

LIVRE BLANC



**CONTRIBUTION DES
DATA CENTERS FRANÇAIS
À LA FLEXIBILITÉ
DU SYSTÈME ÉLECTRIQUE**



GIMELEC

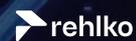
Nous décuplons les énergies

Le GIMELEC remercie les sociétés Eaton & BloombergNEF pour leur aimable autorisation d'utilisation de leur étude « Data Centers and Decarbonization - Unlocking Flexibility in Europe's Data Centers » en tant que base de travail.

Le GIMELEC remercie également l'ensemble des experts et professionnels des filières énergie & data centers interviewés pour avoir partagé leurs expertises et alimenté les réflexions.

Le GIMELEC remercie enfin Jacques PERROCHAT pour le temps et l'énergie qu'il a consacrés à l'élaboration du présent livre blanc.

Avec la participation financière de :



Livre blanc réalisé sous la coordination
de Joël VORMUS - GIMELEC



ÉDITO

Clé de voûte des services numériques que nous utilisons tous au quotidien, le parc de data centers est en forte croissance partout dans le monde. En France, les projets sont nombreux et leur taille de plus en plus importante : les puissances dépassant les 100 MW relèvent désormais plus de la norme que de l'exception.

Le secteur des data centers est une industrie électro-intensive : les factures d'énergie représentent en moyenne 20 % des charges totales d'un data center. L'efficacité énergétique a de fait toujours été au cœur de leur stratégie, car leur compétitivité en dépend, et leur consommation électrique est jusqu'à présent surestimée dans l'inconscient collectif.

Le data center est un secteur « qui compte » d'un point de vue énergétique. RTE, dont les scénarios énergétiques servent de base aux planifications gouvernementales, les considère désormais explicitement dans ses travaux prospectifs.

Leur appétit croissant pour « la puissance électrique » s'ajoute à celui du mouvement global d'électrification de l'industrie existante, à celui de la réindustrialisation à venir et à celui de secteurs émergents comme l'hydrogène. Le gestionnaire de réseaux de transport doit répondre à ces nouveaux besoins tout en maîtrisant les coûts pour les consommateurs français qui, *in fine*, financent une part conséquente du développement des réseaux électriques.

Le GIMELEC en est convaincu depuis longtemps : un raisonnement en silo des producteurs et des consommateurs du réseau électrique mène à une impasse. L'électrification, colonne vertébrale de la transition énergétique, impose un raisonnement au niveau du « système » dont la flexibilité est l'un des leviers d'optimisation.

Le data center a une chance peu commune dans le monde de l'industrie : celle d'avoir à sa disposition de nombreux leviers technologiques susceptibles de créer de la flexibilité. Ou plutôt des flexibilités, étant donné la diversité des besoins et des potentiels à exploiter. Mais la technologie seule ne suffit pas : les cadres économiques et réglementaires adéquats doivent être définis pour que les coûts comme la création de valeur puissent être équitablement partagés. En effet, au-delà des opérateurs de data centers, leurs clients ont également un rôle important à jouer dans le développement de la flexibilité.

La France a une longueur d'avance en matière de flexibilité. Déclinée dans le secteur français des data centers, elle pourrait lui apporter acceptabilité, attractivité et compétitivité. Face aux complexités, son déploiement n'a cependant rien d'une évidence dans un secteur dont la continuité de service est au cœur des préoccupations.

Cela nécessite pédagogie et dialogue.

Le présent livre blanc s'attache donc à porter à la connaissance du plus grand nombre les solutions technologiques à disposition des data centers pour développer leurs flexibilités. Il aborde également les enjeux réglementaires, économiques et contractuels à relever pour transformer les data centers en levier de flexibilité au bénéfice des opérateurs, de leurs clients comme des gestionnaires de réseaux.

SOMMAIRE

- Édito 3
- Résumé Exécutif 6
- Glossaire des data centers 8
- Principes de mise en service d'un data center 9

1

LES DATA CENTERS EN EUROPE ET EN FRANCE

- 1.1 L'Europe 11
- 1.2 La France 13
- 1.3 Prospective 2035 15

2

LE BESOIN DE FLEXIBILITÉ DU FUTUR SYSTÈME ÉLECTRIQUE

- 2.1 Assurer l'équilibre offre-demande 17
- 2.2 L'optimisation technico-économique des réseaux 19
- 2.3 Consommer à moindre coût 20



3

LES SOURCES DE FLEXIBILITÉ DES DATA CENTERS

3.1	Alimentation sans interruption	22
3.2	Stockage stationnaire de batteries	22
3.3	Groupes électrogènes de secours	23
3.4	Systèmes de refroidissement des data centers	24
3.5	Pilotage des installations	25
3.6	Décalage temporel (<i>time shifting</i>)	25
3.7	Transfert géographique	26
3.8	Niveau de flexibilité potentiellement mobilisable dans les data centers en 2035	27
-	Systèmes d'alimentation sans interruption	29
-	Stockage stationnaire de batteries	30
-	Refroidissement	32
-	Les groupes électrogènes de secours	34
-	Déplacement dans le temps	35
-	Transfert géographique	35
-	Bilan des potentiels de flexibilité	36

4

LES BÉNÉFICES DE LA FLEXIBILITÉ POUR LES DATA CENTERS

4.1	Réduction des délais et des coûts de raccordement au réseau	39
4.2	Baisse de la facture d'électricité	41
4.3	Réduction des émissions de gaz à effet de serre	43

5

LIBÉRER LE POTENTIEL DE FLEXIBILITÉ DES DATA CENTERS

5.1	Faire évoluer les modèles contractuels	45
5.2	Favoriser le dialogue entre acteurs de l'énergie et les data centers	46
5.3	Embarquer la flexibilité dans les règles de raccordement et de planification	48
5.4	Mieux connaître et communiquer les avantages environnementaux	49

RÉSUMÉ EXÉCUTIF

FLEXIBILITÉ ÉNERGÉTIQUE : NOUVELLE ÉTAPE POUR LES DATA CENTERS

La multiplication des data centers en France est aujourd'hui une réalité du déploiement des usages numériques à tous les niveaux de la société. Dans l'Hexagone, la puissance électrique des data centers est passée de 235 MW en 2016 à 566 MW en 2022. Cette forte hausse devrait continuer les prochaines années.

