AMBASSADE
DE FRANCE
EN ALLEMAGNE

Liberté
Égalité
Fraternité

Service pour la science
et la technologie

Le conseiller pour la science
et la technologie

Berlin, le 20/10/2020
Mis à jour le 12/02/2021

NOTE

A/s : Les institutions de recherche allemandes dans le domaine des technologies de l'hydrogène
Référence : SST/JP/nc/20-

Dossier suivi par : Julien POTIER
julien.potier@diplomatie.gouv.fr
+49 30 590 03 92 52

Table des matières

I. Eléments de contexte ... 3
1) Organisation de la recherche en Allemagne ... 3
2) Politique en faveur du développement des technologies de l'hydrogène ... 3
3) Note sur l'organisation du document ... 3
II. Implication sur l'hydrogène des trois grands centres de recherche sur l'énergie ... 4
1) Le centre de recherche de Jülich (FZJ) ... 4
2) Le centre allemand de recherche aérospatiale (DLR) ... 5
3) L'institut technologique de Karlsruhe (KIT) ... 6
III. Principaux centres de recherche spécialisés sur les technologies de l'hydrogène ... 8
1) Institut Max Planck pour la conversion chimique de l'énergie à Mülheim (CEC) ... 8
2) Centre pour l'énergie solaire et la recherche sur l'hydrogène à Ulm et Stuttgart (ZSW) ... 9
3) Centre pour la technologie de la pile à combustible de Duisburg (ZBT) ... 9
4) Centre Helmholtz pour les matériaux et l'énergie de Berlin (HZB) ... 10
5) Centre Helmholtz pour la recherche sur l'environnement à Leipzig (UFZ) ... 11
IV. Acteurs de la recherche par Länder ... 12
1) Rhénanie du Nord Westphalie : un réseau dense de centre de recherche significatifs ... 12
2) Bade Württemberg : Karlsruhe, Stuttgart, Ulm et Fribourg ... 13
3) Bavière : volonté de centralisation sur le campus pour l'énergie de Nuremberg (EnCN) ... 13
4) Saxe : deux pôles de recherche principaux à Leipzig et Dresde ... 14
5) Berlin ... 14
6) Schleswig-Holstein ... 15
7) Hambourg ... 15
8) Basse-Saxe ... 15
9) Saxe-Anhalt ... 16
10) Brandebourg ... 16
11) Mecklembourg-Poméranie occidentale ... 16
12) Thuringe ... 16
13) Hesse ... 16
V. Coopérations internationales ... 17
VI. Sources ... 18
VII. Annexes ... 19
1) Cartographie des centres Helmholtz spécialisés sur l'hydrogène ... 19
2) Cartographie des instituts Fraunhofer spécialisés sur l'hydrogène ... 20
3) Cartographie des instituts du DLR spécialisés sur l'hydrogène ... 21
4) Structure de gouvernance de la stratégie nationale sur l'hydrogène ... 22

I. Eléments de contexte

1) Organisation de la recherche en Allemagne

L'Allemagne compte **quatre grands organismes de recherche extra-universitaires** disposant d'une autonomie de gestion (définition des projets scientifiques, allocation des budgets entre les centres, instituts et laboratoires) et bénéficiant de financements conjoints Etat fédéral/Länder.

- La Société **Fraunhofer** (*FhG*) : instituts de recherche appliquée et de transfert technologique ;
- La Société **Max Planck** (*MPG*) : instituts orientés sur la recherche fondamentale ;
- La Communauté des centres de recherche **Helmholtz** (HGF) : rassemble les centres comprenant les grandes infrastructures de recherche, ainsi que les centres du DLR ;
- La Communauté **Leibniz** (*WGL*) : recherche appliquée dans les territoires.

La recherche est aussi menée par des **universités**, dont les **universités techniques** (les TU, équivalents des écoles d'ingénieur françaises) et des **acteurs privés** actifs dans la recherche et développement. Certaines **Fachhochschulen** (équivalents des IUT français) ont développé des compétences sur le sujet.

2) Politique en faveur du développement des technologies de l'hydrogène

La **stratégie nationale pour l'hydrogène** dépend des **ministères** de l'économie et de l'énergie (BMWi), de l'environnement (BMU), des transports et infrastructures (BMVI), et de la recherche (BMBF). Chaque ministère a initié ses propres programmes de développement de ces technologies, tandis que certains projets sont conjoints. Le périmètre des transports est sous la responsabilité du BMVI via l'organisation NOW et programme national d'innovation sur l'hydrogène et les piles à combustibles (NIP). Le BMBF et le BMWi se partagent officiellement entre recherche fondamentale et appliquée. Toutefois le BMBF finance plusieurs projets de recherche appliquée.

Un **réseau de recherche sur l'hydrogène** a été créé le 30 septembre, par le ministère de l'économie et de l'énergie, et coordonné par l'agence de gestion de projet *PtJ* (*projektträger Jülich*).

Le panorama suivant se concentre davantage sur **l'activité de recherche** que d'innovation, en premier lieu sur les centres de recherche Helmholtz, et sur les organismes identifiés par le BMBF. Il recense aussi les principaux instituts Fraunhofer positionnés sur les technologies de l'hydrogène, de manière moins exhaustive. L'initiative *Reallabore* du ministère de l'économie et de l'énergie fait l'objet d'une fiche séparée. Elle implique surtout des acteurs privés.

3) Note sur l'organisation du document

Ce document est organisé en trois grandes parties. La première (II) analyse les capacités de recherche de **trois grands centres de recherche sur l'énergie** dans le domaine de l'hydrogène, la deuxième (III) s'attache aux principales institutions dotées de moyens conséquents et d'une **spécialité sur certaines technologies de l'hydrogène** et la troisième (IV) présente **l'ensemble des centres de recherche** significatifs sur la question de l'hydrogène classés par régions (Länder). Le document rappelle aussi l'implication des centres de recherche sur les **projets coordonnés par le BMBF** recensés par ailleurs.

Les institutions de recherche allemande étant systématiquement identifiées par un **sigle**, celui-ci est rappelé à l'évocation des centres. Il est ainsi possible de retrouver un centre répertorié dans ce document par une **recherche Ctrl F** de son sigle.

II. Implication sur l'hydrogène des trois grands centres de recherche sur l'énergie

Cette première partie détaille les activités des **trois grands acteurs de la recherche dans le domaine de l'énergie** sur les technologies de l'hydrogène. Le centre de recherche de Jülich (FZJ), le centre allemand de recherche aérospatiale (DLR) et l'institut technologique de Karlsruhe (KIT) disposent de moyens supérieurs aux autres centres de recherche évoqués. Leur polyvalence sur l'énergie ou d'autres domaines se traduit pour les technologies de l'hydrogène par le développement de capacité de recherche sur l'ensemble de la chaine de valeur, en particulier les quatre maillons de la production, du stockage/transport, des usages et de l'intégration au système énergétique.

1) Le centre de recherche de Jülich (FZJ)

Présentation générale

Le Centre de recherche de Jülich/Juliers (*Forschungszentrum Jülich - FZJ*) situé près d'Aix-la-Chapelle en Rhénanie du Nord-Westphalie est membre de la communauté Helmholtz. Ce centre est **un des plus grands centres d'Europe** par le nombre d'instituts et de laboratoires, ainsi que par le nombre d'activités interdisciplinaires. Fondé en 1956, le centre **se concentre d'abord sur la recherche nucléaire**, avant de diversifier ses activités dans les domaines de l'énergie, de la santé, du quantique et des sciences du végétal. Le centre emploie 6 446 personnes, dont 2 471 scientifiques et 654 scientifiques invités de 59 pays. Son budget s'élève à 731 millions d'euros, dont 316 millions d'autres apports. Le financement public est assuré à 90% par le gouvernement fédéral et à 10% par le Land (régional). L'**énergie** reste un thème de recherche central du centre de Jülich, avec pour enjeux principaux la lutte contre le dérèglement climatique et la transformation des systèmes énergétiques. Ce domaine est traité principalement par **l'institut de recherche sur l'énergie et le climat (IEK)**.

