

# « Un projet Manhattan pour la transition écologique »<sup>1</sup>

Collectif scientifique

12/01/2024

*Diffusion publique*

<b>1</b>	<b>PREAMBULE :</b> .....	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>RESUME EXECUTIF</b> .....	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>LE CONSTAT DES PORTEURS.</b> .....	<b>4</b>
	<i>a) Le prix de la douleur</i> .....	4
	<i>b) Notre vision</i> .....	5
<b>4</b>	<b>UNE ECONOMIE DE GUERRE, LE PROJET MANHATTAN.</b> .....	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>LES SOLUTIONS DE RUPTURE MANQUANTES.</b> .....	<b>6</b>
<b>6</b>	<b>UNE STRUCTURE PAR PROGRAMMES INTERAGISSANT DANS UN MEME LIEU.</b> .....	<b>7</b>
<b>7</b>	<b>LES BFRO, BRIQUES ELEMENTAIRES DU PROJET MANHATTAN</b> .....	<b>7</b>
7.1	SELECTION DES BFRO : CONCENTRATION DES MOYENS POUR DES TECHNOLOGIES DE RUPTURE.....	8
7.2	STRUCTURE H : BFROS ET PLATEFORMES SCIENTIFIQUES TRANSVERSALES.....	9
7.3	STRUCTURE H ET RISQUE.....	10
7.4	LA PLATEFORME TRANSVERSE SHS : « INGENIERIE » SOCIALE ET JURIDIQUE.....	10
7.5	SELECTION DES BFRO : DES THEMATIQUES EN REFLEXION .....	11
	<i>a) La révolution biologique</i> .....	11
	<i>b) Le recyclage à haute intensité</i> .....	12
	<i>c) Etc.</i> .....	13
<b>8</b>	<b>DES SCIENTIFIQUES ET INGENIEURS REGROUPES AU MEILLEUR NIVEAU SERVIS PAR UNE STRUCTURE SOUPLE ET RESPONSABLE</b> .....	<b>13</b>
8.1	L'AME DU PROJET : DES CHERCHEURS ET INGENIEURS DU MEILLEUR NIVEAU ENGAGES A 100%. .....	13
8.2	UNE GOUVERNANCE RESSERREE, AGILE .....	13
	<i>a) Missions (rappel)</i> .....	14
	<i>b) Conseil scientifique</i> .....	14
	<i>c) Comité de pilotage</i> .....	15
8.3	UNE TUTELLE UNIQUE SOUS L'AUTORITE DU PREMIER MINISTRE. ....	16
8.4	TEMPORALITE .....	17
8.5	DIMENSIONNEMENT ET FINANCEMENT .....	17
8.6	DIMENSION EUROPEENNE .....	18

---

<sup>1</sup> Titre non définitif. La référence au projet Manhattan a suscité de nombreux débats, que nous comprenons. Ce pour deux raisons principales : le caractère protéiforme des défis technologiques posés par la transition technologique d'une part, les conséquences terribles des bombes d'Hiroshima et Nagasaki -dont l'utilité pour faire cesser le conflit reste fortement discutée- d'autre part. Nous en sommes bien conscients. La référence à Manhattan vient des analogies évidentes sans méconnaître ces différences fondamentales : réunir des compétences scientifiques et industrielles dans un même lieu avec des moyens importants pour relever un défi technologique face à une menace existentielle à court terme. Si nous savons qu'il faudra changer de dénomination à terme, nous pensons que cette référence, discutable donc et qui peut choquer, a contribué à permettre un débat de fond sur notre approche qui nous l'espérons est utile même si le projet n'a pas pu, au moins jusqu'à présent, se concrétiser. Enfin, nous pensons que le débat sémantique est de second ordre au moins face à l'urgence climatique et écologique.

<b>9</b>	<b>TROIS EXEMPLES POTENTIELS DE BFRO ET UNE PLATEFORME SCIENTIFIQUE.....</b>	<b>18</b>
9.1	BFRO #1 : UNE NOUVELLE CHIMIE VERTE GRACE A LA CATALYSE ATOMIQUE .....	18
9.2	BFRO #2 : TECHNOLOGIES ENTROPIQUES POUR LA TRANSITION ENERGETIQUE .....	21
9.3	BFRO #3 : NANOTECHNOLOGIES POUR L'EAU .....	22
9.4	PLATEFORME SCIENTIFIQUE DE RUPTURE : NEXUS ELECTRON-ION.....	24
<b>10</b>	<b>ANNEXES.....</b>	<b>26</b>
10.1	TRIBUNE INITIALE.....	26
10.2	PARANGONNAGE .....	27

## 1 Préambule :

Le 26 septembre 2023, la tribune « *Il faut mettre en œuvre un projet Manhattan de la transition écologique* », signée par 37 scientifiques de tous horizons, a été publiée dans le journal Le Monde<sup>2</sup>. Dans une logique européenne, une version<sup>3</sup> a été publiée dans la Libre Belgique le 7 octobre 2023. Face à l'urgence écologique, le *projet Manhattan de la transition écologique* se donne comme objectif de trouver les solutions scientifiques et technologiques de rupture manquantes à la transition écologique, jusqu'à leur industrialisation. Il ambitionne donc de contribuer à donner une réponse partielle, mais indispensable, à des questions soulevées par l'urgence écologique dans le domaine des technologies de rupture à fort impact complétant ainsi les actions indispensables de transformation de la société (sobriété modification profonde des usages, amélioration incrémentale des procédés...). En particulier, la vision globale à l'échelle planétaire, au-delà des frontières françaises, est critique, notamment dans ses aspects Nord-Sud. Ainsi cette tribune faisait part de la volonté des acteurs du terrain scientifique de mener une action sans égale, originale et concrète pour s'attaquer au défi de la transition écologique. Sans égale de par l'ampleur et l'ambition du projet. Originale car de par sa mise en œuvre, elle n'a pas d'équivalent dans l'écosystème scientifique et industriel, ni au niveau français, ni au niveau international. Concrète car cette action fixe une feuille de route pour sa mise en place, depuis la science de rupture jusqu'à l'industrialisation de technologies décarbonées.

La présente note précise ainsi l'objectif, le positionnement et les modalités concrètes de la mise en œuvre de ce *projet Manhattan de la transition écologique*. Il faut ainsi la considérer comme une proposition issue d'une partie de la communauté scientifique, basée sur l'expérience du terrain de la science et de l'innovation. La communauté scientifique ainsi que nombre de futurs ou jeunes ingénieurs sont largement prêts à s'engager dans cette bataille face au défi écologique et cette bataille ne peut être menée sans eux.

La note intègre notamment les apports issus de discussions avec l'État. Ces discussions ont débuté par la séance de présentation et de discussion du 29 septembre entre la Ministre de la de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, Madame Sylvie Retailleau (accompagnée de ses principales collaboratrices : Anne-Isabelle Étienne, Conseillère Recherche, Jane Lecomte, Conseillère Transition écologique, Naomi Peres, Directrice du cabinet et Claire Giry, DGRI), le Secrétaire général à la Planification Écologique, Monsieur Antoine Pellion d'une part, et les

<sup>2</sup> <https://sites.google.com/view/manhattan-transition/home>

<sup>3</sup> « Des scientifiques appellent à "la mise en œuvre d'un projet Manhattan de la transition écologique »

représentants du projet Manhattan (Lydéric Bocquet, Patricia Crifo, Yves Laszlo, Mathieu Lizée et Isabel Marey-Semper).

Cette réunion a été poursuivie par des interactions d'une part avec le ministère de la transition écologique, le ministère de l'économie et des finances, celui de l'industrie et d'autre part avec des élus. Nous avons également bénéficié de multiples discussions avec des élus, députés nationaux et européens. Nous avons pu présenter la note aux directions de l'Institut Polytechnique de Paris, de l'Université Paris-Saclay, de l'IRD, d'INRIA et échangé avec nombre de scientifiques, dont des membres importants du GIEC. Le principe de discussions avec le CEA et INRAE est acté mais elles n'ont pu encore avoir lieu. Enfin, nous avons pu la discuter dans divers média et débats.

Les contributeurs directs à cette note sont Lydéric Bocquet, Marie-Laure Bocquet, Bruno Chaudret, Coralie Chevallier, Patricia Crifo, Pascal Hersen, Yves Laszlo, Mathieu Lizée, Isabel Marey-Semper, Judith Rochfeld, Carlo Sirtori, Jean-Marie Tarascon, avec l'aide de Emmanuel Basset et Cassia Naudet. Nous avons également bénéficié de multiples discussions avec Yves Bamberger et Yves Bréchet. Le contenu de la note a par ailleurs fait l'objet de multiples échanges avec la communauté scientifique, non seulement avec les signataires de la tribune du Monde (signataires initiaux et ceux en soutien), des étudiants, des acteurs privés, mais également dans un périmètre bien plus large. Ceci a permis de l'enrichir et de l'améliorer graduellement en répondant aux objections et suggestions des interlocuteurs.

Contacts des porteurs du projet : [lyderic.bocquet@ens.fr](mailto:lyderic.bocquet@ens.fr), [yves.laszlo@universite-paris-saclay.fr](mailto:yves.laszlo@universite-paris-saclay.fr)

## 2 Résumé exécutif

Face à l'urgence écologique, le *projet Manhattan de la transition écologique* se donne comme objectif de trouver les solutions scientifiques et technologiques de rupture manquantes à la transition écologique, jusqu'à leur industrialisation. Projet à vocation européenne, il s'inscrit naturellement dans le Green Deal européen mais avec une approche non conventionnelle, là où les approches traditionnelles ne peuvent réussir.

Inversant le paradigme usuel d'organisation de la recherche, il concentrera ses moyens sur un nombre restreint mais significatif de projets de ruptures scientifique et technologique, pilotés et focalisés vers des livrables qui sont les usines pilotes préfigurant des filières industrielles complètes (BFRO, Breakthrough Focused Researched Organization).

Il s'agit donc de mener une recherche de rupture à mission, finalisée avec un engagement de résultats industrialisables dans un délai contraint. Il ne s'agit donc ni d'un projet de recherche ni d'un projet de développement aux sens classiques des termes mais d'une démarche mêlant de manière originale *ab initio* les dimensions industrielles et de recherche. Dans une démarche de *recherche et innovation responsables*, le projet complète de manière cruciale l'action sur les usages et l'adaptation de la société, largement abordée par France 2030, action indispensable mais insuffisante à elle-seule.

Forts des expériences de crises majeures anciennes (Manhattan, ...) ou récentes (succès américains et allemands vaccin COVID 19) et de l'exemple des Focused Researched Organization américains, nous proposons la création d'un centre agile, de durée limitée (structure de droit privé), fondé sur les principes d'une économie de guerre pour répondre à cette situation de crise planétaire et existentielle.

Sous une direction unique, responsable devant l'État à son plus haut niveau, rattaché au Premier ministre<sup>4</sup>, il colocalisera des chercheurs et ingénieurs d'excellence, français et européens, de toutes disciplines, totalement détachés de leur unité d'appartenance et capables de coopérer.

---

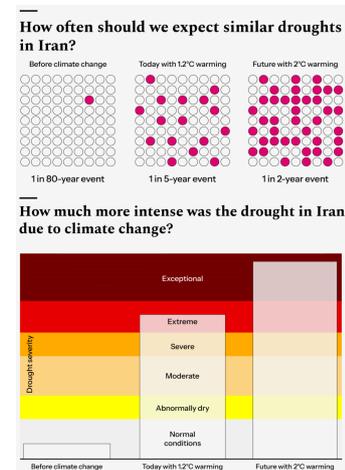
<sup>4</sup> Pour ce qui concerne sa dimension française. Pour la dimension européenne, voir §8.6.

Cette colocalisation permettra à la fois le pilotage du centre et l'interaction scientifique et technologique entre BFRO. Les scientifiques du centre, à l'instar des centres de recherche privés, seront intégralement financés et attirés par des conditions de rémunération compétitives afin de recruter les meilleurs tout en leur demandant un engagement à 100% et pilotage central notamment.

Ces scientifiques mèneront une science de rupture focalisée sur des technologies concrètes en vue de l'émergence de filières industrielles à fort impact proposées par un conseil scientifique de haut niveau indépendant et arbitrées par la direction qui en assure suivi et reporting. La propriété intellectuelle sera intégralement gérée par le centre de manière dynamique afin de parvenir à l'émergence de champions industriels à partir d'usines pilotes. Les fonds d'investissement pourront intervenir au moment de cette industrialisation.

Afin de garantir son succès, le centre sera autonome des structures académiques et industrielles et plus généralement publiques ; il sera en revanche en interaction consultative avec d'une part les responsables de la planification écologique en charge de l'adaptation de la société et des usages afin de garantir la cohérence de l'action globale de transition écologique et d'autre part avec la communauté scientifique et industrielle afin d'être en phase avec l'évolution de l'état de l'art technologique.

Le centre sera construit par agrégation successive de groupes d'une vingtaine de BFRO regroupant de l'ordre de 600 personnels scientifiques et d'appui chacun hors administration, chaque groupe nécessitant un financement annuel de 150 millions d'euros. Dans sa globalité, le projet demande un financement au niveau national de l'ordre d'un milliard d'euros/an pour 4000 personnels scientifiques et d'appui en régime de croisière. Le projet au niveau européen coordonnera les divers centres des pays participants, chaque pays contribuant à hauteur de l'ordre de 0,1% de son PIB (modèle EMBL ou CERN). La France sera ainsi l'initiatrice de la première brique de ce projet européen majeur.