Ce rapport envisage deux options de croissance : un scénario « bas » prolongeant la progression passée qui porterait la capacité à 2 198 MW en 2035 ; un scénario « haut » prenant en compte les dernières tendances, notamment le développement de l'intelligence artificielle, qui pousserait la puissance à 5 182 MW en 2035.

L'installation et l'exploitation des data centers engendrent de nouveaux défis. Il s'agit avant tout pour leurs opérateurs de pouvoir accéder à des zones foncières proches des grands centres urbains. Ils doivent simultanément sécuriser le raccordement de leur site au réseau électrique avec les puissances requises, souvent en anticipant des besoins de capacités supplémentaires. Le gestionnaire du réseau de transport d'électricité, RTE, est lui-même soumis à des contraintes d'investissements et de gestion de l'équilibre électrique importants, du fait des évolutions induites par la transition énergétique (électrification de l'industrie, nouveaux usages, déploiement des énergies renouvelables).

Les consommations d'électricité liées aux data centers vont donc croître : on estime un niveau moyen de 31 TWh en 2035, soit près de trois fois le niveau actuel de consommation de la SNCF. Ils endossent ainsi une responsabilité dans le système électrique et, à ce titre, leurs actions d'efficacité énergétique seront particulièrement importantes pour maîtriser leur impact.

Néanmoins, la grande taille du secteur va aussi offrir une opportunité : les opérateurs de data centers pourraient actionner des leviers de flexibilité. Cette dernière présente de nombreux avantages : des raccordements au réseau plus rapide et moins chers, une électricité moins chère, moins de CO₂ émis.

Et pour le réseau électrique un levier supplémentaire de résilience et d'optimisation de ses investissements.

Les moyens techniques de flexibilité des data centers reposent tout d'abord sur les systèmes énergétiques dont disposent déjà leurs exploitants : alimentation sans interruption dotée de batteries, groupes électrogènes, production de froid.

Des modules de batteries complémentaires pourraient également être envisagés, tout comme une utilisation plus fine des moyens de pilotage des consommations via la gestion technique des bâtiments. Enfin, des déplacements des tâches informatiques, soit de manière temporelle, soit de manière géographique, peuvent participer à la modulation des besoins en électricité.

Le niveau de flexibilité que les data centers pourraient mobiliser en 2035 en France est estimé au minimum à 549 MW. Il pourrait dépasser en théorie 3,7 GW si toutes les solutions étaient mises en œuvre, en fonction aussi des besoins du gestionnaire du réseau de transport d'électricité.

Les potentiels de flexibilité sont répartis de manière assez homogène entre les différents leviers, et permettent d'envisager plusieurs types d'action : services systèmes en fréquence et tension ; participation au mécanisme d'ajustement pour l'équilibrage en puissance du réseau ; modulation à la hausse de la consommation lors de pics de production d'électricité renouvelable ; effacement de consommation en cas de déséquilibre offre/demande.



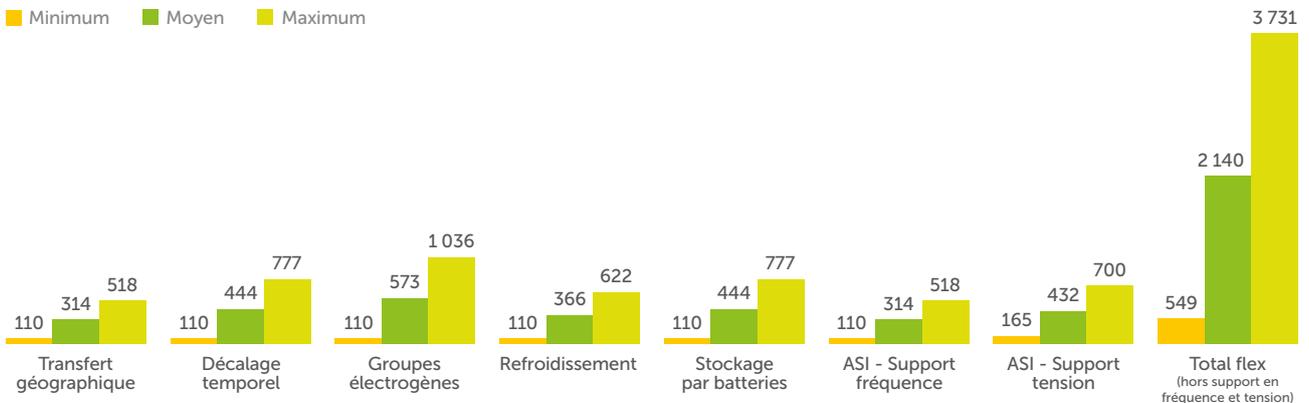
SYNTHÈSE DES DIFFÉRENTES TEMPORALITÉS ET TECHNOLOGIES DE FLEXIBILITÉS

Types de besoins en flexibilité

Data Center	Flexibilités structurelles et régulières pour que la consommation soit positionnée lorsque l'électricité est bas-carbone et bon marché	Flexibilités dynamiques des besoins ponctuels face aux fluctuations moins régulières de la consommation résiduelle, par exemple lors de vagues de froid ou lorsque la production éolienne est faible	Flexibilité d'équilibrage des besoins pour pallier les aléas et les incertitudes dans la fenêtre opérationnelle de RTE (entre 1h à l'avance et le temps réel)
Alimentation Sans Interruption (ASI)	Inadapté	Inadapté	Support fréquence ou tension
Stockage stationnaire par batteries	Possible	Possible	Possible
Groupes électrogènes	Possible	Possible	Mécanisme d'ajustement
Cooling	Possible	Possible	Possible mais limité
Décalage temporel	Possible	Possible mais limité	Possible mais limité
Transfert géographique	Possible	Possible mais limité	Possible mais limité

■ Possible ■ Possible mais limité ■ Inadapté

ENSEMBLE DES POTENTIELS DE FLEXIBILITÉ POUR LES DATA CENTERS À HORIZON 2035 (MW)



Derrière ces chiffres théoriques se cache évidemment la réalité complexe des data centers dont la première mission reste et restera de s'assurer que les processus informatiques qu'ils accueillent ne s'interrompent jamais.

