



PEPR TASE:



Technologies Avancées des Systèmes Energétiques

Cellule Energie: 10 ans

27 avril 2023

Jean François Guillemoles (CNRS)
Nicolas Retière (UGA)
Philippe Azais (CEA)

Contexte



Programme d'augmentation de la part des énergies renouvelables dans le mix réseau (Plan Pluriannuel de l'Énergie : PPE)

- Installations massives d'EnR : de 48,6 GWc fin 2017 à 100 -110 GWc en 2028
 - PV : 35 à 44 GWc, Eolien : ~ 33 - 35 GWc, dont 5 à 6 GWc en mer, hydro. ~26,5 GWp
 - connectés au réseau (36 % de l'électricité fournie par ENR).
- Développer les infrastructures de recharge des véhicules électriques, l'écrêtement des pointes et l'autoconsommation, la flexibilité et la résilience des réseaux
- En 2050: besoin en énergie finale ~1 060 TWh (1 628 TWh en 2018), dont ~580 TWh électriques

Opérer une transition responsable

- Qui mette l'humain au centre , qui soit bien appropriée socialement;
- Qui soit conforme au développement durable et minimise les impacts environnementaux;

Plan de réindustrialisation et de souveraineté (France Relance)

- Moderniser l'appareil productif et décarboner l'industrie ;
- (Re)localiser les activités stratégiques critiques ;
- Innover, en soutenant les investissements en R&D tout en développant les compétences.

- 50 M€ (dont 10% pour l'impact environnemental et 10% sur l'appropriation sociétale)
- CNRS et CEA en co-pilotes

Elaboration du programme

Lettre de mission transmise 25 nov. 2021 au CNRS

Architecture globale présentée au SGPI le 4 janvier par les directeurs de programme

- CNRS: Jean Francois Guillemoles et Nicolas Retière (Adj.)
- CEA: Philippe Azaïs et Guillaume Ravel (Adj.)

Consultation nationale et construction des PC, AAP et AMI, Document cadre* livré le 7 mars

Validation par le CSTP en juillet du programme, lancement de la contractualisation des PC

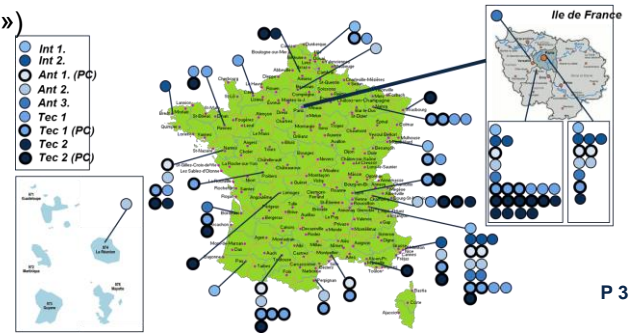
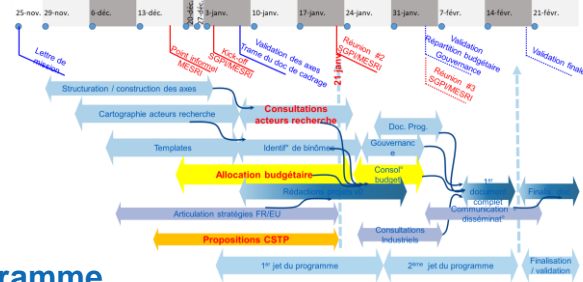
Mise à disposition du document cadre* (sept. 22) et visio publique (nov. 22), publicité des appels anticipée

Lancement et clôture AAP (14/11=>19/01) et AMI (13/12=>9/02=>28/03), Retours évaluation ANR en cours

- Les directeurs de programme ont joué le rôle de facilitateurs, (« project officers »)

Réunion de lancement à Grenoble le 22 Mai

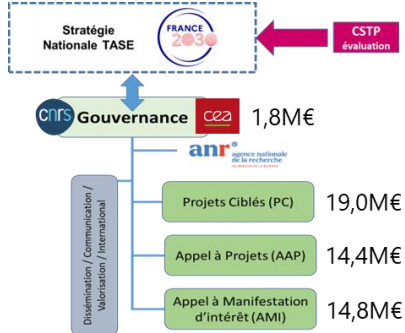
Réunion de démarrage programme 3&4 juillet à Paris



*<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03816585>

PEPR AT A GLANCE

Concerne:
 SHS (sociologie, droit, économie, ...)
 Environnement
 Digitalisation
 Ingénierie et systèmes
 Matériaux
 Physique
 Chimie
 ...