### 3 Le constat des porteurs.

#### a) Le prix de la douleur

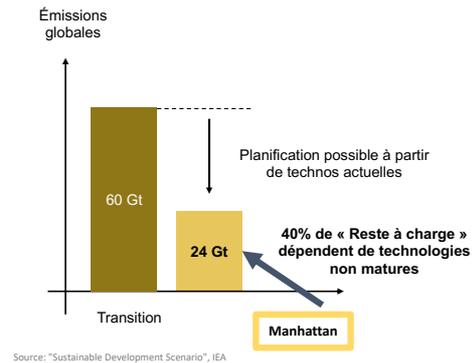
Le niveau et la vitesse de dégradation des conditions de vie sur terre causés par la crise climatique conduisent à une situation d'urgence existentielle nécessitant des actions hors-norme, comparables à la mise en place d'une économie de guerre. Les conséquences économiques et sociales sont d'ores et déjà considérables. À titre d'exemple, en 2019, 396 catastrophes naturelles se sont produites, tuant 11 755 personnes, affectant 95 millions d'autres et coûtant près de 130 milliards de dollars<sup>5</sup>. Ceci ne fait qu'illustrer les propos d'Henri de Castries dans Le Parisien, 15 novembre 2015, alors PDG d'AXA, au moment de la COP21 : « une augmentation de deux degrés de la température moyenne dans le monde peut encore être assurable, mais ce qui est certain, c'est qu'une hausse de quatre degrés ne l'est pas. Elle entraînera inévitablement une montée des océans, or 80 % de la richesse mondiale est concentrée le long des côtes »<sup>6</sup> sachant que le dernier rapport. Du Programme des Nations

<sup>5</sup> Johar, Meliyanni, et al. "The economic impacts of direct natural disaster exposure." Journal of Economic Behavior & Organization 196 (2022): 26-39; (cout tornade US jusqu'à 10Mds\$ en 2010, quelques Mds\$ annuel selon les années).

<sup>6</sup> <https://www.leparisien.fr/economie/business/special-cop21-un-monde-plus-chaud-de-4-degres-sera-impossible-a-assurer-selon-le-pdg-d-axa-30-11-2015-5326047.php>

Unies pour l'environnement paru le 27 octobre 2023 prévient « *les politiques actuelles conduiraient à elles seules à une augmentation de 2,8°C* »<sup>7</sup>.

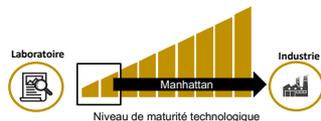
Le rapport Groundswell de l'ONU évalue une multiplication par 7 des déplacés climatiques à l'horizon 2050 sans action forte et immédiate<sup>8</sup>, chiffre d'ailleurs vraisemblablement sous-évalué vu les perspectives de réchauffement qui se dégradent, en cohérence avec les prévisions de l'OMS qui prévoit plus de 250000 décès annuels entre 2030 et 2050 dus aux simples causes directes du réchauffement sur la dénutrition, paludisme, diarrhées, stress de la chaleur. Sans parler des épisodes de sécheresse extrêmes actuels et à venir<sup>9</sup>.



### b) Notre vision

Notre vision est systémique. Elle repose sur la nécessité absolue d'une **double action**, d'une part sur les **usages et l'organisation de la société**, ce qui est avant tout l'apanage de la Politique et du débat démocratique - nous parlerons de *pilier des usages* -, d'autre part sur les **solutions scientifiques et technologiques** capables de contribuer à combattre le changement climatique et ses effets délétères dans une perspective de transition écologique - nous parlerons de *pilier scientifique et technologique*<sup>10</sup>-).

Bâtir l'après 2030 et honorer les engagements de « Fit for 55 » nécessitent d'apporter des ruptures scientifiques et technologiques et pas seulement de développer de manière incrémentale l'existant. Selon l'analyse de l'Agence internationale de l'énergie (IEA), 40 % des technologies nécessaires à la transition environnementale ne sont pas à un niveau de maturité suffisant<sup>11</sup>. Il y a donc un besoin d'accélération et d'amplification de la réponse technologique. Le projet vise donc à délivrer rapidement des solutions « *extra-ordinaires* » mais *concrètes et opérationnelles*, en s'appuyant sur un schéma de **science de rupture au service d'une mission dans un délai contraint**. Il s'agit de lever les verrous scientifiques et technologiques, du laboratoire jusqu'à l'industrialisation des solutions de rupture manquantes à la transition écologique.



L'objet du projet Manhattan est de construire ce dernier pilier scientifique technologique sur la base de la science de rupture jusqu'à l'industrialisation. Il permettra de produire *des* outils nécessaires au pilier des usages post 2030 et à ses décisions économiques et politiques. Ces deux piliers<sup>12</sup> sont distincts, mais reliés notamment en ce qui concerne l'interaction avec le plan gouvernemental de transition de France 2030. Nous y reviendrons. Ainsi, il ne prétend pas apporter l'ensemble des solutions à l'urgence écologique mais à apporter une contribution partielle tout en étant majeure.

<sup>7</sup> <https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2022>

<sup>8</sup> Soit à l'horizon 2050, l'Afrique subsaharienne qui pourrait enregistrer jusqu'à 86 millions de migrants climatiques internes ; l'Asie de l'Est et Pacifique, 49 millions ; l'Asie du Sud, 40 millions ; l'Afrique du Nord, 19 millions ; l'Amérique latine, 17 millions ; et l'Europe de l'Est et Asie centrale, 5 millions.

<sup>9</sup> <https://www.worldweatherattribution.org/human-induced-climate-change-compounded-by-socio-economic-water-stressors-increased-severity-of-drought-in-syria-iraq-and-iran/>

<sup>10</sup> Pris au sens étymologique, *i.e.* comme « l'étude systématique des procédés, des méthodes, des instruments ou des outils propres à un ou plusieurs domaine(s) technique(s), art(s) ou métier(s) », donc englobant *a priori* les aspects opérateurs concrets d'ingénierie sociale et juridique ou encore de recherche sur l'impact *des usages* nécessaires à la transition.

<sup>11</sup> cf. <https://www.iea.org/reports/clean-energy-innovation/innovation-needs-in-the-sustainable-development-scenario> et <https://www.iea.org/reports/clean-energy-innovation/clean-energy-innovation-needs-faster-progress>.

<sup>12</sup> « La technique est insuffisante pour porter une éthique mais, avec l'aide de la technologie approfondie, elle apporte cependant une auto-normativité qui est de l'ordre du gai savoir. Et la technologie croit pouvoir dire en terminant : *World is rich* » en G. Simondon, *Trois perspectives pour une réflexion sur l'éthique et la technique*, 1983

#### 4 Une économie de guerre, le projet Manhattan.

Il se donne comme objectif de trouver *des* solutions scientifiques et technologiques de rupture, originales et à fort impact, qui manquent cruellement à l'urgence de la transition écologique, et de construire une feuille de route jusqu'à leur industrialisation. Ce projet rassemblera dans un même lieu des chercheurs et ingénieurs d'excellence, français et européens, de toutes disciplines (« sciences dures » et humanités). Mis à disposition par leur employeur ou directement recrutés, ceux-ci s'engagent à 100% dans le projet piloté de manière centralisée par une équipe de gouvernance resserrée, autonome des structures académiques et industrielles et responsable devant l'État à son plus haut niveau, Premier ministre ou président de la République<sup>13</sup>.

Le projet rend compte directement au Premier ministre. Pendant sa durée de vie (25 ans), le projet a un engagement de résultats dans des délais contraints. Son financement 100% public et philanthropique<sup>14</sup> -durant toute la phase de recherche des projets à bas TRL<sup>15</sup> -, à la hauteur des enjeux et de l'urgence (0,1% du PIB en régime de croisière), garantira l'autonomie de décision et de pilotage nécessaire à l'émergence des ruptures scientifiques et technologiques indispensables à la transition. La propriété intellectuelle (PI) sera détenue majoritairement, mais non exclusivement, par l'État, donc au collectif. La structure (de droit privé) porteuse du projet Manhattan aura mandat exclusif pour sa gestion notamment via l'exploitation des brevets par des licences privées ou via des participations directes aux futures structures industrielles ou startups en cas de cession de la PI. La feuille de route a pour objectif de délivrer des solutions industrialisables en sortie (startups et prototypes industriels) sur la base de ces ruptures. En particulier, les livrables intégreront les problématiques de *filière* industrielle dans leur ensemble et iront lorsque c'est pertinent jusqu'à des sites industriels pilotes<sup>16</sup>. Ces solutions, visant à développer des nouvelles filières industrielles, devront être mises en œuvre par des financements dédiés privés et/ou publics garantissant la souveraineté nationale et/ou européenne. Ceci pose la question du *capacity building* afin d'assurer la faisabilité des filières. Cette question sera traitée de manière différenciée suivant les BFRO et leur avancement en externalisant l'essentiel des formations nécessaires via des partenariats adaptés avec des universités, écoles et des entreprises<sup>17</sup>. Le timing de la mise en œuvre sera dicté par l'état d'avancement des projets et l'identification correspondante suffisamment en amont des compétences nécessaires.

#### 5 Les solutions de rupture manquantes.

Le projet Manhattan répond à un besoin non comblé dans un contexte d'urgence, celui de la science de rupture au service d'une mission<sup>18</sup> pour délivrer rapidement des solutions « extraordinaires » mais concrètes, et contribuer à bâtir l'après 2030 dans le cadre du deuxième volet de la planification écologique du SGPE. Il s'agit de lever les verrous scientifiques et technologiques, du laboratoire jusqu'à l'industrialisation des solutions de rupture manquantes à la transition écologique (pilier scientifique et technologique). L'articulation, fondamentale, avec le pilier des usages, sobriété incluse, sera assurée par un dialogue permanent avec ses acteurs qu'ils soient politiques -Secrétariat Général à la Planification Écologique, France 2030- ou académiques. Ce dialogue complètera l'interaction avec la communauté scientifique et

<sup>13</sup> Afin de pallier les lourdeurs interministérielles et d'avoir une action unifiée. Pour simplifier la présentation, nous dirons « au niveau Premier ministre » pour indiquer ce niveau de responsabilité.

<sup>14</sup> Au sens large : des fonds à impact tels celui du Crédit mutuel pourraient être mis à contribution pour autant que leur participation garantisse l'indépendance du projet.

<sup>15</sup> Le financement privé devant s'inviter en phase de pré-industrialisation (TRL élevés) via des fonds dédiés, fonds à impact...

<sup>16</sup> Chaque site pilote représente un investissement moyen compris entre 50 et 10 M€.

<sup>17</sup> Les scientifiques et ingénieurs des BFRO contribuant aux formations soit par des interventions directes soit par la formation des formateurs.

<sup>18</sup> L'Agence internationale de l'énergie (IEA) nous alerte : 40 % des technologies nécessaires à la transition environnementale ne sont pas à un niveau suffisant de maturité, cf. <https://www.iea.org/reports/clean-energy-innovation/innovation-needs-in-the-sustainable-development-scenario> et <https://www.iea.org/reports/clean-energy-innovation/clean-energy-innovation-needs-faster-progress>.

industrielle sur le pilier technologique et sera formellement piloté selon le schéma de gouvernance général. Il alimentera les propositions du conseil scientifique de Manhattan à son comité de pilotage pour décision (souveraine)<sup>19</sup>. Ce conseil sera composé de personnalités cooptées avec un background scientifique et technologique reconnu, personnalités issues du monde académique d'une part du monde économique et industriel d'autre part (ingénieurs de haut niveau, entrepreneurs avec des expériences emblématiques de réussites...) -mais sans lien actuel de subordination contractuelle avec lui pour garantir leur indépendance-.

## 6 Une structure par programmes interagissant dans un même lieu.

Le principe est celui d'une structure par programme « *Breakthrough Focused Research Organization* » (BFRO) pilotée avec une feuille de route « hautement performante ». Ce principe est inspiré des « high performance work practices » (basées sur la polyvalence et l'autonomie notamment et permettant de reconfigurer rapidement les processus organisationnels dans un environnement instable) et des Focused Organization Research américains<sup>20</sup>, avec pour objectif de générer des innovations de rupture industrialisables au service de la transition écologique. Ces pratiques reposent sur du travail en équipes de projet transversales, agiles, plastiques et multidisciplinaires, remettant en cause (en fait proposant une réelle intégration de) la double division du travail propre aux structures existantes (CNRS, CEA, Universités, PEPR...): division horizontale (qui cantonne chaque salarié à une tâche bien particulière) et division verticale (qui sépare nettement conception et exécution). Un campus unique<sup>21</sup> intégrant *recherche et industrialisation* est indispensable rapidement pour mener une science de rupture au service de la transition écologique en concentrant dans une unité de lieu, de temps et d'action des scientifiques de toutes disciplines (« sciences dures » comme celles des humanités) et ingénieurs car ce sont les interactions directes, physiques et quotidiennes, et la spontanéité des échanges qui font l'intensité et l'efficacité de la recherche ainsi que la focalisation sur les projets. Il ne s'agit donc ni d'un projet de recherche ni d'un projet de développement aux sens classiques des termes mais d'une démarche mêlant de manière originale *ab initio* les dimensions industrielles et de recherche

Même si le démarrage avec des locaux provisoires modulaires est envisagé, il est impératif pour des raisons de délai de trouver des locaux existants, bien desservis, éventuellement à rénover et/ou avec des bâtiments provisoires durant le temps de la rénovation. Le choix de la localisation dépendra du potentiel de rapidité de mise en œuvre et de la qualité des transports. Une piste pourrait être de louer et rénover des bâtiments pas ou peu utilisés sur le bas du plateau de Saclay, anciennement Université Paris-Sud.

## 7 Les BFRO, briques élémentaires du projet Manhattan

**Un BFRO est une feuille de route depuis la science de rupture jusqu'à l'industrialisation.**

Le constat est que de nombreuses avancées scientifiques récentes – comme nous le verrons dans les exemples ci-dessous – ont un potentiel considérable pour se concrétiser en technologies qui accélèreraient la transition écologique (nouvelles chimies verte, décarbonation, énergies renouvelables, etc.) ... mais que l'urgence écologique ne nous permet pas de suivre le processus « usuel » du transfert technologique, via une recherche ouverte, les brevets, l'industrie, ..., qui est bien trop lent et peu efficace au vu de l'urgence présente. Une fois identifiée une découverte scientifique de rupture, *un BFRO renverse le processus de recherche ouverte et fixe une feuille*

<sup>19</sup> Cf. §8.2 et s. sur la gouvernance.

<sup>20</sup> Avec au moins une distinction majeure, à savoir que les FOR s'adressent avant tout à des projets dont le résultat-cible n'est pas commercialisable. Voir <https://spec.tech/library/fros> pour une comparaison avec le modèle classique type DARPA.

<sup>21</sup> Au niveau français, la structure de l'extension européenne étant sans doute à penser, au moins partiellement, en réseau avec liens forts entre les nœuds afin d'assurer la cohérence d'ensemble et d'éviter les doublons.

