

Service Electricité Renouvelable et Réseaux
Direction Bioéconomie et Energies Renouvelables

C.C.T.P

Cahier des Clauses Techniques Particulières

RACCORDEMENT DES PRODUCTEURS : ETUDE DE LA MODULARITE DES COURBES DE PRODUCTION EOLIEN ET PV POUR LA MUTUALISATION DES INVESTISSEMENTS DE RACCORDEMENT AU RESEAU

TABLE DES MATIERES

1. Éléments de contexte.....	3
1.1. Les activités de l'ADEME	3
1.2. Contexte de l'étude	3
2. Les attentes de l'ADEME vis-à-vis de la prestation à réaliser	5
2.1. Finalités et objectifs	5
2.2. Périmètre et cibles de la prestation.....	7
2.2.1. Cas d'étude 1.1 et 1.2 : Optimisation des parcs hybrides éolien + PV.....	7
2.2.2. Cas d'étude 2.1 et 2.2 : Apport d'une solution de stockage.....	9
2.2.3. Cas d'étude 3.1 : Optimisation à l'échelle du réseau local	9
2.2.4. Cas d'étude 3.2 : Sensibilité sur le talon de consommation.....	10
2.2.5. Cas d'étude 4.1 : Sensibilité sur la puissance limite d'injection	10
2.3. Détail de la prestation attendue	11
2.4. Exigences particulières	14
2.4.1. Exigence technique pour favoriser la circulation des données et du savoir	14
3. Organisation et pilotage de la prestation	16
3.1. Encadrement et suivi de la prestation	16
3.2. Calendrier de réalisation des prestations.....	17
3.2.1. Durée du marché.....	17
3.2.2. Rapports à remettre à l'ADEME	17

1. Éléments de contexte

1.1. Les activités de l'ADEME

L'ADEME EN BREF

Au cœur des missions qui lui sont confiées par le ministère de la Transition écologique, le ministère en charge de l'Energie et le ministère en charge de la Recherche, l'ADEME - l'Agence de la transition écologique – partage ses expertises, assure le financement et l'accompagnement de projets de transformation dans des domaines variés : énergie, économie circulaire, décarbonation de l'industrie, mobilité, bâtiment, qualité de l'air, consommation et production responsables, alimentation durable, bioéconomie, gestion des sols, adaptation au changement climatique et transition juste.

L'ADEME mobilise les citoyens, les entreprises et les territoires pour les aider à progresser vers une société plus sobre en carbone et économe en ressources. Résolument engagée dans la lutte contre le changement climatique et la dégradation des ressources, elle conseille, facilite et soutient les initiatives, de la recherche à la diffusion des solutions.

Établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC), l'ADEME met également ses capacités d'expertise et de prospective au service des politiques publiques.

www.ademe.fr

1.2. Contexte de l'étude

L'ADEME agit en faveur du développement des énergies renouvelables (EnR), des réseaux et des solutions de stockage de l'énergie afin de contribuer à la réduction des émissions de gaz à effet de serre produites par les énergies fossiles ainsi qu'à l'indépendance énergétique française.

La transition énergétique a pour objectif la réduction des consommations énergétiques, la décarbonation de l'économie et un renforcement de la souveraineté énergétique du pays. C'est dans ce sens que **le gouvernement a publié le 23 avril 2026 le plan d'électrification des usages** comportant 22 mesures autour de 4 secteurs phares : le transport, le logement, l'industrie et le numérique¹. L'électricité est ainsi amenée à prendre une part croissante dans la consommation énergétique.

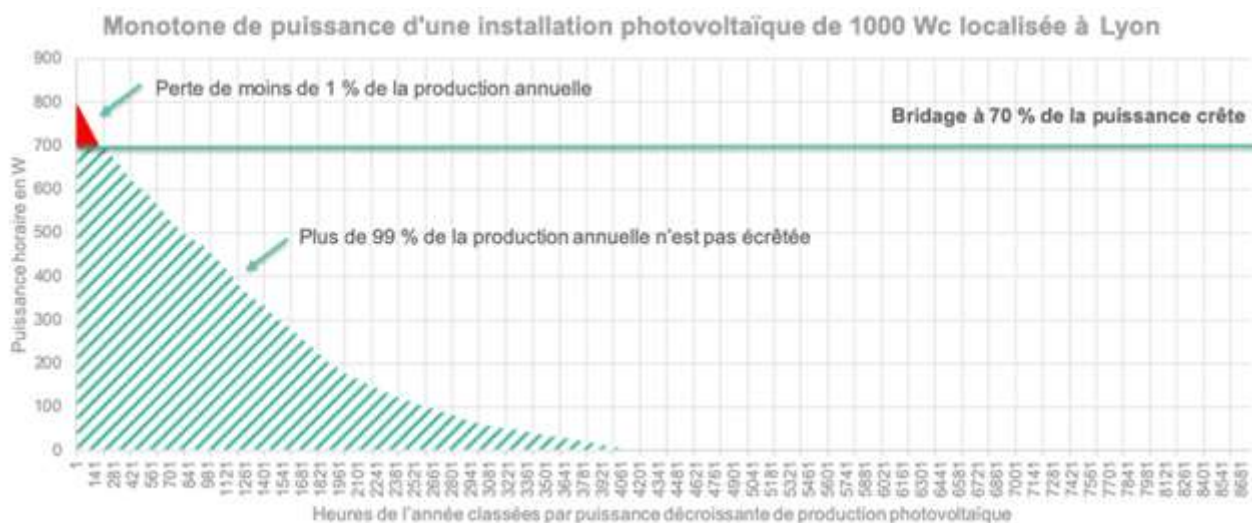
Dans ce contexte, le système électrique est en forte mutation, tant du côté de la production, avec le déploiement de nouvelles capacités décarbonées, que de la consommation, avec le déploiement de nouveaux usages électriques tels que les pompes à chaleur (PAC), les véhicules électriques (VE), ou encore les batteries. Cette transformation du système électrique, déjà engagée, est amenée à se poursuivre dans les prochaines décennies. Elle s'accompagne d'un

