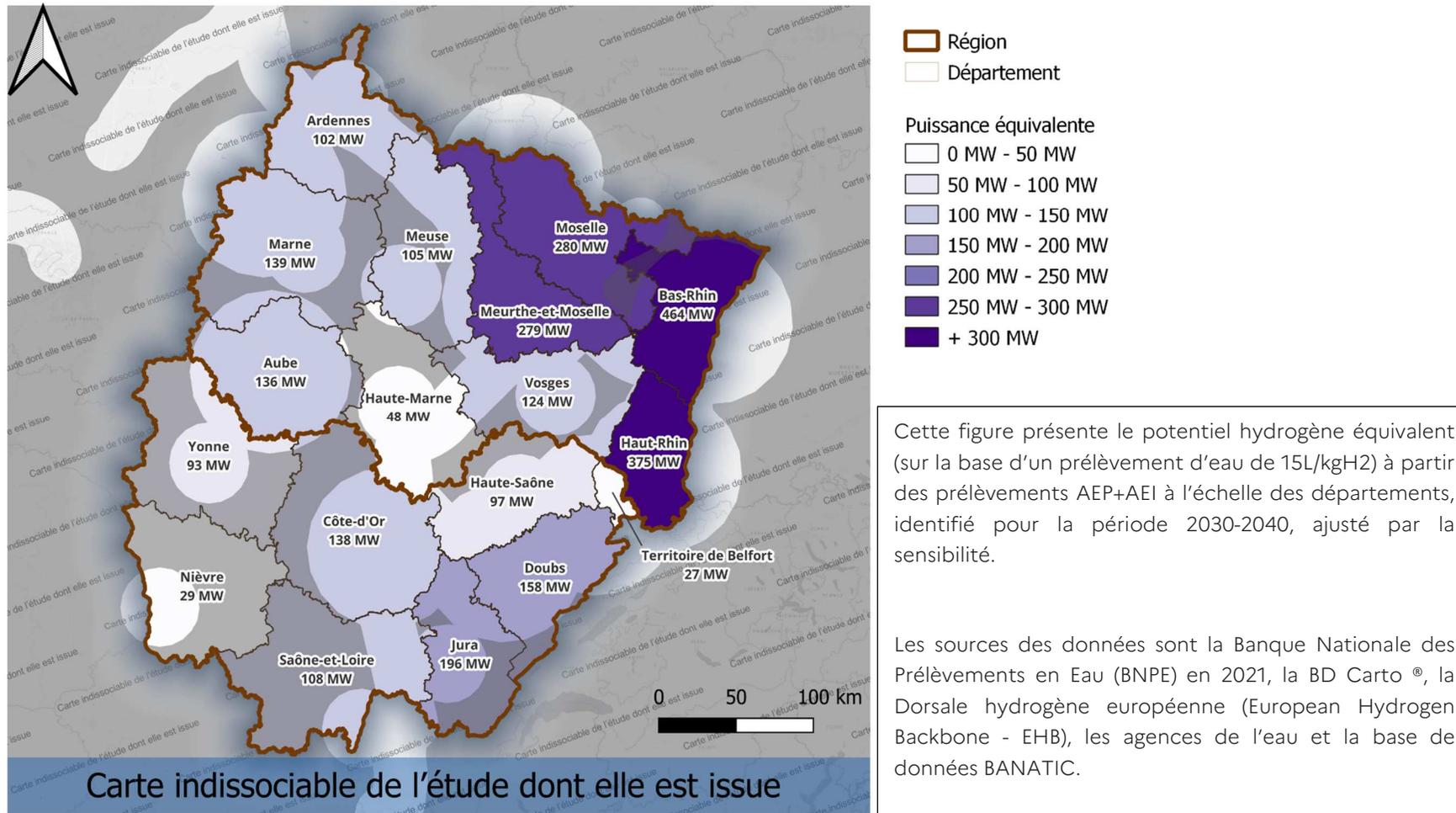
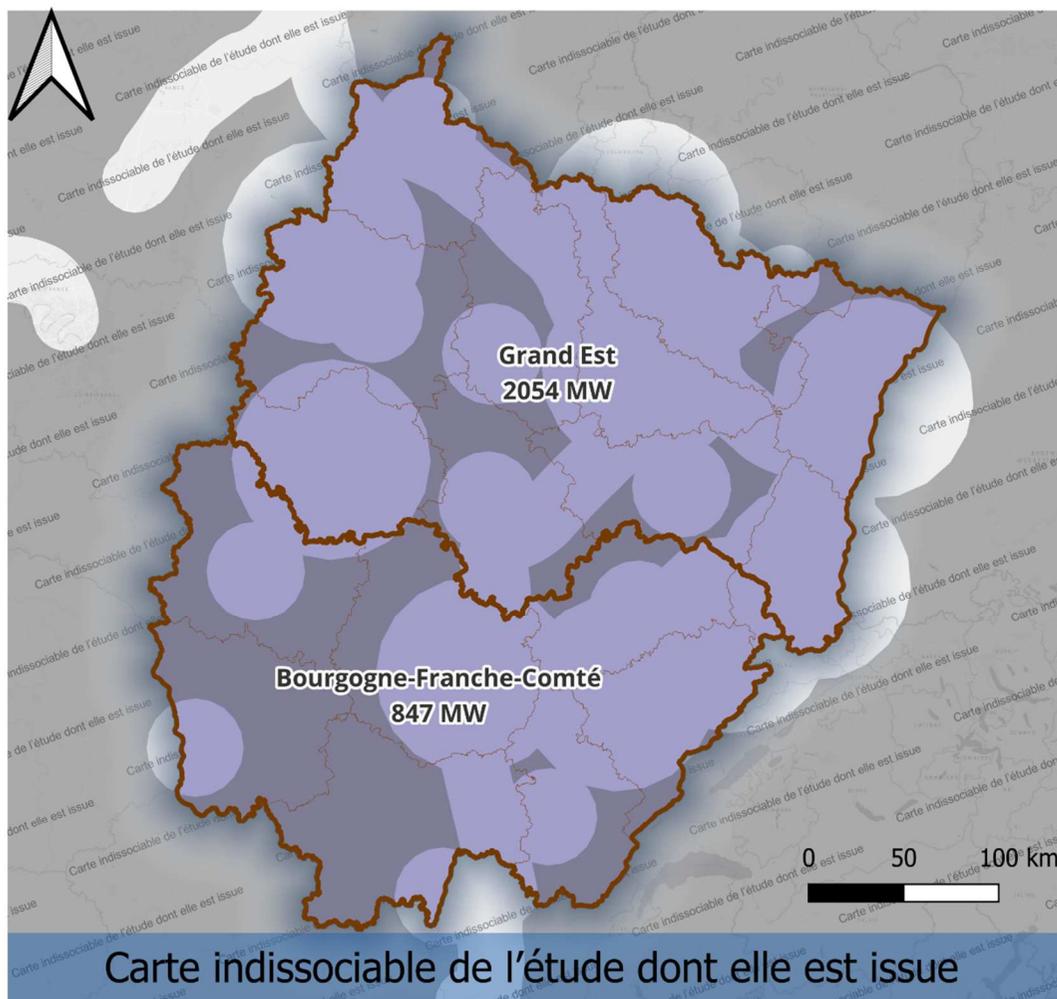