*de route* avec un pilotage des étapes et jalons à franchir pour aboutir en temps court (5-10 ans)<sup>22</sup> à une échelle de pilote industriel. L'objectif affiché à terme est de créer des nouvelles filières industrielles, une filière par BFRO : ce sont autant de futurs **leaders mondiaux verts**<sup>23</sup>.

Un BFRO se définit donc par son point de départ et son point d'arrivée : le point de départ est une découverte scientifique qui permet d'envisager une rupture technologique ; le point d'arrivée est une technologie de rupture mise à l'échelle et prête pour l'industrialisation dans le cadre d'une filière dédiée (par exemple un pilote industriel fonctionnel). La feuille de route détermine le chemin entre ces deux points, dont les étapes s'inspireront à grands traits des modèles de développement de startups.

Dirigé par un à trois « principal investigator senior », chaque BFRO rassemblera une trentaine de personnes dédiées (chercheurs, ingénieurs, techniciens, postdocs et doctorants) qui seront recruté essentiellement dans toute l'Europe avec des conditions de salaires et d'environnement attractives.

De façon un peu caricaturale, mais l'image permet de fixer les idées, on peut considérer qu'un BFRO travaille en « mode startup ».

L'industrialisation sera considérée dès le début de chaque BFRO, notamment par ses ingénieurs et le conseil scientifique. Cela fixe une ambition en termes d'échelle, de coût et compétitivité de la technologie, ainsi que de son impact sociétal. Une fois la phase de consolidation de la technologie établie, et au plus tard à mi-parcours de la durée estimée de chaque BFRO, la constitution d'une filière industrielle sera donc visée. Une équipe partenariat aura identifié des industriels ainsi que des financeurs susceptibles d'être en capacité de développer la filière en vue. Un tour de table (sous NDA et dans le cadre de la PI établie) sera organisé par l'équipe afin de proposer au comité de pilotage une éventuelle stratégie de partenariat. Au final, la filière industrielle envisagée sur la base de l'innovation de rupture viendra soit compléter/remplacer les technologies des filières industrielles existantes, soit créera *ex nihilo* une nouvelle filière concurrentielle en termes de décarbonation<sup>24</sup>.

Le conseil scientifique et technologique évaluera régulièrement l'avancement de chaque BFRO et apportera des recommandations sur la poursuite/développement de chacun d'eux au comité de pilotage qui décidera chaque année notamment des moyens alloués et d'éventuels inflexions à leur apporter. Le comité de pilotage a en particulier la responsabilité d'arrêter un BFRO qui s'avérerait anormalement infructueux par rapport à sa feuille de route et aux moyens mis en œuvre.

## **7.1 Sélection des BFRO : concentration des moyens pour des technologies de rupture**

Les efforts seront concentrés en trois phases définies par leurs priorités respectives : transition énergétique, décarbonation de l'industrie et de l'agriculture (e.g. : engrais et acier), transition écologique.

Les choix de BFRO seront proposés au comité de pilotage par un Conseil Scientifique et technologique fort constitué de scientifiques et ingénieurs reconnus issus de laboratoires publics et d'industriels<sup>25</sup>, en s'appuyant notamment sur une veille scientifique et technologique constante auprès de la communauté scientifique française ou européenne

---

<sup>22</sup> C'est ce qui justifie que nous ne nous attaquerons pas *a priori* aux aspects d'énergie nucléaire, fission ou fusion. Une étude de faisabilité approfondie sera toutefois lancée, notamment sur les SMR thorium en bénéficiant d'une expertise française existante tant scientifique qu'industrielle. Mais les défis paraissent considérables, notamment en termes de matériaux. Voir notamment [https://www.academie-sciences.fr/pdf/rapport/221020\\_SMR.pdf](https://www.academie-sciences.fr/pdf/rapport/221020_SMR.pdf).

<sup>23</sup> Certains parleraient de futures « licornes vertes », même si la connotation financière de ce terme ne nous le fait pas retenir.

<sup>24</sup> Comme - par exemple - a pu l'être l'entreprise Tesla lors de sa création.

<sup>25</sup> Mais sans aucun lien à date avec eux (conflit d'intérêts potentiels).

académique et industrielle. Pour chaque projet, une feuille de route vers l'industrialisation sera établie.

Les sujets proposés par le comité scientifique seront ensuite sélectionnés par le comité de pilotage de manière souveraine pour un financement 100% public et philanthropique en phase recherche (bas TRL) qui seul permettra la rupture et l'autonomie qui lui est consubstantielle. L'allocation des personnes et des moyens par projet sera de la responsabilité du comité de pilotage. Le Conseil scientifique et technologique assurera le suivi et l'évaluation des BFRO en lien avec le comité de pilotage en s'appuyant sur l'ensemble des connaissances de la communauté.

Le comité de pilotage prendra notamment en compte l'importance stratégique globale des projets, les moyens prévisionnels à engager ainsi ses discussions avec l'État, notamment pour garantir la cohérence de son action avec celle sur le pilier des usages. Ces thèmes de BFRO s'inscriront alors dans le cadre de la planification écologique post 2030 du SGPE avec qui Manhattan interagira régulièrement selon des modalités à préciser.

Le champ de la transition écologique est vaste et de nombreux acteurs contribuent à son investigation. Le positionnement du projet Manhattan est de concentrer les moyens pour aboutir à des technologies de rupture sur un nombre limité mais significatif de BFRO dont le choix est basé sur son impact pour la transition (décarbonation, accès à l'eau...) et sur l'accélération de la feuille de route (mise à l'échelle des solutions, ...). La sélection stricte des BFRO est basée sur deux critères majeurs : le potentiel de décarbonation des technologies en vue d'une part, la maturité du sujet (identification claire des verrous et des perspectives de réussite) et leur nature. Ainsi, les BFRO ne concernent pas les technologies matures, ou celles où des progrès incrémentaux sont à attendre dans les années à venir, qui peuvent être traités ailleurs.

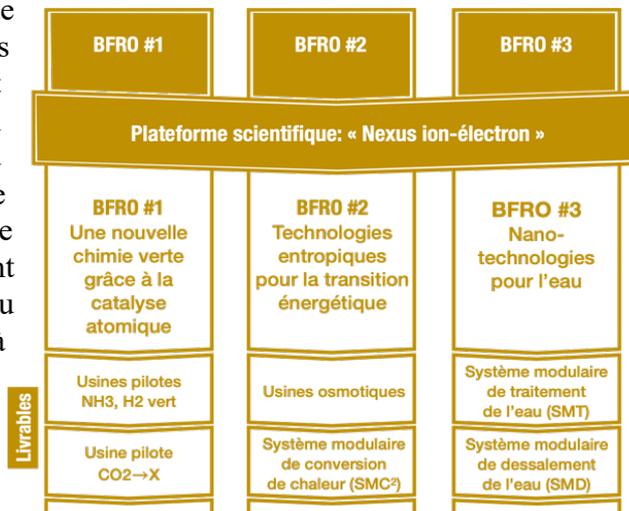
## 7.2 Structure H : BFROs et plateformes scientifiques transversales

Comme les exemples ci-dessous (cf. §9) l'illustreront, plusieurs BFRO seront couplés transversalement en **plateformes scientifiques de rupture**. Les avancées technologiques sont avant tout interdisciplinaires et il est absolument crucial de partager les avancées scientifiques entre plusieurs domaines. De plus, les chercheurs et ingénieurs de toutes compétences (matériaux, électrochimie, physique, biologie, etc.) doivent pouvoir partager leur temps entre différents BFRO selon les nécessités des verrous à lever. Cette allocation des ressources RHs sera de la responsabilité du comité de pilotage du projet de Manhattan (cf. schéma de gouvernance). Enfin, au-delà de sa finalité technologique, une telle plateforme est le germe d'**une accélération scientifique considérable**. Ces plateformes bénéficieront de moyens transverses afin d'améliorer une prise en charge globale et non en silo, mais toujours dans la perspective de nourrir les BFRO et l'avancement de leurs livrables.

Dans les exemples ci-dessous (cf. §9 pour une description plus précise), une plateforme – que l'on nommera « *Nexus ion-électron* » - regroupera l'ensemble des recherches à l'interface « électron - ion ». En effet, tous nos dissipatifs reliés au stockage et conversion de l'énergie (Biofuels, Hydrogènes, photovoltaïques, énergies bleues, batteries, fuel cell...), technologies entropiques et traitement de l'eau ont comme commun dénominateur d'être basées sur des transferts de charge, des problèmes de conduction ionique, diffusion et autres.

Il est donc nécessaire de comprendre tous ces mécanismes complexes à multifacettes à l'interface de plusieurs disciplines physique, électrochimie...

Cette plateforme « *Nexus ion-électron* » sera donc absolument essentielle pour accélérer l'investigation des transferts de charge entre espèces, depuis les électrons vers les ions et vice-versa, incluant l'ensemble des processus physiques, chimiques, électrochimiques, à l'œuvre ainsi que les matériaux, instruments de caractérisation, imagerie, etc. associés ... Ces processus restent à ce jour pour la plupart incompris, on connaît mal « l'électron électrochimique ». Or, de la capacité à maîtriser cet électron et son pendant ionique résultera les avancées technologiques. Ce type de plateforme scientifique complètement interdisciplinaire n'existe pas au niveau international. L'émulation via la recherche à mission construirait ainsi par défaut une science interdisciplinaire de rupture de premier plan mondial.



Exemple de structure H pour un projet à mission: BFROs avec livrables et plateforme scientifique transversale interdisciplinaire

D'autre part, le développement de chacun de ces projets nourrira *de facto* d'autres projets d'importance. Par exemple, sur la base des BFRO cités précédemment, on peut anticiper la conception de nouveaux procédés de conversion chimique du CO<sub>2</sub> ou d'électrolyse de l'eau de mer pour l'hydrogène vert utilisant les avancées de la catalyse, ou les chaleurs perdues à basse température, réservoir gigantesque d'énergie (environ 2500TWh en Europe<sup>26</sup>), via des processus entropiques. Ces recherches aboutiront naturellement à des systèmes de traitement de l'eau modulaires, ultra-efficaces énergétiquement, ciblant par exemple les solvants et les tensioactifs ou encore les substances perfluoroalkylées (PFAS) présentes dans les produits agrochimiques et pharmaceutiques.

### 7.3 Structure H et risque

Cette structure « en H » a l'avantage considérable de *réduire les risques* via le partage des avancées scientifiques, donc de *dériskuer les technologies*. Des alternatives s'ouvrent systématiquement face à une voie qui ne débouche pas. De plus, cela permet de rendre la structure des BFRO flexible et évolutive, permettant de réorienter certains aspects technologiques dans des délais minimaux. L'évaluation et la gestion du risque, consubstantiel à la rupture technologique, sont des enjeux clés du projet. L'objectif cible, ambitieux mais rendu atteignable par la structure H, est un taux de succès de 50% pour les BFRO.

### 7.4 La plateforme transverse SHS : « ingénierie » sociale et juridique

Il s'agit de contribuer via un approche intégrée « by design » ('social by design') au niveau de chaque BFRO d'une part à l'acceptabilité des efforts induits par la transition et les changements de mode de vie qui en résultent, d'autre part d'étudier leurs éventuels effets pervers que peuvent induire une technologie nouvelle vertueuse au premier abord. Il s'agit de s'inscrire de manière concrète dans la démarche de recherche et innovation responsable, « processus continu qui vise

<sup>26</sup> Luberti et al. *An estimate of the ultralow waste heat available in the European Union*, Energy, **238**, 121967 (2022)

à placer la recherche et l'innovation dans l'axe des valeurs, des besoins et des attentes de la société »<sup>27</sup>.

En coordination forte avec la planification écologique nationale et européenne, elle garantira une cohérence d'action entre l'évolution des usages, la transformation économique générale et l'action technologique de Manhattan. Les verrous scientifiques seront caractérisés très en amont de l'avancement des BFRO (et concerneront tant les aspects économiques de financement, que les aspects de réglementation, conventions citoyennes de territoires ou encore de cognition sociale de transformation de l'action publique). Les livrables sont à la fois des outils de financement adaptés (au Nord mais aussi dans les Suds) et des outils juridiques *a minima*, par exemple en conciliant l'aspect bien commun publique des livrables du projet d'une part et impératifs d'efficacité économique d'autre part (gestion agile de la PI, adaptation et transfert de certaines technologies vers les Suds...).

### 7.5 Sélection des BFRO : des thématiques en réflexion

De multiples BFRO basés sur la science de rupture à ce jour peuvent être élaborés et nous en donnerons ici **trois exemples** par souci de transmettre la philosophie du projet, plutôt que le foisonnement scientifique qui en est à son origine. La méthodologie sera décrite en détail sur ces trois BFRO, dont les intitulés sont :

- **BFRO #1** : Une nouvelle chimie verte grâce à la catalyse atomique
- **BFRO #2** : Technologies entropiques pour la transition énergétique
- **BFRO #3** : Nanotechnologies pour l'eau

**La description détaillée de chacun de ces BFRO potentiels, construisant un chemin depuis la science de rupture jusqu'à l'industrialisation, sera décrite exhaustivement en §9, auquel nous renvoyons le lecteur.**

Ces sujets de BFRO sont donnés à titre purement illustratif et évidemment n'épuisent certainement pas l'éventail des possibles. Notons également que la pertinence même de ces propositions de BFRO sera évaluée – comme l'ensemble des propositions de BFRO – par le conseil scientifique. De nombreuses autres voies sont à explorer sur la base des avancées scientifiques les plus marquantes réalisées récemment, dans tous les domaines de la physique, chimie, biologie, écologie, etc. mais aussi sciences humaines (car pour être utilisables, les briques technologiques doivent être à la fois acceptables et possibles à mettre en œuvre).

Ainsi nous pouvons d'ores et déjà citer d'autres thématiques générales sur lesquelles seront également construits des BFRO :

#### a) La révolution biologique

Nombre d'avancées scientifiques récentes en biologie peuvent être qualifiées de révolutionnaires. Leur mise en œuvre à une échelle industrielle a certainement un potentiel considérable pour la transition écologique qui sera un axe d'investigation prioritaire du centre. Citons à titre d'illustration le criblage de bactéries pour la remédiation de l'eau, l'adaptation ou plus encore la mise au point de tests de criblage à haut débit pour la sélection d'agents de lutte biologique dont la survie et l'activité biologique sont moins sensibles aux stress environnementaux, les techniques d'édition du génome en agronomie notamment<sup>28</sup> ou encore la biologie synthétique et les biofondries pour un « made by biology » plus sobre<sup>29</sup>, etc.

