

**ADEME**



Agence de l'Environnement  
et de la Maîtrise de l'Énergie



**ATEE – 47, Avenue LAPLACE – 94117 ARCUEIL**

**Contact : Patrick Canal – Délégué général du Club Stockage d'énergies  
01 46 56 41 47 – [patrick.canal@atee.fr](mailto:patrick.canal@atee.fr)**

**CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES GÉNÉRALES  
DE L'ÉTUDE PEPS<sub>4</sub>  
SUR LE POTENTIEL NATIONAL DU STOCKAGE D'ÉLECTRICITÉ  
ET DU POWER TO GAS**

Version du 23 Octobre 2017

# Table des matières

- 1. OBJET DU PRÉSENT CAHIER DES CHARGES FONCTIONNEL**
- 2. ÉLÉMENTS PRINCIPAUX DE CONTEXTE À PRENDRE EN COMPTE**
  - 2.1 Études réalisées sur la filière stockage
  - 2.2 Éléments principaux de contextes réglementaires français et européen
  - 2.3 Scénarios macro énergétiques publics
- 3. OBJECTIFS PRINCIPAUX ET SOUS-OBJECTIFS DE L'ÉTUDE**
  - 3.1 Approche globale
  - 3.2 Analyse de la valeur du stockage d'un point de vue sociétal
  - 3.3 Analyse de la valeur projet du stockage pour des cas d'études
  - 3.4 Analyse de la sensibilité du stockage
- 4. PRESTATIONS OPTIONNELLES**
  - 4.1 Réalisation d'un benchmark des principaux pays
  - 4.2 Analyse des solutions de flexibilité
  - 4.3 Analyse de la seconde vie des batteries
  - 4.4 Réalisation d'A.C.V
  - 4.5 Intégration d'un périmètre complémentaire
- 5. PÉRIMÈTRES ET SCÉNARIOS DE MODÉLISATION**
  - 5.1 Pour le parc de production électrique
  - 5.2 Pour les enquêtes sectorielles
- 6. ANNEXE – DESCRIPTIFS PROVISOIRES DE QUELQUES CAS D'ÉTUDES**
  - 6.1 Cas d'étude n°2 : « Stockage dans les systèmes isolés »
  - 6.2 Cas d'étude n°4 : « Stockage pour l'autoconsommation collective »
  - 6.3 Cas d'étude n°5 : « Résilience en résidentiel avec PV »
  - 6.4 Cas d'étude n°8 : « Installation individuelle PV+ Stockage en ZNI »
  - 6.5 Cas d'étude n°9 : « Lissage local de la production ENR dans les ZNI »
  - 6.6 Cas d'étude n°10 : « Stockage centralisé dans les ZNI »

## 1. OBJET DU PRÉSENT CAHIER DES CHARGES FONCTIONNEL

L'objet du présent cahier des clauses techniques générales est de définir les éléments de contexte, les hypothèses, les objectifs et les contenus technico-économiques principaux d'une prestation d'études sur le potentiel national du stockage d'électricité et du Power to Gas, actualisant l'étude du potentiel national sur le stockage d'énergies publiée en novembre 2013 (PEPS1).

Il s'agit donc du quatrième volet de l'étude PEPS1 (soit PEPS4).

## 2. ÉLÉMENTS PRINCIPAUX DE CONTEXTE À PRENDRE EN COMPTE POUR LA RÉALISATION DE L'ÉTUDE

### 2.1. ÉTUDES RÉALISÉES SUR LA FILIÈRE STOCKAGE OU ABORDANT EN PARTIE CETTE FILIÈRE, DONT PLUS PARTICULIÈREMENT :

- **Étude PEPS1**, qui fait l'objet de l'identification et de l'évaluation de cas d'études les plus pertinents, traités (par exemple le stockage centralisé à la maille France) ou non (par exemple l'autoconsommation collective) lors de la première étude. La mise à niveau des données et les compléments envisagés dans le présent CCG suppose une prise en compte de cette première étude, publiée en novembre 2013 sur le site de l'ATEE au lien suivant :

Cf. lien : [http://atee.fr/sites/default/files/peps\\_-\\_rapport\\_public1.pdf](http://atee.fr/sites/default/files/peps_-_rapport_public1.pdf) (étude publiée également sur le site de l'ADEME).

*Pour la présente étude, à noter que seuls les éléments relatifs au stockage d'électricité doivent être réévalués, le stockage thermique et le Power-to-Heat (P2H) ayant fait l'objet de la récente étude (PEPS3) publiée en novembre 2016 sur les mêmes sites.*

- « **Évaluation socio-économique des réseaux électriques intelligents** » réalisée par RTE en 2015 (disponible au lien [http://www.rte-france.com/sites/default/files/rei\\_bd\\_1.pdf](http://www.rte-france.com/sites/default/files/rei_bd_1.pdf) ), dont une actualisation sera publiée en octobre 2017,<sup>i</sup>
- Les études réalisées ou portées par l'ADEME, notamment :
  - **L'étude 100% EnR** à l'horizon 2050 (<http://www.ademe.fr/mix-electrique-100-renouvelable-analyses-optimisations>) et l'étude sur l'autoconsommation de la production d'électricité d'origine renouvelable,
  - L'étude portant **sur l'hydrogène et la méthanation** comme procédé de valorisation de l'électricité excédentaire" réalisée par E&E, Hespul et Solagro en septembre 2014 pour le compte de l'ADEME, GRTgaz et GRDF,  
Cf. lien : <http://www.grtgaz.com/fileadmin/engagements/documents/fr/Power-to-Gas-etude-ADEME-GRTgaz-GrDF-complete.pdf>),
- Les études portées par la **DG-EN** ainsi que les différents scénarios étudiés : Power Perspectives 2030 (European Climate Foundation);<sup>ii</sup>
- L'étude réalisée par l'**EPRI** ("Electric Power Research Institute") : « Understanding the Cost-Effectiveness of Energy Storage »<sup>1</sup>,

---

<sup>1</sup> Cette étude n'est cependant pas accessible sans être membre de l'EPRI.

- **Les différentes études menées sur le stockage d'énergies** : Levelized Cost of Storage Analysis 2.0 (Lazard), Rapport IFRI<sup>iii</sup> sur les batteries (Carole Mathieu), Power to Gas, seconde vie des batteries (E-Cube), V2G (Artelys), etc.,
- L'analyse menée par **EASE-EERA** sur « l'Energy Storage Technology Development Roadmap », disponible au lien <http://ease-storage.eu/category/publications/technical-documents/>
- L'étude « **Electricity storage and renewables : Costs and markets to 2030** » réalisée en octobre 2017 par l'International Renewable Energy Agency (**IRENA**) disponible au lien : [http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA\\_Electricity\\_Storage\\_Costs\\_2017.pdf](http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_Electricity_Storage_Costs_2017.pdf).

## 2.2. ÉLÉMENTS PRINCIPAUX DE CONTEXTES RÉGLEMENTAIRES FRANÇAIS ET EUROPÉEN

- **PPE** (Programmation pluriannuelle de l'énergie) : Arrêtés publiés en avril 2016 fixant les objectifs de développement des filières EnR d'ici 2023 et décret autoconsommation du 28 avril 2017 ;
- **Winter package** élaboré par la Commission européenne,
- **Schémas territoriaux de type Sraddet** (Schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires), **SRCAE** (Schéma régional climat air énergie), **PCAET** (Plan climat air énergie territorial), ... ,
- **Nouvelles dispositions tarifaires et réglementaire** mises en place en 2016 pour les filières EnR, dont :
  - Les dispositions découlant de la loi de transition énergétique et du décret de complément de rémunération du 28 mai 2016, encadrant les nouveaux mécanismes de soutien en respect des lignes directrices de la Commission européenne de juin 2014 régissant les aides d'état en faveur des énergies renouvelables, dont :
    - Les contrats d'achats dédiés aux filières EnR (PV, hydraulique, éolien) et cogénérations,
    - Le contrat de complément de rémunération (CR),
    - Les appels d'offres dédiés aux filières EnR et au stockage d'énergie, intégrant la nouvelle méthodologie d'évaluation des projets de stockage/EnR publiés par la CRE pour les ZNI (Zones non interconnectées),
    - Les mécanismes mis en place par nos voisins européens en matière de stockage d'énergies, notamment en Allemagne, Italie, Espagne, Royaume-Uni, Danemark, ...