Technologies de l'hydrogène

La recherche sur les **technologies de l'hydrogène** implique 12 instituts du centre de Jülich. Son expertise porte sur les quatre principaux segments de la chaîne de valeur hydrogène :

- La **production** : électrolyse basse et haute température, photocatalyse, reformage biomasse
- Le **stockage et transport** : technologie LOHC, analyse de sécurité du transport d'hydrogène
- L'**utilisation** : technologies de pile à combustible basse et haute température, turbines à gaz
- L'**analyse des systèmes** : régulation prédictive d'une infrastructure hydrogène à l'échelle d'un campus, analyse de durabilité par cycle de vie

En termes de **personnel impliqué sur l'hydrogène**, le centre de Jülich employait en 2019 directement **140 ETP**, auxquels s'ajoutent **125 ETP** financés par des sources extérieures.

Le centre de Jülich dispose d'**infrastructures de production**, dont le *Membranzentrum* pour les membranes inorganiques et la caractérisation des matériaux et composants, le centre *Jülich Coats* (2016) pour la technologie des revêtements en peinture liquide et les cellules électrochimiques, et le *Jülich Thermal Spray Center* (2019) pour les revêtements fonctionnels. Il comprend des **laboratoires de test** comme le *PC-Labor* (caractérisation physicochimique) et l'*ECT* (essais électrochimiques) et a accès à d'autres infrastructures communes à la communauté Helmholtz. Le centre compte aussi des **laboratoires en conditions réelles** (Reallabore), le *Living Lab Energy Campus*, infrastructure énergétique décentralisée sur le site de Jülich, et l'*Energy Lab 2.0* pour le couplage sectoriel, en commun avec le DLR et le KIT.

Le centre est un des coordinateurs du **projet Power-to-X (P2X)**, un des quatre volets du programme *Kopernikus* pour la transition énergétique. P2X bénéficie dans le cadre de ce programme d'un financement du ministère de la recherche (BMBF) de 100 millions d'euros sur 2016-2026, avec pour objectif de développer des démonstrateurs de conversion de l'énergie électrique en vecteurs matériels, principalement l'hydrogène mais également des gaz de synthèse plus complexes.

Points de contact identifiés par la communauté Helmholtz pour les technologies de l'hydrogène :
Prof. Dr. Olivier Guillon o.guillon@fz-juelich.de (fr) et Prof. Dr. Harald Bolt h.bolt@fz-juelich.de

Coopérations

Au niveau national, le centre de Jülich entretient une coopération de proximité avec l'**université d'Aix la Chapelle (RWTH Aachen)**, notamment sur les technologies de l'hydrogène. Les deux institutions ont le projet de constituer un cluster de recherche commun sur l'hydrogène. Jülich dispose d'un institut délocalisé sur le site d'**Erlangen-Nuremberg** ; il est aussi lié par un partenariat stratégique à l'entreprise *Hydrogenious Technologies* basée à Erlangen et pionnière sur la technologie LOHC. Jülich collabore étroitement avec le **DLR**, avec lequel il partage les infrastructures de la communauté Helmholtz et plusieurs partenariats internationaux.

Au niveau franco-allemand, il collabore depuis plusieurs dizaines d'années avec le CEA, en particulier sur le nucléaire avec le site du **Cadarache**. Au-delà de la recherche sur l'énergie, une importante coopération lie par ailleurs le Jülich et le CEA dans le domaine du numérique. Par ailleurs, le premier point de contact du centre de Jülich sur le sujet de l'hydrogène est le français **Olivier Guillon**.

2) Le centre allemand de recherche aérospatiale (DLR)

Présentation générale

Le Centre allemand de recherche aérospatiale (*Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt - DLR*), est une institution de recherche de droit privé crée en 1997 de la fusion d'institutions préexistantes. Le DLR a connu une expansion importante ces dix dernières années passant de 22 à 50 instituts de recherche entre 2010 et 2020. Le DLR emploie actuellement 8 444 personnes dont 4 845 chercheurs. La particularité du DLR est d'être à la fois un centre de recherche rattaché à la communauté Helmholtz, l'agence spatiale allemande et une agence de gestion de projets pour le compte du gouvernement fédéral. Le budget annuel du DLR s'élève pour 2018 à 3,8 milliards d'euros. Seul 50% du budget recherche du DLR provient de fonds publics. D'abord centré sur la **recherche spatiale et aéronautique**, le centre a développé une expertise dans le domaine de l'**énergie**, doté en 2018 d'un budget de 83 millions d'euros et dans lequel la place des technologies de l'hydrogène progresse rapidement, et le domaine des **mobilités**, doté de 79 millions d'euros.

Technologies de l'hydrogène

La recherche sur les technologies de l'hydrogène implique 20 instituts du DLR (voir annexe), répartis sur 18 sites différents. Le DLR intervient aussi sur un grand nombre de technologies, sur les quatre segments de la chaine de valeur de l'hydrogène :

- La **production** : technologie de thermolyse à partir d'énergie solaire développée sur les sites de Cologne, Jülich et Almeria en Espagne, électrolyse à partir d'énergie éolienne et cogénération sur le site de Lampoldshausen
- Le **stockage et transport** : moins développé, expérience de stockage pour le spatial

- L'**utilisation** : pile à combustible pour la mobilité routière, conception des véhicules sur le site de Stuttgart, projets sur les mobilités ferroviaire, maritime (HiSeas) et aérienne (HY4), expertise sur l'hydrogène liquide dans le spatial à Lampoldshausen,
- L'**analyse des systèmes** : analyse des systèmes énergétiques à Oldenbourg

Du point de vue des **infrastructures** de recherche, le DLR dispose avec *Hydrosol* du plus grand réacteur solaire destiné à la production d'hydrogène. Le soleil artificiel *Synlight*, situé sur le site DLR à Jülich, permet également de tester la production d'hydrogène par l'énergie solaire. Le DLR compte aussi deux unités de test pour les turbines à gaz et pour les piles à combustible basse et haute température.

En termes de **personnel impliqué sur l'hydrogène**, le DLR employait en 2019 directement **48 ETP**, auxquels s'ajoutent **68 ETP** financés par des sources extérieures.

Le centre du DLR est impliqué sur les **projets Power-to-X (P2X)** et **Ariadne** (évaluation politique, économique et sociale de la transition énergétique) du programme *Kopernikus*. Il participe aussi au projet **NAMOSYN** pour le développement de carburants synthétiques et l'adaptation des moteurs à combustion. NAMOSYN bénéficie d'un financement du BMBF à hauteur de 24 millions d'euros sur 2019-2022. Enfin le DLR participe aussi au projet franco-allemand **ARCADE**, qui vise à développer des cellules céramiques à l'usage de l'électrolyse haute température.

Points de contact identifiés par la communauté Helmholtz pour les technologies de l'hydrogène :
Prof. Dr.-Ing. Karsten Lemmer karsten.lemmer@dlr.de et Prof. Dr. André Thess andre.thess@dlr.de

Coopération

Au niveau national, les coopérations du **DLR** dans le domaine de l'hydrogène sont très diverses du fait de la dispersion de ses instituts, ce qui rend leur appréciation difficile.

Au niveau franco-allemand, le DLR coopère déjà avec le CNRS dans le cadre du **projet ARCADE**, sous la responsabilité conjointe d'Olivier Joubert pour l'IMN Jean Rouxel et de Rémi Costa pour le DLR. ARCADE bénéficie de financements conjoints dans le cadre de l'appel à projet franco-allemand « énergie durable » pour la période 2019-2022. Le DLR est un partenaire privilégié du CEA et du CNRS sur les technologies de l'hydrogène, en particulier dans le cadre de projets européens. Par ailleurs, **André Thess**, point de contact identifié par le DLR sur le sujet de l'hydrogène, a été chercheur à l'Ecole Normale Supérieure de Lyon et à l'Institut de Mécanique de Grenoble.

3) L'institut technologique de Karlsruhe (KIT)

Présentation générale

L'institut technologique de Karlsruhe (*Karlsruher Institut für Technologie - KIT*) est une structure unique en son genre de par son double caractère : à la fois centre de recherche membre de la communauté Helmholtz et université. En 2019 le KIT compte 9 300 employés dont 5 180 chercheurs et accueille 24 400 étudiants suivant des cursus orientés vers la recherche, pour un budget total de 951 millions d'euros, répartis entre 310 millions de financements publics fédéraux, 270 millions du Land (régional) et 370 millions de financements privés. Le centre de recherche est spécialisé sur les domaines **de l'énergie, des mobilités et de l'information**. Il a aussi des capacités de recherche sur les sciences de la nature et la biologie.