<sup>27</sup> Déclaration de Rome, 2014, cf. <https://www.soscience.org/resources-open-innovation/definitions/recherche-et-innovation-responsable/>

<sup>28</sup> Voir par exemple <https://www.nature.com/articles/s41467-022-35679-3>

<sup>29</sup> <https://www.mckinsey.com/industries/life-sciences/our-insights/the-bio-revolution-innovations-transforming-economies-societies-and-our-lives>

De manière plus spécifique, on peut notamment envisager à moyen terme la biotechnologie environnementale<sup>30</sup> (conception d'une végétation plus tolérante à la sécheresse ou stockant plus efficacement le CO<sub>2</sub>, développement de la bioremédiation et du recyclage des ressources à partir du vivant -polluants pétrochimiques et des plastiques par l'ingénierie des microorganismes, organismes pour permettre une récupération efficace des ressources rares (e.g. métaux)-, développement des biocapteurs à base d'ARN ou de protéines pour la surveillance environnementale, (température, pH, qualité de l'eau), substitution des molécules plateformes de la pétrochimie par des molécules issues du vivant).

Enfin, si passer à l'échelle sur la production d'énergie grâce aux capacités de photosynthèse du vivant semble difficile, cela reste une voie importante de diversification du mix énergétique (cultures pouvant absorber par photosynthèse une gamme élargie de longueurs d'onde du spectre solaire et améliorer la fixation du CO<sub>2</sub>, développement des microorganismes ou des systèmes acellulaires pouvant utiliser des processus photosynthétiques naturels ou artificiels pour produire de l'électricité, production de carburants de transport denses en énergie et neutres en carbone à partir de matières premières en C1 -e.g. dioxyde de carbone, monoxyde de carbone et méthane- à l'aide de microorganismes photosynthétiques).

Ces aspects devront être particulièrement étudiés par la plateforme SHS d'ingénierie social et juridique (aspects éthiques et aspects économiques d'utilisation des terres cultivables et des ressources en eau tant au Nord qu'aux Suds, ...). En outre, un problème majeur concerne la faisabilité des approches biologiques à grande échelle sans impact non anticipé dues à la complexité de systèmes en jeu. Une approche de modélisation spatio-temporelle de l'impact écosystémique de toute nouvelle innovation devra être envisagée.

#### **b) Le recyclage à haute intensité**

Une science de rupture du recyclage doit être mise en œuvre bien au-delà des usages actuels. On peut ainsi prendre l'exemple des technologies Li-ion, pour lesquelles une économie circulaire doit être pensée et construite. Actuellement cette science repose actuellement sur des procédés pyro- ou hydro-métallurgiques à étapes multiples, dont la demande en énergie et en solvant doit être réduite pour devenir écologiquement vertueux. L'innovation de rupture est là encore possible dans ce domaine. On peut penser aux procédés de « Direct Recycling » mettant en jeu une chimie préservant les éléments structuraux de l'électrode de manière à permettre une simple étape de recuit<sup>31</sup>. Il en va de soi que cette problématique de recyclage n'est pas spécifique aux batteries mais s'étend à tous les dispositifs de stockage et conversion d'énergie. En écho des procédés de recyclage, il faut également repenser la configuration même des batteries qui n'a que peu évolué depuis des décennies : on peut ainsi concevoir des batteries de type "LEGO" où chaque composant de la batterie pourra être recyclé indépendamment, et couplée à du diagnostic avancé, etc.

Évidemment, cette science du recyclage doit également se décliner sur d'autres sujets essentiels. Ainsi, contrairement à l'industrie de l'acier, il n'existe pas à l'heure actuelle d'économie circulaire pour les plastiques<sup>32</sup>. Or la science a réalisé des progrès considérables sur ce sujet. On peut mentionner ainsi les avancées récentes sur l'ingénierie enzymatique pour le recyclage et dégradation des plastiques, hydrolyse catalysée par enzyme, le criblage

---

<sup>30</sup> Dans la troisième phase du projet.

<sup>31</sup> Il faut 'seulement' traiter 28 tonnes de batteries Li-ion pour récupérer une tonne de Li alors qu'il faut manipuler 250 tonnes de spodumène (minéral contenant le Li) ou 750 tonnes de saumure pour en obtenir la même quantité.

<sup>32</sup> On estime qu'actuellement 8 milliards de tonnes de plastique se sont accumulées sur la planète, tandis que ~10 millions de tonnes/an se retrouvent dans les océans, s'accumulant ainsi dans la chaîne alimentaire.

microfluidique à haut débit et évolution dirigée, etc. Ces avancées attendent une mise en œuvre industrielle.

c) Etc.

**Nous insistons une nouvelle fois sur le fait que cet exercice de choix des thématiques des BFRO, est réalisé ici à titre essentiellement illustratif. Il sera la prérogative du Conseil scientifique et technologique, associé au comité de pilotage.**

## **8 Des scientifiques et ingénieurs regroupés au meilleur niveau servis par une structure souple et responsable**

On donne ici les éléments clefs de l'organisation.

### **8.1 L'âme du projet : des chercheurs et ingénieurs du meilleur niveau engagés à 100%.**

La clé de la réussite réside dans le choix des personnes et des sujets, et dans la dynamique entre les deux notamment impulsée par une structure bien financée et agile. Les chercheurs et ingénieurs seront choisis et cooptés sur des critères très précis : leur excellence confirmée (pour les plus anciens) ou montante (pour les plus jeunes) à travailler sur des sujets pionniers, leur engagement total -abandon de tous les autres projets-, leur capacité à prendre le risque de mettre en parenthèse une partie de leur carrière classique, et d'accepter de focaliser leurs activités au service de la Transition écologique et enfin, d'être capables de coopérer entre eux. Ils viendront principalement de France et de l'Union européenne. Ils seront mis à disposition<sup>33</sup> par leurs entités d'appartenance et auront des conditions de rémunération<sup>34</sup> adaptées à la prise de risque et leur recherche sera financée à 100%. Ils seront présents quelques années au sein du campus<sup>35</sup> puis reviendront dans leur entité d'origine dont la reconnaissance sera assurée par le fait qu'« un des leurs » aura participé au Projet Manhattan, ce qui nécessitera une labellisation des individus, de leurs laboratoires et employeurs qui *de facto* partagent l'effort. Durant cette période, leur activité de chercheur classique, évaluée par la publication, sera mise entre parenthèses pour l'essentiel. C'est une forme de sacrifice, notamment pour les scientifiques engagés dans une carrière, mais choisi au service d'une vision humaniste collective et d'une durée finie. Une attention particulière sur l'attractivité des profils juniors sera apportée pour que leur contribution à Manhattan puisse être un accélérateur de carrière, notamment en termes de labellisation des établissements desquels ils pourraient être issus en cas de cooptation, mais aussi avec la mise en place d'un *placement office* en sortie.

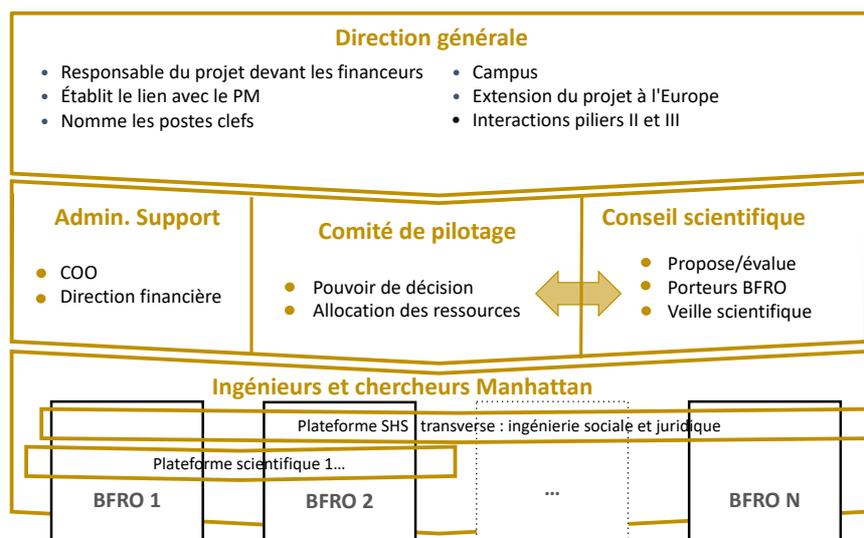
La légitimité scientifique, l'expérience de pilotage de projets et l'engagement de l'équipe de gouvernance seront également des éléments clefs pour attirer chercheurs et ingénieurs de haut niveau dans le projet mais aussi pour dialoguer de manière à la fois constructive et autonome avec l'État, la communauté académique, les industriels et les futurs partenaires européens. Au-delà de sa conception et de son organisation, le projet sera une aventure humaine collective ou ne sera pas.

### **8.2 Une gouvernance resserrée, agile**

<sup>33</sup> Idéalement à titre gratuit, avec un système de compensation type IUF pour les enseignants-chercheurs.

<sup>34</sup> Et d'avancement.

<sup>35</sup> Modèle européen EMBL ou ISIS français.



### a) Missions (rappel)

L'objet du *projet Manhattan de la transition écologique* est de trouver les solutions scientifiques et technologiques de rupture manquantes à la transition écologique, jusqu'à leur industrialisation.

Inversant le paradigme usuel d'organisation de la recherche, il concentre ses moyens sur un nombre restreint mais significatif de projets de ruptures scientifique et technologique, pilotés et focalisés vers des livrables qui sont les usines pilotes préfigurant des filières industrielles complètes (BFRO, Breakthrough Focused Researched Organization).

Il s'agit donc d'une recherche de rupture à mission. Cette mission n'est pas le progrès des connaissances en tant que tel mais la production de pilotes industriels contribuant de manière significative, non incrémentale (technologies de rupture par rapport à l'état de l'art) à la transition écologique. Ceci entraîne que chaque proposition de BFRO doit être évalué *ab initio* sous un triple aspect : défis scientifiques et technologiques avec leur état de maturité d'une part (aspect I), voies potentielles d'industrialisation, balance bénéfice/risque du BFRO d'autre part (aspect II), cohérence d'ensemble des BFRO enfin (aspect III). Ces aspects sont reliés, mais distincts.

Il revient au conseil scientifique (CS) d'examiner les BFRO avant tout sous l'angle de l'aspect I tandis que qu'il revient au comité de pilotage (CP) de décider du lancement et de l'évolution -y compris des éventuelles recomposition ou fermetures de BFRO- au cours du temps des BFRO au vu de l'avis du conseil scientifique et de son interaction avec celui-ci d'une part, et d'autre part au vu des aspects II et III.

Ceci a des conséquences sur composition et méthodes de travail de ces deux instances.

### b) Conseil scientifique

#### Composition du CS

De par sa mission première concentrée sur l'aspect I, les membres du conseil seront des scientifiques reconnus, européens avant tout de par la vocation européenne du projet. Afin d'avoir une vue la plus complète possible sur les nombreux domaines scientifiques possiblement mis en jeu, des personnalités ayant une vision et une culture scientifiques larges seront prioritairement considérés. Ce type de profil permet également d'avoir une vision plus ouverte que des spécialistes très pointus et diminue le risque de conflit d'intérêt, thème qui devra être traité de manière professionnelle.

Les impératifs technologiques avec leur perspective industrielle demande qu'un nombre significatif de ses membres aient une expérience industrielle ou entrepreneuriale importante et

réussie en tant qu'ingénieurs ou scientifiques. Le CS peut également inclure quelques membres issus du monde de l'investissement « *deeptech* » qui ont l'expérience de la valorisation de résultats scientifiques amont en technologies.

En d'autres termes, il s'agit de scientifiques/ingénieurs compétents ayant fait leur carrière dans l'industrie ou l'entreprise, ayant de préférence participé aux décisions stratégiques de leurs groupes avec une liberté de parole et une compétence toujours « au niveau » incluant une expertise sur les enjeux de « produire industriellement ». Leur indépendance exige qu'ils ne soient plus rémunérés par une entreprise.

Afin de favoriser les discussions, une taille restreinte du CS est envisagée (pas plus de 30) ce qui est cohérent avec la volonté d'avoir des profils larges de compétence. Afin de permettre des renouvellements mais aussi de susciter des vocations, les mandats seront de deux ans renouvelables. Les membres sont nommés par le directeur du centre.

Le président du CS (CSO) est nommé par le président Manhattan (CEO) après avis du CS et du CP.

### **Principe de travail du CS**

Tous les projets de BFRO devront être issus d'une proposition du CS au CP qui décide ou non de leur validation de manière souveraine mais motivée. Les décisions du CP sont transmises au CS pour information. En aucun cas un BFRO peut être mis en place sans proposition du CS. En revanche, le CP peut proposer au CS un BFRO qui est instruit comme tous les BFRO.

Le CS assure une veille scientifique auprès des communautés académiques et industrielles. Les propositions de BFRO peuvent émaner du CS directement ou bien remonter des communautés au CS par un mécanisme qui sera précisé ultérieurement.

Chaque BFRO est préinstruit par deux rapporteurs qui peuvent s'appuyer sur des experts scientifiques externes (avec NDA). Si un des deux rapports est positif, une ou deux journées scientifiques sont organisées sur le sujet avec participation de membres choisis de la communauté scientifique ou spécialistes industriels. Les rapporteurs établissent alors leurs rapports définitifs qui est discuté par le CS. Celui-ci émet un avis à la majorité simple (voix président prépondérante en cas d'égalité) et transmet un rapport unique avec recommandation au CP. Le CS ne recherche pas forcément le consensus, privilégiant la rupture à l'incrémental, rupture pouvant être source d'avis divergents. Il évalue les risques de succès/échecs de ses propositions. Une fois ce rapport validé, les membres du CS s'engagent à en être solidaires quel que furent leurs votes.

Le CS suit annuellement chaque BFRO et fait des recommandations au CP sur leur devenir/évolution.