## 2.3. SCÉNARIOS MACRO ÉNERGÉTIQUES PUBLICS :

- Bilans Prévisionnels de RTE : Visions de court terme (2016 – 2017) et de long terme (2035) déclinés en 4 scénario pour le BP 2017,
- Scénarios de l'ADEME : Visions 2035 et 2050,
- ...

## 3. OBJECTIFS PRINCIPAUX ET SOUS-OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

### 3.1. APPROCHE GLOBALE

### 3.1.1. MÉTHODOLOGIE À RETENIR

La méthodologie de l'étude repose sur l'analyse de la valeur économique du stockage, **pour 12 cas d'études représentatifs de solutions de stockage d'électricité pertinentes, pour lesquels le prestataire émettra des propositions qui seront analysées et modifiées le cas échéant puis retenues par le Comité de Pilotage de l'étude**, désigné ci-après par « Copil ». Cinq de ces cas d'études sont pré-renseignés en Annexe, mais sont communiqués à titre indicatif. Ces cas préliminaires pourront être complétés, modifiés voire remplacés par des cas jugés plus pertinents lors des deux premières réunions de Copil. Le prestataire pourra émettre dans sa proposition technique des suggestions utiles sur ces cas, en les complétant ou en proposant des évolutions.

La désignation des cas préliminaires est définie au paragraphe 3.1.2.

**Pour l'élaboration du présent cahier des charges**, le Club Stockage d'énergies de l'ATEE a retenu les approches suivantes pour orienter le travail préliminaire d'identification et d'analyse des cas d'études :

- **Les cas d'étude doivent être réputés pertinents** actuellement ou dans l'horizon de temps de l'étude. Ces cas ont pu faire l'objet d'une analyse réalisée dans le cadre de l'étude PEPS1 ou sont nouveaux, dont ceux par exemple relatifs aux ZNI, à l'autoconsommation collective ou à la résilience, au Power to Gas,
- Une attention particulière doit être portée au **nouveau contexte énergétique**, notamment en lien avec le **déploiement des réseaux intelligents et des études réalisées dans ce domaine** (dont RTE, Enedis, ...),
- **Prise en compte du Power to Gas** dans la nouvelle approche, dans une logique davantage prospective.

Sur le plan méthodologique, l'étude est proposée d'être réalisée en trois étapes :

1. **Analyser la valeur du stockage d'un point de vue sociétal**,
2. **Analyser la valeur économique du stockage d'un point de vue d'un porteur d'un projet**,
3. **Procéder à des analyses de sensibilité et identifier les facteurs clés des contextes actuel et futur pour la valeur sociétale et la valeur projet**, ainsi que pour le déploiement du stockage d'électricité et du P2G.

Concernant l'élaboration des scénarios macro-énergétiques de l'étude :

- Pour les cas d'études relatifs à l'usage du stockage dans un système électrique continental, un scénario dit « de référence » pour l'étude sera tiré du Bilan Prévisionnel de RTE, dont une synthèse devrait en être donnée d'ici la fin de l'année, anticipant un rapport détaillant notamment les différents scénarios énergétiques adoptés. **Ce choix du scénario sera arrêté après concertation des membres du Copil, sur proposition initiale du Prestataire**,
- **Les scénarios macro énergétiques pour le contexte des ZNI** seront élaborés par le prestataire et également validés par le Copil, sur la base des travaux réalisés par EDF-SEI<sup>2</sup> et l'ADEME, en tirant des enseignements et informations des différents bilans prévisionnels de l'équilibre offre/demande réalisés par EDF-SEI pour les ZNI,

---

<sup>2</sup> Il s'agit entre autres des bilans prévisionnels de l'équilibre offre / demande d'électricité dans les systèmes électriques insulaires français, réalisés et publiés par EDF SEI. Par exemple celui de la réunion est publié au lien : [https://reunion.edf.fr/sites/default/files/SEI/producteurs/reunion/edf\\_sei\\_bp2017\\_la\\_reunion.pdf](https://reunion.edf.fr/sites/default/files/SEI/producteurs/reunion/edf_sei_bp2017_la_reunion.pdf).

- **Trois scénarios « alternatifs » seront construits à partir et en cohérence avec le scénario de référence** et doivent permettre de dégager les différentes stratégies de déploiement des solutions de stockage dans le mix électrique français.

#### **Remarques importantes :**

On peut donc considérer que pour le choix du scénario dit de référence et celui des scénarios alternatifs, le BP 2017 est susceptible de fournir tous les éléments nécessaires et suffisants pour les besoins de la présente étude.

Cependant, dans le cas où le prestataire, après concertation les membres du Copil, ne serait pas en mesure de disposer, pour diverses raisons, des données relatives aux différents scénarios mentionnés, il pourra être envisagé d'opter pour des scénarios différents, comme par exemple ceux des « visions ADEME 2035-2050<sup>3</sup> », ou d'autres scénarios macro énergétiques existants considérant notamment des taux de pénétration EnR élevés.

Dans tous les cas, les scénarios retenus devront avoir fait l'objet d'une concertation et d'un large consensus au sein du Copil, tout en faisant en sorte qu'ils soient admis par les pouvoirs publics dans la logique de la PPE.

En effet, l'objectif notable de cette étude est d'apporter des éclairages au Ministère de la Transition Écologique et Solidaire pour favoriser les choix les plus pertinents, en matière de stockage d'électricité en Métropole comme dans les ZNI, dans la prochaine programmation pluriannuelle de l'énergie (période 2019-2023).

***Cette étude souhaitant évaluer des opportunités réalistes et à horizon ~5 ans de développement du stockage d'électricité en France continentale et insulaire, il est primordial que les évolutions proposées dans les scénarios soient à la fois ambitieuses et réalistes dans les cibles EnR envisagées. Pour les ZNI en particulier, où le déploiement du stockage est relativement plus rapide qu'en métropole, l'étude d'un scénario à un horizon plus rapproché (type PPE 2023) pourrait s'avérer pertinent.***

#### **3.1.2. CAS D'ÉTUDES À PRENDRE EN COMPTE DANS LA PROPOSITION TECHNIQUE ET FINANCIÈRE :**

Fondamentalement, tous les cas d'études feront l'objet d'une définition détaillée, précisant les éléments nécessaires et suffisants pour pouvoir correctement modéliser ces cas.

Ces cas d'études seront arrêtés au plus tard à l'issue de la seconde réunion de Copil, sur propositions du Prestataire.

Les premiers cas d'études décrits en Annexe du présent CCTG seront susceptibles d'être actualisés, amendés ou remplacés par le Copil, toujours dans le cadre d'une concertation avec le prestataire.

Le prestataire est également sollicité pour proposer d'autres cas d'études pertinents, en complément des cas présentés.

---

<sup>3</sup> Ces scénarios ont été actualisés et sont accessibles au lien : <http://www.ademe.fr/actualisation-scenario-energie-climat-ademe-2035-2050>

- Cas 1 :** « **Stockage de masse à la maille nationale** » (Step, AA-CAES, ... ) : Cas à définir dans le détail lors des premières réunions de Copil, mais proche du cas similaire de l'étude PEPS1,
- Cas 2 :** **Cas d'étude n°2 : « Stockage dans les systèmes isolés »**
- Cas 3 :** Cas à définir et à caractériser lors des premières réunions de Copil,
- Cas 4 :** « **Stockage pour l'autoconsommation collective** » :: cf. Annexe en fin de document,
- Cas 5 :** « **Scénario résilience pour un site résidentiel** » : cf. Annexe en fin de document,
- Cas 6 :** « **Scénario résilience pour un site industriel** » : cf. Annexe en fin de document,
- Cas 7 :** « **Scénario Mobilité** », à définir dans le détail lors des premières réunions de Copil,
- Cas 8 :** **Cas d'étude n°8 : « Installation individuelle PV+ Stockage en ZNI »** : cf. Annexe en fin de document,
- Cas 9 :** **Cas d'étude n°9 : « Lissage local de la production ENR dans les ZNI »** : cf. Annexe en fin de document,
- Cas 10 :** **Cas d'étude n°10 : « Stockage centralisé dans les ZNI »** : cf. Annexe en fin de document,
- Cas 11 :** « **Scénario Power to Gas avec injection** » : Cas à définir et à caractériser lors des premières réunions de Copil,
- Cas 12 :** « **Scénario Power to Gas avec mobilité gaz** » : Cas à définir et caractériser lors des premières réunions de Copil.