Ces potentiels s'inscrivent également dans un secteur où les responsabilités et exigences sont, à l'heure actuelle, peu favorables à leur exploitation.

Le déploiement de solutions de flexibilité au sein des data centers passe donc par un dialogue constructif entre l'ensemble des acteurs : exploitants de data centers et leurs clients, fournisseurs et prestataires, gestionnaires du réseau électrique, pouvoirs publics et fournisseurs d'électricité.

Parmi les sujets à traiter, certains sont d'ordre technique, par exemple l'introduction de nouvelles briques technologiques comme le stockage stationnaire par batteries ou le stockage de froid. D'autres sont d'ordre réglementaire, comme le respect des normes locales d'émissions de polluants atmosphériques ou l'obligation pour les data centers de répondre à des appels de RTE.

Enfin, le développement de la flexibilité dans les data centers passe de manière cruciale par une évolution des relations contractuelles entre tous les acteurs de la chaîne de valeur afin de répartir équitablement les responsabilités, les coûts et les bénéfices.

PRÉAMBULE

GLOSSAIRE DES DATA CENTERS

DATA CENTER

Selon la définition officielle européenne, « *un data center est défini comme une structure ou un groupe de structures servant à héberger, connecter et exploiter des systèmes/serveurs informatiques et du matériel connexe pour le stockage, le traitement et/ou la distribution des données, ainsi que pour les activités connexes.* »

Ces centres, dont la taille peut aller de quelques m² à plusieurs dizaines de milliers de m², peuvent appartenir à une entreprise qui les exploite pour ses propres besoins informatiques, ou appartenir à des fournisseurs de « colocation » qui les ont construits pour louer des espaces à des clients.

COLOCATION

Usage d'un data center construit dans le but de louer de l'espace pour des serveurs et d'autres matériels informatiques à des clients. Les data centers en colocation fournissent le bâtiment, le refroidissement, l'alimentation électrique et la bande passante.

HYPERSCALE

Parfois également appelés « *self-builds* », ces data centers de grande taille sont détenus et exploités par des fournisseurs de services dans le cloud, tels qu'Amazon Web Services, Microsoft Azure et OVHcloud ou par des entreprises technologiques telles que Facebook et Apple. Avec Google, ils forment le groupe des GAFAM.

DATA CENTERS PRIVÉS

Les data centers privés sont généralement la propriété d'une seule entreprise pour son usage personnel, construits sur le site des locaux de l'entreprise. Alors que de nombreuses entreprises sont passées au « *cloud* » (qui repose sur la colocation et les data centers *hyperscale*), les banques, les gouvernements et les entreprises du secteur de la santé possèdent encore beaucoup de capacités de data centers privés.

CAPACITÉ NOMINALE (MW OU GW)

La capacité annoncée d'un data center, c'est-à-dire généralement la capacité maximale à laquelle il a été autorisé à soutirer par le gestionnaire du réseau électrique. La demande réelle d'électricité des data centers ne correspond pratiquement jamais à cette capacité nominale.

PUISSANCE INFORMATIQUE INSTALLÉE (MW OU GW)

Capacité électrique installée d'un data center construit et actif. Ce chiffre tient compte de la superficie du data center effectivement construit (qui est inférieure à la capacité nominale), de la part de l'espace construit qui est louée (taux d'occupation) et de la part de la structure de l'espace loué qui est remplie par les serveurs (appelée « *capacité des racks* »).

Cette puissance informatique installée (*installed IT Power*), bien qu'elle ne reflète pas la consommation d'énergie réelle, est importante pour notre analyse de la flexibilité, étant donné que les systèmes de secours des data centers (tels que l'alimentation sans interruption, les générateurs de secours, etc.) sont typiquement dimensionnés en fonction de ce paramètre. Cette puissance couvre également les utilisations périphériques de l'énergie, telles que la climatisation et d'autres équipements informatiques.

PUISSANCE INFORMATIQUE RÉELLE (MW OU GW)

Il s'agit de la puissance moyenne appelée par un centre de données construit et actif (*Live IT power* en anglais). Cette valeur prend en compte la puissance informatique installée et la réduit pour refléter le nombre de ses baies (racks) qui sont en service (capacité de baie active) et combien d'entre elles sont utilisées (taux d'utilisation).

TAUX D'UTILISATION (%)

L'utilisation moyenne des serveurs installés dans le centre de données, généralement calculée annuellement. Les taux d'utilisation ont tendance à être plus élevés pour les installations *hyperscale* que pour les data centers de colocation.

PRINCIPES DE MISE EN SERVICE D'UN DATA CENTER

Selon sa taille et le contexte du projet, la construction d'un data center peut prendre plus de 5 ans, depuis la création des plans jusqu'à la mise en service. Plus l'opérateur planifie son projet, plus il pourra respecter les délais de mise en service, et aura de chances de garantir la vente de la capacité numérique au bon moment.

La mise en service d'un data center implique différents partenaires. Elle varie en fonction des activités prévues du data center, des opérateurs, de l'emplacement et du pays. Une grande partie du processus initial (acquisition du terrain et permis) est gérée par une société immobilière. Ces sociétés agissent soit pour le compte d'un opérateur de data center, soit de manière spéculative sur la base de la demande attendue en data centers.

1. ÉVALUATION, PERMIS DE CONSTRUIRE ET CONCEPTION

Le développeur d'un nouveau data center est généralement une société immobilière, qui doit d'abord sélectionner un site et élaborer un plan de conception, puis obtenir un permis de construire et une convention de raccordement au réseau électrique.

Lors de cette phase, une capacité du site doit être annoncée (*design capacity*). Cette capacité est supérieure à celle qui sera effectivement construite, mais offre aux opérateurs la possibilité d'une expansion future.

L'opérateur du réseau électrique s'engage à réserver cette capacité à l'opérateur du data center. Les permis pour l'eau, le gaz et la connexion à internet doivent également être obtenus. De la demande initiale à la construction du premier hall d'un data center, cela prend au moins un an.