¹ Présentation du plan d'électrification des usages <https://www.economie.gouv.fr/actualites/presentation-du-plan-delectrification-des-usages#>

besoin de développement et de renforcement des réseaux demandant **un investissement conséquent**. RTE a dévoilé en 2025 un plan d'investissement de 100 milliards d'€ d'ici 2040 destiné à moderniser, renforcer, entretenir et adapter le réseau de transport d'électricité². Enedis prévoit un programme total de 96 milliards d'€ d'ici 2040 sur le réseau de distribution.

L'intégration des centrales de production d'origine renouvelable au réseau est nécessaire à la réussite de la décarbonation par l'électrification et l'augmentation des consommations. Elle se voit ralentie par les besoins d'investissements sur le réseau pour permettre leur raccordement. Selon le SDES (statistique publique de l'énergie, des transports, du logement et de l'environnement), la file d'attente des projets de production d'énergie renouvelable en attente d'un raccordement est au 31 mars 2026 de 53,1 GW (36,1 GW pour le solaire photovoltaïque³ et 17GW pour l'éolien⁴), dont 11 GW avec une convention de raccordement signée.

Par ailleurs, une fois le parc de production raccordé au réseau et en fonctionnement, la variabilité de sa production fait que la pleine capacité d'utilisation du réseau construit n'est que rarement atteinte. En effet la puissance de raccordement est alignée sur la puissance installée de la centrale de manière à dimensionner le réseau sur le pic de production de celle-ci. Pour prendre l'exemple du solaire par exemple, près de la totalité de l'énergie est produite à une puissance inférieure à 70% de la puissance nominale de l'installation (graphique ci-dessous⁵) :



Les derniers mégawatts raccordés, pour répondre aux pics de production, sont donc marginalement utilisés et représentent une perte économique pour le réseau et pour les producteurs. Pour augmenter l'utilisation en capacité d'injection du réseau, il est possible d'ajouter au sein de la centrale des technologies de production complémentaires (coupler éolien et photovoltaïque par exemple) et/ou des solutions de stockages (type batterie par exemple) pour

² Présentation de la stratégie de transformation du réseau de transport d'électricité à l'horizon 2040 <https://www.rte-france.com/actualites/plan-strategique-developpement-reseau-transport-electricite-horizon-2040>

³ Tableau de bord du solaire photovoltaïque <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/publicationweb/823>

⁴ Tableau de bord de l'éolien <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/publicationweb/822>

⁵ Source : www.photovoltaique.info

restituer de l'énergie écrêtée pendant des périodes de moindre production de la centrale. **On parle alors de parcs hybrides.**

L'hybridation des parcs de production apparaît ainsi comme une solution intéressante pour raccorder à une puissance inférieure à la puissance installée totale grâce à la complémentarité des courbes de production et/ou à l'apport de la solution de stockage, permettant ainsi de limiter les coûts de raccordement et d'optimiser l'exploitation des infrastructures réseaux tout en limitant les écrêtements de production.

Dans son avis d'experts sur la flexibilité du système électrique⁶ publié en mars 2024, l'ADEME avait préconisé de revoir le code de l'Energie pour dissocier puissance raccordée et puissance installée afin d'accélérer le déploiement des nouvelles capacités renouvelables. Plus récemment, la mission d'appui sur « l'optimisation du soutien public aux énergies renouvelables et au stockage » confiée à Monsieur Jean-Bernard Lévy et Monsieur Thierry Tuot, dont le rapport⁷ a été publié en avril 2026, a recommandé de « *réévaluer à la hausse la limite de 17 MW pour la somme des puissances respectives injectables depuis les EnR et les batteries dans les installations « hybrides » raccordées en mode HTA* ».

Les évolutions réglementaires prévues avec l'assouplissement des contraintes de niveau de tension pour le raccordement en HTA des sites hybrides production + stockage vont permettre d'étudier le potentiel technique d'hybridation de différentes sources de production pour la mutualisation des infrastructures de réseau.

Enfin l'objectif est également d'**anticiper les opérations de repowering des centrales existantes**, ciblées comme priorité dans la PPE3. Il s'agit de pouvoir exploiter le réseau déjà construit tout en permettant de gagner en capacité de production pour une même surface de panneaux ou nombre de mats grâce aux gains de performance des filières. Une analyse de France Renouvelables de 2024 concluait qu'à l'horizon 2030, le repowering éolien permettrait d'augmenter de 2.7GW la capacité en opération, et de 10.1GW à l'horizon 2040.

2. Les attentes de l'ADEME vis-à-vis de la prestation à réaliser

2.1. Finalités et objectifs

Dans un contexte d'augmentation de la file d'attente des raccordements des projets de production d'énergie renouvelable et de l'enjeu relatif à l'électrification des usages, l'étude vise à étudier la superposition des courbes de production de l'éolien et du solaire photovoltaïque afin de définir un optimum technique et économique de la mutualisation des investissements pour le raccordement sur le réseau HTA des sites de production.