Les éléments relatifs au déroulement des principales étapes de l'analyse sont détaillés dans les paragraphes qui suivent.

### 3.2. ANALYSE DE LA VALEUR DU STOCKAGE D'UN POINT DE VUE SOCIÉTAL

Cette partie portera sur l'évolution des besoins de flexibilité du système électrique ainsi que sur le mix optimal de solutions de flexibilité du point de vue du surplus collectif, incluant le stockage mis en perspective versus d'autres moyens de flexibilité (*écrêtement, production flexible, effacement, renforcements réseaux, interconnexions*), tous en compétition sur des critères technico-économiques.

Pour le cas d'étude n°1, cette analyse sera réalisée à la maille France métropolitaine, en considérant l'Europe comme une plaque de cuivre et en modélisant explicitement la contribution des interconnexions aux besoins de flexibilité français. **Elle s'appuiera sur les quatre scénarios inspirés du BP 2017 de RTE**, sous réserve de l'accessibilité à leurs contenus au moment des premières réunions de projet. La modélisation inclura une représentation de l'équilibre offre-demande à un pas de temps pertinent, ainsi que la réservation de capacités de production pour l'ajustement et les services système (réglage primaire de fréquence). Les nouveaux usages (recharge de véhicules électriques, power to heat...) seront explicitement représentés.

**Le prestataire assurera la cohérence entre les résultats de simulation du scénario dit de référence réalisée avec son propre modèle, par rapport aux principaux indicateurs du scénario**

macro énergétique sélectionné (celui issu du BP 2017 de RTE ou un autre, le cas échéant). Dans sa réponse, le prestataire expliquera comment il assurera cette cohérence.

Pour les autres cas d'études listés ci-dessus, les contraintes spécifiques de réseau seront à prendre en compte, sur la base d'hypothèse prédéfinies avec le Copil. Ces contraintes seront également déterminées dans la mesure du possible en consultant également les différents gestionnaires de réseau : RTE, Enedis, EDF-SEI, ELD le cas échéant...

Le prestataire devra analyser les coûts/bénéfices sur les usages réseaux (non industriels) apportés par le stockage d'électricité, dans la perspective notamment du déploiement des réseaux intelligents : La mise en perspective des éléments d'analyse de l'étude REI référencée en note 1 dans le présent CCTG est demandée.

Une attention particulière sera portée à l'actualisation des éléments de coûts d'investissements (Capex) et d'exploitation (Opex) et des performances des filières de stockage d'électricité en cours de déploiement, principalement des batteries de différents types<sup>iv</sup> sans se limiter aux batteries Li-ion<sup>v</sup>. L'évolution de ces coûts à 2035 devra être prise en compte et argumentée.<sup>vi</sup>

Seuls seront par conséquent à retenir pour la partie économique de l'étude les modèles d'affaire les plus pertinents (à déterminer également lors des réunions de Copil).

Pour les autres technologies, une simple actualisation des fiches de PEPS1 avec les éléments disponibles est demandée, avec création de nouvelles fiches pour les technologies non ciblées dans cette première étude.

L'intégration des filières suivantes est demandée :

- **Steps :**
  - Micro Steps,
  - Steps marines.
- **Stockage de masse gravitaire en mer :**
  - Technologies de stockage en mer de type de celui développé par la start-up MGH, à partir d'un système de poids reliés à des structures flottantes
- **Batteries :**
  - Batteries Li-ion,
  - Batteries Li-air, Zn-air, Ni-Zn, Na-ion, Pb avancés,
  - Batteries chaudes (Na) ou Redox flow.
- **Stockage par volants d'inertie,**
- **Supercondensateurs,**
- **Stockages par air comprimé :**
  - CAES,
  - Micro CAES (< 50 MW),
  - CAES marins,
  - LAES.
- **Power to gas :**
  - Électrolyse alcaline, PEM ou haute température, méga-électrolyseur,
  - Usage H2 direct ou injection directe dans les réseaux (périmètre d'injection à définir par le Copil), méthanation (biologique ou catalytique).



Pour chaque fiche descriptive, il est demandé de préciser les besoins que peuvent couvrir les moyens de stockage considérés avec une cartographie des fonctions qu'ils peuvent réaliser.

Pour mener cette actualisation, les éléments suivants seront plus particulièrement pris en compte :

- L'étude REI conduite par RTE, dont on peut tirer des enseignements utiles pour la présente étude,
- Les différentes composantes des coûts (Capex, Opex) du stockage - par technologie - proposées dans des études récentes<sup>vii</sup>,
- Pour l'actualisation des performances, une consultation méthodique des acteurs des technologies concernées s'impose.

**Ces références devront être mises en perspective pour la réalisation de la présente étude et permettre de déterminer quelles sont les technologies les mieux adaptées à un cas d'étude donné, en fonction des spécifications demandées pour réaliser les différentes fonctions exigées puis des critères économiques (Capex/Opex).**

### **3.2.1. LORS DE L'ÉLABORATION DES CAS D'ÉTUDES, LES OBJECTIFS SUIVANTS DEVRONT ÊTRE ATTEINTS :**

#### **3.2.1.1. METTRE À JOUR L'ÉVALUATION ÉCONOMIQUE DU SEGMENT FRANCE MÉTROPOLITAINE (CAS 1 : « STOCKAGE DE MASSE À LA MAILLE NATIONALE » (STEP, AA-CAES, ...)) : CAS À DÉFINIR DANS LE DÉTAIL LORS DES PREMIÈRES RÉUNIONS DE COPIL, MAIS PROCHE DU CAS SIMILAIRE DE L'ÉTUDE PEPS1**

Ce travail se fera au regard de l'évolution des modes de valorisation des actifs ne rentrant pas stricto sensu dans des mécanismes de soutien à la filière stockage d'électricité, à savoir :

- Le marché de l'énergie,
- Le marché de capacité,
- Le mécanisme d'ajustement,
- Les offres de services système (réserve rapide, contrôle de fréquence),
- Les garanties d'origine,
- ...

**Dans le cadre des évaluations économiques et de la place du stockage sur la courbe d'ordre de mérite pour chaque cas d'étude, on doit privilégier une approche qui propose de façon générique des profils de stockage (*performances, caractéristiques de fréquence, délais et durées de déstockage*) technologiquement neutres, dimensionnés en fonction des profils de besoins permettant de couvrir le ou les services considérés.**

L'étude pourra proposer la création de nouveaux services motivés par des besoins croissants de flexibilité du réseau électrique et auxquels un développement des moyens de stockage pourrait répondre.

De plus, il est demandé pour ces évaluations :

- **De prendre en compte explicitement les coûts relatifs à la conversion de courant (*onduleur, électronique de puissance*) et au contrôle/commande des unités de stockage, hors coûts fonciers et en segmentant les différents coûts respectifs entre cellules élémentaires, empilements et systèmes de conversion notamment.**

- De prendre en considération :
  - L'impact d'un développement massif de la mobilité électrique, à plus long terme de l'hydrogène, du biométhane ou des gaz de synthèse (P2G),
  - Le V2G ou Véhicule to grid – usage des batteries des véhicules,
  - Le parc de batteries de la mobilité en seconde vie (*pouvant être qualifié de « Gigafactory mobile »*),
  - L'autoconsommation (*avec stockages diffus et distribués*),
  - La réserve rapide de fréquence,
  - L'hybridation de plusieurs technologies de stockage.
- De modéliser, avec la granularité temporelle pertinente, l'impact des sources de production et de consommation diverses sur les besoins en flexibilité du système électrique. Il peut s'agir entre autres du stockage de chaleur (P2H notamment), des VE ou VEH et de l'autoconsommation,
- De prendre en compte les « Cost Benefit Analysis Methodology 2.0 ».