Technologies de l'hydrogène

Le KIT compte 12 instituts positionnés sur la recherche pour les technologies de l'hydrogène. Contrairement à l'éclatement géographique des instituts du DLR, les capacités de recherche du KIT sur l'hydrogène sont essentiellement concentrées à Karlsruhe. Le centre dispose par ailleurs de 2 instituts décentralisés à Ulm (stockage de l'énergie), Garmisch -Partenkirchen (météorologie et climat), tandis que Dresde accueille son agence de gestion de projet. Le KIT est présent, comme le DLR et le Jülich sur toute la chaine technologique de l'hydrogène.

- La **production** : pyrolyse du méthane, reformage de biomasse, électrolyse haute température, électrolyse alcaline haute pression
- Le **stockage** : spécialisation sur les réservoirs à hydrogène, stockage cryogénique
- L'**utilisation** : piles à combustible PEM et haute température, moteurs, utilisation de l'hydrogène liquide dans le refroidissement de supraconducteurs
- L'**analyse des systèmes** : sécurité des composants et des systèmes, analyse des systèmes énergétiques couplés et de leur durabilité

Le KIT dispose d'**infrastructures** permettant la recherche sur les vecteurs matériels permettant le transport de l'hydrogène avec le *H-Labor*, y compris sous conditions cryogéniques avec le *CryoMak*. Le *centre d'essai HYKA* permet de mener des recherches expérimentales sur la distribution et la combustion de l'hydrogène, notamment sur le risque d'explosion. Il permet une évaluation des risques et de leur prévention en vue d'apporter une contribution à l'établissement de normes de sécurité. Le *FCTestLab* permet de tester des systèmes de pile à combustible stationnaires pour l'usage résidentiel.

En termes de **personnel impliqué sur l'hydrogène**, le KIT employait en 2019 directement **32 ETP**, auxquels s'ajoutent **60 ETP** financés par des sources extérieures.

Le KIT participe au **projet Carbon2Chem (C2C)**, soutenu par le ministère de la recherche à hauteur de 60 millions d'euros sur 2016-2020 et dont la 2ème phase doit s'étendre de 2020 à 2026. Carbon2Chem a pour objectif de développer la production de produits chimiques décarbonés grâce à la production d'hydrogène vert et la capture/utilisation du CO_2. Il est impliqué dans le cadre du programme *Kopernikus* sur le projet **ENSURE**, qui vise à développer un réseau énergétique adapté aux énergies renouvelables et aux technologies de l'hydrogène (transport, stockage, power-to-fuel, power-to-gas) autour du réseau pilote *EnergieKosmos* dans le Land de Schleswig-Holstein. Le KIT est aussi partie prenante du projet **NAMOSYN** pour la production de carburants de synthèse.

Points de contact identifiés par la communauté Helmholtz pour les technologies de l'hydrogène :
Prof. Dr.-Ing. Oliver Kraft oliver.kraft@kit.edu et Prof. Dr.-Ing. Thomas Jordan thomas.jordan@kit.edu

Coopérations

Au niveau national, le KIT a un partenariat privilégié avec l'**université d'Ulm** et le **centre pour l'énergie solaire et la recherche sur l'hydrogène** de Bade Württemberg (ZSW). Le KIT, ces deux instituts et le DLR ont créé en 2011 l'**institut Helmholtz d'Ulm pour le stockage électrochimique de l'énergie** (HIU). Le KIT a signé des partenariats stratégiques avec les **entreprises privées** *ABB*, *BASF*, *Bosch*, *SAP* et *Zeiss*.

Au niveau franco-allemand, le KIT coopère avec EDF dans le cadre d'un centre de recherche commun, l'**institut européen de recherche sur l'énergie** (EIFER). L'EIFER est partie prenante du projet de recherche franco-allemand ARCADE pour l'électrolyse haute température.

III. Principaux centres de recherche spécialisés sur les technologies de l'hydrogène

Après les trois acteurs incontournables de la recherche dans le domaine de l'énergie que sont le centre de Jülich, le DLR et le KIT, d'autres institutions se distinguent par leur capacités conséquentes et surtout par leur **spécialisation sur certains maillons des technologies de l'hydrogène**, ou certaines voies technologiques fondamentales. L'Allemagne dispose ainsi de centres de pointe dans la recherche sur les piles à combustibles (ZSW, ZBT) et sur les procédés de fabrication en vue de son industrialisation (ZSW), la thermolyse à partir d'énergie solaire (HZB), les procédés de production biotechnologiques (UFZ), et les technologies permettant l'usage d'hydrogène vert par les industries chimiques (MPI-CEC).

1) Institut Max Planck pour la conversion chimique de l'énergie à Mülheim (CEC)

L'institut Max Planck pour la conversion chimique de l'énergie, située à Mülheim an der Ruhr, est une structure beaucoup plus réduite que les grands centres Helmholtz, qui n'est pas géographiquement située dans un grand centre de recherche. Sa spécialisation et l'implication du professeur Robert Schlögl dans les programmes du ministère de la recherche en font un acteur de premier plan de la recherche sur l'hydrogène en Allemagne. Le centre de recherche compte 270 employés dont **18 chercheurs** réparti en trois groupes de travail sur la **spectroscopie inorganique**, la **catalyse moléculaire** et les **réactions hétérogènes**. En tant qu'institut Max-Planck, il est surtout concentré sur la recherche fondamentale, mais est impliqué sur plusieurs projets appliquée sur la **production de produits chimiques à partir d'hydrogène vert**.

Le CEC travaille dans le cadre du projet Carbon2chem sur un démonstrateur industriel construit autour de l'**aciérie** de Duisbourg, propriété de *Thyssenkrupp*. Les émissions de CO_2 produites par l'aciérie font l'objet d'une capture, et la chaleur fatale alimente une capacité d'électrolyse. L'hydrogène vert et utilisé conjointement au carbone capturé pour alimenter la production de plusieurs catégories de produits chimiques.

L'institut Max Planck CEC participe dans le cadre du programme *Kopernikus* au **projet Power-to-X** dont Walter Leitner, responsable du groupe de travail « catalyse moléculaire », est le responsable. Par ailleurs, le directeur du Max Planck CEC Robert Schlögl coordonne pour le ministère de la recherche l'ensemble du programme *Kopernikus*. Ce dernier est également l'initiateur du projet **Carbon2chem** détaillé précédemment. Le Max Planck CEC participe également au projet franco-allemand **CatVIC**.

Points de contact :
Prof. Dr. Robert Schlögl (réactions hétérogènes, « managing director ») robert.schloegl@cec.mpg.de,
Prof. Dr. Serena DeBeer (spectroscopie inorganique) serena.debeer@cec.mpg.de et
Prof. Dr. Walter Leitner (catalyse moléculaire) walter.leitner@cec.mpg.de

Coopérations

Au niveau national, l'institut Max Planck CEC coopère étroitement avec l'**institut Max Planck pour la recherche sur le charbon** situé également à Mannheim. Dans le cadre du projet Carbon2chem, il coopère avec l'**institut Fraunhofer pour l'environnement, la sécurité et la technologie de l'énergie (UMSICHT)** et l'**institut Fraunhofer pour les circuits et systèmes microélectroniques (IMS)**, situés à proximité de l'aciérie, respectivement à Oberhausen et à Duisbourg ainsi qu'avec le **ZBT de Duisbourg** (voir partie III.3). Le Max Planck CEC entretient des relations privilégiées avec *Thyssenkrupp*.

Au niveau franco-allemand, le Max Planck CEC collabore avec le CEA dans le cadre du **projet CatVIC**, qui poursuit le même objectif que le projet Carbon2chem de produire des produits chimiques à partir

d'hydrogène vert et du CO_2 émit dans ce cas par les industries chimiques du site industriel de Roches-Roussillon. Les responsable de ce projet financé jusqu'en 2022 sont Tatiana Vilarinho-Franco pour le CEA et Holger Ruland pour le Max Planck CEC.