Toutefois, cette première étape peut s'avérer beaucoup plus longue si le gestionnaire du réseau électrique doit procéder à des renforcements du réseau pour être en mesure de raccorder le site. En France, les délais sont également longs à cause des démarches administratives (permis de construire, éventuel délai pour le raccordement, dossier ICPE*), des contraintes de mise en route des chantiers et des délais de livraison des équipements.

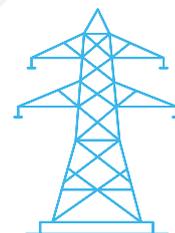
CONDITIONS DE RACCORDEMENT D'UN DATA CENTER PAR RTE

En France, le gestionnaire du réseau de transport RTE doit examiner toutes les demandes de raccordement qui lui sont faites.

Celles pour les data centers s'ajoutent à celles des autres infrastructures. Les délais de raccordement actuellement constatés sont de 2 à 3 ans en HTB1 (63 ou 90 kV), de 4 à 6 ans en HTB2 (225 kV), et de 6 à 9 ans en HTB3 (400 kV).

La phase d'autorisation, qui représente les deux-tiers du temps du projet, doit être anticipée et se fait en collaboration entre RTE et le porteur du projet. Depuis 2016, 650 MW de puissance de raccordement demandée (Pracc) pour des data centers ont été accordés par RTE.

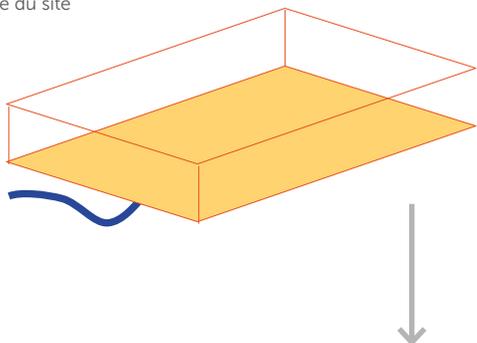
Par ailleurs, les projets en développement (contrats de raccordement acceptés) et les projets en cours d'instruction représentent plusieurs milliers de MW. La région Ile-de-France concentre la très grande majorité des projets (80 à 90 %).



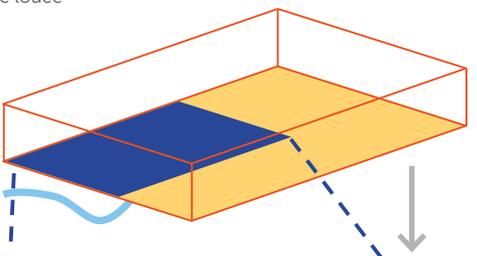
* ICPE : installation classée pour la protection de l'environnement

ÉVALUATION DE LA CAPACITÉ D'UN DATA CENTER

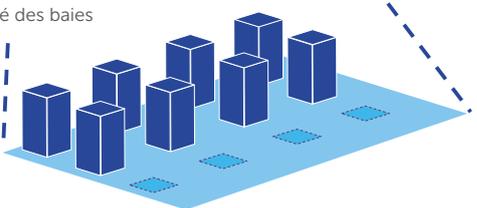
Capacité du site



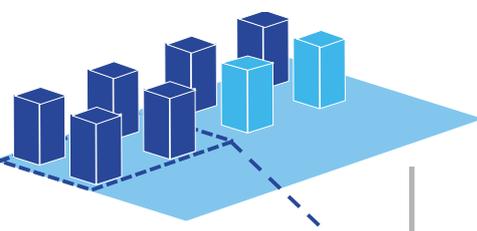
Capacité louée



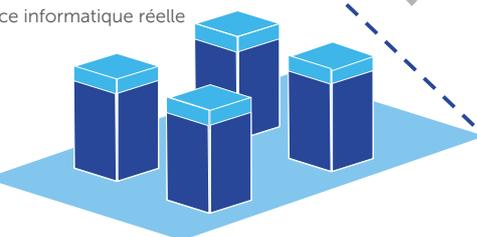
Capacité des baies



Capacité active des baies



Puissance informatique réelle



2. PREMIÈRE PHASE DE MISE EN SERVICE

Une fois le permis de construire approuvé, l'étape suivante consiste à construire l'enveloppe du bâtiment. Pour les grands centres, cette « coquille » peut contenir plusieurs salles de données. Par exemple, un data center de 10 MW peut comporter cinq salles de 2 MW chacune. La mise en service d'une salle de données implique la construction de la structure, l'installation des sols, de l'éclairage, du refroidissement et des systèmes de sécurité, etc. puis l'installation des baies informatiques, de l'alimentation sans interruption (ASI ou *UPS* en anglais) et de l'alimentation de secours. En fonction de la demande du client, la première phase mise en service d'un data center peut ne représenter qu'une fraction de la puissance nominale : l'augmentation de la charge est variable selon le type de data center, de l'opérateur et des clients hébergés.

3. LOCATION D'ESPACE

Pour les opérateurs de colocation, l'étape suivante consiste à louer de l'espace à des clients. Sur les marchés à forte demande informatique, les baux sont signés avant même que le data center ne soit mis en service, soit parce que le client veut installer lui-même les baies, soit parce que l'opérateur prévoit d'installer les racks avant que le client n'en ait réellement besoin. Lorsque l'espace est loué, les serveurs sont alors installés, puis connectés à internet et à une source d'énergie.

La quantité d'espace loué (voir ci-contre) dans lequel des serveurs sont installés est appelée « capacité des baies » (*racked capacity*), et le nombre de serveurs allumés et prêts à être utilisés est appelé « capacité active des baies » (*live rack capacity*).

4. AUGMENTATION DES CAPACITÉS

Les grands opérateurs ont tendance à commencer à construire de nouvelles salles de données, à planifier l'expansion de leurs sites, ou à demander un permis de construire pour de nouveaux sites lorsque leurs serveurs existants sont loués à 80 %. Il fallait parfois deux ans pour qu'un grand site de colocation atteigne un taux de location de 80 %. Mais ces dernières années, la demande en service de *cloud* est si forte qu'il est courant que les nouveaux data centers soient entièrement loués avant même d'être achevés. D'où des augmentations très rapides de capacités des data centers.