### **3.2.1.2. PRENDRE EN COMPTE, À L'HORIZON 2035, LES BÉNÉFICES SUR LES USAGES RÉSEAUX (NON INDUSTRIELS) APPORTÉS PAR LE STOCKAGE D'ÉLECTRICITÉ, DANS LA PERSPECTIVE NOTAMMENT DU DÉPLOIEMENT DES RÉSEAUX INTELLIGENTS :**

Pour ce faire, la mise en perspective des éléments d'analyse de l'étude REI rév.2 référencée dans ce CCTG est demandée.

### **3.2.1.3. COMPLÉTER L'ÉTUDE PEPS1 POUR UNE ZNI TYPE :**

Le prestataire développera les trois cas d'études décrits en ANNEXE permettant d'analyser finement les besoins de ces zones non interconnectées sur un profil de mix type à déterminer par le Copil.

Il s'agit notamment d'étudier l'intérêt du stockage pour l'équilibrage global de la zone non interconnectée, avec un taux de pénétration très élevé des EnR variables dans le mix de production. Trois cas d'études définis sommairement en Annexe sont à prendre en compte.

Une modélisation explicite du réseau n'est pas requise mais une analyse de sensibilité sera menée pour évaluer la valeur du stockage en fonction des caractéristiques du réseau. Chaque cas étudié en précisera donc les limites, en concertation étroite avec les membres du Copil. Le profil détaillé de référence<sup>4</sup> de la ZNI sera proposé par le prestataire pour validation par les

---

<sup>4</sup> Ce cas de référence doit permettre de réaliser différentes études de sensibilité portant sur au moins 4 paramètres, dont par exemple :

Le prix des énergies substituées ;

Le taux d'intégration des EnR dans le mix de production ;

Ces paramètres seront définis avec les membres du Copil de l'étude lors de la première réunion de projet.

représentants du Copil lors des premières réunions de projet<sup>5</sup>. Un échange préalable avec les représentants de l'ADEME pour l'établissement de ces profils sera nécessaire.

Une concertation d'EDF SEI sera également recherchée pour réaliser cette tâche, en prenant en compte des bilans prévisionnels publiés pour les ZNI par le gestionnaire de réseau.

3.2.1.4. Renforcer les approches sociétales et macro-économiques développées dans PEPS1,

3.2.1.5. En prenant en compte entre autres les approches et enseignements tirés des études suivantes :

- REI : « Évaluation socioéconomique des réseaux électriques intelligents » de RTE,
- PEPS-3 : « Évaluation des potentiels du stockage de chaleur et du P2H »,
- Rapport IFRI,
- etc.

### 3.3. ANALYSE DE LA VALEUR PROJET DU STOCKAGE POUR DES CAS D'ÉTUDES RENTABLES D'UN POINT DE VUE SOCIÉTAL :

#### 3.3.1.1. ANALYSER, AUX MAILLES FRANCE MÉTROPOLITAINE ET ZNI, LES IMPACTS SUR LE STOCKAGE D'ÉLECTRICITÉ :

- **La réglementation actuelle** (*profils des tarifs d'acheminement, règles de raccordement, règles d'autoconsommation, dispositions réglementaires des gestionnaires de réseaux dans la conduite et l'exploitation des systèmes de stockage, rôle de la CRE, appels d'offres de solutions de stockage couplés à des EnR, objectifs de la PPE, etc.*) **sur le déploiement des solutions de stockage, avec une identification exhaustive des freins à ce déploiement,**
- **Les nouveaux usages**, dont la mobilité, l'autoconsommation, etc., ainsi que les nouveaux services pouvant être apportés, dont réserve rapide, régulation de fréquence, ... ,  
*Dans cette approche qualitative, il est demandé au prestataire de **montrer la façon dont ont évolué les différents cas d'études analysés dans PEPS1** (pour ceux ayant été abordés dans cette première étude) avec l'évolution du contexte du stockage et de montrer aussi **comment la valeur pouvant être générée par le stockage se répartit entre les différents acteurs,***
- **De l'évolution de la résilience du réseau électrique et des usages** pouvant influencer le déploiement du stockage. On considère pour le cas d'étude considéré, le stockage assurant la continuité d'alimentation des installations connectées au réseau lorsque ce dernier affiche un taux de coupures très élevé,
- **Le Winter package publié par la Commission européenne fin 2016**, qui pourrait présenter un impact notable en termes de développement de nouveaux services par exemple et de réglementation sur le stockage,

---

<sup>5</sup> Les représentants de la Direction générale de l'énergie et du climat (DGEC), dans le cadre de l'exercice portant sur la prochaine période de PPE 2019-2023, nous ont confirmé leur souhait de disposer en priorité des résultats de l'étude portant sur la Métropole, dans la mesure où les PPE ZNI seront élaborées dans un second temps.

- ...

### **3.3.1.2. ANALYSER LES IMPACTS SUR LES PERSPECTIVES DE LA FILIÈRE STOCKAGE DES MÉCANISMES DE SOUTIEN EXISTANTS DANS LE SECTEUR ÉNERGÉTIQUE :**

Il s'agit entre autres des mécanismes de soutien aux énergies renouvelables, à l'efficacité énergétique, à la rénovation énergétique des bâtiments, à la réduction des émissions polluantes et des GES, au schéma de déploiement des EnR en territoires, etc. Les solutions telles que des compléments de rémunération, des crédits d'impôts, des primes à l'acquisition, la valorisation des garanties d'origine, des contrats long terme, etc., en font partie.

### **3.4. ANALYSE DE LA SENSIBILITÉ DU STOCKAGE PAR RAPPORT AUX PRINCIPAUX ÉLÉMENTS DU CONTEXTE ÉNERGÉTIQUE EXISTANT ET FUTUR**

#### **3.4.1. À PARTIR DES ANALYSES PRÉCÉDENTES, LE PRESTATAIRE IDENTIFIERA, A PRIORI, LES HYPOTHÈSES AYANT UN IMPACT SIGNIFICATIF SUR LA VALEUR SOCIÉTALE DU STOCKAGE, COMME PAR EXEMPLE :**

- Les cibles de taux de pénétration des ENR, dont le scénario avec EnR renforcées et horizon 2050 constitue une limite haute,
- La politique de prix du CO<sub>2</sub> : arbitrage avec d'autres actifs de flexibilité dont effacement & production de pointe, taxe carbone, ... ,
- L'internalisation - des autres impacts environnementaux (*coût de renforcement des réseaux versus déploiement de stockage*),
- Les coûts et gisement des solutions de flexibilité concurrentes (*pilotage de la demande, interconnexions électriques avec les pays voisins, etc.*),
- Les prix des énergies substituées,
- Les niveaux de CAPEX, les durées de stockage/déstockage et les performances de l'unité de stockage,
- Autres facteurs pouvant être identifiés par le Copil ou le prestataire, ...

**Ces éléments seront ensuite discutés avec les membres du Copil de l'étude de façon à sélectionner 5 paramètres pour les cas d'études du segment France métropolitaine et 4 paramètres pour les cas d'études du segment ZNI sur lesquels réaliser une analyse de sensibilité.**

Les intervalles des valeurs de paramétrage seront également validés par le Copil.

#### **3.4.2. LE PRESTATAIRE IDENTIFIERA ET ANALYSERA LES LEVIERS RÉGULATOIRES / INSTITUTIONNELS POUVANT AFFECTER LA VALEUR PROJET DU STOCKAGE POUR LES PORTEURS DE PROJET DONT :**

- Le paramétrage des offres de capacité (*prix et volumes*),
- Les couts d'accès aux réseaux (*élec et gaz*), en fonction des profils de consommation,
- La transposition des différentes Directives européennes en respect des règles communautaires de 2014 relatives aux aides d'État aux énergies renouvelables,
- La transposition des codes de réseaux européens, en France et chez nos proches voisins, pouvant impacter les conditions de raccordement aux RPD/RPT des actifs de

stockage d'électricité. Une consultation sur ce sujet des gestionnaires de réseaux sera pertinente,

- Les freins d'ordre réglementaire : sur l'autoconsommation, les tarifs d'acheminement (*injection et soutirage*),
- Le Winter package publié par la Commission européenne fin 2016, qui peut influencer le développement de nouveaux services par exemple voire de réglementation sur le stockage,
- ...