2) Centre pour l'énergie solaire et la recherche sur l'hydrogène à Ulm et Stuttgart (ZSW)

Fondé en 1988 avec déjà la volonté de développer les technologies de l'hydrogène, le centre pour l'énergie solaire et la recherche sur l'hydrogène repose à sa création sur une coopération entre l'université de Stuttgart et le DLR, auxquels se sont associés l'université d'Ulm et le Land de Bade Württemberg. Ces institutions représentent toujours le principal support financier du centre, qui peut aussi compter sur le soutien de donateurs privés, dont *Daimler* et *Bosch*. En 2017, le ZSW employait 260 personnes. Il s'étend sur deux sites, à Stuttgart et à Ulm. Le centre de Stuttgart concentre en plus des départements administratifs les activités de recherche sur le photovoltaïque, l'analyse des systèmes énergétiques et les **systèmes de Power-to-X**. Le site principal d'Ulm abrite les activités de recherche sur plusieurs niveaux de fabrication de la **pile à combustible** (membranes polymères, électrodes, stacks PEM, système de la pile à combustible). Il comprend une part importante de recherche sur les **matériaux**, à destination des piles à combustible ou des batteries. Un second site à Ulm (*eLab*) développe une recherche sur les batteries et sur les **techniques de production**.

Le ZSW ne dispose pas de grandes **infrastructures** de recherche sur les technologies de l'hydrogène. Il dispose d'un *eLab* pour les procédés de fabrication des batteries et un centre de test photovoltaïque à Merklingen (site ZSW Widderstall). Le centre prévoit la construction d'un centre de fabrication de pile à combustible, *HyFab*, qui doit entrer en service en 2022 (voir).

Le ZWS coordonne avec le CNRS le projet franco-allemand **BRIDGE** (voir *coopérations*). Il mène un nombre important de projets (voir) mais reste relativement absent des principaux programmes du ministère de la recherche.

Points de contact :
Prof. Dr. Frithjof Staiß (directeur) frithjof.staiß@zsw-bw.de et
Prof. Dr. Markus Hölzle (technologies électrochimiques de l'énergie) markus.hölzle@zsw-bw.de
Dr. Ludwig Jörissen (co-responsable du projet franco-allemand BRIDGE) ludwig.joerissen@zsw-bw.de
Voir aussi (en anglais) les responsables des différentes unités de recherche

Coopérations

Au niveau national, le ZSW reste proche de ses institutions fondatrices, et mène des projets conjoints en particulier avec l'**université de Stuttgart** et l'**université d'Ulm**.

Au niveau franco-allemand, le ZSW coordonne avec le CNRS le projet **BRIDGE**, qui vise à développer des catalyseurs performants destinés à être intégrés dans les piles à combustibles. Le ZSW coopère par ailleurs dans le domaine du photovoltaïque avec l'institut photovoltaïque d'Ile de France technologie (CIGS pour les cellules photovoltaïques voir).

3) Centre pour la technologie de la pile à combustible de Duisburg (ZBT)

Le centre pour la technologie de la pile à combustible de Duisbourg (ZBT) est fondé en 2001 sous la forme de société de droit privé (GmbH), tandis que le Land de Rhénanie du Nord Westphalie s'est impliqué financièrement dans sa construction. Il devient en 2005 une société à but non lucratif, suite

à son rachat par l'université de Duisburg-Essen. Le centre de recherche emploie plus de 100 personnes. Ses 8 départements scientifiques couvrent différents niveaux technologiques autour de la **pile à combustible**, au niveau du **système** autour de la pile, de la pile, de ses **composants** et des **matériaux**. Le ZBT étudie aussi l'**infrastructure**, le **stockage** de l'hydrogène grâce à d'autres vecteurs énergétiques matériels, et les **aspects techniques et commerciaux** (administratif, construction, organisation de la production, apport du numérique). Le centre travaille par ailleurs également sur les technologies de batterie ion-lithium, lithium-soufre et redox-flow.

En termes d'**infrastructures**, le ZBT travaille comme le Max-Planck CEC sur le démonstrateur de l'**aciérie** de *Thyssenkrupp* à Duisbourg, également dans le cadre du projet Carbon2chem. Il dispose ensuite de capacités importantes de test des piles à combustibles accessibles aux industriels.

Le ZBT est impliqué dans le projet **Carbon2chem** évoqué précédemment. Il est également très présent sur des projets de recherche et développement ou d'industrialisation de l'hydrogène, dans le cadre du programme national d'innovation (NIP) du ministère des transports (BMVI) ou du programme ZIM du ministère de l'économie (BMWi).

Points de contact :
Prof. Dr. Angelika Heinzel (directrice) a.heinzel@zbt.de et
Dr.-Ing. Peter Beckhaus p.beckhaus@zbt.de

Coopérations

Au niveau national, le ZBT coopère particulièrement avec des partenaires régionaux de Rhénanie du Nord Westphalie, notamment avec le **centre de recherche de Jülich** et **l'université d'Aix la Chapelle** (BREEZE), Il travaille dans le cadre du projet Carbon2chem avec les partenaires du projet, l'institut Max-Planck CEC et les instituts Fraunhofer impliqués. Ses coopérations sont dominées par la recherche appliquée et le transfert de technologies à l'industrie.

Nous n'avons pas connaissance de coopération franco-allemande sur l'hydrogène de la part de ce centre.

4) Centre Helmholtz pour les matériaux et l'énergie de Berlin (HZB)

Fondé en 2009 suite à la fusion de l'institut Hahn Meitner et de la société BESSY, le centre Helmholtz pour les matériaux et l'énergie se répartit entre deux sites berlinois, dont celui du synchrotron BESSY II. Le HZB emploie plus de 1500 chercheurs. Il est doté d'un budget total de 150 millions d'euros, financé à 90% par le gouvernement fédéral (ministère de la recherche) et à 10% par le Land de Berlin. Le centre pour les matériaux et l'énergie de Berlin est une des institutions de recherche pionnières dans le domaine de la recherche sur la **photosynthèse artificielle**. Son apport pour les technologies de l'hydrogène porte essentiellement sur la recherche fondamentale dans ce domaine. En termes de **personnel impliqué sur l'hydrogène**, le HZB employait en 2019 directement **24 ETP**, auxquels s'ajoutent **25 ETP** financés par des sources extérieures.

Le centre pour les matériaux et l'énergie de Berlin dispose d'**infrastructures** lui permettant de produire et de tester des photo-électrodes à couche mince et des électro-catalyseurs pour la production thermochimique d'hydrogène à partir d'énergie solaire, dont la *Helmholtz Energy Material Foundry* (HEMF). Le HZB comprend aussi le synchrotron *BESSY II*, qui lui permet d'effectuer des travaux de recherche fondamentale sur les interfaces solide-liquide dans des conditions opératoires.

Le HZB participe au projet **Power-to-X (P2X)** dans le cadre du programme *Kopernikus*. Il est aussi impliqué dans le projet germano-américain **DEPECOR**, qui cherche à développer la production d'hydrogène vert par photocatalyse de l'eau. DEPECOR s'inscrit dans le programme de recherche CO2-WIN pour la valorisation industrielle du CO_2, qui finance 12 projets sur la période 2020-2023, pour un budget total de 27 millions d'euros.

Points de contact identifiés par la communauté Helmholtz pour les technologies de l'hydrogène :
Prof. Dr. Bernd Rech bernd.rech@helmholtz-berlin.de et
Prof. Dr. Roel van de Krol roel.vandekrol@helmholtz-berlin.de

Coopérations

Au niveau national, le HZB collabore avec l'**institut Max Planck pour la conversion de l'énergie chimique** (CEC) sur les aspects de recherche fondamentale comme dans le cadre du projet P2X. Il coopère également avec l'institut **DLR** de Berlin.

Nous n'avons pas connaissance de coopération franco-allemande de la part de ce centre. A noter que le HZB accueille un lauréat français des ERC Grant, Tristan Petit, qui y travaille sur les matériaux MXene et leur utilisation pour les nouvelles générations de batteries et supercondensateurs.

5) Centre Helmholtz pour la recherche sur l'environnement à Leipzig (UFZ)

Fondé en 1991, le centre Helmholtz pour la recherche sur l'environnement (*Helmholtz Zentrum für Umweltforschung*) compte en fin 2019 1 189 employés, principalement sur le site de Leipzig (965), mais également à Halle (127) et Magdebourg (77). L'UFZ est spécialisé sur les **procédés biotechnologiques** de production de l'hydrogène. Les trois quarts des ressources dédiées à l'hydrogène sont consacrées au développement de la synthèse de l'hydrogène au moyen de réacteurs capillaires et exploitant les capacités de production d'hydrogène de **cyanobactéries**. Des approches Power-to-X et les procédés **électro-biologiques** sont aussi explorées. Les recherches menées concernent jusqu'au TRL 4 à 5. En termes de **personnel impliqué sur l'hydrogène**, l'UFZ employait en 2019 directement **35 ETP**, auxquels s'ajoutent **25 ETP** financés par des sources extérieures.