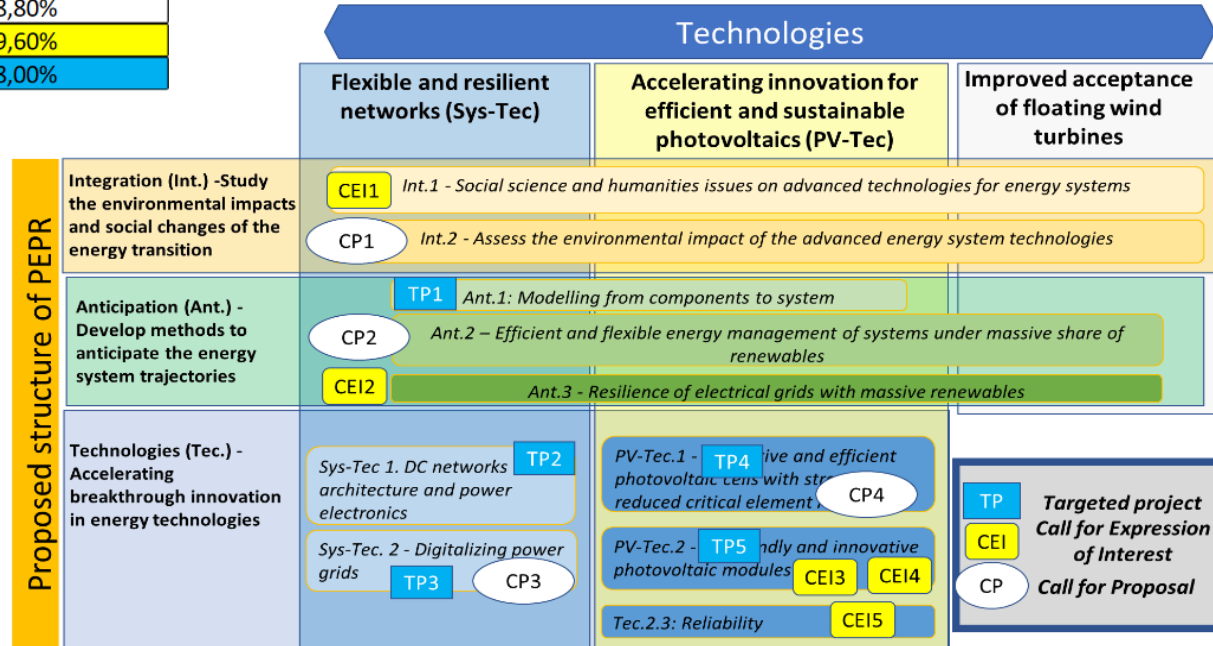
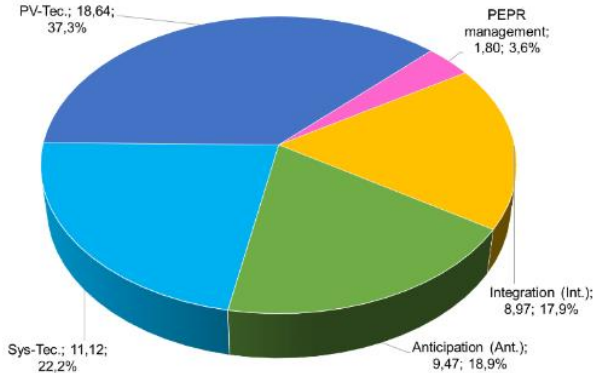







| | | Technologies | | |
|----------------------------|--|---|--|--|
| | | Flexible and resilient networks (Sys-Tec) | Accelerating innovation for efficient and sustainable photovoltaics (PV-Tec) | Improved acceptance of floating wind turbines |
| Proposed structure of PEPR | Integration (Int.) - Study the environmental impacts and social changes of the energy transition | Int.1 - Social science and humanities issues on advanced technologies for energy systems Int.2 - Assess the environmental impact of the advanced energy system technologies | | |
| | Anticipation (Ant.) - Develop methods to anticipate the energy system trajectories | Ant.1: Modelling from components to system Ant.2 – Efficient and flexible energy management of systems under massive share of renewables Ant.3 - Resilience of electrical grids with massive renewables | | |
| | Technologies (Tec.) - Accelerating breakthrough innovation in energy technologies | Sys-Tec 1. DC networks architecture and power electronics Sys-Tec. 2 - Digitalizing power grids | PV-Tec.1 - Innovative and efficient photovoltaic cells with strongly reduced critical element reliance PV-Tec.2 - Ecofriendly and innovative photovoltaic modules Tec.2.3: Reliability | Points of vigilance <ul style="list-style-type: none"> Economic sovereignty Criticality of resources Industrial impact Environmental impact |