Le choix final des leviers réglementaires / institutionnels à prendre en compte dans l'étude fera également l'objet d'un arbitrage de Copil, sur proposition du prestataire.

#### 4. PRESTATIONS OPTIONNELLES (À CHIFFRER EN COMPLÉMENT ET SÉPARÉMENT)

##### 4.1. RÉALISATION D'UN BENCHMARK DES PRINCIPAUX PAYS DE DÉPLOIEMENT DU STOCKAGE D'ÉLECTRICITÉ

Ce benchmark concerne plus particulièrement les pays dont le poids des EnR dans le mix de production est important et qui ont donc déployé des solutions de stockage pertinentes.

**Dans le cadre de ce benchmark, une synthèse des différents produits/systèmes/services et marchés du stockage à l'international**, en les mettant en perspective avec le marché français, est demandée.

Ce travail reposera entre autres sur les différents enseignements (*prix/volumes/technologies*) tirés des appels d'offres de réserve rapide (« *demand/response* », « *frequency control* », etc.) lancés dans d'autres pays d'Europe (UK), aux USA, etc.

Les zones géographiques et pays à instruire dans le cadre de cette analyse sont les suivantes :

- Asie : Japon, Corée, Chine,
- États-Unis, avec un focus sur la Californie,
- Europe : Allemagne, UK, Danemark.

##### 4.2. ANALYSE DES SOLUTIONS DE FLEXIBILITÉ EN COURANT CONTINU ET PLACE DU STOCKAGE DANS CES SOLUTIONS

**Analyse des impacts possibles d'une alimentation en DC de certains appareils normalisés (TIC cf. séries de normes ITU-T L.1000, éclairage LED 12 V) à l'instar des prises normalisées DC pour les VE<sup>6</sup>.**

Une tâche de construction des scénarios / hypothèses pour cette analyse reste un élément déterminant pour en garantir la pertinence. Ces hypothèses seront bâties par les membres du Copil de l'étude.

##### 4.3. ANALYSE DE LA SECONDE VIE DES BATTERIES

---

<sup>6</sup> La plage de tension DC pour forte puissance est également normalisée au niveau mondial 260-400VDC (cf. EN 300 132-3-1 et série L.1200, et en DC UPS CEI/CENELEC), spécification « *Emerge Alliance* ».

Pour cette partie, une expertise est à mener auprès d'organismes compétents, comme par exemple sur l'analyse du vieillissement des cellules en fonction des différents aléas. Elle sera menée auprès des acteurs français de la R&D sur les batteries.

Il ne s'agit nullement de réaliser une évaluation fine de l'impact des secondes vies de batteries, mais d'analyser leur influence globale sur le scénario de déploiement de la filière stockage.

L'approche pour l'analyse de cet usage ne pourra être que plutôt d'ordre qualitatif.

#### 4.4. RÉALISATION D'A.C.V.

Mesurer l'impact sur la consommation des ressources primaires de la partie infrastructures de stockage et des rejets de chaque scénario (*minimisation*) et leur aspect environnemental en fournissant les ACV unitaires par type de technologie étudié.

#### 4.5. INTÉGRATION D'UN PÉRIMÈTRE COMPLÉMENTAIRE POUR LES ZONES ÉLECTRIQUES SENSIBLES

Il est proposé de retenir avec un cas d'étude complémentaire à bâtir, en complément des ZNI, les Zones d'électrification : Afrique, Inde par exemple.

### 5. PÉRIMÈTRES ET SCÉNARIOS DE MODÉLISATION

Une bonne maîtrise de la modélisation du mix de production en France Métropolitaine et en ZNI est indispensable pour garantir lisibilité, opposabilité, cohérence et pertinence des résultats de l'étude.

Pour le modèle proposé, il est demandé de prendre en considération :

#### 5.1. POUR LE PARC DE PRODUCTION ÉLECTRIQUE :

- Une maille France avec prise en compte des imports/exports (les hypothèses de parc pour le reste de l'Europe devront être validées avec le Copil),
- Une modélisation explicite des contraintes de fonctionnement des actifs de production ;
- Quatre scénarios d'évolution du mix énergétique proposés par RTE dans son nouveau BP 2017 pour les autres filières, dans sa dernière mise à jour par RTE<sup>7</sup>, sous réserve de leur disponibilité à la date des premières réunions de projet,
- Une construction des segments représentatifs suivant les différents profils retenus pour l'étude PEPS1 (à valider avec le Copil de l'étude lors de la première ou seconde réunion de projet),
- Pour les cas d'études à retenir sur les ZNI, les profils à caler avec le Copil, reposant sur les BP de EDF-SEI et les études « Vers l'autonomie énergétique des ZNI » de l'ADEME,

---

<sup>7</sup> D'après RTE, les scénarios du BP2017 seront à horizon 2035, et sont très riches car ils couvrent un large spectre de mix possibles relativement contrastés. Ils sont constitués de 4 scénarios structurants (hypothèses macro-économiques) eux même déclinés en centaines de sous-scénarios représentant les aléas de court-terme, notamment les aléas climatiques, de consommation et de production.

- En option comme précisé au point 4.5 ci-dessus : Zones d'électrification (Afrique, Inde par exemple),
- Pour rappel, il doit être prévu :
- Une modélisation explicite du parc de production d'électricité (Cas 1, voire 2 et/ou 3),
- La prise en compte de l'équilibre offre-demande avec la granularité temporelle pertinente,
- La prise en compte de la réserve rapide de fréquence<sup>8</sup>.

## 5.2. POUR LES ENQUÊTES SECTORIELLES :

L'étude peut prévoir la réalisation d'enquêtes sectorielles sur les différents segments à étudier et intégrer les études déjà réalisées, qui compléteront les informations disponibles fournies par l'ATEE et les membres du Copil.

Les éléments de référence, notamment en termes d'études, sont ceux cités en au paragraphe 2.1.

Pour les membres du Copil, à partir des éléments qualitatifs et quantitatifs dégagés par l'étude, il s'agira également (i) de bâtir un déroulement chronologique du développement plausible du parc d'installations, en intégrant :

- Les différentes segmentations proposées,
- L'évolution actualisée la plus probable de la filière stockage à la maille France métropolitaine et ZNI, avec la prise en compte du développement de nouveaux projets et de nouvelles technologies,
- Les scénarios « alternatifs » de l'évolution de la filière, en tenant compte des ruptures potentielles technologiques et/ou réglementaires.

Et (ii) d'établir une synthèse consensuelle de l'ensemble des résultats de l'étude en concertation avec le Prestataire.

## 6. ANNEXE – DESCRIPTIFS PROVISOIRES DE QUELQUES CAS D'ÉTUDES

Le dimensionnement des cas d'études proposés ci-après est communiqué à titre indicatif, dans le but de permettre au Prestataire d'appréhender la nature des éléments qui lui serviront à la construction de ses modèles (*simulations, modélisations réseaux, modèles d'affaire*) pour chaque cas d'étude. Ces éléments seront analysés et validés par son Copil sur proposition du prestataire. Ils devront avoir été validés par le Copil pour être étudiés, et sont donc susceptibles de modifications (*ajouts ou suppressions*).

### 6.1. CAS D'ÉTUDE N°2 : « STOCKAGE DANS LES SYSTÈMES ISOLÉS »

#### 6.1.1. OBJECTIF :

L'objectif de ce cas d'étude est de dimensionner un système isolé 100% EnR basé sur du PV, éventuellement adossé à d'autres technologies, et du stockage pour assurer la continuité de

---

<sup>8</sup> Il est proposé de prendre en compte la réserve primaire normale, sans regarder l'ensemble des réserves nécessaires à la gestion des erreurs de prévision (primaire, secondaire, tertiaire).

fourniture en électricité d'un ensemble de consommateur à coûts aussi faibles que possibles en s'inspirant du modèle de micro grid expérimental de Mafate ou des communes de l'intérieur guyanais.