Le centre de recherche ne dispose pas encore d'**infrastructures** opérationnelles conséquentes. L'UFZ aura accès au futur centre de recherche sur l'hydrogène *H_2 Saxony* en cours de construction, qui comprendra une extension du site de l'UFZ.

Points de contact identifiés par la communauté Helmholtz pour les technologies de l'hydrogène :
Prof. Dr. Georg Teutsch georg.teutsch@ufz.de et Prof. Dr. Andreas Schmid andreas.schmid@ufz.de

Coopérations

Au niveau national, l'UFZ a prévu de coopérer avec le **centre allemand pour la recherche sur la biomasse (DBFZ)** sur des fermentations jusqu'à 15 litres. Des fermentations à plus grande échelle sont prévues en coopération avec le **KIT**.

Nous n'avons pas connaissance de coopération franco-allemande sur l'hydrogène de la part de ce centre.

IV. Acteurs de la recherche par Länder

1) Rhénanie du Nord Westphalie : un réseau dense de centre de recherche significatifs

Centre de recherche de Jülich (FZJ)
Voir partie II et annexe 1

DLR Cologne et Jülich
Production d'hydrogène, technologie de thermolyse solaire
Voir partie II et annexe 3

Centre pour la technologie de la pile à combustible de Duisburg (ZBT)
Voir partie III

Institut Max Planck pour la conversion chimique de l'énergie de Mülheim an der Ruhr (CEC)
Voir partie III

Institut Max Planck pour la recherche sur le charbon à Mülheim an der Ruhr
Catalyse, stockage en phase solide ; très peu de recherche restante sur le charbon
Projets : Carbon2chem
Contact : Prof. Dr. Tobias Ritter ritter@kofo.mpg.de

Institut Max Planck pour la recherche sur l'acier de Düsseldorf (MPIE)
Usage de l'hydrogène dans l'industrie de l'acier, recherche fondamentale sur les matériaux
Projets : H2BS (avec le centre Helmholtz de Geesthacht - HZG)
Contact : Prof. Dr. Christina Scheu scheu@mpie.de et
Dr Baptiste Gault b.gault@mpie.de (fr, ERC Grant 2018)

Institut Fraunhofer sur les infrastructures de recherche et la géothermie à Aix-la-Chapelle (IEG)
Infrastructures et système énergétiques, extraction et stockage de la chaleur
Projets : H2 D Cluster (coordination)
Contact : Dr. Benjamin Pfluger +49 721 6809-163

Université d'Aix la Chapelle (RWTH Aachen)
Piles à combustibles, Power-to-X
Projets : Kopernikus P2X, SynErgie, ENSURE, Carbon2chem, NAMOSYN
Contact : Dr.-Ing. Felix Kunz kunz_f@vka.rwth-aachen.de

Université de la Ruhr à Bochum (RUB)
Production par photosynthèse (micro-algues)
Projets : Carbon2chem, NAMOSYN
Contact : Prof. Dr. Viktor Scherer scherer@leat.ruhr-uni-bochum.de

Institut Fraunhofer pour l'environnement, la sécurité et l'énergie à Oberhausen (UMSICHT)
Matériaux et composants pour l'électrolyse et la pile à combustible
Projets : Carbon2chem, MACOR (le projet MACOR évalue SACLOS projet de production d'acier vert)
Contact : Prof. Dr.-Ing. Görge Deerberg +49 208 8598-1107

Institut Fraunhofer pour les circuits et systèmes microélectroniques à Duisbourg (IMS)
Projets : Carbon2chem
Contact : Sigrid van Kempen +49 203 3783-2943

2) Bade Württemberg : Karlsruhe, Stuttgart, Ulm et Fribourg

Institut technique de Karlsruhe (KIT)
Voir partie II et annexe 1

Institut européen de recherche sur l'énergie (EIFER)
Centre de recherche conjoint entre EDF et le KIT, compétence sur l'ensemble de la chaine de valeur
Contact : Pascal Terrien (directeur) pascal.terrien@edf.fr

Centre pour l'énergie solaire et la recherche sur l'hydrogène à Ulm et Stuttgart (ZSW)
Voir partie III

Université de Stuttgart (Uni Stuttgart)
Spécialisé sur les usages de mobilité, compte aussi un projet d'électrolyse
Projets : Kopernikus SynErgie (coordination), Ariadne
Contact : Dipl.-Ing. Hans-Jürgen Berner (mobilités) hans-juergen.berner@ifs.uni-stuttgart.de
Steffen Bintz, M.Sc. (électrolyse) steffen.bintz@ilea.uni-stuttgart.de

Institut de recherche pour l'ingénierie automobile et les moteurs de véhicules de Stuttgart (FKFS)
Piles à combustible et motorisation carburants synthétiques pour l'automobile
Projets : NAMOSYN
Contact : Dipl.-Ing. Hans-Jürgen Berner Hans-Juergen.Berner@fkfs.de

DLR Stuttgart
Electrolyse, pile à combustible pour la mobilité routière, conception des véhicules
Contacts : Rémi Costa remi.costa@dlr.de (fr), Michael Schier michael.schier@dlr.de et
Kaspar Andreas Friedrich andreas.friedrich@dlr.de
Voir partie II et annexe 3

DLR Lampoldshausen
Usage de l'hydrogène dans le domaine spatial, électrolyse couplée à l'éolien, cogénération
Voir partie II et annexe 3

Institut Fraunhofer des systèmes énergétiques solaires de Fribourg (ISE)
Projet : Kopernikus P2X, H2 D Cluster (coordination)
Contact : Prof. Dr. Christopher Hebling +49 761 4588-5195

Autres instituts Fraunhofer impliqués sur les technologies de l'hydrogène à Fribourg
Institut Fraunhofer pour les techniques physiques de mesure (IPM)
Institut Fraunhofer pour la mécanique des matériaux (IWM)

3) Bavière : volonté de centralisation sur le campus pour l'énergie de Nuremberg (EnCN)

Contact du campus pour l'hydrogène : Prof. Dr. Peter Wasserscheid peter.wasserscheid@fau.de
Membres de l'EnCN :

Université Friedrich-Alexander Erlangen-Nürnberg (FAU)
Pionnière sur le LOHC, à l'origine de la création de l'entreprise *Hydrogenious LOHC Technologies*

Projets : Kopernikus P2X
Contact : Dr. Andreas Bösmann andreas.boesmann@fau.de

Institut Helmholtz d'Erlangen-Nürnberg pour les énergies renouvelables (HI ERN)
Le HI ERN est un institut délocalisé du centre de recherche de Jülich
Projets : Kopernikus P2X
Contact : Anja Kraus a.kraus@fz-juelich.de

Autre acteurs régionaux importants :

Université technique de Munich (TU München)
Présente sur différents segments, principalement sur l'usage power-to-fuel et transports
Projets : Kopernikus P2X, SynErgie, Ariadne, NAMOSYN
Contact : Sebastian Fendt ptx@mse.tum.de

Institut Max Planck pour la physique des plasmas à Münich (IPP)
Procédés plasma, reformage du méthane
Projets : Plasma for Gas Conversion (P4G)
Contacts : Prof. Dr. S. Günter sibylle.guenter@ipp.mpg.de
Prof. Dr. U. Fantz ursel.fantz@ipp.mpg.de

4) Saxe : deux pôles de recherche principaux à Leipzig et Dresde

Centre Helmholtz pour la recherche sur l'environnement à Leipzig (UFZ)
Voir partie III et annexe 1

Centre Helmholtz de Dresde-Rossendorf (HZDR)
Electrolyse alcaline et haute température, procédés électrochimiques
Projets : ResKin
Contacts : Prof. Dr. Sebastian M. Schmidt s.schmidt@hzdr.de et
Dr. Gunter Gerbeth g.gerbeth@hzdr.de

Institut Fraunhofer pour les techniques de production et la recherche sur les matériaux (IFAM)
Catalyseurs, électrodes, cellules pour l'électrolyse alcaline et PEM, vecteurs de stockage de l'hydrogène (hydrures métalliques, pâtes synthétiques)
Contact : Dr. Lars Röntzsch +49 351 2537-411