⁶ Avis d'experts – Flexibilité du système électrique, ADEME, 03/2024 <https://bibliothèque.ademe.fr/energies/6962-avis-d-experts-flexibilite-du-systeme-electrique.html>

⁷ Optimisation du soutien public aux énergies renouvelables et au stockage - Mission d'appui, 04/2026
<https://www.economie.gouv.fr/cge/optimisation-du-soutien-public-aux-energies-renouvelables-et-au-stockage-mission-dappui-avril-2026>

L'objet de l'étude consiste à étudier la variabilité des productions éolien et PV pour modéliser leur foisonnement dans les flux transitant au point de raccordement et dans le réseau. En faisant varier les configurations de capacités installées des différentes technologies de production (éolien onshore, PV orienté Sud et PV orienté Est/Ouest), tout en respectant les règles d'injection en puissance dans le réseau, les résultats des modélisations permettront de définir **un potentiel technique de mix de production permettant de maximiser le productible et l'utilisation des capacités de transit du réseau.**

Il sera pris en compte dans le calcul de ce potentiel technique l'optimisation économique dans le but de garder une balance positive entre les gains réalisés sur les investissements réseau pour une même puissance installée (par rapport à une situation de référence avec 2 parcs et 2 raccordements séparés) et les pertes de production liées aux besoins d'écrêttements supplémentaires par la mutualisation des capacités. Le résultat de l'optimisation devra présenter **des gains pour la collectivité** et non pas pour un acteur spécifique (producteur ou gestionnaire). Le prestataire **proposera une méthodologie de calcul de l'optimisation économique** détaillant les bénéfices et les pertes ainsi qu'une estimation des coûts évités et évités tels que les coûts de raccordement au réseau évités. La méthodologie sera validée avec les membres du comité de pilotage lors la réunion intermédiaire se tenant à T0 + 2 mois (cf. partie 3.1).

Selon une variété de cas d'étude (cf. partie 2.2), il sera ainsi étudié dans un premier temps l'optimisation technique et économique à l'échelle d'un parc de production, c'est à dire au point de raccordement d'un site hybridé (éolien + PV).

Il sera étudié dans un second temps l'échelle « locale » ou « poste source » afin de s'intéresser au foisonnement entre des parcs raccordés sur une même infrastructure réseau et de définir un mix de production local permettant d'optimiser les capacités réseau.

Il ne sera en revanche pas étudié le réseau amont.

Il sera également étudié l'apport d'une solution de stockage dans l'optimisation technique et économique des parcs hybrides (éolien + PV).

L'étude sera régionalisée de manière à prendre en compte la diversité des profils de productions et la diversité des climats rencontrés sur le territoire métropolitain.

Il ne sera pas reconsidéré la limite d'injection fixée à 17 MW sur le réseau HTA dans les modélisations, hors étude de sensibilité spécifique (cf. partie 2.2.5). Les modélisations prendront ainsi en considération un dispositif de bridage au point de raccordement pour respecter les limites d'injection. En revanche il ne sera pas non plus considéré de plafond pour la somme des puissances installées sur un site hybride.

2.2. Périmètre et cibles de la prestation

Les cibles de l'étude sont les **producteurs d'électricité d'origine renouvelable** pour le développement et le dimensionnement de parcs hybrides éolien et PV, les **pouvoirs publics** pour l'élaboration de plans d'investissements et schémas de développement des capacités réseaux, et les **gestionnaires de réseau** pour l'évaluation du potentiel de mutualisation de capacité à l'échelle d'un parc hybride.

L'étude s'intéresse à la complémentarité des courbes de production des parcs éolien et des centrales photovoltaïques de manière à étudier leur mutualisation sur un même point de raccordement ou sur un même réseau local.

La prestation vise à étudier l'optimisation des productions hybrides (éolien + PV) selon les cas d'étude suivants :

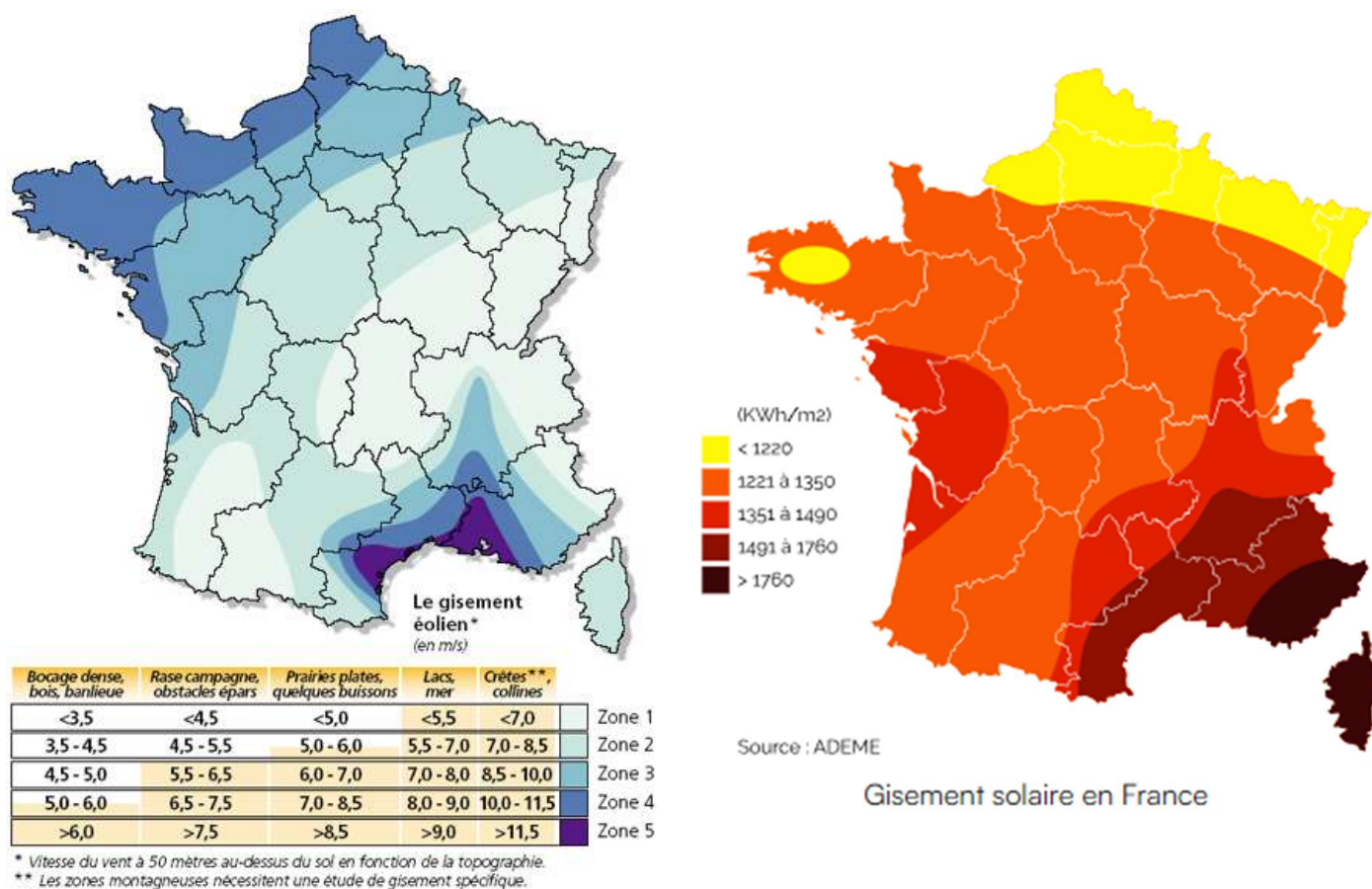
2.2.1. Cas d'étude 1.1 et 1.2 : Optimisation des parcs hybrides éolien + PV