- Sensibilités au micro réseau :
- Type de consommateurs reliés
- Qualité des gisements EnR
- Qualité de fourniture demandée
- Caractéristique du (ou des) technologie(s) de stockage optimisable(s)

## 6.2. CAS D'ÉTUDE N°4 : « STOCKAGE POUR L'AUTOCONSOMMATION COLLECTIVE »

### 6.2.1. PÉRIMÈTRE DE L'ÉTUDE

- Immeuble collectif urbain raccordé à un seul poste HTA/BT (4 à 6 étages),
- Localisation : région PACA,
- Surface utile (SHON RT) : 250 m<sup>2</sup> par étage, 200 m<sup>2</sup> sur le toit,
- Toute la surface utile en toiture est saturée en panneaux PV,
- Immeuble tout électrique (le chauffage et l'ECS seront alimentés par une PAC électrique centralisée),
- Immeuble certifié RT 2020 : bilan électrique annuel neutre ou positif : moins de 0 kWh/m<sup>2</sup> par an de soutirage au poste de raccordement,
- Les professionnels sont au rez-de-chaussée de l'immeuble, les résidentiels logent dans les étages supérieurs,
- Le poste HTA/BT de raccordement est asservi aux heures creuses méridiennes et le profil de l'ECS est déjà optimisé par rapport aux HC méridiennes.

### 6.2.2. PROFILS DE CONSOMMATION

- Tertiaire + résidentiel,
- Les coefficients des profils sont issus de la plateforme open data d'Enedis,
- Choix des profils :
  - PRO4-PACA-HC (tertiaire, région PACA, tarif HP/HC),
  - RES4-PACA-HC (résidentiel, région PACA, tarif HP/HC, avec HC méridiennes).

### 6.2.3. PROPOSITIONS SUR L'ORGANISATION DE L'ANALYSE

#### 6.2.3.1. PREMIÈRE ÉTAPE : ÉLABORATION D'UN SCÉNARIO DE RÉFÉRENCE POUR LE CAS D'ÉTUDE

- Il s'agit de dimensionner un cas avec autoconsommation collective sans stockage d'électricité, capable de répondre aux exigences de la RT 2020 (un bilan énergétique annuel neutre est requis),
- Un ajustement pourrait porter sur le nombre d'étages, sur la surface couverte par du PV, sur le niveau d'isolation thermique de l'immeuble et sur les performances techniques et



économiques de la PAC (il s'agit notamment du COP qui conditionne la puissance électrique de la PAC),

- Le stockage tampon de la PAC, de taille très limitée, pourrait être prise en compte lors de son dimensionnement.

#### **6.2.3.2. DEUXIÈME ÉTAPE : ÉLABORATION D'UN SCÉNARIO ALTERNATIF (AVEC STOCKAGE)**

- Un dimensionnement du stockage électrique sera réalisé afin d'optimiser les performances techniques et économiques du cas d'étude sur son périmètre local,
- Les vecteurs potentiels de l'action du stockage sont (liste non exhaustive) :
  - Optimisation des régimes de fonctionnement de la PAC entraînant l'amélioration du COP / réduction de sa puissance,
  - Contribution à l'augmentation du taux d'autoconsommation.
- Les profils de demande résidentielle et tertiaire fournis par Enedis intègrent les consommations relatives au chauffage et à la production d'ECS. Dans la mesure où le cas d'étude intègre une PAC centralisée utilisée à la fois pour le chauffage de l'immeuble et pour la production d'ECS, une adaptation des profils de consommation sera nécessaire pour y extraire la partie relative à la production d'ECS et du chauffage,
- Les contraintes potentielles liées à l'évacuation du surplus PV vers le réseau BT en dehors de l'opération d'autoconsommation collective devraient également être prises en compte,
- Prise en compte de la possibilité de raccorder les véhicules électriques ou VEHR pour assurer des fonctions de Services système ?

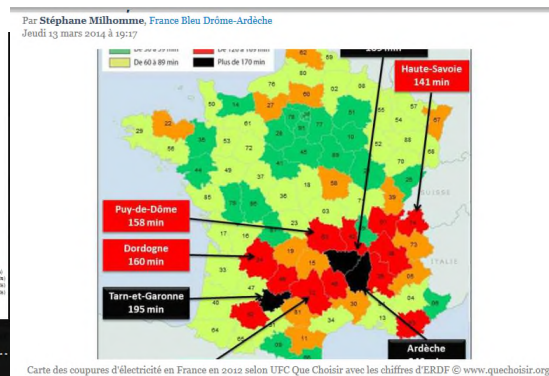
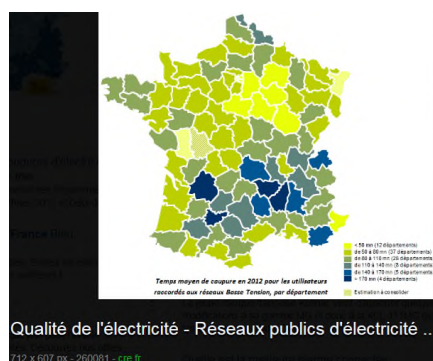
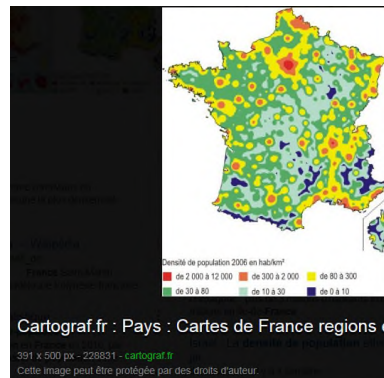
#### **6.2.4. Troisième étape : évaluation de l'impact économique de l'utilisation du stockage pour une autoconsommation COLLECTIVE AU NIVEAU DU SYSTÈME ÉLECTRIQUE FRANÇAIS**

- Un scénario de pénétration de l'autoconsommation collective dans le système électrique français à l'horizon 2035 devra être élaboré par le prestataire et validé par le Copil du projet ;
- Une prise en compte des leviers de flexibilité alternatifs sera nécessaire. Il s'agit notamment :
  - Du pilotage de la demande,
  - Des solutions de stockage centralisé,
  - De la pilotabilité des EnR,
- Dans le premier temps, l'évaluation se réalisera d'un point de vue sociétal. Seront donc analysés les impacts du stockage couplé à l'autoconsommation collective sur les principaux processus du système électrique français :
  - Équilibre offre-demande et ajustement,
  - Opération et planification des réseaux de transport et de distribution (*pour cette partie de l'évaluation, un échange avec RTE et Enedis s'avère important en vue de définir la méthode et les données nécessaires pour l'évaluation*).
- Une évaluation économique du cas d'étude d'un point de vue de promoteur de projet sera proposée dans le cas où l'intérêt économique sociétal du cas d'étude s'avère possible.

### **6.3. CAS D'ÉTUDE N°5 : « RÉSILIENCE EN RÉSIDENTIEL AVEC PV »**

#### **6.3.1. PÉRIMÈTRE DE L'ÉTUDE**

- Maison ou petite résidence de quelques appartements, raccordée à un poste HTA/BT,
- Localisation : Région Occitanie assez peu dense (< 100 habitants/km<sup>2</sup>) car besoin maximal de résilience pour certains services (dont les téléservices) – cf. carte population et 2 cartes sur les coupures réseaux électriques régionales (UFC sur base Enedis et CRE).



- Surface utile (Shon RT) : par appartement, 100 m<sup>2</sup>, > 30 m<sup>2</sup> dispo pour PV en toiture ou couverture terrasse ou au sol (selon autorisation bâtiments de France). 5 m<sup>2</sup> disponibles dans la cave pour stockage et électronique de puissance PV,
- Chauffage poêle ou chaudière bois ou réseau de chaleur village ou gaz. ECS thermique + électrique (réseau + autoconsommation PV). Option cuisine mixte bois/gaz, four électrique. Préchauffage thermique d'eau de la machine à laver et usage chaleur non électrique prioritaire pour sécher le linge,
- Immeuble pas forcément RT 2020 mais à éclairage LED intégral, et appareils domestiques TIC et électroménager au moins classe A,
- Un paramètre est l'option véhicule électrique à recharger.