Figure 71: Potentiel hydrogène équivalent (base 15L/kgH2) à partir des prélèvements AEP+AEI à l'échelle départementale ; 2030-2040

Période 2030-2040



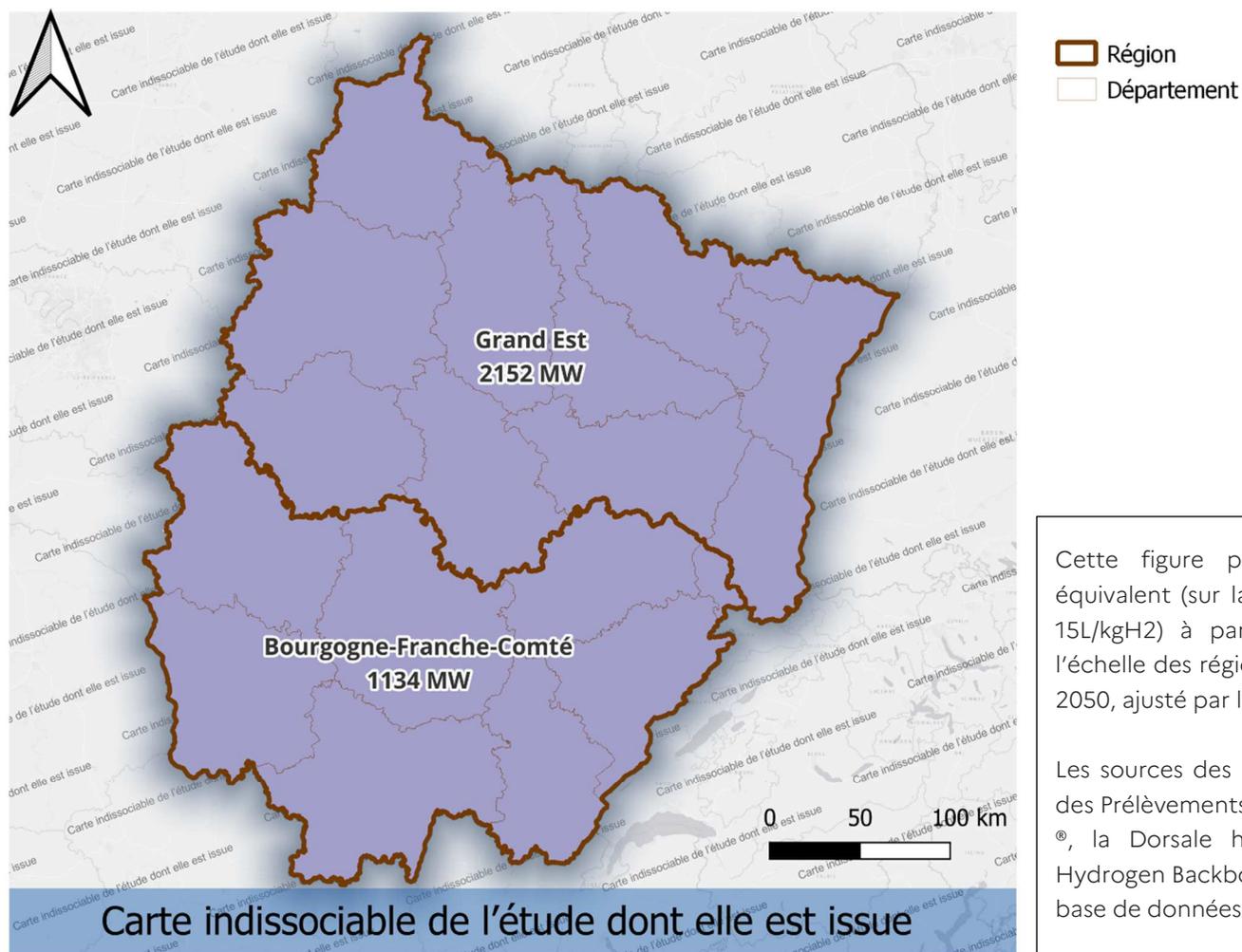
■ Région
□ Département

Cette figure présente le potentiel hydrogène équivalent (sur la base d'un prélèvement d'eau de 15L/kgH₂) à partir des prélèvements AEP+AEI à l'échelle des régions, identifié pour la période 2030-2040, ajusté par la sensibilité.

Les sources des données sont la Banque Nationale des Prélèvements en Eau (BNPE) en 2021, la BD