Il sera donc étudié dans un premier temps une optimisation à l'échelle « **parc de production** ». L'optimisation s'effectue au niveau d'un unique point de raccordement au réseau d'un site hybridé (éolien + PV). Deux méthodologies d'optimisation seront considérées :

- **L'optimisation des capacités installées** (cas d'étude 1.1) : dans ce cas on considère une puissance d'injection maximale de 17 MW, il sera étudié **différentes configurations de puissances installées sur la parcelle** (éolien onshore, PV orienté Sud et PV orienté Est/Ouest) de manière à **optimiser l'énergie produite sans que les coûts d'énergie écrêtée ne soient supérieurs aux coûts évités** (second raccordement)
- **Le complément de production** (cas d'étude 1.2) : dans ce cas on considère un parc existant avec une puissance installée (par exemple PV seul) égale à la puissance raccordée de 17 MW, il sera étudié le potentiel de complément apporté par l'hybridation du parc en installant une autre source de production (éolien dans notre exemple) sur le même point d'injection sans modifier le réseau. L'objectif est à nouveau d'**optimiser l'énergie produite sans que les coûts d'énergie écrêtée ne soient supérieurs aux coûts évités** (second raccordement).

Pour le nombre de modélisation à réaliser pour traiter ces cas d'étude, le prestataire s'appuiera sur des parcs représentatifs des technologies et des zones climatiques métropolitaines de manière à régionaliser les résultats de l'étude selon les gisements de production des centrales renouvelables.

Cartes des potentiels éolien terrestre et photovoltaïque en France métropolitaine (source ADEME)



Pour le cas d'étude 1.1 (optimisation des capacités installées à l'échelle d'un parc), il faudra considérer la diversité des courbes de production dans les différentes filières en différenciant côté éolien, les parcs installés en plaine de ceux installés sur crêtes ou collines, et côté PV les parcs orientés sud des parcs orientés est/ouest. En combinant ces typologies cela donne **4 configurations différentes** à étudier sur a minima **9 zones géographiques représentatives** permettant de combiner potentiels bas, moyen et haut des gisements solaire et éolien, soit un **total de 36 modélisations**.

Pour le cas d'étude 1.2 (complément de production en hybridant un parc existant), il faudra considérer **2 configurations** initiales :

- un parc éolien de 17MW de capacité installée sur lequel on étudie la possibilité d'ajouter de la production PV
- un parc solaire de 17MW de capacité installée sur lequel on étudie la possibilité d'ajouter de la production éolienne

Ces 2 configurations seront étudiées sur **4 zones géographiques représentatives** de gisements contrastés entre les filières : gisement éolien haut et gisement PV haut, gisement éolien bas et gisement PV bas, gisement éolien haut et gisement PV bas, gisement éolien bas et gisement PV haut. Cela donne un **total de 8 modélisations** pour ce cas d'étude.

Le prestataire indiquera les requis sur l'aspect foncier pour l'installation d'une nouvelle centrale de production sur la parcelle déjà exploitée par la centrale existante.

2.2.2. Cas d'étude 2.1 et 2.2 : Apport d'une solution de stockage

A la suite de ces modélisations, il sera également étudié **l'apport d'une solution de stockage pour l'optimisation des flux**. Le stockage sera considéré comme raccordé « post point de coupure », donc sur le même point de raccordement que le parc étudié. Les revenus supplémentaires d'optimisation économique du cyclage des batteries installées sur les différents marchés de l'électricité ne seront pas étudiés dans les recettes potentielles. Ainsi l'unité de stockage sera considérée comme 100% dédiée à l'optimisation des capacités transitées au point de raccordement

Sur **18 des modélisations du cas d'étude 1.1** présentant des résultats moins favorables compte tenu de besoins d'écrêtement importants, proposées par le prestataire pour décision avec les membres du COPIL d'études lors de la réunion intermédiaire se tenant à T0 + 6 mois (cf. partie 3.1), il sera **réétudié différentes configurations de puissances installées** (éolien en plaine, éolien sur crêtes ou collines, PV orienté Sud, PV orienté Est/Ouest et stockage) de manière à **optimiser l'énergie produite sans que les coûts d'investissement en actifs** (production + stockage) **ne soient supérieurs aux recettes de la production supplémentaire**. Pour ces nouvelles modélisations il sera toujours respecté la limite de puissance d'injection maximale des actifs considérés et aura pour objectif de définir une **optimisation des capacités installées à l'échelle d'un parc hybride avec stockage** (cas d'étude 2.1).