Déclinaison

Objectif: des projets structurants (petit nombre, bien dotés), TRL 1-4

| Action | budget allocation (%) |
|---------------------------------------|-----------------------|
| PEPR management | 3,60% |
| Call for Proposals (CP) | 28,80% |
| Call for Expression of Interest (CEI) | 29,60% |
| Targeted Projects (TP) | 38,00% |



| | HyMES | DC-ARCHITECT | AI-NRGY | IOTA | Smart4Module |
|--------------|---|--|--|---|--|
| | Modélisation hybride pour les systèmes multi-énergie | Concevoir l'avenir des réseaux de distribution moyenne tension avec leurs composants électroniques de puissance. | Architecture d'IA distribuée pour les systèmes énergétiques du futur intégrant un grand nombre de sources distribuées | Architectures tandem innovantes de cellules PV | Blocs de construction éco-innovants pour des modules photovoltaïques avancés |
| coordination |  IMT Atlantique |  Université Grenoble Alpes |  UNIVERSITÉ TOULOUSE III PAUL SABATIER |  CNRS |  cea |

Autres partenaires : CNRS,
CEA universités, Mines
Paris Tech, INRIA

46 laboratoires impliqués

- ▶ Modélisation hybride = combinaison de modèles physiques et de modèles à base de données
- ▶ **Objectif du projet:** « explorer les solutions de modélisation hybrides pour traiter de la complexité des systèmes et réseaux multi-énergie »
- ▶ Systèmes considérés : technologies de conversion ou de stockage de l'énergie, association au sein des réseaux de distribution des différents vecteurs énergétiques (eux même considérés dans la modélisation), jusqu'aux interactions multiples entre les réseaux via un ensemble de technologies de couplage
- ▶ Echelle spatiale étudiée: réseaux de distribution (ensemble de quartiers, zones d'activités industrielles ...).

7 Partenaires du projet: IMT Atlantique (GEPEA), INP-ENSEEIH (LAPLACE), Sorbonne Univ. (ISIR), Univ. Montpellier (IES), Univ. Grenoble Alpes (G2ELAB), – Univ. Perpignan Via Domitia (PROMES), CEA (LITEN et ISAS)

WP1: Formulation of candidate problems to hybridization

- T1.1 : Selection of energy technologies to be studied
- T1.2 : Limits of usual modelling strategies
- T1.3 : Reference dataset (from usual modelling results)

WP2 : Hybrid modelling

- T2.1 : Benchmark on hybrid modelling solutions
- T2.2 : Hybrid models and strategies
- T2.3 : Hybrid model for energy systems (techno & networks)

WP3 : Change in Scale / From systems coupling to MES

- T3.1 : Impact of change in scale on the choice of modelling tools and strategy
- T3.2 : Fidelity of change in scale. Necessary degree of hybridization

WP4 : Benchmark of MES — Data and model

- T4.1 : Definition of MES benchmark's characteristics and modelling solutions
- T4.2 : Generation of synthetic qualified set of data
- T4.3 : Benchmark Implementation



AI-NERGY (DISTRIBUTED AI-BASED ARCHITECTURE OF FUTURE ENERGY SYSTEMS INTEGRATING VERY LARGE AMOUNTS OF DISTRIBUTED SOURCES)



ARCHITECTURE D'IA DISTRIBUÉE POUR LES SYSTÈMES ÉNERGÉTIQUES DU FUTUR INTÉGRANT UN GRAND NOMBRE DE SOURCES DISTRIBUÉES

- ▶ **Objectif du projet:** « proposer une architecture logicielle, les méthodes, modèles et algorithmes nécessaires à la mise en œuvre de solutions d'intelligence distribuée susceptibles d'accélérer la digitalisation des réseaux d'énergie »
- ▶ Systèmes considérés : systèmes énergétiques avec un très grand nombre d'intervenants/d'équipements (données +) connectés de manière intermittente
- ▶ Générer une architecture logicielle distribuée adaptative en termes de localisation des services et de remontée de données pour satisfaire les performances, la confidentialité ou encore les caractéristiques des équipements de support et les capacités des algorithmes d'IA distribuée ;
- ▶ Développer une IA distribuée capable d'intégrer la distribution des données, leur éventuelle volatilité (par exemple les véhicules électriques) ou encore la dynamique d'accès à l'information;
- ▶ Prendre en compte les apports résultant du partage des données tout en préservant les contraintes de respect de la vie privée et de la confidentialité.