Auparavant d'une taille maximum d'une dizaine de MW, les projets actuels les plus importants dépassent désormais les 200 MW en France.

Source : Bloomberg NEF

1

LES DATA CENTERS EN EUROPE & EN FRANCE

1.1 L'EUROPE

La majeure partie de la capacité des data centers en Europe se trouve dans cinq pays : la France, l'Allemagne, l'Irlande, les Pays-Bas et le Royaume-Uni.

Plus précisément, cette capacité se trouve presque entièrement dans cinq villes, connues sous le nom de marchés FLAP-D : Francfort, Londres, Amsterdam, Paris et Dublin.

Les marchés hors de France sont les plus importants pour différentes raisons : présence de « Bourses » de l'Internet ; conditions favorables pour les grandes entreprises technologiques et les data centers de grande taille (*hyperscale*) dans la capitale irlandaise.

La taille de ces marchés s'explique historiquement par la disponibilité de vastes terrains à construire, par l'accès facilité au réseau électrique et sa fiabilité, par la souplesse, de la réglementation, par la fiscalité locale attractive ou par une main-d'œuvre qualifiée et par la demande de services informatiques. Les défis auxquels sont soumis Francfort, Londres, Amsterdam et Dublin en termes de flexibilité ont été décrits dans un rapport d'Eaton, Statkraft et Bloomberg NEF de 2021¹.

En Europe, la croissance annuelle moyenne du marché des data centers est de 12 % depuis 2016² sous l'effet d'une demande accrue en services informatiques et d'une migration rapide de nombreux process d'entreprises vers l'informatique dématérialisée (*cloud*).

Alors que l'infrastructure informatique des entreprises était essentiellement composée de petits serveurs décentralisés ou dans des data centers privés, une grande partie de l'informatique se fait désormais dans le *cloud* hébergé dans les data centers *hyperscale* ou de colocation.

Dans son dernier rapport³, l'Agence internationale de l'énergie (AIE) estime qu'il y avait environ 1 240 data centers en Europe en 2022 qui consommaient près de 100 TWh, soit 4 % de la consommation d'électricité européenne. À l'horizon 2026, l'AIE considère que ce chiffre s'élèvera à 150 TWh. Une bonne part de cette hausse vient du développement des réseaux 5G, de l'Internet des objets, des nouvelles applications d'intelligence artificielle et des blockchains.

Par ailleurs, l'Union européenne a pour objectif de réduire les émissions de carbone d'au moins 55 % d'ici à 2030 par rapport à 1990 et de parvenir à la neutralité carbone d'ici à 2050. Plusieurs démarches portent cette ambition. Le *Green Deal* a été présenté fin 2019 et a été complété par de nombreux autres textes, comme les objectifs climatiques de 2030 (septembre 2020), *REPowerEU* (mars 2022), la réforme du marché de l'électricité et le *Net-Zero Industry Act* (mars 2023). En octobre 2023, la première phase du mécanisme d'ajustement carbone aux frontières est également entrée en vigueur tandis qu'ont été finalisés les derniers textes du paquet Fit for 55.

Le cadre européen vise particulièrement à élaborer une stratégie pour améliorer l'intégration du système énergétique⁴. Cela inclut une plus grande efficacité énergétique à tous les niveaux et la réduction des pertes : ainsi, la récupération de chaleur fatale des data centers pour alimenter des réseaux urbains de chauffage est citée comme solution pour un système énergétique reposant plus sur l'économie circulaire. Le développement de moyens de stockage d'électricité et l'élaboration d'un code de réseau sur la flexibilité de la demande sont aussi mis en avant.

Le paquet « énergie propre » et la directive sur le marché de l'électricité prévoient également diverses mesures visant à améliorer la flexibilité du système électrique européen. Ces mesures comprennent la transmission de signaux en temps réel des marchés de gros de l'électricité aux consommateurs afin d'encourager la modulation des consommations, la création de marchés pour les services au système électrique, la diminution des barrières à l'entrée de ces marchés pour les sources d'énergie décentralisées, et de faire évoluer les marchés de l'électricité et des services systèmes vers des granularités temporelles plus fines et des fréquences plus grandes.

¹ *Data Centers and Decarbonization. Unlocking Flexibility in Europe's Data Centers*, 14 octobre 2021.

² Source : Eaton, Statkraft, Bloomberg NEF, 2021.

³ *Electricity 2024, Analysis and forecast to 2026*, disponible en ligne sur <https://www.iea.org/reports/electricity-2024>.

⁴ Voir la communication de la Commission européenne de juillet 2020 : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0299>



POLITIQUE DE L'UNION EUROPÉENNE EN MATIÈRE DE DATA CENTER

Jusque récemment, la déclinaison sectorielle de la politique énergétique européenne se résumait à l'animation depuis 2008 du code de conduite européen pour les data centers⁵ sous la houlette du **Joint Research Center**.

À cela s'ajoute des règlements sur l'écoconception⁶ s'appliquant aux serveurs IT et de stockage de données ainsi que les groupes froids, textes qui ont amélioré les performances énergétiques des équipements disponibles sur le marché européen.

Face à la croissance du parc européen de data centers, les instances européennes ont multiplié les prises de parole⁷ ces dernières années affirmant la nécessité pour le secteur d'accélérer ces efforts.

Des dispositions spécifiques ont été prises dans la directive efficacité énergétique, révisée en 2023, avec deux nouveautés majeures :

À partir de 2024

Une obligation de reporting auprès de la Commission européenne d'un certain nombre de données et indicateurs environnementaux pour les data centers dont la puissance IT dépasse les 500 kW

À partir de 2025

La possibilité offerte à la Commission Européenne de mettre en place un cadre plus contraignant, que ce soit sous forme d'une étiquette environnementale et/ou de minimums de performance environnementale à respecter.

Preuve de l'intérêt grandissant pour le sujet de la flexibilité au niveau européen, on notera que parmi les informations à déclarer dans l'obligation de reporting, certaines sont relatives à d'éventuels services de flexibilité fournis par le data center concerné.