Carto[®], la Dorsale hydrogène européenne (European Hydrogen Backbone - EHB), les agences de l'eau et la base de données BANATIC.

Figure 72: Potentiel hydrogène équivalent (base 15L/kgH₂) à partir des prélèvements AEP+AEI à l'échelle régionale, 2030-2040

Période 2040-2050



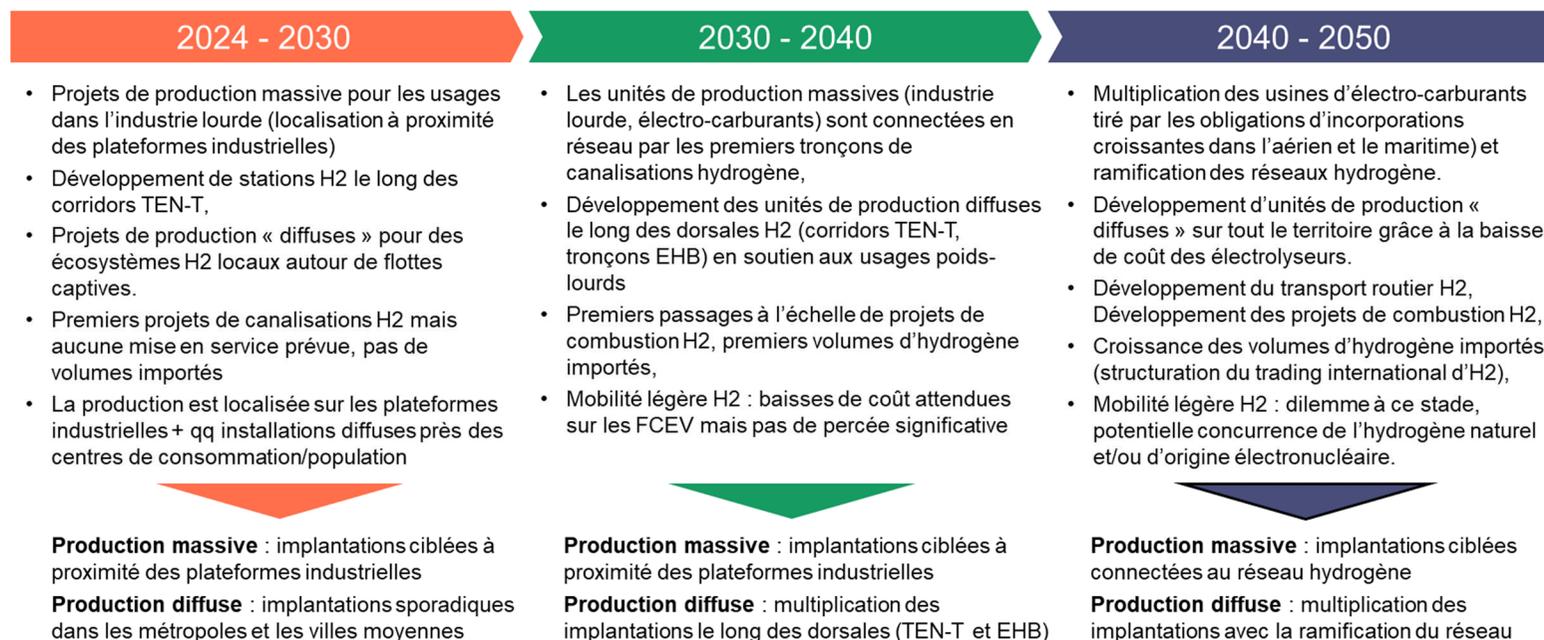
Cette figure présente le potentiel hydrogène équivalent (sur la base d'un prélèvement d'eau de 15L/kgH₂) à partir des prélèvements AEP+AEI à l'échelle des régions, identifié pour la période 2040-2050, ajusté par la sensibilité.