#### **c) Comité de pilotage**

### **Composition du CP**

De par le rôle du CS en charge de l'aspect I supra et du rôle d'instruction du CP des aspects II et III, le CP est une institution exécutive qui doit prendre ses décisions de manière transparente, motivée en incluant dès le départ l'intégralité des contraintes prévisibles à une filière industrielle, ce dans une perspective européenne. Il regroupe donc un petit nombre de personnes (réactivité et responsabilité) couvrant les aspects scientifiques et opératoires des BFRO.

Le CP est dirigé par le CEO qui a voix prépondérante en cas de partage des voix. Toutefois, le CP cherche à agir par consensus de ses membres autant que faire se peut. Il comprend 15 personnes, dont le CEO, le CSO, le CTO<sup>36</sup>, le COO, le DAF<sup>37</sup>, le responsable des affaires européennes, le responsable de l'industrialisation et de la propriété intellectuelle, le représentant de l'État.

---

<sup>36</sup> Responsable technologique transverse et opérationnel des BFRO.

<sup>37</sup> Voix consultative.

Le CEO nomme les responsables des BFRO après avis du CS ainsi que le CTO -sur proposition<sup>38</sup> du CSO-, le COO, le DAF -sur proposition du COO-, le responsable des affaires européennes après avis du représentant de l'État, le responsable de l'industrialisation et de la propriété intellectuelle après avis du CP.

### **Objectif et méthode de travail du CP**

L'objectif du CP est la mise en place et le suivi de la feuille de route de chacun des BFRO, sur la base des recommandations scientifiques et techniques du CS. Pour mémoire, tous les projets de BFRO devront être issus d'une proposition du CS au CP qui décide ou non de leur validation de manière souveraine mais motivée auprès du CS. Les décisions du CP sont transmises au CS pour information. En aucun cas un BFRO ne peut être mis en place sans proposition du CS. En revanche, le CP peut proposer au CS un BFRO qui est instruit comme tous les autres BFRO. Le CP veille à ce que chacun des BFRO suive son objectif ciblé selon un calendrier déterminé.

Pour filer l'analogie, chaque BFRO travaille ainsi en « *mode startup* », et le pilotage du CP prend ainsi le sens attribué à un *board* opérationnel. Chaque membre du CP suit ainsi un portefeuille de plusieurs BFROs et rapporte régulièrement au CP les avancées et difficultés rencontrées dans la feuille de route. Un bilan scientifique et technique semestriel de chaque BFRO est organisé par un comité regroupant le rapporteur du CP, de plusieurs personnalités choisies du CS et de deux autres directeurs de BFRO. De plus les CSO et CTO organiseront des réunions régulières de l'ensemble des directeurs et directrices de BFRO.

Le CP pilote les BFROs via leurs directeurs ou directrices. Ceux-ci mettent en œuvre la feuille de route décidée par le CP, dans le calendrier préétabli et gèrent le budget requis pour cette mission en fonction des moyens alloués par le CP. Chaque directeur rend compte régulièrement de l'avancée du BFRO auprès de son rapporteur au sein du CP. Le directeur ou directrice de BFRO organise sa gouvernance en interne, dans le cadre de la mission qui lui a été confiée par le CP. Les compétences requises par un directeur doivent ainsi couvrir, outre les aspects scientifiques, technologiques, et d'ingénierie du BFRO, la gestion de projet et des ressources humaines.

En cas de difficulté majeure - et c'est une situation *attendue* et *normale* pour un projet à risque -, un groupe de travail impliquant plusieurs membres du CP et du CS, le directeur de BFRO et plusieurs membres choisis du personnel interne ou externe au BFRO, est mis en place pour identifier la difficulté, proposer des voies de contournement et suggérer des modifications pertinentes de la feuille de route et de son calendrier. Un suivi spécifique est alors mis en place par le CP avec le directeur ou directrice de BFRO. L'échec d'un BFRO doit être envisagé et l'arrêt d'un BFRO fera alors l'objet d'une instruction et procédure impliquant conjointement le CP et le CS. Pour rappel, la structure en H décrite ci-dessus et impliquant une plateforme scientifique et technologique recouvrant plusieurs BFROs permet de répartir les risques et de proposer des solutions de contournement ou de reconversion de technologies.

### **8.3 Une tutelle unique sous l'autorité du Premier ministre.**

Seule une tutelle à ce niveau, permettra d'avoir la rapidité de décision en évitant les lourdeurs de l'interministérielle inhérente à un projet qui touche directement de nombreux ministères (en charge de l'industrie, de l'économie, de la transition, de l'ESR...). C'est sous ce format que l'action du projet obtiendra son indispensable agilité et autonomie en échappant aux silos ministériels et en contournant l'organisation administrative tout en étant comptable de son action devant l'État au plus haut niveau. Elle seule permettra de faire débloquer les obstacles réglementaires qui se poseront pour la mise en place de cette « économie de guerre ». Ce niveau

---

<sup>38</sup> Au sens juridique : le CEO nomme la personne proposée ou refuse sa nomination mais ne peut nommer une personne qui n'a pas été proposée.

de reporting et de responsabilité de la gouvernance permettra de protéger les chercheurs, ingénieurs et projets des fortes oppositions voire destructions qu'engendrent nécessairement et de manière rationnelle les sujets de rupture chez les acteurs établis privés ou publics. La gouvernance envisagée est décrite en annexe.

#### 8.4 Temporalité.

La structure juridique porteuse de cette ambition sera aussi légère que possible et aura une **durée de vie maximum de 25 ans**. Elle portera une administration efficace, responsable et non bureaucratique avec pour mission première de fluidifier au maximum le travail des BFRO. Elle aura délivré des premières solutions tangibles et industrialisables au plus tard en 2030. Le projet sera lancé dès 2024. La croissance rapide se fera par couches concentriques en élargissant le périmètre scientifique à partir d'un noyau dur initial pour atteindre rapidement un rythme de croisière de l'ordre de 50 groupes d'une trentaine de personnes chacun<sup>39</sup> pour la première phase prioritairement dédiée aux questions énergétiques.

#### 8.5 Dimensionnement et financement

Nous considérons que le financement doit être réalisé par « module », un module étant constitué d'une **vingtaine de BFRO** ciblant des objectifs connexes (soit 600 personnels scientifiques et d'appui, hors administration). Cela représente environ 150 millions d'euros/an de financement public et philanthropique par module.

Le coût d'installation initial par module (one shot) est de 40 millions d'euros (rénovation locaux, installation des surfaces expérimentales). Chaque BFRO nécessitera pour la phase d'industrialisation une centaine de millions en moyenne (one shot) pour le pilote industriel préalable à la sortie industrielle proprement dite, investissement de nature essentiellement privée.

Comme évoqué plus haut (§8.4), la partie énergie -avec sa frontière poreuse avec la thématique de décarbonation- devra rapidement être dimensionnée sur une cinquantaine de BFRO (soit 1500 personnels scientifiques et d'appui, hors administration et 390 millions/an de financement public et philanthropique en régime de pleine activité) pour arriver à 4000 personnels scientifiques et d'appui et un milliard de budget annuel pour l'intégralité du spectre pour sa dimension opérationnelle française.

Les besoins de financement en régime de pleine activité de l'ensemble des projets dans ses 3 phases (énergie, décarbonation, écologie) sont donc de l'ordre d'un milliard d'euros/an. Le business plan et sa *timeline* dépendront de la capacité de l'État à lever des obstacles réglementaires pour accélérer les processus (création de la FRUP<sup>40</sup> porteuse, instruction des autorisations de rénovation immobilières, rapidité de mise à disposition des fonds...).

L'autonomie responsable du projet impose un financement source d'indépendance pour toute la partie préindustrielle, avant donc l'entrée en lice des fonds d'investissement qui permettront développer les startups/entreprises issues de chaque BFRO. Il doit donc être de nature public d'une part (européen<sup>41</sup> et français) d'une part, philanthropique, garantissant une visibilité de long terme permettant une action souple et dans la durée -donc pas sous forme d'appel à projets notamment- (rappelons que le projet en question a une durée de vie limitée de 25 ans).

Ces moyens de lutte pour la transition écologique devront augmenter de manière rapide grâce aux initiatives de partenaires européens que nous espérons susciter. Comme le soulignent les

---

<sup>39</sup> Hors soutien administratif, qui sera limité au maximum grâce à la légèreté de la structure et de ses process, mais en nombre et qualité suffisants pour que la charge administrative ne pèse pas sur les chercheurs.

<sup>40</sup> ou autre structure de droit privée adaptée

<sup>41</sup> Cf. le Green Deal européen.

Nations Unies dans leur dernier Adaptation Gap Report<sup>42</sup>, les sommes nécessaires « pour l'adaptation sont dix à dix-huit fois plus importantes que les flux financiers publics internationaux actuels »<sup>43</sup>.

## 8.6 Dimension européenne

De par ses impacts transfrontaliers, la transition écologique impose que le projet Manhattan a une vocation européenne qui à terme pourra donner la force de frappe et l'influence nécessaires pour avoir un impact de grande échelle. Le centre proposé est le noyau qui devra se renforcer par agrégation successive et progressive de partenaires européens volontaires sur un modèle type CERN ou EMBL soit<sup>44</sup> par un renforcement de son centre français soit par une structure en réseau fortement intégré de composantes nationales mais agile afin de répartir thèmes et efforts. Cette ambition européenne, tant dans sa diffusion que sa coordination, sera une des tâches majeures du porteur du projet, en lien avec le gouvernement bien entendu.

**En conclusion**, le projet Manhattan propose une approche radicalement nouvelle pour répondre de manière efficace aux questions urgentes du pilier scientifique et technologique de la transition. Il donne une vision d'espoir aux jeunes générations qui veulent s'impliquer. Et dans un monde en plein bouleversement, il contribuera à la souveraineté de la France et de l'Union Européenne et à leur puissance économique et géopolitique.

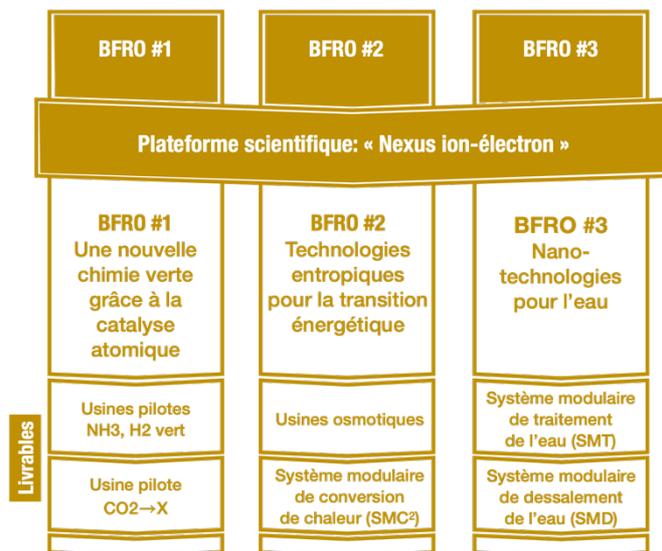
## 9 Trois exemples potentiels de BFRO et une plateforme scientifique

**BFRO #1** : Une nouvelle chimie verte grâce à la catalyse atomique

**BFRO #2** : Technologies entropiques pour la transition énergétique

**BFRO #3** : Nanotechnologies pour l'eau

**Plateforme scientifique interdisciplinaire** : « Nexus ion-électron »



**Structure projet à mission : 3**  
BFROs et livrables, couplés via une plateforme scientifique interdisciplinaire

### 9.1 BFRO #1 : Une nouvelle chimie verte grâce à la catalyse atomique

<sup>42</sup> [https://www.unep.org/resources/adaptation-gap-report-2023?gclid=CjwKCAjwI5eqBhBZEiwAbDomEsTkfTct9VoL2\\_WIPbsWgJMkrNmX8fNKRbpN1vqrPhOGhaMIeonkARoCrcvQAvD\\_BwE](https://www.unep.org/resources/adaptation-gap-report-2023?gclid=CjwKCAjwI5eqBhBZEiwAbDomEsTkfTct9VoL2_WIPbsWgJMkrNmX8fNKRbpN1vqrPhOGhaMIeonkARoCrcvQAvD_BwE)

<sup>43</sup> voir aussi à l'échelle française <https://www.insee.fr/fr/statistiques/4796342>

<sup>44</sup> À arbitrer.

**Contexte :** La « décarbonation » de la chimie est au cœur des enjeux environnementaux. À titre d'exemple, la production d'ammoniac (indispensable aux engrais) est responsable de l'émission de 800 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> par an. Elle est réalisée à l'aide d'un catalyseur à base de fer dont la formulation n'a pas beaucoup évolué depuis la découverte du procédé par Haber et Bosch, il y a près d'un siècle. D'autres procédés clés de l'industrie chimique, comme la production d'hydrogène, sont hautement énergivores (catalyse à hautes température et pression) et libèrent de la même façon de grandes quantités de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. C'est une production « noire ». Il faut absolument la transformer en une production grise voire verte en la décarbonant.

Les avancées considérables de la formulation des catalyseurs, notamment ceux aux sites atomiques, proposent des voies radicalement nouvelles pour lever les verrous technologiques, mais l'enjeu scientifique et technologique est désormais de passer à l'échelle en contrainte industrielle. Elle pourrait permettre de mettre au point un véritable système de production industriel largement décarboné en la conjuguant à d'autres aspects, comme par exemple la récupération des chaleurs fatales.

**Science de Rupture :** Parmi les progrès considérables réalisés par le domaine de la catalyse, l'une des avancées à scruter tout particulièrement est celle des « catalyseurs à sites atomiques », tels que les catalyseurs à atomes uniques (SAC), les catalyseurs à nanoclusters uniques (SCC), les alliages à atomes uniques (SAA).

Découverte par sérendipité grâce aux succès de l'imagerie des surfaces à l'échelle atomique (microscope à effet tunnel) au cours de ces vingt dernières années, cette catalyse subnanométrique constitue une réelle révolution en catalyse hétérogène. En plus de diluer de façon ultime la quantité du métal catalytique (économie d'atomes), cette nouvelle technologie offre des efficacités catalytique (activité et sélectivité) comparables voire supérieures à celle des catalyseurs conventionnels. Cela résulte de la précision presque chirurgicale de ces catalyseurs (utilisation d'un atome pour former ou casser une liaison chimique plutôt d'une nanoparticule possédant des milliers d'atomes) avec des propriétés émergentes que n'ont pas les catalyseurs conventionnels. En électrocatalyse, on utilise ainsi deux effets activants pour stimuler pour la réactivité chimique de réactifs plutôt inertes en solution : l'effet associatif du catalyseur unique (mécanisme d'adsorption) et l'effet électronique grâce au réservoir d'électrons de l'électrode qui contient le catalyseur (mécanisme de réduction). A noter que la réduction se fait par électrolyse nécessitant une source de courant continu (qui peut être verte si on utilise une source d'énergie renouvelable).