De même sur **4 des modélisations du cas d'étude 1.2** présentant des résultats moins favorables compte tenu de besoins d'écrêtement importants, proposées par le prestataire pour décision avec les membres du COPIL d'études lors de la réunion intermédiaire se tenant à T0 + 6 mois, il sera réétudié le **potentiel de complément de production lors de l'hybridation d'un parc existant avec installation d'une solution de stockage complémentaire** (cas d'étude 2.2).

2.2.3. Cas d'étude 3.1 : Optimisation à l'échelle du réseau local

L'optimisation s'effectue pour ce cas d'étude sur une infrastructure de réseau accueillant plusieurs parcs de productions diverses. L'objectif est d'étudier le foisonnement entre des parcs raccordés sur un même départ HTA ou sur un même poste source pour mutualiser les capacités. On considérera dans les modélisations que ces différents parcs sont équipés de dispositif de bridage permettant, d'une part de respecter individuellement la limite d'injection de 17 MW à la pointe, et d'autre part d'être commandable à distance pour ajuster la consigne d'injection pour répondre aux besoins d'écrêtements supplémentaires demandés par l'optimisation des capacités.

Parallèlement à cette étude est menée par Enedis l'expérimentation REFLEX, qui consiste à mettre en œuvre des flexibilités pour augmenter les capacités en injection sur les postes sources et vise à un dimensionnement optimisé des ouvrages mutualisés dans le cadre des Schémas Régionaux de Raccordement au Réseau des Energies Renouvelables (S3REnR).

L'objectif de ce cas d'étude n'est pas d'appliquer des flexibilités sur des parcs existants pour dégager de nouvelles capacités de raccordement, mais bien de définir, pour les **9 zones géographiques représentatives des différents gisements rencontrés**, le mix de production entre les différentes typologies de production (éolien en plaine, éolien sur crêtes ou collines, PV orienté Sud, PV orienté Est/Ouest) permettant d'optimiser les capacités du réseau, sans que les investissements complémentaires en actifs de production installés ne soient supérieurs aux gains de production.

2.2.4. Cas d'étude 3.2 : Sensibilité sur le talon de consommation

Sur la base des résultats du cas d'étude 3.1, le prestataire proposera **2 profils de consommation** sur une année de référence (un profil moyen actuel et un profil prospectif faisant appel à plus de flexibilité sur la consommation), s'appliquant à la maille d'un poste source sur lequel sont raccordés plusieurs parcs de production diverse.

Sur les **4 zones géographiques représentatives de gisements contrastés entre les filières** (gisement éolien haut et gisement PV haut, gisement éolien bas et gisement PV bas, gisement éolien haut et gisement PV bas, gisement éolien bas et gisement PV haut), le prestataire définira à nouveau un mix de production entre les différentes typologies de production (éolien en plaine, éolien sur crêtes ou collines, PV orienté Sud, PV orienté Est/Ouest) permettant d'optimiser les capacités du réseau en tenant compte des consommations sur celui-ci, soit un **total de 8 modélisations**.

Les 2 profils de consommation étudiés seront validés avec le comité de pilotage lors la réunion intermédiaire se tenant à T0 + 8 mois (cf. partie 3.1).

2.2.5. Cas d'étude 4.1 : Sensibilité sur la puissance limite d'injection

L'ADEME a mené une évaluation technico-économique de l'ajout d'un palier 33kV pour le raccordement des énergies renouvelables⁸, qui a permis de mettre en avant des économies de coûts de développement de réseau pour l'intégration de nouveaux producteurs. Ce palier technique, s'il venait à être adopté, aurait pour impact de permettre de réévaluer les limites d'injection sur le réseau HTA jusqu'à 30MW.

Le prestataire proposera de s'appuyer sur **4 des modélisations réalisées pour le cas d'étude 1.1** (couvrant les 4 configurations techniques possibles), et refera le calcul d'optimisation technique et économique en considérant **une limite d'injection au point de raccordement du parc hybride de 30MW**.

⁸ <https://librairie.ademe.fr/energies/8761-evaluation-technico-economique-de-l-ajout-d-un-palier-33kv-pour-le-raccordement-des-energies-renouvelables.html>

2.3. Détail de la prestation attendue

Pour la construction de l'ensemble des cas d'étude présentés dans la partie 2.2, le prestataire s'appuiera de préférence sur des données réelles et sera responsable de la collecte des données de production sur une année complète auprès des producteurs d'électricité renouvelable. Il pourra bénéficier de l'appui des membres du comité de pilotage pour la mise en relation et l'appui de la démarche scientifique auprès des acteurs de la filière. A cet effet, la FNCCR organisera la possibilité d'accéder à l'ensemble de ses adhérents (Autorité Organisatrice de Distribution d'Énergie ainsi que les SEM productrices d'énergies renouvelables).

L'étude de la modularité des courbes de production éolien et PV pour la mutualisation des investissements de raccordement au réseau réalisée par le prestataire comprend les prestations suivantes.

1. Revue bibliographique des études sur l'hybridation des parcs EnR

Dans l'étude d'opportunité de lancer ces travaux sur l'intérêt de la mutualisation des productions pour optimiser et accélérer le raccordement des centrales renouvelables, l'ADEME s'est appuyée sur plusieurs publications scientifiques et économiques sur le sujet.