### 6.3.2. PROFILS DE CONSOMMATION

- Consommation résidentielle: La grande complexité à modéliser est décrite ici [http://www.association-aristote.fr/lib/exe/fetch.php/public:seminaires:sma-slides\\_binet.pdf](http://www.association-aristote.fr/lib/exe/fetch.php/public:seminaires:sma-slides_binet.pdf).
- Pour établir la meilleure valorisation de la restitution de l'énergie stockée de type électrique, on étudiera un scénario avec différenciation des usages, certains demandant plus de résilience que d'autres. Le profil de consommation sera impacté par cette résilience sélective.
  - Le stockage alimentera les équipements TIC (box, téléphone, TV, PC, capteurs santé, ...), les systèmes permanents d'alarmes antivol, d'automatisme gestion de chauffage, d'énergie de sécurité, l'éclairage LED, les appareils de réfrigération. Un paramètre

d'optimisation peut être l'utilisation d'un réseau local faible puissance courte portée en courant continue qui évite l'onduleur synchronisé, son coût et ses coupures sécurité ou pannes,<sup>viii</sup>

- L'ECS sera produite en priorité par l'énergie renouvelable (PV ou thermique) et ne sera pas générée par le stockage électrique puisqu'il y a déjà un stockage thermique,
- Dans une option où il y aurait une cuisinière à gaz, il y aura une priorisation d'usage possible avec le four électrique (*four à micro-ondes ou pas*).

Les valeurs de moyennes de consommations des appareils à considérer TIC et électroménagers peuvent reposer sur l'étude Européenne RAMODECE ou de l'étude suivante rassemblant des données ADEM, CEREN, INSEE etc... :

<http://reseaux-chaaleur.cerema.fr/consommation-denergie-dans-les-batiments-chiffres-cles-2013>

- La consommation et la répartition sont approchées comme suit : Consommations annuelles de 5000 kWh électriques hors chauffage. La répartition peut être estimée comme suit : ECS (20-30%), éclairage LED (< 5%), cuisson et réfrigération (10-20%), TIC (10-20%), électroménagers, appareils de salle de bain, climatisation, appareils de bricolage et loisirs divers (~50%) ?
- Il faut prendre en compte les répartitions diurnes, hebdomadaires et saisonnières des consommations électriques pour définir correctement les dimensionnements PV et stockage. On peut par exemple l'estimer ainsi : éclairage et TIC 75% la nuit, consommation de réfrigération assez constante mais supérieure en été, consommation d'automates permanents, etc...

### **6.3.3. PROPOSITIONS SUR L'ORGANISATION DE L'ANALYSE**

#### **6.3.3.1. PREMIÈRE ÉTAPE : ÉLABORATION D'UN SCÉNARIO DE RÉFÉRENCE POUR LE CAS D'ÉTUDE**

Il s'agit de dimensionner des cas de référence sans stockage : il s'agirait par exemple d'autoconsommation PV en l'absence du stockage d'électricité,

On tentera de se rapprocher d'un bilan électrique annuel neutre ou positif pour la consommation électrique hors chauffage : moins de 0 kWh/m<sup>2</sup> par an de soutirage au poste de raccordement. Les hypothèses notamment de consommations et le dimensionnement sont à valider par le Copil.

#### **6.3.3.2. DEUXIÈME ÉTAPE : ÉLABORATION D'UN SCÉNARIO ALTERNATIF (AVEC STOCKAGE)**

Un dimensionnement du stockage électrique sera réalisé afin d'optimiser les performances techniques et économiques du cas d'études sur son périmètre local. Les hypothèses et ce dimensionnement devront être validées par le Copil,

Les vecteurs potentiels de l'action du stockage sont (liste non exhaustive) :

- La résilience plus ou moins sélective (TIC, éclairage, froid, automates). On n'oubliera pas dans le chiffrage de prendre en compte le coût évité de moyens locaux de secours (groupe électrogène par exemple) pour couvrir les temps de rétablissement assez longs des lignes électriques aériennes en forêt. Il faut également compter le coût évité de la perte de contenu du congélateur souvent assez élevée dans les populations agricoles,
- L'augmentation du taux d'autoconsommation,
- L'effacement sur demande,

- L'optimisation du dimensionnement du PV pour un niveau d'autoconsommation au moins égal au cas sans stockage,
- L'option d'usage d'une partie de la capacité de la batterie d'un véhicule électrique.

### **6.3.3. TROISIÈME ÉTAPE : ÉVALUATION DE L'IMPACT ÉCONOMIQUE DE L'UTILISATION DU STOCKAGE POUR UNE AUTOCONSOMMATION AVEC STOCKAGE DISTRIBUÉ AU NIVEAU DES RÉSEAUX ET DISTRIBUTIONS D'ÉNERGIES (ÉLECTRICITÉ, CHALEUR, COMBUSTIBLES)**

Un scénario de pénétration de l'autoconsommation avec stockage pour résilience d'usage dans le système électrique français à l'horizon 2035 devra être élaboré par le prestataire et validé par le Copil du projet. C'est essentiel car comme il s'agit d'usage massif de PV et stockage, les hypothèses de coûts doivent être bien justifiées car elles ont une grande influence sur la valorisation,

Une prise en compte des leviers de flexibilité alternatifs sera nécessaire. Il s'agit notamment :

- Du pilotage de l'effacement,
- De l'injection des excédents d'énergie renouvelable directe,
- D'un usage accru de capacité des batteries de véhicules électriques.

---

## **Cas ZNI**

---

Les cas d'étude détaillés ci-après visent à éclairer la filière et les décideurs sur la valeur que peut avoir le stockage dans les ZNI selon différents services rendus à un horizon courts et moyens termes. Ils s'attachent à mettre en avant les spécificités techniques et réglementaires des systèmes électriques des ZNI.

### **6.4. CAS D'ÉTUDE N°8 : « INSTALLATION INDIVIDUELLE PV+ STOCKAGE EN ZNI »**

Les informations communiquées ci-après devront bien entendu être étoffées.

- Dimensionnement 3 à 4 KWc PV + 7 à 10 KWh Stockage,
- Fonctionnalités :
  - Effacement à la pointe,
  - Sécurisation alimentation,
  - Si réinjection réglage de tension, sinon Autoproduction totale.
- Profil zone insulaire à développer en réseau dense & zone rurale.

### **6.5. CAS D'ÉTUDE N°9 : « LISSAGE LOCAL DE LA PRODUCTION ENR DANS LES ZNI »**

#### **6.5.1. OBJECTIFS**

L'objectif du présent cas est de valoriser un stockage géré « en pied d'EnR » de façon à lisser l'intermittence du parc EnR (diminution des fluctuations brusques de la production, meilleure prévisibilité, diminution des coûts de raccordement / levée de congestion induite par l'installation). Pour une ferme type de 1 MW de PV il s'agit de dimensionner l'installation de

stockage pour respecter les objectifs de diminution de l'intermittence fixés en conformité avec les AO PV+ stockage puis d'évaluer les gains systèmes afférents.

#### **6.5.2. SENSIBILITÉS AU MODE DE PILOTAGE DU STOCKAGE**

Le mode de pilotage sera réalisé selon les modalités des différents appels d'offres PV + stockage avec participation à la pointe ou non.

De façon à couvrir toutes les possibilités, il est demandé d'étudier les modes de valorisation suivants :

- Réglage de fréquence,
- Gestion des congestions,
- Lissage de productions (PV court terme quelques minutes),
- Sécurisation de l'alimentation (minimisation de l'END).

#### **6.5.3. SENSIBILITÉS AU SYSTÈME ÉLECTRIQUE**

- Prix du CO2 et des commodités
- Mix de production
- Couplage à une ferme éolienne et non PV

### **6.6. CAS D'ÉTUDE N°10 : « STOCKAGE CENTRALISÉ DANS LES ZNI »**

#### **6.6.1. OBJECTIF RECHERCHÉS :**

L'objectif est de valoriser un stockage géré de façon à minimiser les coûts de dispatch via de la fourniture de réserve rapide ou via du report de charge ou encore conjointement via les deux services. Cela nécessitera une modélisation fine du système électrique, du parc de production et de leurs règles de gestion

#### **6.6.2. SENSIBILITÉ AUX CARACTÉRISTIQUES DE STOCKAGE :**

- La durée de stock considérée sera de 30 minutes (réserve rapide), à quelques heures (arbitrage) ;
- Taille de l'installation (d'1 MW à plusieurs dizaines de MW) ;
- Rendement de l'installation.