Cette approche permet d'envisager des quantités infinitésimales de métaux, et de favoriser les métaux non fossiles géologiques abondants en France ou Europe (comme le fer ou le cuivre) et de s'abstraire des métaux classiques et fossiles de catalyse comme le platine, le palladium, ou l'iridium ... La catalyse par atome unique se développe massivement en catalyse hétérogène pour la chimie fine et encore plus massivement en électrocatalyse pour la production décarbonée de produits clés de l'industrie comme **l'hydrogène, l'ammoniac, l'éthylène, éthanol, ...**

Au final, c'est donc une chimie verte high-tech mais frugale qui est envisagée, répondant de plus à la question de souveraineté en termes de disponibilité de matériaux. Son potentiel est considérable mais doit être désormais envisagé de façon objective et critique en termes de développement à très grande échelle.

**Feuille de route et verrous :** Ce BFRO se concentre sur la production verte et décarbonée via électrocatalyse atomique de trois produits clés de l'industrie : l'hydrogène<sup>45</sup>, l'ammoniaque, l'éthylène ou éthanol (chaîne carbonée C=C pour étendre aux chaînes longues, avec une extension possible au fuel artificiel, e-fuel). Cette chimie verte vise également à être une chimie frugale. En effet, l'objectif est d'obtenir l'éthylène et/ou l'éthanol à partir du CO<sub>2</sub>, l'hydrogène à partir d'eau de mer pour réduire le stress hydrique actuel, et l'ammoniaque à partir d'une solution de nitrates (potentiellement associée à une dépollution de l'eau). Les trois filières seront développées en parallèle car les progrès sur une réactivité bénéficieront aux autres filières.

Ces processus réductifs ont déjà été démontrés par des publications et brevets en quantité analytiques de laboratoire et notamment par des chercheurs en France (Paris, Montpellier). Des start-ups<sup>46</sup> ont été récemment

créées dans le but de réaliser les premières étapes de la mise à l'échelle, validant ainsi les premières étapes vers l'industrialisation. Typiquement les quantités atteignables à ce stade sont de l'ordre du kilogramme et l'objectif est de développer la mise à l'échelle pour traiter des tonnes voire des millions de tonnes dans un objectif final.

La feuille de route guidant le chemin entre ces découvertes et leur industrialisation sera construite selon un schéma « générique », décrit dans l'insert ci-contre, et qui vise à identifier au plus tôt des matériaux et des process « scalable », répondant notamment au cahier des charges des coûts en termes de matériaux simples à mettre en œuvre et abondants en Europe. Spécifiquement, un verrou important de cette mission concernera la stabilité et le rendement d'électrodes de puissance peu chères, utilisant des matériaux disponibles en Europe et produites localement, afin de développer des unités à grande échelle. Ce travail de mise à l'échelle nécessite la coordination entre la recherche fondamentale et la recherche industrielle car il y aura des défis de compréhension à relever notamment pour s'assurer de la stabilité sur la dispersion du catalyseur et du non-encrassement des électrodes.

**Livrable :** Le livrable sera un site industriel pilote basé sur un nouveau procédé de synthèse de l'ammoniac, de fabrication d'hydrogène et de petites molécules qui constituent les briques élémentaires de la chimie industrielle (éthylènes et plus). En terme, d'équivalent CO<sub>2</sub>, l'objectif ultime à l'horizon 2050 est de décarboner la chimie associée à la production de ces molécules : la production d'ammoniaque, qui génère à l'heure actuelle plus de 800 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> à l'année ; la production d'hydrogène vert, dont à l'heure actuelle 10 tonnes de CO<sub>2</sub> sont émises par tonne d'hydrogène produite.

La feuille de route commune à ces différentes chimies se construit en quatre étapes générales : (i) l'analyse de la découverte scientifique et de son caractère disruptif ; (ii) la mise en évidence des *spécifications fonctionnelles*, c'est à dire des briques élémentaires du phénomène et qui permettent d'envisager l'extension du résultat de laboratoire à grande échelles ; (iii) et sur la base de ces éléments fonctionnels, lancer une exploration tous azimuts en termes de matériaux « scalable », sous contrainte de disponibilité des matériaux (à l'échelle européenne), de leur coût, et de leur bilan carbone, pour enfin (iv) lancer la mise à l'échelle dans un pilote. Cette feuille de route générique se retrouvera dans les BFRO #2 et #3.

<sup>45</sup> On ne rappellera pas ici que l'hydrogène "vert" reste essentiellement une illusion, la majorité de l'hydrogène provenant du réformage, et 10 tonnes de CO<sub>2</sub> étant émises par tonne d'H<sub>2</sub> produite.

<sup>46</sup> Par exemple, Dioxide qui développe la transformation du CO<sub>2</sub> en éthylène, ou encore Fuelsea qui développe la production d'hydrogène à partir d'eau de mer.

En parallèle, le développement à large échelle de la synthèse de composés de base comme l'éthylène ou l'éthanol contribuera à consommer davantage de CO<sub>2</sub> et limiter voire renverser son accumulation dans l'atmosphère<sup>47</sup>.

## 9.2 BFRO #2 : Technologies entropiques pour la transition énergétique

**Contexte : L'entropie peut être, paradoxalement, source d'énergie**, utilisable sous la forme d'électricité. C'est la base de ce que nous appellerons les **technologies entropiques**. L'un des exemples marquants est l'énergie osmotique, dont l'exploitation a été suggérée dans les années 1950 mais n'a pas été menée industriellement jusqu'ici. L'énergie osmotique est une source d'énergie renouvelable, contrôlable et non-intermittente, basée sur les gradients salins (par exemple eau de mer/eau de rivière). Le réservoir mondial est considérable de 1000 à 2000 térawatts, soit l'équivalent de 1000 à 2000 réacteurs nucléaires. Mais ce réservoir immense reste totalement inexploité car les technologies actuelles de conversion, basées sur une vision développée dans les années 60-70 [notamment sur la base de matériaux membranaires polymériques], restent largement inefficaces.

Un autre exemple de développement de technologies entropiques concerne les **chaleurs perdues** (parfois dites « fatales »). Il s'agit la chaleur inexploitée produite par un processus thermodynamique industriel et qui est généralement rejetée dans l'environnement sans aucune valorisation. Il n'existe actuellement aucune technologie à grande échelle permettant d'exploiter la chaleur résiduelle de « faible qualité », généralement associée à des températures de processus inférieures à 100°C. Or il s'agit d'un gaspillage énergétique énorme, typiquement 2500 TWh/an en Europe à comparer aux 13000 TWh/an d'énergie primaire<sup>48</sup>.

Pourtant les avancées scientifiques considérables autour des propriétés des fluides aux nanoéchelles et des matériaux [notamment pour les membranes] depuis une quinzaine d'années proposent des voies radicalement nouvelles. C'est la base des technologies entropiques. Alors que la mise à l'échelle avance à grande vitesse grâce au développement de nouveaux matériaux membranaires, il s'agit maintenant de réaliser l'industrialisation le plus rapidement possible.

**Science de Rupture** : L'effort considérable développé depuis une vingtaine d'années autour des nanotechnologies de l'eau et des fluides a ouvert un champ scientifique nouveau et qui a abouti à la découverte de multiples propriétés inattendues pour l'eau et les fluides en général aux nanoéchelles. Ainsi, à l'instar de l'industrie électronique qui a su bénéficier de l'émergence de propriétés électroniques nouvelles aux nano-échelles et d'une maturation accélérée des matériaux associés (semiconducteurs, spintronique, etc.), il est urgent de conduire la même « **révolution bleue** » pour l'eau comme objet nanotechnologique. Il est d'ailleurs intéressant de noter que la Nature a d'ailleurs développé une nanotechnologie de l'eau absolument impressionnante<sup>49</sup>.

Ainsi, du point de vue de l'énergie osmotique, de multiples travaux au niveau mondial (et notamment en France) ont démontré que grâce à l'exploitation des propriétés uniques aux nanoéchelles, des voies technologiques nouvelles étaient possibles qui offrent des bénéfices technologiques bien au-delà des procédés envisagés dans les années soixante-dix<sup>50</sup>. Les bases théoriques et expérimentales de cette révolution ont été posées dans les laboratoires, ils utilisent des matériaux nanoporeux divers et variés pour réaliser la conversion énergétique : notamment à base de polymères mais également à base de nouveaux matériaux, matériaux bidimensionnels – graphène, MXène, ... -, oxydes, revêtement bore-azote, nano-cellulose, soie (!), etc. Il faut désormais réaliser le passage à l'échelle et c'est l'objet de ce BFRO.

<sup>47</sup> Dans cet ordre d'idée, l'idée de consommer du CO<sub>2</sub> pour la production de méthanol notamment grâce par exemple à des plasmas froids obtenus avec de l'énergie intermittente (type solaire, éolien) est en phase d'investigation et pourrait être la base d'un des BFRO à venir sur le stockage chimique vert de l'énergie.

<sup>48</sup> Luberti et al. *An estimate of the ultralow waste heat available in the European Union*, Energy, **238**, 121967 (2022)

<sup>49</sup> Il suffit de jeter un œil au fonctionnement du rein, merveille nanotechnologique pour la séparation des déchets.

<sup>50</sup> Il s'agit notamment des technologies dites PRO (pressure-retarded osmosis) et RED (reverse electro-dialysis).

**Feuille de route et verrous :** La construction de la feuille de route vers les technologies entropiques suivra le schéma précédemment indiqué (cf BFRO #1). Les spécificités fonctionnelles sont identifiées, il s'agit essentiellement de propriétés de surfaces des matériaux (telles la charge surfacique), la résistance ionique, le taux de conversion électron-ion, etc. Globalement, le verrou central, et cœur battant, de ces technologies est le développement de *matériaux membranaires nanoporeux à bas coût et à très grande échelle*. Dans une usine osmotique future délivrant plusieurs centaines de mégawatts, on estime - par analogie directe avec les usines de dessalement - qu'il faut des centaines de milliers de mètres carrés de membranes nanoporeuses. Le coût de ces membranes, et leur durabilité, est une fraction considérable du CAPEX et donc du coût final de l'énergie. Cependant, la conjonction de ces deux infinis (pores moléculaires et surfaces considérable) est réalisable. La démonstration en a été notamment faite par une startup française, *Sweetch Energy*, qui a développé ses propres membranes biosourcées à très bas coût pour l'énergie osmotique<sup>51</sup>. Cette preuve de principe démontre la faisabilité de la feuille de route. Par ailleurs, le sujet des électrodes – également abordé dans le BFRO #1 – est également un des verrous à lever, car les électrodes sont au cœur de la conversion des courants ioniques en courants électroniques utilisables par le consommateur. Ici encore, la feuille de route consistera à identifier des matériaux peu coûteux, abondant, et réalisant la conversion à dissipation minimale (un couplage avec l'électrocatalyse atomique est évidemment à explorer). Enfin, la question du colmatage, centrale dans le domaine membranaire, est un verrou qui sera abordé, par exemple par l'utilisation adéquat des phénomènes nanofluidiques.

Cette feuille de route s'applique également aux technologies de récupération des chaleurs fatales de basse qualité. Par exemple, l'une des voies qui sera suivie est celle de la conversion des chaleurs fatales en énergie osmotique en circuit fermé utilisant des fluides à changement de phase. Plusieurs voies seront suivies initialement en parallèle et une voie de technologies sera choisie parmi celles-ci pour aller jusqu'à l'industrialisation.

**Livrable :** Le livrable est un **système modulaire osmotique** (SMO), puis une usine prototype osmotique fournissant 1 MégaWatt comme preuve de principe. A terme, le potentiel français métropolitain est de l'ordre de 1 à 2GW (dont 500 MW de potentiel sur le Rhône qui est une première cible), et 10 GW en outremer. Le potentiel mondial atteint les 1000 à 2000 GW. A noter qu'en termes de performance CO<sub>2</sub>, chaque GW d'énergie osmotique mis en œuvre pour remplacer le charbon permet d'économiser ~1 million de tonnes d'émissions de CO<sub>2</sub> par an. L'implémentation de 1000GW d'usine osmotiques permet *de facto* d'économiser 1 milliard de tonnes de CO<sub>2</sub> au niveau mondial.

Pour la récupération des chaleurs perdues, le BFRO visera le développement d'un **système modulaire de conversion de chaleur** (SMC2), adaptable aux diverses sources industrielles.

### 9.3 BFRO #3 : Nanotechnologies pour l'eau

**Contexte :** Dans le monde, 1 milliard de personnes utilisent une « *improved water source* » (un raccordement domestique, une fontaine publique, un forage, un puits creusé protégé, une source protégée ou de l'eau de pluie), susceptible d'avoir un risque sanitaire<sup>52</sup>. La qualité de l'eau comporte trois facteurs de risques, physique, biologique et chimique. Un objectif clef est évidemment la suppression des pathogènes biologiques et micro-organismes associés. Pour donner un chiffre, la diarrhée a causé 535000 décès en Inde en 2004. Éliminer une partie des

---

<sup>51</sup> De facto, la démarche de la startup Sweetch Energy, qui a converti un résultat scientifique de laboratoire en technologie au seuil de l'industrialisation, rejoint celle d'un BFRO.

<sup>52</sup> Natasha C. Wright, Report on *Justification of Village Scale Photovoltaic Powered Electrodialysis Desalination Systems for Rural India*, MIT (2014)

sels suspendus est également un facteur important. A noter cependant même pour les pays développés, il reste difficile de supprimer certains contaminants, comme les perturbateurs endocriniens (hormones, oestrogènes, etc.), ou les substances perfluoroalkylées (PFAS) présentes dans les produits agrochimiques et pharmaceutiques, et dont la taille ~ nanométrique les rend transparent aux procédés de remédiation en stations d'épuration.