Parmi celles-ci figurent :

- Le rapport sur la préparation des réseaux électriques européens à la transition énergétique par Beyond Fossils Fuels avec la collaboration de l'Institute for Energy Economics and Financial Analysis⁹. Ce rapport, publié en mai 2025, fait état d'une liste d'attente pour le raccordement des productions EnR en France de 39 GW et un coût des écrêtements de 272 M€, soit 1700 GWh d'écrêtement PV + Éolien en 2024.
- La publication scientifique de l'IEEE de juin 2025 sur la complémentarité PV et éolien aux États Unis¹⁰, pour lesquels l'étude croisée des productions permet de réduire la variabilité.
- Le rapport de SolarPower Europe sur les bénéfices de l'hybridation des systèmes PV¹¹, qui fait état de 555 MW de capacité hybride PV + éolien installés en Europe à la fin 2024.
- La note de la Commission de Régulation de l'Énergie (CRE) du 05 mars 2026 sur le développement des installations couplant solaire photovoltaïque de plus de 100 kWc et stockage stationnaire¹². Cette note développe l'étude d'opportunité de gain pour le système en cas de rémunération spécifique pour les projets hybrides sur l'hypothèse d'un projet disposant d'une batterie d'une puissance installée correspondant à 50 % de celle de l'installation PV et d'une capacité de stockage de 2 heures.

⁹ https://beyondfossilfuels.org/wp-content/uploads/2025/05/REPORT_FINAL.pdf

¹⁰ <https://www.solaranywhere.com/wp-content/uploads/2025/08/On-the-Complementary-Variability-of-the-Solar-and-Wind-Resources.pdf>

¹¹ https://api.solarpowereurope.org/uploads/0525_SPE_Hybrid_PV_report_hr_10_53895d7972.pdf?updated_at=2025-03-28T13:04:41.393Z

¹² https://www.cre.fr/fileadmin/Documents/Rapports_et_etudes/2026/260305_Note_PV_Stockage.pdf

La revue bibliographique permettra de référencer et synthétiser les rapports d'études économiques et techniques permettant de juger de la pertinence de l'hybridation des parcs de production pour leur raccordement au réseau.

La revue bibliographique sera livrée aux membres du comité de pilotage pour la réunion intermédiaire se tenant à T0 + 2 mois.

2. Benchmark des solutions existantes

Sur la base de retours d'expériences de projets en exploitation, le prestataire devra également réaliser un benchmark de la manière dont sont optimisées les capacités de production, et des installations de stockage le cas échéant, des parcs hybrides éolien + PV, et la manière dont les gestionnaires prennent en compte la mutualisation des gisements de production des centrales renouvelables dans le dimensionnement des installations de raccordement au réseau sur les échelles d'étude du présent marché (échelle « parc de production » et échelle « locale » ou « poste source »).

Le prestataire se limitera à 3 exemples de sites hybrides éolien + PV dans 3 pays distincts.

Le benchmark des solutions existantes sera livré aux membres du comité de pilotage pour la réunion intermédiaire se tenant à T0 + 2 mois.

3. Etude technique et économique sur le potentiel de mutualisation des sources de production pour l'optimisation des parcs hybrides (PV + éolien)

Le prestataire proposera une méthodologie de construction des cas d'étude de manière à couvrir la diversité des profils de productions (éolien onshore, PV orienté Sud et PV orienté Est/Ouest) et la diversité des climats rencontrés sur le territoire métropolitain (potentiels bas, moyen et haut des gisements solaire et éolien).

L'ensemble des cas d'études seront validés avec le comité de pilotage lors de la réunion intermédiaire se tenant à T0 + 2 mois (cf. partie 3.1).

Sur la base de relevés de courbes de production de parc éolien et PV dans des zones climatiques représentatives permettant de croiser gisement éolien (en testant 2 typologies d'implantation) et solaire (en testant 2 configurations d'orientation des panneaux), le prestataire présentera de manière régionalisée le potentiel technique d'optimisation des capacités installées pour un parc hybride (modélisations du cas d'étude 1.1) et le potentiel de complément de production par l'hybridation d'un parc existant (modélisations du cas d'étude 1.2).

Ces potentiels techniques répondront à une optimisation économique garantissant une balance positive entre les gains réalisés sur les investissements réseau et les pertes de production liées aux besoins d'écarterements supplémentaires.

Les résultats de l'étude technique et économique sur le potentiel de mutualisation des sources de production pour l'optimisation des parcs hybrides (PV + éolien), établis sur la base des modélisations des cas d'étude 1.1 et 1.2, seront livrés aux membres du comité de pilotage pour la réunion intermédiaire se tenant à T0 + 6 mois.

4. Apport d'une solution de stockage

Le prestataire reprendra une partie des modélisations des cas d'étude 1.1 et 1.2 en ajoutant une solution de stockage type batterie rendant un service d'optimisation de la production.

Les modélisations seront actualisées de manière à tester de nouvelles configurations de puissances installées en ajoutant des capacités de stockage sans adaptation du réseau pour son raccordement. L'optimisation économique devra prendre en compte en variable complémentaire les gains réalisés sur la production supplémentaire et les coûts d'investissement en actifs (production + stockage).

L'ensemble des cas d'études seront validés avec le comité de pilotage lors de la réunion intermédiaire se tenant à T0 + 6 mois.

Les résultats de l'apport du stockage pour l'optimisation des parcs hybrides (PV + éolien), établis sur la base des modélisations de ces nouveaux cas d'étude 2.1 et 2.2, seront livrés aux membres du comité de pilotage pour la réunion intermédiaire se tenant à T0 + 8 mois.