WP1 - Management & Dissemination

- T1.1 Operational Management
- T1.2 Results Dissemination

WP2 - Use cases

- T2.1 Uses cases and specification definitions
- T2.2 Production & collection of relevant datasets
- T2.3 KPIs and validation framework definition

WP3 - Dynamic distributed architecture

- T3.1 Middleware for digit. of networks
- T3.2 Dynamic manag. of serv. under constraints
- T3.3 Dynamic manag. of data under constraints

WP4 - Distributed AI for prediction

- T4.1 – Collab. forecasting with privacy /confidentiality preserving data sharing
- T4.2 - Secured Distributed AI
- T4.3 - Adaptive and Dynamic Distrib. AI

WP5 - Distributed AI for optimisation and control

- T5.1 – Distrib. algorithms for control of power injection and energy storage by individual agents in energy networks
- T5.2 - High-dimensional optimization of distributed assets

4 Partenaires du projet: Univ. Toulouse III (IRIT), CEA (LIST), INRIA (DYOGENE, Paris), ARMINES – MINES Paris (Centre PERSEE)

- **Objectif du projet:** « co-concevoir les architectures de réseaux de distribution électrique moyenne tension (MVDC) et les principaux convertisseurs électroniques de puissance (PEC) pour la conversion d'énergie et le fonctionnement du système hybride AC-DC »
- Systèmes considérés : réseaux électriques MVDC pour permettre d'intégrer massivement les EnR et démontrer les propriétés de résilience et l'impact économique et environnementale de ce type de réseau.
- Développer des architectures DC et les PEC en prenant en compte la fiabilité, le vieillissement, les interfaces des réseaux existants...

16 Partenaires du projet: Univ. Grenoble Alpes (G2ELAB), CNRS (AMPERE, Lyon), FEMTO-ST, CentraleSupélec (GEEPS), Univ. Lorraine (GREEN), CNRS (IES), Univ. Bordeaux (IMS), Nantes Univ. (IREENA), CNRS (LAAS), Toulouse INP (LAPLACE), CNRS (LEMTA), Univ. Poitiers (LIAS), L2EP – Centrale Lille (L2EP), CNRS (PROMES), CNRS (SATIE), CEA (LITEN)

WP1 - Architectures and operation of hybrid AC and DC distribution grids considering power electronics converters specifications

- T1.1 Architecture of integrated hybrid DC and AC grids
- T1.2 Technical connection and operational constraints: Towards DC grid codes

WP2 - Grid-friendly power electronics converter solutions for flexible and resilient distribution grids

- T2.1 Converter architectures and advanced functions for DC grid interfaces
- T2.2 Monitoring and health status of MVDC converters for maintainability and ageing

WP3 - Control and protection strategies for stable hybrid AC and DC distribution grids

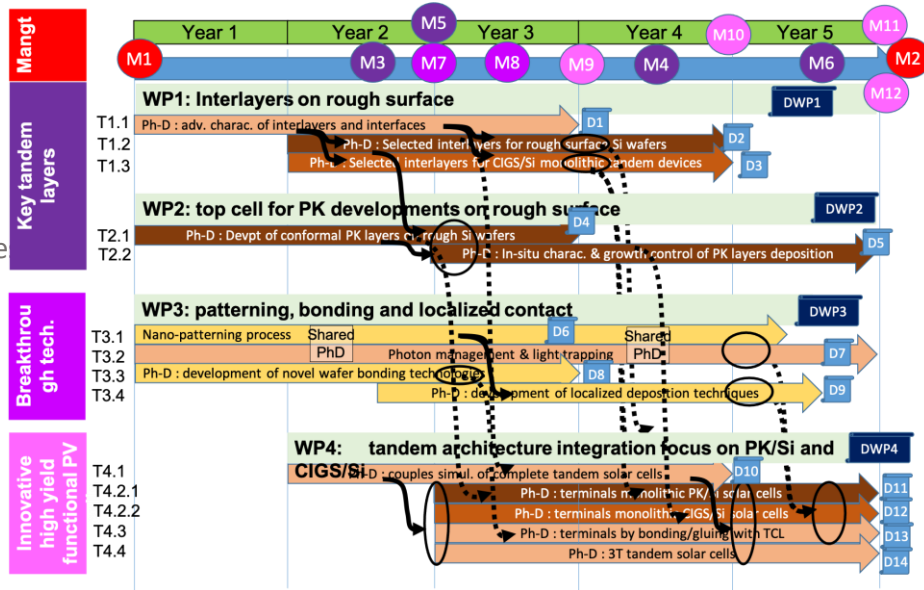
- T3.1 Dynamic stability and sizing margins of hybrid distribution grids
- T3.2 Protection capability and reliability assessment of hybrid distribution grids