Par ailleurs, la Commission européenne a commandé une étude abordant entre autres le data center en tant que partie intégrante de son infrastructure énergétique locale⁸.

⁵ <https://e3p.jrc.ec.europa.eu/communities/data-centres-code-conduct>

⁶ <https://eur-lex.europa.eu/EN/legal-content/summary/ecodesign-requirements-servers-and-data-storage-products.html>

⁷ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52022DC0552&qid=1666369684560>

⁸ <https://www.borderstep.org/projekte/optimising-synergies-between-data-centres-and-energy-systems/>

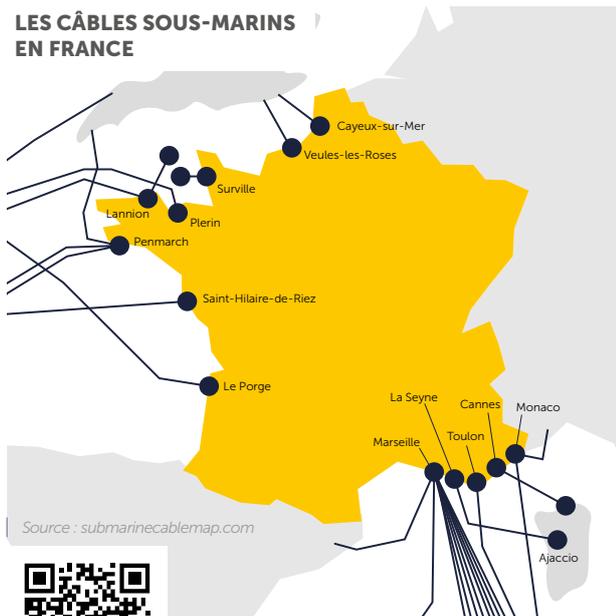
⁹ <https://www.francedatacenter.com/ressource/cartographie-des-adherents-france-datacenter-2023/>

1.2 LA FRANCE

En France, la région parisienne concentre actuellement plus de 90 % de la puissance installée de data centers. L'Hexagone a néanmoins une spécificité en Europe : il possède un deuxième hub de data centers d'envergure, situé à Marseille.

En effet, la ville phocéenne accueille de nombreux câbles sous-marins de fibre optique desservant l'Afrique, le Moyen-Orient et l'Asie. Par ailleurs, à Bordeaux, un nouveau câble sous-marin venant des États-Unis devrait également impulser une dynamique locale d'implantation de data centers.

LES CÂBLES SOUS-MARINS EN FRANCE

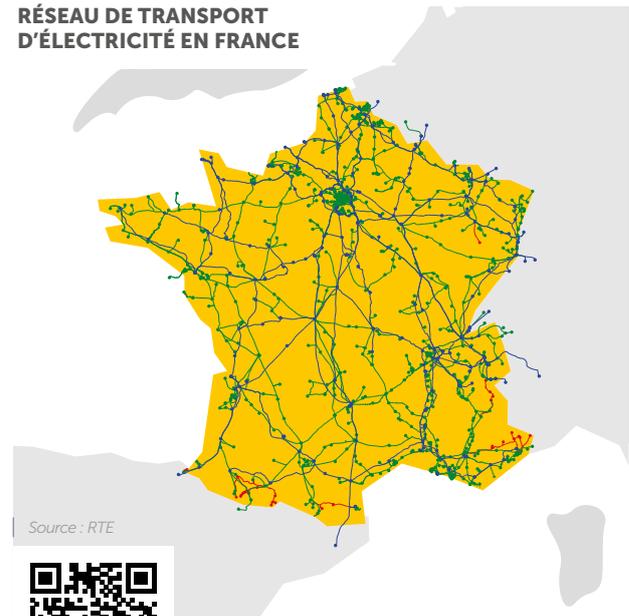


Source : submarinecablemap.com



EN SAVOIR +

RÉSEAU DE TRANSPORT D'ÉLECTRICITÉ EN FRANCE



Source : RTE



EN SAVOIR +



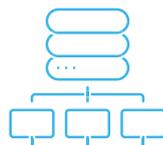
LES OPÉRATEURS DE CENTRES DE DONNÉES ET LEURS PARTENAIRES

Selon l'association de référence France Datacenter⁹, on compte



250

centres numériques
commerciaux d'hébergement
(colocation) sur
le territoire national



5000

salles informatiques
hébergées et data centers
dans les entreprises
et administrations

Parmi les grands hébergeurs présents à l'échelle nationale et membres de l'association, on compte Alban-IT, Atos, CyrusOne, Data4, Digital Realty, Eclairion, Equinix, Global Switch, Kyndryl, OVH (opérateur de cloud) et Telehouse. Plusieurs hébergeurs régionaux sont également présents : Advanced MedioMatrix, Blue, Caelis, Casino Immobilier, Eucluide, Etix Everywhere, FullSave, TDF et Thésée Datacenter.

En termes de performance énergétique, l'indicateur d'efficacité énergétique *Power Usage Effectiveness (PUE)*¹⁰ est estimé à 1,5 en France, soit dans la moyenne mondiale (entre 1,5 et 1,6). Ce chiffre reflète un parc hexagonal assez performant mais qui présente toujours du potentiel d'économies d'énergie dans les installations existantes. Les data centers de dernière génération mis en service ont un meilleur indice, inférieur à 1,4. L'ARCEP¹¹ fait également remarquer que plus un data center est puissant, plus son PUE est bas (1,34 au-delà de 5 MW).