Institut Fraunhofer pour les technologies céramiques à Dresde (IKTS)
Modélisation et simulation du composant céramique
Contact : Dr.-Ing. Matthias Jahn +49 351 2553-7535

Institut Fraunhofer pour les machines-outils et les techniques de formage à Zittau (IWU)
Techniques de productions appliquées aux technologies de l'hydrogène
Contact : Prof. Dr.-Ing. Sebastian Scholz +49 3583 54086-4009

5) Berlin

Centre Helmholtz pour les matériaux et l'énergie de Berlin (HZB)
Voir partie II et annexe 1

Institut Max Planck Fritz Haber (FHI)
Catalyse ; institut d'origine du Prof Schlögl, spécialisation similaire au Max Planck CEC
Départements chimie inorganique, science des interfaces, physique moléculaire, chimie physique
Contact : Prof. Dr. Gerard Meijer meijer@fhi-berlin.mpg.de

Université Technique de Berlin (TU Berlin)
Catalyse, électrolyse PEM
Contact : Prof. Dr. Peter Strasser pstrasser@tu-berlin.de

6) Schleswig-Holstein

Centre Helmholtz pour les matériaux et la recherche côtière de Geesthacht (HZG)
Recherche sur les matériaux, pour les réservoirs, les membranes polymères et les électrodes
Projets : Kopernikus Ariadne, H2BS (sur l'acier, avec le Max-Planck MPIE)
Contacts : Prof. Dr. Matthias Rehahn matthias.rehahn@hzg.de et
Prof. Dr. Thomas Klassen thomas.klassen@hzg.de

Fachhochschule Westküste (une fachhochschule est équivalent allemand d'un IUT)
Impliquée sur les deux projets régionaux identifiés, seul partenaire non privé du projet Westküste (électrolyse et éolien en mer, participation d'EDF)
Projets : ENSURE, Reallabore Westküste (électrolyse et éolien en mer, participation d'EDF)
Contact : Prof. Dr.-Ing. Michael Berger berger@fh-westkueste.de

7) Hambourg

Centre du synchrotron DESY à Hambourg
Pour la production réactions d'hydrogénation organique et synthèse de méthanol ; pour le transport vecteurs énergétiques solides, sous forme de gel, liquides organiques ; pour la pile à combustible membranes échangeuses de protons, piles sans métaux lourds
Construction à venir d'un *Center for Molecular Water Science*
Contacts : Prof. Dr. Edgar Weckert edgar.weckert@desy.de et
Prof. Dr. Gerhard Grübel gerhard.gruebel@desy.de

8) Basse-Saxe

Université technique de Braunschweig (TU Braunschweig)
Mobilités, pile à combustible pour poids lourds
Contact : Prof. Dr.-Ing. Jürgen Köhler n.lemke@tu-braunschweig.de

DLR Braunschweig
Mobilités, aéronautique
Voir partie II et Annexe 3

DLR Oldenbourg
Matériaux, réseaux énergétiques (institut des réseaux énergétiques intégrés, ex-*Next Energy*)
Voir partie II et annexe 3

9) Saxe-Anhalt

Institut Fraunhofer pour la microstructure des matériaux et des systèmes (IMWS)
Plateforme d'électrolyse de Leuna (ELP) sur le site du centre Fraunhofer pour les processus chimio-biotechnologiques (CBP), partenariat avec l'entreprise française *Global Bioenergies* (hors hydrogène)
Contact : Dominik Härle dominik.haerle@imws.fraunhofer.de

10) Brandebourg

Centre de recherche pour les géosciences de Potsdam (GFZ)
Solutions de stockage de l'hydrogène
Contacts : Prof. Dr. Reinhard Hüttl reinhard.huettl@gfz-potsdam.de et
Prof. Dr. Michael Kühn michael.kuehn@gfz-potsdam.de

11) Mecklembourg-Poméranie occidentale

Institut Leibniz pour la catalyse de Rostock (LIKAT)
Recherche fondamentale sur la catalyse
Projet : participation à la mise en service de l'électrolyseur d'APEX Energy (Rostock Laage)
Contact : Prof. Matthias Beller Matthias.Beller@catalysis.de

12) Thuringe

Université Technique d'Ilmenau (TU Ilmenau)
Projets : Kopernikus ENSURE, DEPECOR
Contact : Prof. Dr. Peter Schaaf peter.schaaft@tu-ilmenau.de

13) Hesse

Université Technique de Darmstadt (TU Darmstadt)
Effets des usages de l'hydrogène sur les systèmes (composants, revêtements, réservoirs)
Projets : Kopernikus SynErgie, Ariadne, NAMOSYN
Contact : Prof. Dr.-Ing. Matthias Oechsner oechsner@mpa-ifw.tu-darmstadt.de

Les Länder de Brème, Rhénanie Palatinat et Sarre ne comptent pas à notre connaissance de capacités de recherche significatives dans le domaine des technologies de l'hydrogène.

Nous pouvons noter l'influence dans cette répartition régionale des fonds de changement structurel à destination des anciennes régions minières, en premier lieu la Rhénanie du Nord Westphalie et la Saxe (voir rapport de la commission *Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung*).

V. Coopérations internationales

Le centre de recherche Jülich et du DLR coopèrent depuis 2011 avec les **Etats-Unis** par leur participation au *National Renewable Energy Laboratory* (NREL). La communauté Helmholtz coopère aussi via son centre de Berlin (HZB) avec le *Center for Artificial Photosynthesis* (JCAP) de Berkeley sur la question de la photosynthèse artificielle.

Le ZSW a reçu récemment une délégation japonaise de haut niveau avec pour but d'explorer les coopérations possibles entre le **Japon** et l'Allemagne dans le domaine de l'hydrogène (voir).

Le DLR dispose d'un institut à Almeria au sud de l'**Espagne** travaillant sur la production d'hydrogène à partir de l'énergie solaire.

Le Jülich coopère avec plusieurs pays africains, notamment dans le cadre du projet H2Atlas pour un recensement des capacités de développement des technologies de l'hydrogène en **Afrique subsaharienne**. Le Jülich est particulièrement présent sur ce sujet également via son agence de projet *PtJ*, qui couvre en plus de l'hydrogène et l'énergie également les champs plus large de la protection du climat et du développement durable. Ce projet est mené avec le soutien du ministère de l'éducation et de la recherche (BMBF).

Le partenariat avec le **Maroc**, qui fait l'objet d'un accord de coopération bilatéral renforcé à l'occasion de l'annonce de la stratégie allemande pour l'hydrogène, concerne davantage le ministère de l'économie et de l'énergie (BMWi) et les organismes de recherche appliquée. Sur la coopération avec le Maroc, un nouvel accord pour la coopération sur l'hydrogène a été signé le 10 juin 2020 à l'occasion de la publication de la stratégie nationale sur l'hydrogène. Deux projets ont été annoncés, sans que les montants soient connus :

- La construction d'une unité de production d'hydrogène de 100 MW par un partenariat entre la banque allemande de développement (KfW) et l'agence marocaine de l'énergie durable (Masen) ; le site n'est pas encore connu, les études de faisabilités devraient être finalisées début 2021 pour une mise en service commercial en 2024 ou 2025 (voir)
- La mise en place d'une plateforme de recherche sur le power-to-X sur le site du Green Energy Park à Benguerir, en partenariat avec l'institut de recherche en énergie solaire et énergies nouvelles (Iresen) (voir)

Les Fraunhofer IMWS et IGB sont impliqués sur le projet Green Ammonia pour la production d'ammoniac à partir d'hydrogène vert. L'institut Fraunhofer ISE est aussi présent dans la coopération énergétique avec le Maroc.