De plus, on s'attend également à un conflit sur l'utilisation de l'eau entre l'agriculture, la consommation par l'homme, et l'utilisation pour la *production d'hydrogène* qui est grande consommatrice d'eau *pure*. Cela va nécessiter le développement de nouvelles sources d'eau, et ainsi de stations de dessalement à petite échelle (et non des énormes centrales comme au moyen orient) et délocalisées spatialement sur le territoire. Si on laisse de côté les procédés thermiques (extrêmement coûteux en énergie), les procédés de dessalement sont désormais essentiellement de type membranaire. Si l'osmose inverse est souvent considérée une technologie mature pour le dessalement, elle reste coûteuse en énergie, en bilan carbone, est surtout implémentée à très grande échelles, et surtout ne se laisse pas facilement développée à échelle plus réduite.

L'objet de ce BFRO est le développement de **systèmes modulaires de traitement (SMT) de l'eau**, efficaces énergétiquement, ainsi qu'en termes de bilan CO<sub>2</sub>.

**Science de Rupture** : Comme introduit dans le BFRO #2, il y a un avantage technologique considérable à concevoir l'eau comme un objet nanotechnologique. Si l'objet du BFRO#2 était la production d'énergie sur la base des sources entropiques, ici l'objectif est (en quelque sorte) inverse avec la purification de l'eau à coût énergétique minimal.

Pour ces nanotechnologies de l'eau, on peut une nouvelle fois s'inspirer de l'industrie électronique qui a su parfaitement bénéficier de l'émergence de propriétés électroniques nouvelles aux nano-échelles et d'une maturation des matériaux associés (semiconducteurs, spintronique, etc.). Les nanotechnologies de l'eau et des fluides ont ouvert un champ scientifique nouveau et l'on peut désormais exploiter ces propriétés émergentes de l'eau (et fluides) aux nanoéchelles pour développer des solutions disruptives pour le traitement de l'eau et le dessalement.

Une notion centrale de la science séparative utilisant le tamisage membranaire est celle du compromis, souvent considéré comme inaliénable, entre sélectivité et perméabilité. Un des objectifs des nouvelles technologies ou nouveaux matériaux est de dépasser ce compromis : un système membranaire idéal possède une grande perméabilité (ce qui réduit le coût énergétique) en même temps qu'une grande sélectivité (la mesure de son efficacité de filtration).

De ce point de vue, les découvertes scientifiques récentes pointent d'une part (i) l'émergence de nouveaux matériaux, qui permettent de réaliser des membranes avec des propriétés (perméabilité, sélectivité, etc.) qui dépassent les matériaux usuels de membranes – usuellement des polymères (polyamides)-, et (ii) d'autres part de concepts nouveaux pour la séparation utilisant les subtilités nanométriques (capacitive mixing, dessalement par polarisation ionique ou choc électrodialytique, etc.), et qui permettent de repenser les technologies existantes et éventuellement en proposer de nouvelles. Ces approches ont été démontrées en laboratoire, et comme pour les BFRO précédent, il s'agit désormais de faire la mise à l'échelle.

**Feuille de route et verrous** : Globalement, la feuille de route présente des analogies avec les technologies entropiques décrites dans le BFRO #2, mais il s'agit ici de réaliser le procédé *inverse* (coût entropique à la séparation). Les verrous sont de ce point de vue similaires et on peut citer en particulier le développement de nouveaux matériaux membranaires, peu coûteux et répondant au cahier des charges de la mise à l'échelle, le développement d'électrodes performantes pour les méthodes électrochimiques, le colmatage. L'objectif est cependant spécifique et les technologies industrielles diffèrent.

Globalement, la feuille de route vise à développer des approches « *high science/low tech* », dans un contexte de **science frugale** : ou comment obtenir des bonnes performances – basées

sur des propriétés physico-chimiques avancées – avec des technologies ou matériaux peu coûteux.

La feuille de route explorera en parallèle :

(i) les nouveaux matériaux pour la filtration et le dessalement, au-delà des matériaux polymères, polyamides, polyimides. Le champ considérable des nouveaux nanomatériaux (matériaux bidimensionnels, GO, MoS<sub>2</sub>, Mxenes, matériaux bio-sourcés, nanocellulose, etc.) sera exploré selon les critères de performance, scalabilité et coût.

(ii) les nouveaux concepts pour la filtration, impliquant l'ensemble des singularités fluidiques aux nanoéchelles.

Un choix sera effectué à la fin d'une première étape pour décider de la mise à l'échelle d'une technologie, selon les critères rappelés ci-dessus.

**Livrable :** Le livrable est un **prototype système modulaire de traitement (SMT) de l'eau**, efficaces énergétiquement, ainsi qu'en termes de bilan CO<sub>2</sub> (qui sera quantifié au moment de la prise de décision du CS/CP), permettant de traiter des volumes allant de 1000 à 100.000 m<sup>3</sup> d'eau par jour qui pourrait donc déjà traiter 3% des 1,2 Mds de m<sup>3</sup> d'eau potable ou à usage industriel consommés annuellement en France<sup>53</sup>.

#### 9.4 Plateforme scientifique de rupture : Nexus électron-ion

**Constat :** La plateforme scientifique de rupture « *Nexus ion-électron* » regroupera l'ensemble des recherches à l'interface « électron - ion », qui – comme on peut le voir dans les exemples de BFRO décrits ci-dessus – se rejoignent sur de multiples aspects. En effet, tous nos dissipatifs reliés au stockage et conversion de l'énergie (Biofuels, Hydrogènes, photovoltaïques, énergies bleues, batteries, fuel Cell et .. ), technologies entropiques et traitement de l'eau ont comme commun dénominateur d'être basées sur des transferts de charge, des problèmes de conduction ionique, diffusion et autres. D'où la nécessité de comprendre tous ces mécanismes complexes à multifacettes à l'interface de plusieurs disciplines physiciens, électrochimistes, ...

Cette plateforme « *Nexus ion-électron* » sera donc absolument essentielle pour accélérer l'investigation des transferts de charge entre espèces, depuis les électrons vers les ions et vice-versa, incluant l'ensemble des processus physiques, chimiques, électrochimiques, à l'œuvre ainsi que les matériaux, instruments de caractérisation, imagerie, etc. associés ... Ces processus restent à ce jour pour la plupart incompris, on connaît mal « l'électron électrochimique ». En quelque sorte, l'invention d'une nouvelle microscopie adaptée à très haute résolution de « l'électron électrochimique » manque et il faut l'inventer. Or, de la capacité à maîtriser cet électron et son pendant ionique résultera les avancées technologiques.

**Ruptures scientifiques :** Ce type de centre complètement interdisciplinaire n'existe pas au niveau international. L'émulation via la recherche à mission construirait ainsi par défaut une science interdisciplinaire de rupture de premier plan mondial. Prenons un exemple de rupture scientifique émulée par le développement des BFROs décrits. Le domaine de la science des matériaux a été transformé par l'arrivée de la microscopie à haute résolution qui nous a permis de voir comment les atomes s'organisaient, comme une réaction se déroulait à l'échelle atomique. L'un des objectifs de cette plateforme scientifique de rupture sera de **pouvoir localiser et manipuler l'électron électrochimique**. Cela serait un paradigme totalement nouveau, voire une révolution dans les domaines afférents. Cette révolution sans aucun doute conduirait à des ruptures technologiques et on peut mentionner que si on savait intelligemment coupler le meilleur catalyseur, la meilleure membrane, le meilleur matériau, certaines réactions n'ayant pas lieu pourrait être initiées en modifiant les énergies des états excités.

**Méthodologie générale :** Globalement, les verrous scientifiques principaux communs à plusieurs BFRO seront spécifiquement identifiés et constitueront des plateformes scientifiques

<sup>53</sup> Chiffres clés sur la ressource en eau en France,

[https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/MAR2023\\_DP-PLAN%20EAU\\_BAT%20%281%29.pdf](https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/MAR2023_DP-PLAN%20EAU_BAT%20%281%29.pdf)

de rupture, fortement interdisciplinaires et transverses aux BFRO. Les avancées technologiques sont avant tout interdisciplinaires et il est absolument crucial de partager les avancées scientifiques et les hommes et les femmes qui les développent entre plusieurs domaines. Ces plateformes scientifiques bénéficieront de moyens transverses afin d'améliorer une prise en charge globale et non en silo, mais toujours dans la perspective de nourrir les BFRO et l'avancement de leurs livrables.

# Il faut mettre en œuvre un projet Manhattan écologique

Afin d'accélérer la transition vers des technologies décarbonées, un collectif de scientifiques plaide pour la création d'un centre de recherche et d'innovation en lien direct avec l'industrie, à l'image du colossal investissement américain pour mettre au point la première bombe atomique pendant la seconde guerre mondiale

Le récent film biographique *Oppenheimer*, de Christopher Nolan, nous rappelle que, face à une urgence mondiale, l'homme est capable d'une action collective incroyablement rapide et efficace – aussi funeste soit son objet. Cinq ans après son déclenchement, le projet Manhattan [qui a permis la fabrication de la première bombe atomique] a été une réussite technique sans précédent. Il a embrassé la science la plus avancée de l'époque et a réalisé son industrialisation à grande échelle, impliquant plus de 130 000 hommes et femmes, des laboratoires de recherche jusqu'aux usines de raffinage.

Or, si l'homme est capable de telles prouesses pour la destruction, il peut l'être aussi pour le bien commun en temps de paix. Alors que les catastrophes climatiques s'enchaînent – incendies, inondations, canicules, sécheresses... –, il est maintenant indéniable que le réchauffement climatique est une menace existentielle. Limiter ce réchauffement et nous y adapter est un devoir impératif et supérieur : voilà le plus grand défi de l'histoire humaine. Dans l'agriculture, l'industrie, le transport, les énergies fossiles constituent la base même de la société moderne et industrielle. S'en passer implique une nouvelle organisation collective, et en particulier une transformation profonde de nos outils techniques et industriels. Décarboner les procédés énergétiques, physiques, chimiques et agricoles qui sous-tendent le monde industrialisé afin d'éviter des millions de morts : telle est notre responsabilité historique.

Pourtant, l'Agence internationale de l'énergie (IEA) nous alerte : 40 % des technologies nécessaires à la transition environnementale ne sont pas à un niveau

de maturité suffisant. L'agence donne l'exemple de l'électrolyse de l'eau de mer pour la production d'hydrogène, des batteries au sodium, de la captation ou conversion du CO<sub>2</sub>, ou encore du stockage de la chaleur. Malheureusement, bien loin de contribuer à la transition, nombre de ces « technologies stratégiques » sont encore au stade d'expériences de laboratoire menées par quelques scientifiques aux moyens modestes.

#### Nous sommes en train d'échouer

Malgré l'urgence, la transition n'a de facto pas vraiment commencé : les émissions continuent d'augmenter. Nous sommes en train d'échouer et de condamner nos enfants. Pour relever ce défi dans l'urgence, il est impératif de coupler des avancées scientifiques rapides à des transformations industrielles massives. Nous, scientifiques de tous horizons, appelons à la mise en œuvre d'un projet Manhattan de la transition écologique. La France, et plus largement l'Europe, peut le réaliser.

Nous appelons à bâtir un centre de recherche et d'innovation, chargé de développer les outils scientifiques et technologiques pour la transition, en lien direct avec l'industrie. À l'instar du CERN, l'organisation européenne pour la recherche nucléaire, il collaborera avec l'en-



**POUR RÉUSSIR LA TRANSITION, DES AVANCÉES SCIENTIFIQUES RAPIDES DOIVENT ÊTRE COUPLÉES À DES TRANSFORMATIONS INDUSTRIELLES MASSIVES**

semble du tissu académique et industriel international, y compris des pays émergents et moins avancés, et agira comme un hub scientifique et technologique ouvert. Ce hub rassemblera les meilleurs scientifiques et ingénieurs avec les moyens d'aller vite. L'ensemble de la recherche sera notamment dirigé vers le développement des procédés décarbonés et leur déploiement rapide à grande échelle en les faisant passer des laboratoires aux industries capables

d'implémenter la transition. Pour atteindre les objectifs de neutralité carbone en 2050 prévus par la COP 21, nous prévoyons une durée de vie du projet de vingt-cinq ans.

Ce projet à l'interface entre recherche et industrie à l'ambition de faire de la France et de l'Europe des leaders des technologies de la transition écologique. Le financement doit être à la hauteur de l'ambition et de la menace. Alors que le projet Manhattan historique coûta plus de 1 % du PIB américain, celui de la transition requiert un niveau d'investissement comparable et sur la durée de vie du centre. Si les délais sont courts, l'ambition est immense : créer les briques scientifiques et techniques des nouvelles structures industrielles décarbonées.

#### La base d'un modèle sobre et résilient

Face à l'urgence climatique, nous appelons à démarrer ce projet sans attendre, en abondant un premier budget d'amorçage de 1 milliard d'euros. Cet investissement en recherche et technologie est à mettre en regard des 70 milliards ou 66 milliards estimés (dont 30 milliards à 35 milliards d'investissements publics) nécessaires à la transition française chaque année, selon les économistes Jean Pisani-Ferry et Selma Mahfouz... C'est un coût infime face aux dégâts gigantes-

ques que génèrent déjà les aléas climatiques, et qui nous conduisent vers un monde non assurable. De plus, cet investissement, vital pour les générations futures, construit un avantage décisif pour les souverainetés industrielles française et européenne.