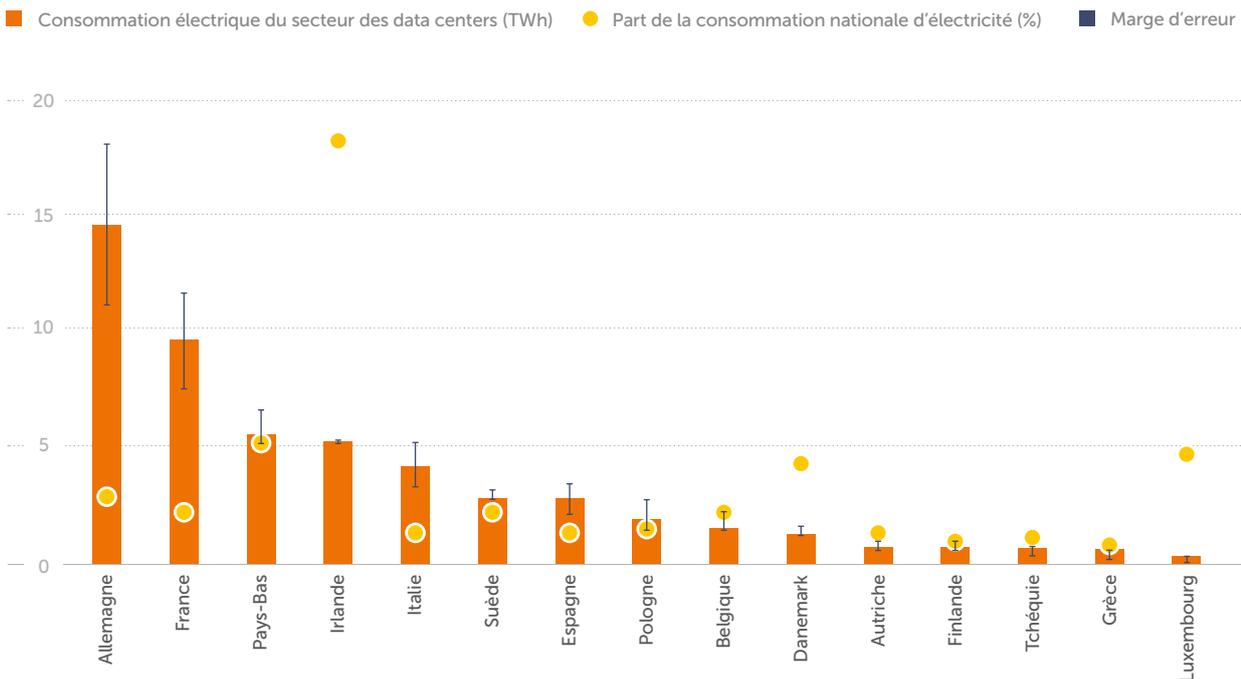
Par ailleurs, le mix de production d'électricité en France fait que l'alimentation des data centers est décarboné à 95 %. Selon les réponses d'un sondage de France Datacenter auprès d'exploitants, l'alimentation en

électricité d'origine renouvelable atteindrait 55% car certains sites souscrivent des contrats directs avec des producteurs d'électricité renouvelable.

Le **Joint Research Center (JRC)**, organe de recherche de la Commission Européenne, estime de son côté que les data centers français représentent 2,2 % de la consommation nationale d'électricité en 2022, soit un peu moins de 10 TWh¹².

En France, la croissance annuelle a été plus soutenue qu'à l'échelle européenne. Elle est estimée à 16 % depuis 2016¹³. Ainsi, la capacité disponible installée des data centers en France est estimée à 566 MW en 2022, uniquement dans des sites en colocation.

CONSOMMATION DES DATA CENTERS PAR PAYS EN EUROPE, ET LEUR PART DANS LA DEMANDE NATIONALE



Source : Joint Research Center (JRC)

¹⁰ Source : Baromètre France Datacenter 2023, en ligne sur :

https://assets.ey.com/content/dam/ey-sites/ey-com/fr_fr/topics/tmt/ey-barometre-france-data-center_20230908.pdf

¹¹ Évaluation de l'impact environnemental du numérique en France et analyse perspective, mars 2023, disponible en ligne sur :

https://www.arcep.fr/fileadmin/user_upload/observatoire/enquete-pns/edition-2024/enquete-annuelle-pour-un-numerique-soutenable_edition2024.pdf

¹² Energy Consumption in Data Centres and Broadband Communication Networks in the EU, JRC, 16 février 2024, disponible sur :

<https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC135926>

¹³ Source : Baromètre France Datacenter 2023

¹⁴ Évaluation de l'impact environnemental du numérique en France et analyse perspective, mars 2023

¹⁵ Bilan prévisionnel 2023-2035 de RTE, Partie 2 sur la consommation, page 43 :

<https://www.rte-france.com/analyses-tendances-et-prospectives/les-bilans-previsionnels>

¹⁶ https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=SPD_WP110_EN&p_enDocType=White+Paper&p_File_Name=WP110_V2.1_EN.pdf

1.3 PROSPECTIVE ÉNERGÉTIQUE

Le travail prospectif demeure très complexe dans un secteur en forte croissance, soumis à de nombreuses évolutions technologiques et dans un contexte géopolitique mouvant. La prospective énergétique consacrée au secteur depuis les années 2000 illustre très bien ce propos puisque les chiffres de consommations d'énergie ont systématiquement grossièrement surestimé la réalité.

Une évaluation menée par l'ADEME et l'ARCEP¹⁴ donne une consommation de 12 TWh de tous les data centers en France en 2020, qui serait portée à 16 TWh en 2030 dans un scénario tendanciel, soit +33 %.

Si on considère les seuls data centers de colocation qui nous intéressent ici, leur consommation est de 5,6 TWh en 2020 et de 13,4 TWh en 2030 dans cette étude.

Les hypothèses prises par l'ADEME et l'ARCEP sont :

- plus qu'un doublement des surfaces de ces data centers (de 414 000 à 894 000 m²) ;
- un taux de charge qui passe de 50 % à 55 % ;
- un PUE moyen évoluant de 1,55 à 1,32.

En prolongeant cette tendance, cela porterait la consommation d'électricité des data centers commerciaux à 18-19 TWh en 2035.

Dans le scénario de référence de son Bilan prévisionnel, RTE estime que la consommation d'électricité des data centers sera de l'ordre de 23-28 TWh en 2035¹⁵ par rapport à une consommation nationale globale entre 580 et 640 TWh.

RTE envisage d'autres trajectoires où la consommation d'électricité en France serait moindre mais elles modifient relativement peu ce qui concerne les data centers, le niveau pouvant descendre à environ 20 TWh.