5. Etude technique et économique sur le mix de production permettant d'optimiser les capacités du réseau local

Le prestataire proposera une méthodologie de construction des cas d'étude de manière à couvrir la diversité des profils de productions et la diversité des climats rencontrés sur le territoire métropolitain (potentiels bas, moyen et haut des gisements solaire et éolien).

Sur la base de relevé de courbes de production de parc éolien et PV dans des zones climatiques représentatives, le prestataire présentera de manière régionalisée le mix de production entre les différentes typologies de production (éolien en plaine, éolien sur crêtes ou collines, PV orienté Sud, PV orienté Est/Ouest) permettant d'optimiser les capacités du réseau, sans que les investissements complémentaires en actifs de production installés ne soient supérieurs aux gains de production.

Les résultats de l'optimisation du mix de production pour l'exploitation des capacités du réseau local, établis sur la base des modélisations de ce cas d'étude 3.1, seront livrés aux membres du comité de pilotage pour la réunion intermédiaire se tenant à T0 + 8 mois.

6. Etudes de sensibilité

Le prestataire mènera 2 études de sensibilité :

- Le cas d'étude 4.1 sur l'ajout d'un talon de consommation dans les modélisations du cas d'étude 3.1 sur l'optimisation du mix de production pour l'exploitation des capacités du réseau local
- Le cas d'étude 4.2 sur la réévaluation à 30MW de la limite d'injection au point de raccordement des parcs hybrides dans les modélisations du cas d'étude 1.1

L'ensemble des cas d'études seront validés avec le comité de pilotage lors de la réunion intermédiaire se tenant à T0 + 8 mois.

Les résultats des 2 études de sensibilité, établis sur la base des modélisations de ces nouveaux cas d'étude 4.1 et 4.2, seront livrés aux membres du comité de pilotage pour la réunion finale se tenant à T0 + 9 mois.

7. Recommandations d'un modèle technique pour le raccordement des parcs hybrides et l'optimisation du productible

Livraison d'un rapport de synthèse des modélisations réalisées dans le cadre de l'étude et présentation des conclusions de l'étude sous forme de recommandations pour l'optimisation des puissances installées en PV et éolien selon la situation géographique (caractérisée par un gisement solaire et un gisement éolien) avec ou sans solution de stockage.

Les recommandations devront prendre en considération l'ensemble des critères techniques et économiques (travaux réseau évités, valorisation de la production, l'énergie écrêtée ...) de manière à présenter des gains pour la collectivité et non pas pour un acteur spécifique (producteur ou gestionnaire). Le prestataire fera également une **analyse de la réglementation en vigueur** et mettra en évidence les spécifications des documents techniques de référence (DTR) du gestionnaire de réseau et des textes législatifs qui seraient susceptible d'être révisés pour permettre la mise en application des recommandations exposées en conclusion de l'étude.

Le rapport présentant les recommandations pour l'optimisation des parcs hybrides sera livré aux membres du comité de pilotage pour la réunion finale se tenant à T0 + 9 mois.

2.4. Exigences particulières

2.4.1. Exigence technique pour favoriser la circulation des données et du savoir

Circulation des données et du savoir

En vertu de la loi [n° 2016-1321 du 7 octobre 2016](#) pour une République numérique (dite Loi Lemaire) et en particulier le titre Ier sur la circulation des données et du savoir l'ADEME, comme

toutes les structures publiques, est tenue de mettre à disposition en libre accès les études qu'elle réalise, ainsi que l'ensemble des éléments ayant servi à réaliser cette étude (code source du modèle, données de sortie et résultats, données d'entrée, hypothèses, méthodologie...). Cela afin de **favoriser l'accès des citoyens à la décision publique, de développer le mécanisme de revue par les pairs**, et de permettre à d'autres acteurs de questionner ou de confirmer les conclusions émises, afin d'enrichir le débat public et scientifique.

Pour y parvenir l'ADEME s'applique à respecter le **principe FAIR**¹³. Pour plus d'information, vous pouvez consulter le [guide sur les données de recherche](#).

Favoriser la circulation des données

Dans le cadre de la Loi Lemaire, depuis 2018, l'agence s'applique à favoriser l'ouverture de ses données via son portail open data (<https://data.ademe.fr>) : les données non confidentielles (brutes ou transformées) ayant servi à produire une étude, une analyse ou une publication, doivent être accessibles via le portail open data de l'ADEME (data.ademe.fr) et **doivent donc être normalisées et documentées**. Cette exigence de normalisation et de documentation s'applique également aux données confidentielles, qui pourront être réutilisées en interne.

Normalisation des données :

- Les données doivent être accessibles sous un **format ouvert** (CSV, JSON, PARQUET...), et pas uniquement via des formats propriétaires comme Excel.
- Pour les données au format CSV, les données doivent respecter le **principe TIDY**, et suivre les bonnes pratiques suivantes :
 - **Privilégier des noms de variables pour nommer les colonnes** plutôt que des valeurs (exemple : privilégier une seule colonne "année" plutôt que trois colonnes "2020", "2021" et "2022").
 - **Privilégier une colonne dédiée par variable** plutôt que de regrouper plusieurs variables dans une même colonne (exemple : privilégier deux colonnes "nom" et "prénom" plutôt qu'une colonne "nom, prénom").
 - **Privilégier une table unique par unité d'observation** plutôt que plusieurs tables (exemple : Privilégier une table "nombre d'habitants" avec une colonne "sexe" plutôt que deux tables, une pour les femmes et une autre pour les hommes)
- Lorsque c'est possible, les données doivent être structurées de sorte à respecter le **principe MECE** (*Mutually Exclusive and Collectively Exhaustive*). L'objectif est d'éviter le double comptage ou les jeux de données incomplets.