Les sources des données sont la Banque Nationale des Prélèvements en Eau (BNPE) en 2021, la BD Carto[®], la Dorsale hydrogène européenne (European Hydrogen Backbone - EHB), les agences de l'eau et la base de données BANATIC.

Figure 73: Potentiel hydrogène équivalent (base 15L/kgH₂) à partir des prélèvements AEP+AEI à l'échelle régionale, 2040-2050

ANNEXE 7 : PRINCIPALES HYPOTHESES STRUCTURANTES SUR LE DEVELOPPEMENT DE L'HYDROGENE

Cette figure présente les trois grandes phases de développement de l'hydrogène d'ici à 2050, et les différentes hypothèses sous-jacentes qui influencent l'implantation, la taille et la typologie des projets de production d'hydrogène. Il s'agit d'une analyse et d'Enerka Conseil, qui développe un point de vue sur la place de l'hydrogène qui diffère en partie des scénarios « Transitions 2050 » de l'ADEME.



Note : Analyse EnerKa Conseil, qui développe un point de vue sur la place de l'hydrogène qui diffère en partie des scénarios « Transitions 2050 » de l'ADEME.

Figure 74: Principales hypothèses structurantes sur le développement de l'hydrogène et implications sur la localisation des zones de développement privilégiées pour la production d'hydrogène

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Les références sont ici classées par ordre alphabétique des noms d'auteurs.

Quand plusieurs auteurs sont concernés, leurs noms sont séparés par une virgule suivie d'un espace.

- Agence de la transition écologique /ADEME - Transition 2050 – 2021 - <https://www.ademe.fr/les-futurs-en-transition/>
- Agence de l'Eau Loire-Bretagne - SDAGE 2022-2027 Loire-Bretagne – 2021 - <https://sdage-sage.eau-loire-bretagne.fr/home.html>
- Agence de l'Eau Loire-Bretagne - Plan de résilience Loire-Bretagne – 2022 - <https://aides-redevances.eau-loire-bretagne.fr/home/aides/plan-de-resilience-eau-loire-bretagne.html?dossierCurrentElementba020de3-dfa9-41c5-b2ad-28c999dbfee2=f90dcbf9-4cef-4731-8e4d-c239210198a10>
- Agence de l'Eau Rhin-Meuse - SDAGE 2022-2027 Rhin-Meuse – 2021 - <https://www.eau-rhin-meuse.fr/les-sdage-des-districts-rhin-et-meuse-2022-2027>
- Agence de l'Eau Rhin-Meuse - Plan d'adaptation et d'atténuation pour les ressources en eau du bassin Rhin-Meuse – 2023 - <https://www.eau-rhin-meuse.fr/plan-dadaptation-et-dattenuation-au-changement-climatique-0>
- Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse - SDAGE 2022-2027 Rhône-Méditerranée-Corse – 2021 - <https://www.rhone-mediterranee.eaufrance.fr/planification-de-bassin/schema-directeur-damenagement-et-de-gestion-des-eaux>
- Ecodécision, Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse - Analyse technique et prospective de la production d'hydrogène vert par électrolyse et ses impacts sur la ressource en eau dans les bassins Rhône-Méditerranée - Rapport final – 2023
- Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse - Plan de bassin d'adaptation au changement climatique dans le domaine de l'eau 2024-2030 du Bassin Rhône-Méditerranée-Corse – 2023 - <https://www.rhone-mediterranee.eaufrance.fr/Changement-climatique>
- Agence de l'Eau Seine-Normandie - SDAGE 2022-2027 Seine-Normandie – 2021 - <https://www.eau-seine-normandie.fr/domaines-d-action/sdage>
- Agence de l'Eau Seine-Normandie - Stratégie d'adaptation au changement climatique – 2023 - https://www.eau-seine-normandie.fr/domaines-d-action/strategie_adaptation_climatique
- Agence de l'Eau Seine-Normandie, Etat - Impacts directs et indirects sur la ressource en eau du bassin Seine-Normandie de la production d'hydrogène décarboné – 2022 - NOTE 2022-XX DCP / SPEP