► **Objectif du projet:** « développer de nouvelles solutions à faible coût et à haut rendement pour des cellules solaires tandem en couches minces/silicium »

► Systèmes considérés : cellules PV.

► Focus des travaux de recherches:

- développement de matériaux d'interface sur des surfaces rugueuses de Si.
- développement de procédés de dépôt de pérovskite sur des surfaces rugueuses.
- développement de procédés de rupture pour la nanostructuration et le dépôt localisé.
- simulation de cellules solaires tandems pour soutenir ces développements, dont l'intégration sera effectuée selon trois architectures différentes



16 partenaires du projet: CNRS (C2N), CEA (LITEN), CNRS (IPVF), Univ. Nantes (IMN), Univ. Lyon (INL), CNRS (LAAS), CNRS (LPICM), CentraleSupélec (GEEPS), CEA (IRIG), CNRS (CRHEA), INSA Rennes (FOTON), Univ. Versailles-St Quentin (ILV), Univ. Grenoble Alpes (LMGP), FEMTO-ST, Univ. Strasbourg (iCUBE), Univ. Bordeaux (IMS)



SMART4MODULES (SMARTER AND ECO INNOVATION BUILDING BLOCKS FOR ADVANCED PV MODULE)



VERS DES MODULES PV INNOVANT ET INTELLIGENT DANS UNE DÉMARCHÉ D'ECO INNOVATION

► **Objectif du projet:** « intégrer l'analyse environnementale de manière systémique et pérenne dans les spécifications des modules PV pour guider le développement de la technologie »

► Systèmes considérés : modules PV.

► Focus des travaux de recherches:

- Nouvelles technologies d'encapsulation pour faciliter le démantèlement et le recyclage, tout en maintenant les performances et la fiabilité.
- Technologies innovantes de cellules d'interconnexion permettant de réduire l'utilisation de matériaux critiques.
- Solutions solaires pour favoriser les clusters énergétiques et l'acceptation sociétale : transparence optique et intégration / substrat flexible à la lumière et réduction des matériaux.

WP1 - Eco-innovation in module encapsulation

- T1.1 Low Temperature reticulation, de-polymerizable transparent Module and its reliability
- T1.2 Conformal ultrathin encapsulation based on ALD
- T1.3 Low temperature laser-assisted glass frit sealing for hermetic encapsulation

WP2 - Tunable level of coloration/transparency PV modules

- T2.1 Design of optimal selective and semi-transparent OPV architectures and modules for AgriPV
- T2.2 Optically selective and fully transparent PV modules for non-intrusive integration

WP3 - Ecodesign conception of PV modules interconnection

- T3.1 Printed bypass diodes based on non-critical raw materials
- T3.2 Printed connectors and advanced connectors towards non critical raw materials

WP0 - Management & Dissemination

17 partenaires du projet: CEA (LITEN), CNRS (LAAS), Univ. Bordeaux (IMS), Univ. Picardie (LRCS), CNRS/HESAM Univ (PIMM), ARMINES – MINES Paris (CEMEF), Univ. PSL (LCPO), CNRS (LPICM), Sorbonne Univ. (LCMCP) Univ. PSL (ESPCI), CNRS (IPVF), Univ. Grenoble Alpes (LMGP), CNRS (XLIM), Univ. Aix-Marseille (IM2NP), Univ Toulouse III (LAPLACE), Univ. Aix-Marseille (CINAM), Univ. Nantes (CEISAM)

Axes:

- Impacts environnementaux des systèmes énergétiques => **2 projets**
- Gestion efficace et flexible des systèmes énergétiques en présence d'une part massive d'énergies renouvelables => **5 projets**
- Solutions technologiques pour la numérisation des systèmes énergétiques intelligents => **2 projets**
- Approches innovantes pour réduire ou remplacer les matériaux critiques dans les couches conductrices transparentes et les contacts métalliques des cellules solaires => **1 projet**

Cet appel était doté d'une enveloppe de 14,4 M€

Très bon retour experts sur la qualité générale des projets soumis

Tous les sujets devraient être pourvus

Délais tenus

Lancement AMI

Axes:

- Axe 1 : Questions de sciences humaines et sociales en lien avec le développement des technologies avancées pour les systèmes énergétiques => **2 projets**
- Axe 2 : Résilience des systèmes électriques dans le contexte d'une insertion massive d'énergies renouvelables => **1 projet**
- Axe 3 : Recyclage des modules PV et modules PV à faible empreinte carbone => **1 projet**
- Axe 4 : Modules PV intelligents, avancés => **1 projet**
- Axe 5 : Fiabilité des technologies avancées de cellules photovoltaïques => **1 projet**

Cet appel était doté d'une enveloppe de 14,8 M€

Retour experts attendu le 15 Mai

Tous les sujets sont pourvus (presque), 50% du montant pour l'axe 1 => nouvel appel à prévoir

N. Kroichvili (UTBM), L. Dobigny (Univ. Cat. Lille), L. de Fontenelle (Univ. Pau), M. Hennebel (CentraleSupélec), G. Lepasant (SU), Th. Reverdy (UGA)

P. Drobinski (CNRS/IPP), O. Vidal (UGA) D. Chupin (CEREMA), P. Zwolinski (UGA), P. Perez-Lopez (MinesParisTech), B. Loubet (INRAE), M. Doray (IFREMER), A. Oosterlinck (Paris-Dauphine), D. Averbuch (IFPEN), I. Maillot (CEA-DTCH)

B. Lacarrière (IMT Nantes), M. Vallée (CEA-LSET)

A. Basic (INRIA), B. Thonon (CEA-DTCH), G. Kariniotakis (MinesParisTech, Sophia Ant.) M. David (Univ. Reunion), F. Ossart (CentraleSupélec), P. Carpentier (ENSTA Paris), J.-C. Olivier (Univ. Nantes), M. Sechilariu (UTC), S. Caux (Univ. Toulouse), C. Menezo (Univ. SMB), F. Massines (Univ. Perpignan)

F. Clautiaux (INRIA), A. Barros (CentraleSupélec), S. Goutte (Univ. Versailles St Quentin), Y. Besanger (UGA), D. Faranda (CEA-LSCE)

V. Debusschère (UGA), T.-Q. Tran (CEA-LIRE),

T. Monteil (INSA Toulouse, IRIT), C. Auliac (CEA-SID)

R. Caire (UGA), P. Desbats (CEA-LIST), M. Hilairet (UTBM), J. Ramousse (Univ. SMB), P. Lalanda (UGA), M. Marot (Mines-Télécom/Télécom SudParis), S. Samons (CEA-LIST), V. Heiries (CEA-LIST) A. Iovine (CentraleSupélec), V. Chevrier (INRIA Nancy), B. Francois (Centrale Lille), L. Khoukhi (Univ. Caen), A.-C. Orgerie (Univ. Rennes), F. Sossan (MinesParisTech, Sophia Antipolis), J.-L. Dirion (IMT Albi), C. Alonso (Univ. Toulouse)

S. Collin (CNRS/C2N), C. Roux (CEA-SCPV), J.-P. Kleider (CNRS/GEEPS), C. Alonso (Univ. Sabatier, LAAS), L. Hirsch (CNRS/IMS), F. Sauvage (CNRS/LRCS), M. Benmansour (CEA-LCT), L. Grenet (CEA-LCH), A. Derrier (CEA-SMSP), A. Jouini (CEA-DTS).

Have been consulted in the making of this document

Public Research Organisms: France Universités, CGE, CDEFI, UDICE, CEREMA, INRIA,

Institutes for the Energy Transition (ITE): FEM, SUPERGRID, INES.2S, IPVF

PEPR (National Strategy Research Programmes): Batteries, Hydrogène décarboné, Recyclage, Décarbonation de l'industrie, 5G, Cloud, Electronique.

Industrial R&D: CSF-NSE

Et un grand merci aux collègues des autres PEPR pour les échanges !