¹³ Les principes FAIR (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable) décrivent comment les données doivent être organisées pour être plus facilement accessibles, comprises, échangeables et réutilisables.

- Lorsque c'est possible, éviter le recours à des grandeurs intensives comme les pourcentages, les taux ou les rapports. **Privilégier les grandeurs extensives (sommables)** afin de permettre aux ré-utilisateurs de calculer la grandeur intensive sur le périmètre de leur choix (exemple : privilégier une colonne "PIB" et une colonne "nombre d'habitants" plutôt qu'une seule colonne "PIB par habitant")
- Lorsque c'est possible, **utiliser les référentiels d'usage** pour permettre un enrichissement à posteriori des données (exemple : utiliser le code SIREN pour les entreprises et les collectivités, le code commune INSEE pour les communes, et non le code postal).

Documentation des données et métadonnées :

- **Métadonnée.** Chaque fichier plat (CSV, JSON...) doit être accompagné d'une documentation décrivant le fichier (donc la table) ainsi que chacun des champs qu'il contient. Chaque champ (colonne) doit être décrit individuellement. La description doit *a minima* préciser :
 - La date de fraîcheur des données ou leur fréquence de mise à jour
 - La couverture spatiale et temporelle
 - Les hypothèses et la méthodologie employés pour construire ce jeu de donnée
 - Un contact référent en cas de questions ou de remarques
- Une **cartographie des données sources** qui explique où, quand et comment chaque jeu de donnée a été récupéré. L'objectif est de pouvoir reproduire de nouveau la récupération de ces données pour leur mise à jour.
- Un **modèle physique de donnée** (MPD) pour les modèles impliquant un nombre important de tables (3 ou plus) liées entre elles. Les modèles logique (MLD) et conceptuel (MCD) sont également les bienvenus.

3. Organisation et pilotage de la prestation

3.1. Encadrement et suivi de la prestation

Le comité de pilotage (COPIL) en charge du suivi de l'étude est composé a minima de l'ADEME et de la FNCCR (Fédération Nationale des Collectivités Concédantes et Régies).

Les **réunions du comité de pilotage** seront organisées de la manière suivante :

- La réunion de lancement (T0) se tiendra obligatoirement en présentiel dans les locaux de l'ADEME à Montrouge (région parisienne).
- Trois réunions intermédiaires se tiendront à (T0 + 2 mois, T0 + 6 mois et T0 + 8 mois) en distanciel
- La réunion de restitution finale (T0 + 9 mois) se tiendra obligatoirement en présentiel dans les locaux de l'ADEME à Montrouge (région parisienne).

A l'occasion de chaque réunion du COPIL (T0 + 2 mois, T0 + 6 mois, T0 + 8 mois et T0 + 9 mois), le prestataire préparera une présentation permettant de rendre compte de :

- L'état d'avancement des travaux ;
- Tout autre élément pertinent pour le bon suivi de l'étude par le COPIL

A l'issue de chaque réunion du COPIL (T0, T0 + 2 mois, T0 + 6 mois, T0 + 8 mois et T0 + 9 mois), le prestataire rédigera un **compte rendu** succinct incluant un **relevé des décisions**.

3.2. Calendrier de réalisation des prestations

3.2.1. Durée du marché

La **durée totale** du marché sera de **12 mois** à compter de sa date de notification.

3.2.2. Rapports à remettre à l'ADEME

Le titulaire remettra à l'ADEME (T0 correspondant à la date de notification du marché) :

- Un rapport d'avancement à T0 + 2 mois

Ce rapport comprendra les éléments suivants :

- Revue bibliographique des études sur l'hybridation des parcs EnR
- Benchmark des solutions existantes
- Présentation de la méthodologie de construction des cas d'étude de manière à couvrir la diversité des profils de productions et la diversité des climats rencontrés sur le territoire métropolitain

- Un rapport d'avancement à T0 + 6 mois

Ce rapport comprendra les éléments suivants :

- Présentation de l'évaluation technique et économique sur le potentiel de mutualisation des sources de production pour l'optimisation des parcs hybrides (PV + éolien) : cas d'étude 1.1 et 1.2

- Présentation de la méthodologie de construction des cas d'étude de manière à évaluer l'apport d'une solution de stockage pour l'optimisation des parcs hybrides (PV + éolien)

- **Un rapport d'avancement à T0 + 8 mois**

Ce rapport comprendra les éléments suivants :

- Présentation de l'évaluation de l'apport d'une solution de stockage pour l'optimisation des parcs hybrides (PV + éolien) : cas d'étude 2.1 et 2.2
- Présentation de l'évaluation technique et économique sur le mix de production permettant d'optimiser les capacités du réseau local : cas d'étude 3.1
- Présentation de la méthodologie de construction des cas d'étude pour les analyses de sensibilité sur l'ajout d'un talon de consommation sur l'optimisation du mix de production pour l'exploitation des capacités du réseau local et sur la réévaluation à 30MW de la limite d'injection au point de raccordement des parcs hybrides

- **Un rapport final à T0 + 9 mois**

Le rapport final reprendra les résultats présentés dans les 3 rapports d'avancement et les éléments suivants :

- Les résultats définitifs pour l'ensemble des cas d'études
- Les résultats des analyses de sensibilité (cas d'étude 4.1 et 4.2)
- Les recommandations sur un modèle technique de dimensionnement des capacités installées des parcs hybrides pour l'optimisation des infrastructures de raccordement et du productible

Les rapports devront respecter la présentation indiquée dans le Guide de présentation des rapports ADEME qui sera transmis au prestataire par voie électronique après notification du marché.

Tous les rapports devront être fournis en version électronique.