Avec ce projet Manhattan écologique, c'est la base scientifique d'un modèle industriel à la fois sobre en ressources, résilient et décarboné que nous appelons à construire. Réunissons nos forces vives techniques afin de contribuer à surmonter l'immense défi de la transition. Nous voulons croire que rassembler les nations, notamment européennes, pour la préservation de la planète est encore possible. Les moyens humains et techniques de mener la transition existent, ce projet Manhattan écologique propose d'en construire les fondations scientifiques et technologiques. Chiche ! ■

#### Premiers signataires: Alain

**Aspect**, physicien, Prix Nobel, Académie des sciences; **Lydéric Bocquet**, physicien, Académie des sciences; **Patricia Crifo**, économiste; **François Gemenne**, politologue; **Eric Kar-senti**, biologiste, médaille d'or du CNRS, Académie des sciences; **Yves Laszlo**, mathématicien; **Mathieu Elizée**, physicien; **Isabel Marey-Semper**, docteure en neurobiologie, administratrice indépendante; **Isabelle Méjean**, économiste; **Jean-Marie Tarascon**, chimiste, médaille d'or du CNRS, Académie des sciences. Liste complète sur [lemonde.fr](https://lemonde.fr)

Soutiens (cooptés) de la tribune :

<https://sites.google.com/view/manhattan-transition/home>

Voir aussi :

[https://www.libération.fr/sciences/la-decarbonation-de-leconomie-necessite-des-innovations-des-chercheurs-demandent-un-financement-annuel-dun-milliard-deuros-20230929\\_EHODTRYT3ZHMBG7ZCOO3IT7GLE/](https://www.libération.fr/sciences/la-decarbonation-de-leconomie-necessite-des-innovations-des-chercheurs-demandent-un-financement-annuel-dun-milliard-deuros-20230929_EHODTRYT3ZHMBG7ZCOO3IT7GLE/)

<https://www.aefinfo.fr/depeche/702174-en-quoi-consiste-le-projet-manhattan-de-la-transition-ecologique-porte-notamment-par-yves-laszlo-et-lyderic-bocquet>

<https://www.lefigaro.fr/conjoncture/climat-la-menace-justifie-une-economie-de-guerre-20231126>

## 10.2 Parangonnage

Dispositif	Analogies	Différences	Avantages	Inconvénients
ISTA (Autriche)	<p>Concentration de chercheurs de haut niveau en un même lieu</p> <p>Multidisciplinarité</p> <p>Mission orientée 100% recherche</p> <p>Modalités de recrutement flexibles, pour recruter les meilleurs chercheurs</p> <p>Conditions optimales de travail, infrastructures et équipements scientifiques de pointe, administration efficace</p> <p>Capacité de transfert science → innovation</p>	<p>Recherche fondamentale et libre, pas de « science à mission »</p> <p>Nécessité pour les chercheurs de trouver des financements propres (notamment Europe)</p>	<p>Niveau de financement important (environ 125M€ de budget pour environ 67 PI)</p> <p>Concentration des financements</p> <p>Création d'un environnement scientifique multidisciplinaire de pointe</p> <p>Création d'une marque reconnue, attractivité forte pour les chercheurs du monde entier</p>	<p>Besoin de créer 1 structure ad hoc (institutionnelle, juridique, immobilière, etc.)</p> <p>Lien avec paysage Enseignement Supérieur (risque de ne pas attirer les étudiants)</p>
ARPA-E (US)	<p>Science à mission</p> <p>Pas recherche libre et curieuse ; projets avec feuille de route et livrables prédéfinis</p> <p>Objectifs de lever des verrous scientifiques (pas objectif de publication, mais de développement technologique)</p> <p>Fonctionnement en mode « projet » avec 1 responsable de projet aux prérogatives étendues</p>	<p>Fonctionnement en réseau, pas de lieu physique</p> <p>Projets de courte durée (durée moyenne de projets = 3 ans)</p> <p>Hyper-concentration de la prise de décision : 1 Program Director avec mandat pour 3/5 ans + budget dédié + autonomie de décision</p>	<p>Rapidité et efficacité de la prise de décision</p> <p>Rend des comptes <i>ex post</i> plutôt que <i>ex ante</i></p> <p>Capacité à financer des projets risqués</p> <p>Avancées technologiques importantes</p> <p>Capacité importante d'innovation (revenus liés aux start-ups des projets = 21Mds\$)</p>	<p>Nécessité de trouver des relais de financement tôt</p> <p>Recherche très risquée, peu orientée vers les publications = programme difficile à évaluer</p>

	<p>Fonctionnement agile : rapidité de prise de décision, capacité à réorienter / arrêter</p> <p>Même thématique : sciences de rupture pour l'énergie (même si moins orienté transition climatique)</p> <p>Enjeu d'accompagner pour aller vers innovation / transfert de technologie</p> <p>Concentration des financements (budget = 445M€/an, moyenne projet = 3M€)</p>			
ARIA (UK)	<p>Science à mission</p> <p>Pas recherche libre et curieuse ; projets avec feuille de route et livrables prédéfinis</p> <p>Fonctionnement en mode « projet » avec 1 responsable de projet aux prérogatives étendues</p> <p>Fonctionnement agile : rapidité de prise de décision, capacité à réorienter / arrêter Concentration des financements (budget = 231M€/an)</p>	<p>Fonctionnement en réseau, pas de lieu unique</p> <p>Pas de focus spécifique Energie ou Défi climatique</p> <p>Projets de courte durée (durée moyenne de projets = 3 ans)</p> <p>Hyper-concentration de la prise de décision : 1 Program Director avec mandat pour 3/5 ans + budget dédié + autonomie de décision</p>	<p>Rapidité et efficacité de la prise de décision</p> <p>Capacité à financer des projets risqués</p> <p>Avancées technologiques importantes</p>	<p>Pas de focus spécifique Energie ou Défi climatique</p> <p>Nécessité de trouver des relais de financement tôt</p> <p>Recherche très risquée, peu orientée vers les publications = programme difficile à évaluer</p>
SPRIN-D (All)	<p>Fonctionnement en mode « projet » avec 1 responsable de projet aux</p>	<p>Pas de focus spécifique Energie ou Défi climatique</p> <p>Moins orienté recherche fondamentale</p>	<p>Rapidité et efficacité de la prise de décision</p>	<p>Pas de focus spécifique Energie ou Défi climatique</p>

	<p>prérogatives étendues</p> <p>Enjeu d'accompagner pour aller vers innovation / transfert de technologie</p>	<p>Budgets moins importants (environ 100 000 M€/an)</p>	<p>Capacité à financer des projets risqués</p> <p>Pas de contrainte thématique</p>	<p>Concurrence avec autres types de technologies, pour autres finalités (développement industriel / rentabilité)</p>
<p>CEPI (international)</p>	<p>Orientation à mission (développement rapide de vaccins et prévention des pandémies)</p> <p>Financements importants pour les projets retenus (de 5M€ à + de 400M€)</p> <p>capacité à investir rapidement beaucoup d'argent sur des projets risqués</p> <p>structure de décision comparable avec Conseil Scientifique / Comité de pilotage</p>	<p>Pas seulement pour financer de la recherche de rupture (grande part de développement de médicaments, essais cliniques, etc.)</p> <p>Orienté santé/vaccin, pas énergie/climat</p> <p>Pas de financement stable/fixe, importance du mécénat</p> <p>Financement de projets, pas de lieu physique</p>	<p>Capacité à mobiliser des financements à très grande échelle (plan d'investissement 2021-25 de 3,3 Mds€)</p> <p>Capacité d'investissement rapide et efficiente</p>	<p>Spectre très large de domaines / épidémies / activités (recherche fondamentale, R&amp;D, développement clinique)</p> <p>Pas de soutien public pérenne</p>
<p>EMBL (UE)</p>	<p>Orientation recherche de pointe</p> <p>Multidisciplinarité</p> <p>Conditions optimales de travail, infrastructures et équipements scientifiques de pointe, administration efficace</p> <p>Concentration de chercheurs de haut niveau en un même lieu</p>	<p>Recherche fondamentale et libre, pas de « science à mission »</p> <p>Nécessité pour les chercheurs de trouver des financements propres (notamment Europe)</p> <p>Construction budgétaire complexe (négociation Etat par Etat)</p> <p>Orientation innovation/industrialisation moins marquée</p> <p>Pas domaine énergie/climat</p>	<p>Modèle possible pour une extension au niveau européen</p> <p>Reconnaissance et stabilité institutionnelle = pas seulement un projet</p> <p>Création d'un environnement scientifique multidisciplinaire de pointe</p> <p>Création d'une marque reconnue, attractivité forte pour les chercheurs du monde entier</p>	<p>Lieu unique</p> <p>Construction budgétaire complexe (négociation Etat par Etat)</p> <p>Besoin de trouver des financements extérieurs</p> <p>Besoin de créer 1 structure ad hoc (institutionnelle, juridique, immobilière, etc.)</p>

<p>Instituts de Recherche Technologique / Instituts Technologiques sur l'Energie (FR)</p>	<p>Orientation en partie sur les technologies liées à la transition énergétique (ITE)</p> <p>Objectif de développements technologiques à partir de la recherche</p> <p>Objectif de structuration d'une communauté thématique et géographique (chaque IRT a une identité propre et une structure juridique – souvent FCS)</p> <p>Approches multidisciplinaires pour relever des défis technologiques</p>	<p>Structures de développement de recherche appliquée et recherche partenariale</p> <p>Positionnement « science de rupture » n'est pas un critère</p> <p>Peu de start-ups technologiques développées (23 start-ups en 10 ans sur l'ensemble des IRT/ITE)</p> <p>Budget public relativement limité (1,3 Mds€ en 10 ans, pour 8 IRT et 14 ITE) et très dilué (237 établissements académiques ont bénéficié des financements)</p> <p>Structuration géographique à grande échelle, mais pas unité physique d'un lieu</p> <p>Pas de rattachement institutionnel exclusif : structure de simple coordination</p>	<p>Capacité à structurer des communautés larges sur le temps long</p> <p>Capacité à développer des projets nouveaux qui débouchent sur de la recherche collaborative publique (Europe) ou sur recherche partenariale</p>	<p>Gouvernance complexe impliquant une multiplicité d'acteurs publics et privés : universités, organismes, pôles de compétitivité, industriels</p> <p>Innovations de rupture limitées (selon track-record de publications et nombre de start-ups développées)</p> <p>Dilution des financements et prise de décision complexe (de l'amont à l'aval) : incapacité à accélérer la science de rupture à fort impact</p> <p>Pas de capacité à définir une feuille de route précise et à la piloter</p>
<p>PEPR (FR)</p>	<p>Financement important pour la recherche sur les transitions (au sens large) = 1,4 Mds€ en tout sur 7 ans</p> <p>Capacité de pilotage forte et ciblage a priori de financements vers certaines équipes (ne fonctionne pas seulement par AAP)</p>	<p>Fonctionnement en réseau, pas de lieu unique</p> <p>1 partie seulement des PEPR est orientée Energie / Environnement / Climat : 12 PEPR des stratégies nationales (sur 25) ; et 8 PEPR Exploratoires (sur 18)</p> <p>Dilution des financements : chaque PEPR finance des petits projets (environ 500k / projet en moyenne) → financements proches d'un financement ANR</p> <p>Gouvernance complexe, reposant sur des organismes et établissements existants. Pas de gouvernance dédiée, pas de structure juridique dédiée</p>	<p>Rassemble des communautés importantes : forte représentativité et effet d'entraînement</p> <p>Capacité à pré-flécher une partie des financements</p> <p>Effet de levier sur certaines thématiques (mais les financements par thématique restent relativement peu élevés)</p>	<p>La structure en réseau n'aide pas à sortir du « business as usual »</p> <p>Pas ou peu d'intégration recherche-industrialisation Bassin de recrutement français Vision assez disciplinaire, Instituts centrée.</p> <p>Selon le PEPR, la structure de la gouvernance peut limiter l'efficacité et la prise de décision sur sujets à risques, i.e. lenteur de mise à disposition</p>

				<p>des financements : pas de capacité à accélérer le développement de projets à fort impact</p> <p>Pas d'objectif spécifique ni accompagnement depuis la science de rupture vers l'industrialisation des avancées scientifiques</p> <p>Peu de financements pour beaucoup d'équipes : dilution des financements, dilution de l'impact</p> <p>Pas de capacité à concentrer beaucoup de financements sur des projets très risqués mais avec un fort potentiel technologique et scientifique</p> <p>Pas de mutualisation de compétences scientifiques ou technologiques (pas de campus unique, pas de plateformes communes)</p>
Breakthrough Energy (Bill Gates)	Objectif de développer rapidement des solutions technologiques de rupture pour créer des sources propres d'énergie à grande échelle.	<p>BE est avant tout un fonds d'investissement (avec plusieurs sous-branches) dans des projets et start-ups technologiques</p> <p>Finance peu ou pas les recherches amont ; finance surtout le développement et le passage à l'échelle industrielle</p> <p>La sous-branche Catalyst finance des start-ups ou projets industriels qui ont</p>	<p>Logique d'investissement → capacité de financements importante → possibilité de financements de nombreux projets (+ de 100 projets financés, + de 2Mds € levés)</p> <p>Vision à longue durée (pas de sortie rapide)</p>	<p>Très peu de financements dédiés aux phases amont de recherche ; cible le passage à l'échelle industrielle.</p> <p>Structure privée et l'État ne possède pas la propriété</p>

		<p>besoin de beaucoup de financements pour passer à l'échelle (entre 25M\$ et 100M\$)</p> <p>Le programme Fellows permet à des individus de développer un projet. Mais la quasi-totalité des fellows travaillent pour des start-ups (pas des labos de recherche)</p> <p>Les quelques financements ciblés « early stage », qui concernent donc aussi les labos industriels, sont sur du temps court (1 an max), pour démarrer un projet. Pas de financement de recherche suivi dans le temps.</p>	contrairement aux VC usuels)	intellectuelle résultante
<p>Focused Research Organizations (FRO)</p>	<p>Un projet « FRO » vise à lever un verrou technologique par la science ; il procède selon une feuille de route précise, avec livrables à court-terme, ce qui permet de réorienter au sein du projet en fonction de ce qui marche / marche pas.</p> <p>Enjeu de concentrer le financement : 15M\$ / an pour chaque projet FRO, pendant 5 à 7 ans</p> <p>Equipes de 15 à 30 personnes complètement dédiées au projet</p> <p>Approche multidisciplinaire : importance d'avoir une approche intégrée du travail (pas seulement un projet où différentes équipes</p>	<p>Pas un programme institutionnalisé, simplement une recommandation de types de projets de recherche qui pourraient être systématisés</p> <p>Pas de lieu unique</p> <p>Pas de thématique unique (tout verrou technologique peut être concerné)</p> <p>Propriété intellectuelle est complètement publique</p>	<p>Gouvernance et prise de décision qui assume le risque (éviter la peer review)</p> <p>Capacité forte de pilotage au sein de chaque projet</p> <p>Possibilité de concentrer des financements importants sur des sujets très risqués</p>	<p>Peu de projets financés sur ce modèle</p> <p>Pas de programme institutionnalisé = incertitude du modèle</p> <p>Pour l'instant, forte dépendance vis-à-vis de la philanthropie.</p>

	isolées mènent chacune une sous- partie du projet			
--	---	--	--	--