#### **6.6.3. SENSIBILITÉS AU SYSTÈME ÉLECTRIQUE**

- Prix du CO2 et des commodités ;
- Mix de production.

## **NOTES DE FIN**

- 
- i RTE et ses partenaires du plan « Réseaux Électriques Intelligents » ont remis en juillet 2015 un rapport sur la « Valorisation socio-économique des réseaux électriques intelligents » au ministre de l'Économie, de l'Industrie et du Numérique et à la ministre de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie. Une actualisation de cette étude, qui sera publiée en 2017, restitue de nouvelles analyses menées par RTE. Elle permet d'apporter des éclairages complémentaires au rapport de juillet 2015 sur l'apport socio-économique et environnemental des solutions smart grids, notamment en analysant la robustesse des premiers résultats par des études menées pour d'autres hypothèses déterminantes (*caractéristiques des services apportés par les solutions smart grids, coûts, etc.*) et pour un autre scénario de contexte. Les fonctions avancées étudiées dans cette mise à jour concernent plus particulièrement le stockage d'électricité. Si les analyses menées sur le stockage d'électricité dans le rapport de juillet 2015 n'ont porté que sur un service très particulier réalisé par le stockage – à savoir la fourniture du réglage de réserve primaire de fréquence – ces analyses ont été complétées dans la nouvelle version avec d'autres valorisations de services système, notamment d'un point de vue de l'équilibre offre-demande (*marchés de l'énergie, services d'ajustement*) et de la gestion des réseaux de transport (*gestion des congestions, planification des renforcements*).
- ii Réalisée avec le soutien d'Enovation Partners, il s'agit de l'étude analytique des principales technologies de stockage d'énergie dans le contexte de leurs différentes utilisations, depuis les applications à grande échelle, axées sur le réseau électrique, jusqu'aux petites applications résidentielles.
- iii Cette étude évalue les options stratégiques dont dispose l'Europe pour peser dans la course aux batteries électriques, au regard des perspectives de demande pour la mobilité et le stockage stationnaire, de l'environnement concurrentiel international et des politiques de soutien à l'industrie domestique en Asie et aux Etats-Unis. Cf. lien <http://ease-storage.eu/wp-content/uploads/2017/10/EASE-EERA-Storage-Technology-Development-Roadmap-2017-HR.pdf>
- iv Éléments d'informations pouvant être intéressantes à noter sur d'autres technologies de batteries (au 1/3/2017).

Selon « Batterie 2016 Avicenne » et « AT Kearney Stationary Energy Storage Market Study 2016 », la croissance du marché des batteries Lithium-ion est la plus grande en valeur relative car elle inclut les véhicules électriques et les objets portables, mais en valeur absolue le marché des batteries plomb-acide croît davantage et essentiellement en usage stationnaire particulièrement dans les centrales d'énergie virtualisées, centralisées ou distribuées (*virtual power plant*). Selon DOE, Avicenne et AT Kearney, Actuellement, il y a au niveau mondial 484 projets soit 2 GW de stockages connectés installés (*4 MW/projet*) en électromécanique et électrochimique. Sont prévus quelques 236 projets, soit 1,6 GW de plus (*6MW/projet*). Ceci hors stockage résidentiels, véhicules électriques et sites isolés. Hors hydraulique (90%), les autres stockages croitraient de 155 (2015) à 217-277 GWh (2025). Le back-up Telecom IT représente les 135 à 214 GWh soit les 3/4 (donc seulement 55 GWh de nouveaux ESS en 2025). La partie batterie pour sites isolés représente 25% des batteries dans le cas d'Orange (*0,25 GWh en plomb ouvert à 40-45°C durée de vie 10-12 ans*). À noter que le marché batteries des VE est bien plus grand 50 GWh (*1 million de VE*) en 2015 qui passerait à 400 GWh en 2025 (*10 M VE*), - bus en LFP ou LTO, voitures en Li plus dense (NCA, NMC, ...). On constate que les solutions Nickel sont toujours présentes car très fiables et de TCO très intéressant : 100 000 sites NiCd SAFT de 15-20 ans d'âge

---

aux USA, nouvelles batteries NiMH et bientôt NiZn plus green et également longue durée de vie et large plage de température ?

À plus long terme, le Zinc-air et peut-être d'autres métal-air seraient également un bon choix Tech-Eco-green.

- v Dans le cadre de l'élaboration du bilan prévisionnel et de leur étude REI, l'expertise par RTE de la filière stockage par batteries à technologie « Li-ion moyen » a été très approfondie. Reconduire les résultats de ces études n'est pas demandé dans la présente étude PEPS4. Il s'agit surtout de les mettre en perspective dans l'étude PEPS4.

Il n'est donc pas recommandé de se focaliser sur la seule filière Li-ion en évitant soigneusement de reconduire l'étude menée par RTE sur cette filière. Bien que majoritairement déployée à ce jour, avec près des 4/5<sup>ème</sup> des projets existants ou nouveaux, cette technologie doit être utilement étudiée en couplage avec d'autres technologies, notamment les batteries Pb-acide, les batteries à flux et les batteries métal/air.

vi En dehors des Capex et Opex, d'autres considérations sur l'évolution des coûts peuvent être prises. Pour le P2G par exemple, ces éléments sont bien au-delà des autres technologies mais elle peut émerger :

- Pour des raisons de services sur le réseau électrique – c'est l'orientation de l'étude PEPS-
- Pour des raisons d'une trajectoire gaz (CH<sub>4</sub>) renouvelable (le P2G vient compléter les moyens moins onéreux : méthanisation et gazéification). Cette dernière peut être renforcée par l'existence d'une mobilité gaz (au sens large i.e. CH<sub>4</sub> et H<sub>2</sub>).

Avec ces technologies, c'est l'intégralité du système (réseau électrique, réseaux gaz, usages) qu'il faut prendre en compte : taxe carbone, effets indirects.

En exemple d'effet indirect, l'injection d'hydrogène dans les réseaux de gaz à hauteur de 7% en énergie permet d'améliorer le rendement des chaudières à condensation de 7 à 8% et de réduire les émissions.

Enfin, le P2G apporte une valeur ajoutée importante au système électrique en termes de rentabilité, en particulier dans le cas d'une forte proportion d'EnR aux coûts marginaux nuls.

- vii Dont l'étude Lazare, avec des réserves devant être prises en compte dans le cadre de l'analyse de cette étude :

L'analyse des LCOS (*coût global actualisé sur la durée de vie de la capacité de stockage*) est à aborder avec une très grande précaution. Il est par exemple illusoire de l'utiliser pour comparer le stockage aux centrales thermiques conventionnelles.

De manière générale, le LCOS ne peut convenir que pour comparer deux solutions de stockage fournissant les mêmes services. Une approche générale doit consister à modéliser les impacts des différentes solutions de stockage sur le fonctionnement des systèmes électriques (*équilibre global, sécurité d'approvisionnement, investissements dans les infrastructures et dans les parcs...*). Cette dernière approche a été pratiquée dans l'étude PEPS-1 pour certains services (arbitrage, valeur capacitaire, réserve rapide), qu'il conviendra de compléter dans le cadre de la présente étude par de nouveaux services à forte valeur ajoutée, dont par exemple : réserve de fréquence, autoconsommation.

---

À noter que les données sur les CAPEX et les OPEX du stockage utilisées dans l'étude Lazard pourront bien entendu être considérés parmi d'autres sources lors de la mise à jour du référentiel technologique.

In fine, cette étude pourrait être relativement difficile à exploiter compte tenu du foisonnement des données qu'elle contient.

<sup>viii</sup> Série de normes ITU-T L.1000 pour les petits appareils TIC fonctionnant en tension très basse (*mobile, tablette, PC portable*) et série de norme ITU-T L.1200 pour les plus gros appareils par exemple variateur de moteur d'appareils de froid ou adaptateur pour PC, TV, micro serveur, etc... pouvant accepter une entrée entre 260 et 400VDC souvent universel (*DC et AC sur la prise normalisée IEC – il s'agit souvent de la prise Anderson Power Dsafe à format similaire à l'IEC 320*).