- BRGM - Explore 2070 - Evaluation de l'impact du changement climatique – rapport final – volume 1 – 2012 - [BRGM/RP-61483-FR - https://professionnels.ofb.fr/fr/node/48](https://professionnels.ofb.fr/fr/node/48)
- Clause Emmanuel, Larroutouou Bernard, Rostagnat Michel, Wallard Isabelle - CGE IGEDD – 2022 - Sécurité du développement de la filière Hydrogène - https://www.economie.gouv.fr/files/files/directions_services/cge/securete-hydrogene.pdf?v=1674552377
- DREAL Grand-Est - Bulletin de Suivi d'Étiage Grand Est – permanent - <https://www.grand-est.developpementdurable.gouv.fr/bulletin-de-suivi-d-etiage-grand-est-a16960.html>
- DREAL Grand-Est - Bulletin de Suivi Hydrologique Grand Est – permanent - <https://www.grand-est.developpementdurable.gouv.fr/bsh-des-12-derniers-mois-r7416.html>
- DRIAS – Portail Eau – permanent - <https://www.drias-eau.fr/>
- Etat (Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires) - Données nationales sur le suivi de la ressource en eau, la sécheresse et les risques de difficultés de gestion de la ressource en eau, dont l'observatoire national des étiages – permanent - <https://www.eaufrance.fr/la-secheresse/https://onde.eaufrance.fr/https://bnpe.eaufrance.fr/>
- Etat (Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires) - Evolutions de la ressource en eau renouvelable en France métropolitaine de 1990 à 2018 – permanent - <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/evolutions-de-la-ressource-en-eau-renouvelable-en-france-metropolitaine-de-1990-2018>
- France Hydrogène - Trajectoire pour une grande ambition hydrogène à 2030 (volets 1 et 2) – 2022
- France Hydrogène - Fiche « Produire massivement de l'hydrogène par électrolyse va-t-il créer un stress hydrique ? » - 2023
- GRT Gaz - Gazel Energie - Bilan de la concertation - Usine de production d'H2 renouvelable et bas carbone dans le cadre de la transformation énergétique de la centrale Emile Huchet à Saint-Avold (57) – 2024 - <https://www.debatpublic.fr/projet-emilhy-de-production-dhydrogene-bas-carbone-et-renouvelable-saint-avold-4723>
- Cooley Graham - Newborough Marcus - ITM Power PLC - Green hydrogen: water use implications and opportunities – 2021 - Fuel Cells Bulletin
- Simoes Sofia G. - Laboratorio nacional de Energia e Geologia, Amadora, Portugal - Water availability and water usage solutions for electrolysis in hydrogen production – 2021 - Journal of cleaner production – n°315
- Région Bourgogne-Franche-Comté - La détermination des volumes prélevables en Bourgogne-Franche-Comté – 2016 - <https://www.rhone-mediterranee.eaufrance.fr/gestion-de-leaugestion-quantitative-de-la-ressource-en-eauetudes-volumes-prelevables/etudes-0#region-bourgogne-franche-comte>
- Région Bourgogne-Franche-Comté et Agence Economique Régionale - Territoire Hydrogène – 2018

- Région Grand-Est - Etat quantitatif des ressources en eau du Grand Est : évaluation prospective 2030 et 2050 – 2021 - <https://biodiversite.grandest.fr/le-grand-est-en-mouvement/des-enjeux-biodiversite/lacs-et-rivieres/etude-prospective-eau-consultez-la-docutheque>
- Rousset Delphine - Région Grand-Est - Les zones en tension dans le Grand Est aux horizons 2030 et 2050 – 2022 - <https://cdi.eau-rhin-meuse.fr/GEIDFile/plaquette-eau-dans-le-grand-est-ressources-et-besoins.pdf?Archive=262337908051&File=plaquette%5Feau%5Fdans%5Fle%5Fgrand%5Fest%5Fressources%5Fet%5Fbesoins%5Fpdf>
- Beaudouin Marion, Rousset Delphine – Région Grand-Est - Consommation d’eau liée à la production d’hydrogène – 2023
- Laing Tim, Moreira Susana - World Bank Group – Hydrogen Council - Sufficiency, sustainability, and circularity of critical materials for clean hydrogen - CLIMATE-SMART MINING FACILITY - 2022

INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES

TABLEAUX

Tableau 1 : Répartition des volumes d'eau prélevés en millions de m3 par année et par région, tous usages – source BNPE	51
Tableau 2 : Valeurs et moyennes annuelles des prélèvements AEP et AEI en millions de m3 (BNPE) de 2019 à 2021.....	64
Tableau 3 : Seuils de sensibilité retenus pour le déroulement de l'étude.....	68
Tableau 4 : Récapitulatif du potentiel H2 équivalent en MW installable, par région et par période.....	92
Tableau 5 : Récapitulatif du potentiel H2 équivalent en kWh2/an, par région et par période.....	92
Tableau 6 : Ratio des besoins en eau pour l'hydrogène par rapport aux prélèvements AEI du territoire	101
Tableau 7 : Institutions représentées en réunions	118
Tableau 8 : Liste des parties prenantes identifiées	119
Tableau 9 : Attentes vis-à-vis des parties prenantes.....	120
Tableau 10 : Liste des arrêtés sécheresse et dispositions relatives à l'industrie.....	142

FIGURES

Figure 1 : Phasage et planning de l'étude.....	13
Figure 2 : Liste des livrables de l'étude.....	14
Figure 3 : Bilan des consommations d'hydrogène en 2050 par usage pour les différents scénarios « Transition(s) 2050 » de l'ADEME, incluant l'autoconsommation des raffineries.....	15
Figure 4 : Grandes étapes de développement de l'hydrogène	16
Figure 5 : Différentes technologies de production de l'hydrogène (potentiellement négatif en carbone n'est pas confirmé d'un point de vue réglementaire, et dépend notamment des impacts sur les stocks de carbone des écosystèmes où sont prélevés les biomasses).....	17
Figure 6 : Usages d'hydrogène pur en France – données 2022.....	20
Figure 7 : Panorama des usages de l'hydrogène par niveau d'intérêt	21
Figure 8 : Chronologie de développement des différents usages.....	21
Figure 9 : Zones de développement privilégiées de l'hydrogène en région Grand Est.....	23
Figure 10 : Zones de développement privilégiées de l'hydrogène en région Grand Est et Bourgogne-Franche Comté aux horizons temporels considérés	24
Figure 11 : Arbitrages nécessaires à l'installation d'un projet hydrogène.....	26
Figure 12 : Différents postes de consommation d'eau dans une unité d'électrolyse.....	27
Figure 13 : Principaux traitement mis en œuvre en amont de l'électrolyse selon le type d'eau	28
Figure 14 : Avantages et inconvénients des différentes technologies de refroidissement.....	30
Figure 15 : Simulation de la quantité d'eau prélevée pour différentes technologies de refroidissement...31	
Figure 16 : Détail des consommations d'eau par système de refroidissement.....	32
Figure 17 : Total des besoins en eau pour l'électrolyse selon les scénarios de refroidissement.....	33
Figure 18 : Base de calcul pour l'étude (niveaux de prélèvement électrolyseur).....	33
Figure 19 : Différents postes de consommation d'eau dans le reformage du gaz naturel (avec capture du CO2).....	35
Figure 20 : Différents postes de consommation d'eau dans la thermolyse de la biomasse (source Haffner Energy).....	35
Figure 21 : Détail des besoins en eau pour les procédés concurrents de l'électrolyse	36
Figure 22 : Plan de scénarisation.....	37
Figure 23 : Principales hypothèses utilisées pour la simulation	38
Figure 24 : Simulation du coût de l'hydrogène vs. quantités d'eau prélevées.....	39
Figure 25 : Simulation TRI à 15 ans en fonction des quantités d'eau prélevées	40
Figure 26 : Différentes ressources en eau mobilisables pour un projet industriel	43
Figure 27 : Seuils réglementaires et techniques en fonction de la taille des projets de production d'hydrogène.....	45
Figure 28 : Sociétés interrogées dans le cadre de l'étude	47