VI. Sources

Helmholtz Gemeinschaft, *Kompetenzatlas Wasserstoff in der Helmholtz Gemeinschaft*, mai 2020

Fraunhofer Gesellschaft, *Kompetenz für das Wasserstoff-Zeitalter*, 2020

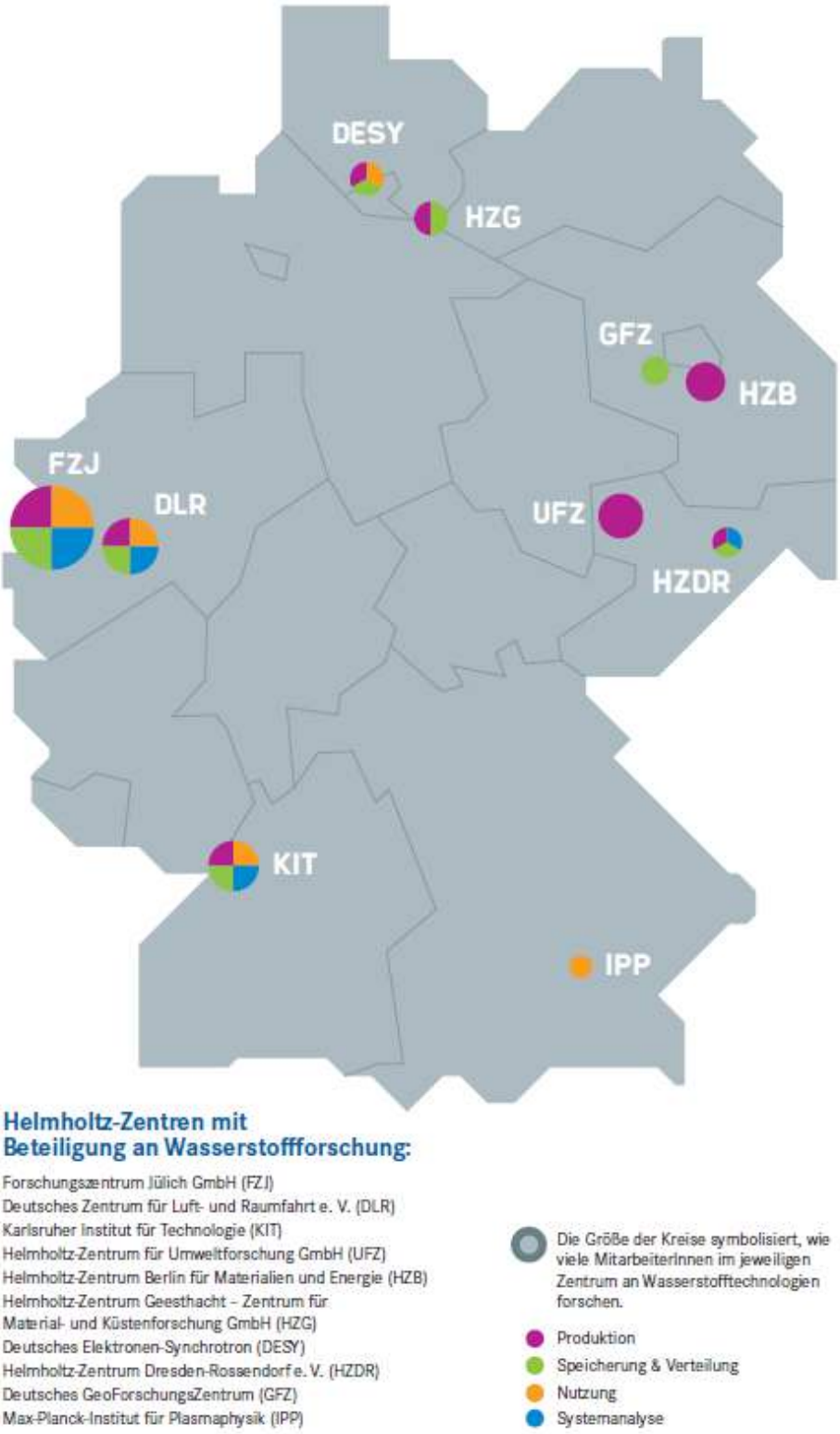
Site internet des institutions de recherche :
Partie II : Jülich, DLR, KIT
Partie III : MPI-CEC, ZSW, ZBT, HZB, UFZ

Germany Trade & Invest, *Energy Storage & Fuel Cell Systems*, janvier 2011 (document exploratoire daté, à titre indicatif)

Le travail s'appuie également sur les informations recueillies depuis février à l'occasion d'entretiens et déplacements, notamment les échanges avec le CEA (Laurent Antoni), le ministère de la recherche, le ministère de l'économie et de l'énergie, des chercheurs dont Olivier Guillon (FZJ), Tristan Petit (HZB), Kaspar Andreas Friedrich (DLR Stuttgart) et deux déplacements au centre DLR de Stuttgart à l'occasion d'un séminaire CNRS-DLR et au HZB de Berlin à l'occasion de l'obtention par Tristan Petit de la bourse ERC. Les mises à jour ont bénéficié d'entretiens complémentaires avec Olivier Guillon (FZJ) et Baptiste Gault (MPIE).

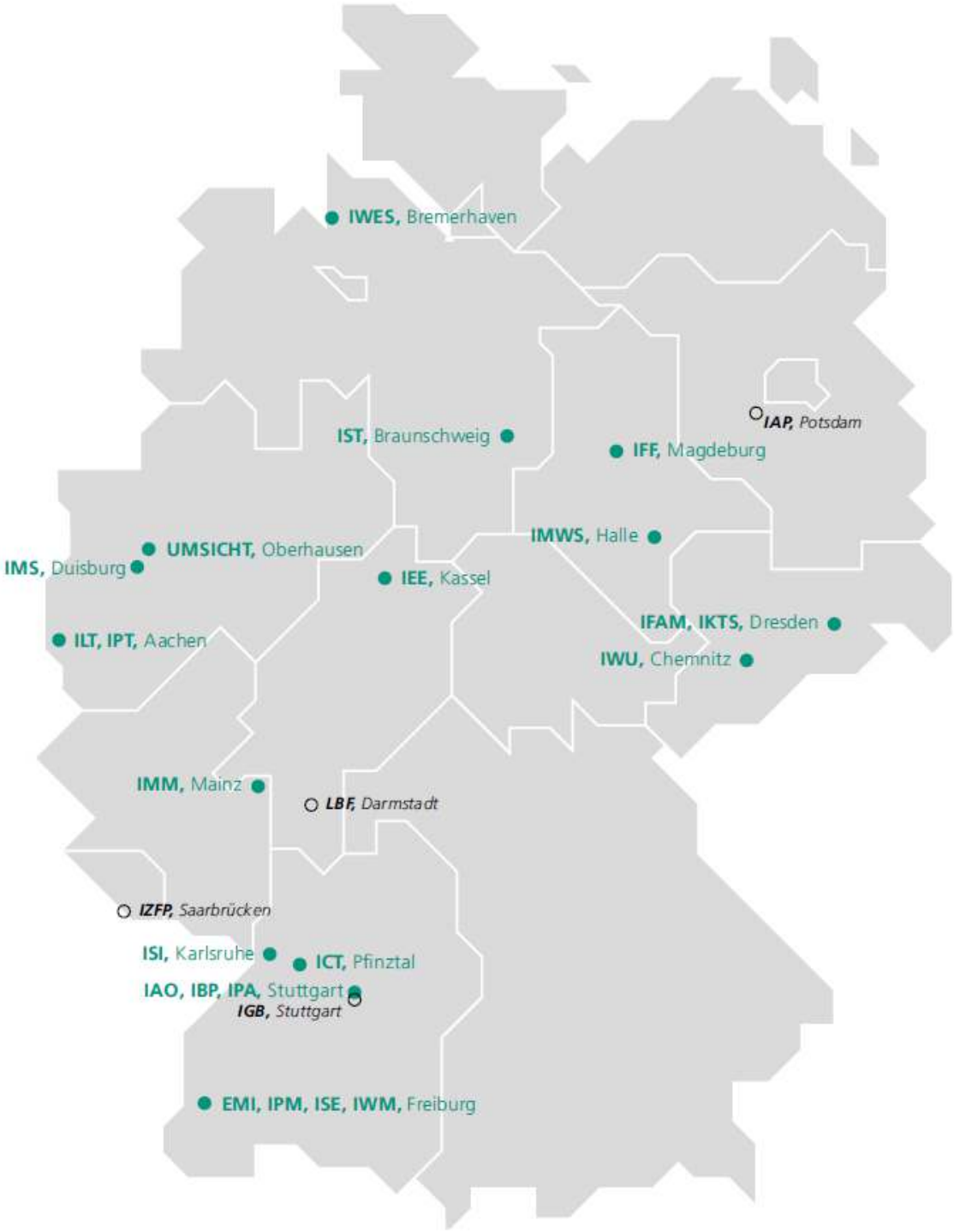
VII. Annexes

1) Cartographie des centres Helmholtz spécialisés sur l'hydrogène



Source : Helmholtz Gemeinschaft, *Kompetenzatlas Wasserstoff in der Helmholtz Gemeinschaft*, mai 2020