Figure 29 : Implantations identifiées de projets de production d'hydrogène et tension quantitative des sous-bassins du bassin Rhône Méditerranée	55
Figure 30: Superposition des projets hydrogène et des zones de fragilité quantitative sur la ressource eau	60
Figure 31: Résumé de la proposition méthodologique n°3	62
Figure 32: Schéma de la méthode retenue pour les projets diffus et intermédiaires	63
Figure 33: Bases de données eau et échelles pertinentes pour l'analyse.....	66
Figure 34: Illustration de la distribution géographique des rendements des réseaux AEP sur le périmètre d'étude.....	70
Figure 35: Ajustement des règles de sensibilité	71
Figure 36: Potentiel hydrogène équivalent à l'échelle départementale sur base 15 L/kg H2.....	74
Figure 37: Potentiel hydrogène équivalent à l'échelle départementale sur base 30 L/kg H2	75
Figure 38: Carte des projets hydrogène annoncés vis-à-vis des masses d'eau souterraines en mauvais état quantitatif.....	79
Figure 39: Carte des projets hydrogène annoncés vis-à-vis des secteurs de fragilité quantitative des ressources en eau.....	80
Figure 40: Potentiel hydrogène équivalent (base 30L/kgH2) à partir des prélèvements AEP à l'échelle des départements	82
Figure 41: Potentiel hydrogène équivalent (base 30L/kgH2) à partir des prélèvements AEI à l'échelle des départements	83
Figure 42: Potentiel hydrogène équivalent (base 30L/kgH2) à partir des prélèvements AEP+AEI à l'échelle des départements.....	84
Figure 43: Zones d'implantation privilégiées pour la production d'hydrogène aux horizons 2025-2030, 2030-2040 et 2040-2050	85
Figure 44: Potentiel hydrogène équivalent (base 30L/kgH2) à partir des prélèvements AEP+AEI à l'échelle départementale, période 2025-2030	86
Figure 45: Potentiel hydrogène équivalent (base 30L/kgH2) à partir des prélèvements AEP+AEI à l'échelle régionale, 2025-2030	87
Figure 46: Potentiel hydrogène équivalent (base 30L/kgH2) à partir des prélèvements AEP+AEI à l'échelle départementale ; 2030-2040	88
Figure 47: Potentiel hydrogène équivalent (base 30L/kgH2) à partir des prélèvements AEP+AEI à l'échelle régionale, 2030-2040	89
Figure 48: Potentiel hydrogène équivalent (base 30L/kgH2) à partir des prélèvements AEP+AEI à l'échelle régionale, 2040-2050	90
Figure 49: Synthèse des potentiels hydrogène équivalents à l'échelle des deux régions aux différents horizons temporels envisagés.....	91
Figure 50: Situation des études de cas.....	93
Figure 51: Cas d'Epinal : zones en fragilité & potentiel hydrogène équivalent	94
Figure 52: Cas d'Epinal : bouclage en débit / rejet.....	95
Figure 53: Cas (théorique) de Dijon : zones en fragilité & potentiel hydrogène équivalent.....	96
Figure 54: Cas (théorique) de Dijon : bouclage en débit / rejet.....	97
Figure 55: vue aérienne de la plateforme Alsachimie à Chalampé.....	98
Figure 56: Cas de Chalampé : zones en fragilité & potentiel hydrogène équivalent.....	99
Figure 57: Cas de Chalampé : prélèvements & alertes sécheresse	99
Figure 58: Cas de Chalampé : recharge de nappe	100
Figure 59: Cas de Chalampé : bouclage en rejet / débit.....	100
Figure 60: Vue aérienne de la plateforme Chemesis de Carling-Saint-Avoid	101
Figure 61: Cas de Carling-Saint-Avoid : zones en fragilité & potentiel hydrogène équivalent	102
Figure 62: Questions émises par ADELP (Association de Défense de l'Environnement et de lutte contre la pollution en Moselle Est) lors de la réunion du 26 mars 2024.....	104
Figure 63: Prise de position d'Europe Ecologie Les Verts lors de la réunion du 26 mars 2024	104
Figure 64: Présentation des prestataires de l'étude.....	115
Figure 65: Présentation des membres de l'équipe de réalisation.....	116
Figure 66: Délimitation régions et agences de l'eau concernées	117



Figure 67: Entretiens menés pour affiner la méthodologie et compléter les données eau/hydrogène ... 121

Figure 68: Enjeux, attentes et points d'attention exprimés.....126

Figure 69: Potentiel hydrogène équivalent (base 15L/kgH2) à partir des prélèvements AEP+AEI à l'échelle départementale, période 2025-2030143

Figure 70: Potentiel hydrogène équivalent (base 15L/kgH2) à partir des prélèvements AEP+AEI à l'échelle régionale, 2025-2030144

Figure 71: Potentiel hydrogène équivalent (base 15L/kgH2) à partir des prélèvements AEP+AEI à l'échelle départementale ; 2030-2040145

Figure 72: Potentiel hydrogène équivalent (base 15L/kgH2) à partir des prélèvements AEP+AEI à l'échelle régionale, 2030-2040146

Figure 73: Potentiel hydrogène équivalent (base 15L/kgH2) à partir des prélèvements AEP+AEI à l'échelle régionale, 2040-2050147

Figure 74: Principales hypothèses structurantes sur le développement de l'hydrogène et implications sur la localisation des zones de développement privilégiées pour la production d'hydrogène148





SIGLES ET ACRONYMES

ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
AEI	Alimentation en eau industrielle (eaux destinées à l'usage industriel)
AEP	Alimentation en eau potable (eaux destinées à la consommation humaine)
BD Carto [®]	Base de données nationale de description des différents éléments du paysage selon une organisation thématique et fond cartographique de référence, précis et homogène
BANATIC	Base de données nationale relative à l'organisation des collectivités locales
BNPE	Banque nationale des prélèvements quantitatifs en eau
CA	Chiffre d'affaires
CAPEX	Dépenses d'investissement (Capital Expenditure)
CNDP	Commission nationale du débat public
DCE	Directive cadre sur l'eau
EGE	Entité de gestion de l'eau
EHB	Dorsale hydrogène européenne (European Hydrogen Backbone)
EICH	Eaux impropres à la consommation humaine
EPCI	Etablissement public de coopération intercommunale
ERC	Eviter réduire compenser
ESO	Eaux souterraines
ESU	Eaux superficielles
ETP	Equivalent temps plein (emploi)
HTB	Haute tension B
ICPE	Installation classée pour la protection de l'environnement
IOTA	Installation, ouvrage, travaux, activité
LCOH	Coût global de l'hydrogène (levelized cost of hydrogen)
MESO	Masse d'eau souterraine
MTD	Meilleure technique disponible
OPEX	Charges d'exploitation (operating expenses)
PRPDE	Personne responsable de la production et distribution de l'eau
PTGE	Projet de territoire pour la gestion de l'eau
REUT	Eaux usées traitées ou utilisation eaux non conventionnelles
RTE	Réseau de transport d'électricité
SAF / eSAF	Sécurité de la production
SAGE	Schéma d'aménagement et de gestion des eaux (sous-bassin versant)
SDAGE	Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux (grand bassin versant)
SEMOP	Société d'économie mixte à opération unique (OVIDEA à Dijon)
SISPEA	Observatoire national des services d'eau et d'assainissement
STEP	Stations d'épuration, de traitement des eaux usées
TRI	Taux de rendement interne
WACC	Coût Moyen Pondéré du Capital (Weighted Average Cost of Capital)
WGS	Réaction du gaz à l'eau (water-gas shift reaction)
ZRE	Zone de répartition des eaux



L'ADEME EN BREF

À l'ADEME - l'Agence de la transition écologique -, nous sommes résolument engagés dans la lutte contre le réchauffement climatique et la dégradation des ressources.

Sur tous les fronts, nous mobilisons les citoyens, les acteurs économiques et les territoires, leur donnons les moyens de progresser vers une société économe en ressources, plus sobre en carbone, plus juste et harmonieuse.

Dans tous les domaines - énergie, économie circulaire, alimentation, mobilité, qualité de l'air, adaptation au changement climatique, sols... - nous conseillons, facilitons et aidons au financement de nombreux projets, de la recherche jusqu'au partage des solutions.

À tous les niveaux, nous mettons nos capacités d'expertise et de prospective au service des politiques publiques.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

LES COLLECTIONS DE L'ADEME



FAITS ET CHIFFRES

L'ADEME référent : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.



CLÉS POUR AGIR

L'ADEME facilitateur : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.



ILS L'ONT FAIT

L'ADEME catalyseur : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.



EXPERTISES

L'ADEME expert : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous son regard.



HORIZONS

L'ADEME tournée vers l'avenir : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.





RESSOURCES EN EAU ET PRODUCTION D'HYDROGENE

La production d'hydrogène par électrolyse est amenée à se développer considérablement dans les années à venir : l'objectif visé est l'installation de 6.5 GW de puissance d'électrolyse en 2030

Cette étude, sur les 2 régions de **Bourgogne Franche-Comté et Grand Est**, détaille les différentes technologies de production d'hydrogène, leur impact quantitatif et qualitatif sur la ressource en eau.

Elle définit une méthodologie de potentiels de production d'hydrogène par électrolyse à horizons 2030-2050 sur les 2 régions en fonction des ressources en eau mobilisables. Les résultats sont présentés sous forme de cartographies de potentiels, à l'échelle départementale et régionale.

Finalement, elle fournit des clefs de compréhension utiles aux collectivités et aux développeurs hydrogène pour une meilleure gestion de la ressource en eau.