2) Cartographie des instituts Fraunhofer spécialisés sur l'hydrogène



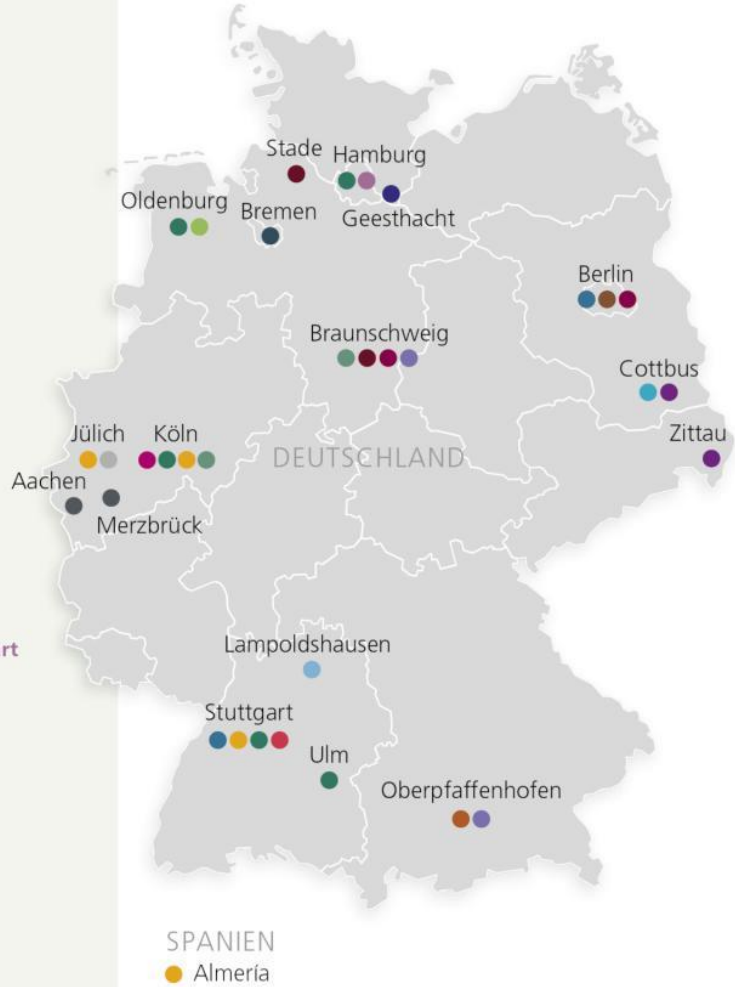
Source : Fraunhofer Gesellschaft, *Kompetenz für das Wasserstoff-Zeitalter*, 2020

3) Cartographie des instituts du DLR spécialisés sur l'hydrogène

WASSERSTOFFFORSCHUNG IM DLR

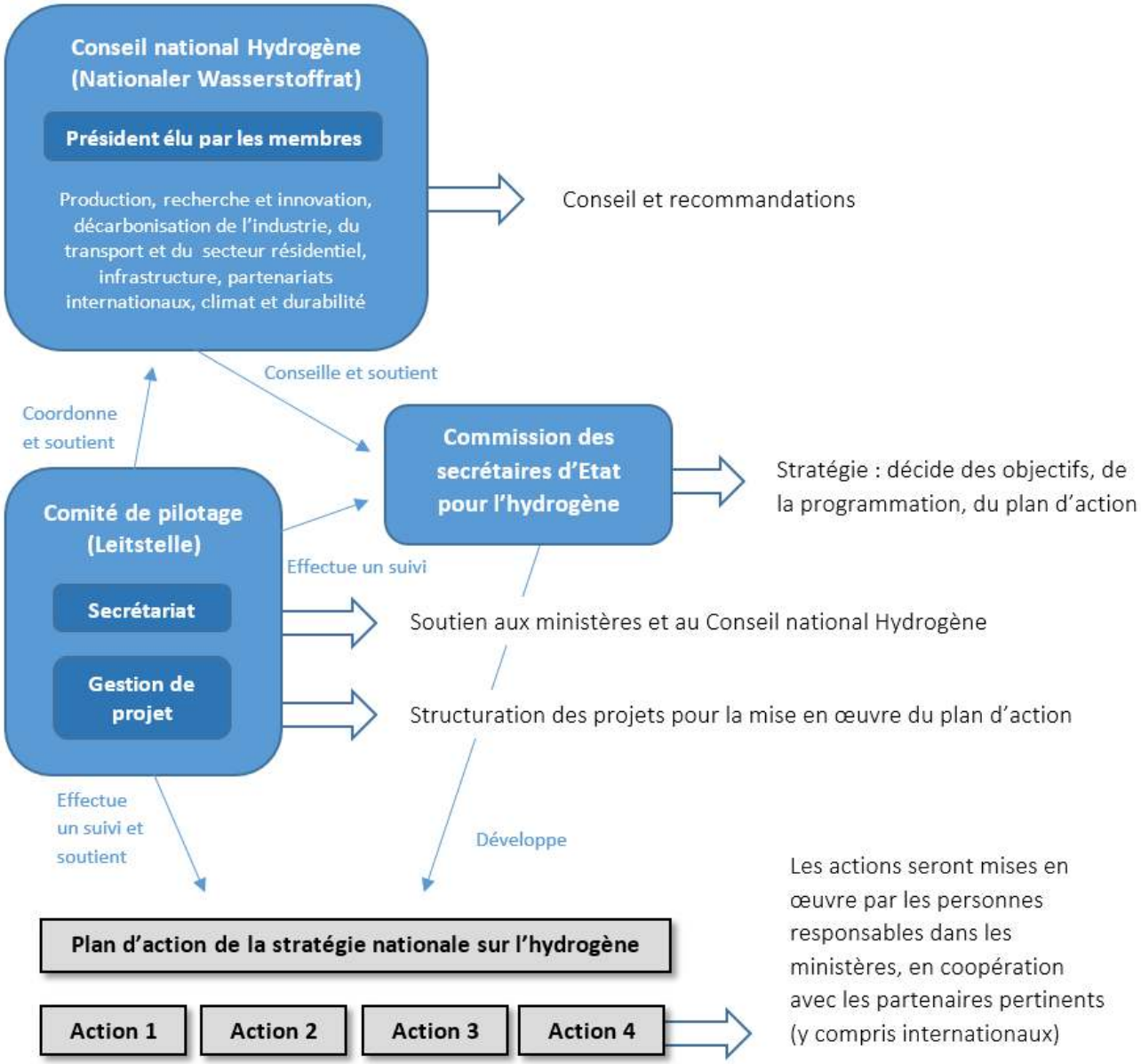
INSTITUTE:

- Institut für Antriebstechnik
- Institut für CO_2-arme Industrieprozesse
- Institut für Fahrzeugkonzepte
- Institut für Flughafenwesen und Luftverkehr
- Institut für Future Fuels
- Institut für emissionsarme Luftfahrtantriebe
- Institut für Maritime Energiesysteme
- Institut für Physik der Atmosphäre
- Instiut für Raumfahrtantriebe
- Institut für Raumfahrtsysteme
- Institut für Solarforschung
- Institut für Systemarchitekturen in der Luftfahrt
- Institut für Technische Thermodynamik
- Institut für Verbrennungstechnik
- Institut für Verkehrsforschung
- Institut für Verkehrssystemtechnik
- Institut für Vernetzte Energiesysteme
- Flugexperimente
- Technologien für Kleinflugzeuge
- Zentrum für Leichtbauproduktionstechnologie



Source : DLR, 2020

4) Structure de gouvernance de la stratégie nationale sur l'hydrogène



1. Voir les membres du Conseil national Hydrogène
2. Note : Stefan Kaufmann, député CDU et coordinateur à l'innovation pour l'hydrogène vert, est membre de droit à la fois du Conseil national Hydrogène et de la Commission des secrétaires d'Etat. Il est rattaché au ministère de la recherche et de l'éducation (BMBF)

Schéma : Julien Potier, d'après NOW GmbH