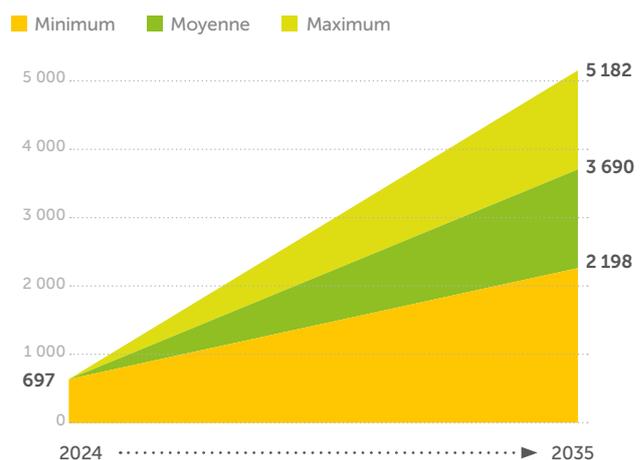
En 2022, l'association France Datacenter a estimé que le parc français de data centers va continuer de croître à un rythme de 11 % en moyenne par an jusque 2033. Depuis, la croissance du secteur a connu une accélération due aux nouveaux besoins liés à l'intelligence artificielle. En 2024, France Datacenter relevait sa prévision de croissance pour la fixer entre 13 % et 14 %.

Dans la suite du document, deux hypothèses de croissance moyenne d'ici à 2035 sont donc prises :

- une **hypothèse basse** de croissance fixée à 11 % par an, aboutissant à un parc de data centers de 2 198 MW en 2035 ;
- une **hypothèse haute** de croissance fixée à 20 % par an, aboutissant à un parc de 5 182 MW en 2035.

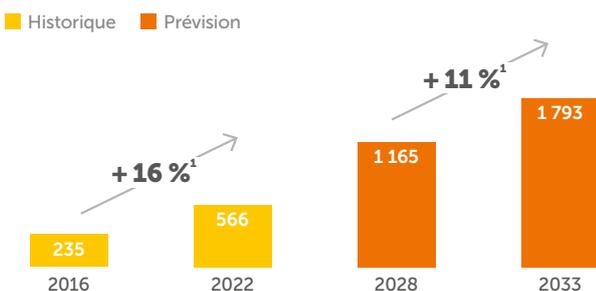
Le secteur oscillerait donc entre une multiplication de 3 à 7,5 de sa puissance IT d'ici à 2035 :

PUISSANCE IT (MW)



Traduit en termes de consommation d'électricité et avec l'hypothèse d'un taux d'utilisation à 80 % en 2035 et un PUE de 1,2, le secteur oscillerait entre 18,5 et 43,6 TWh. Cette fourchette très large reflète les incertitudes actuelles mais, avec une moyenne de 31 TWh, est cohérente avec les valeurs avancées par RTE.

ÉVOLUTION DE LA CAPACITÉ DISPONIBLE TOTALE DES DATA CENTERS EN FRANCE (MW, 2016-2033)



¹Croissance annuelle
Source : Baromètre France Datacenter 2023



LA CROISSANCE DE L'IA

Baucoup d'incertitude demeure sur la croissance du parc de data centers due à l'essor de l'intelligence artificielle (IA). Au niveau mondial, certains acteurs¹⁶ avancent une croissance ces 5 prochaines années de 10 % par an pour le parc devant répondre à des besoins « classiques » contre 25 à 33 % pour celui dédié à l'IA.

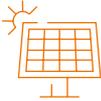
LE BESOIN DE FLEXIBILITÉ DU FUTUR SYSTÈME ÉLECTRIQUE

L'ensemble des différents scénarios permettant l'atteinte de l'objectif national de neutralité carbone d'ici 2050 ont un point commun : une électrification massive de notre société.

La part de l'électricité dans le mix énergétique mondial devra ainsi passer de 20 % en 2020, à 49 % en 2050. La France, elle, doit passer de 27 % à 55 % selon la Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC).

La traduction, d'un point de vue opérationnel, est une augmentation massive des moyens de production d'électricité bas carbone, notamment renouvelables (voir tableau) et l'obtention de gains d'efficacité énergétique très importants. Enfin, il s'agit de consommer au bon moment.

CAPACITÉS ET PRODUCTIONS DES ENR ÉLECTRIQUES DANS LE SCÉNARIO DE RÉFÉRENCE DE RTE POUR 2035

					
	Hydraulique	Solaire	Éolien terrestre	Éolien en mer	Nucléaire
2022					
Capacité (GW)	25,8	15,7	20,6	0,5	61
Production (TWh)	50	18,6	38,1	0,7	279*
2035					
Capacité (GW)	27-28	65-90	39	15-18	60-63
Production (TWh)	60	80-110	85	50-65	360-370

*Le productible de 2022 du parc nucléaire a été affecté par des problèmes génériques de corrosion sous contraintes et des retards de maintenance. Le productible de 2019, plus conforme à l'état normal du parc (avant Covid), était de 380 TWh.

Malgré d'indispensables efforts en matière de maîtrise de la consommation, le modèle énergétique français est donc amené à augmenter régulièrement sa consommation d'électricité avec par conséquent de nouveaux défis à relever.



2.1 ASSURER L'ÉQUILIBRE OFFRE-DEMANDE

La Commission de Régulation de l'Énergie (CRE) fixe les missions suivantes au gestionnaire du réseau public de transport d'électricité français RTE¹⁷ qui doit :

- assurer à tout instant l'équilibre entre la production et la consommation d'électricité ;
- résoudre les congestions sur le réseau de transport.

Dans ce but, RTE constitue et active des réserves d'équilibrage fournies par les acteurs d'ajustement : producteurs, consommateurs, autres acteurs susceptibles d'injecter ou de soutirer de l'énergie sur le réseau.

RTE dispose de trois types de réserves - primaire, secondaire, tertiaire - pour résorber les déséquilibres entre la production et la consommation d'électricité. Par ailleurs, les « services système tension » permettent à RTE de contrôler la tension sur le réseau de transport.

DES RÉSERVES PRIMAIRE ET SECONDAIRE ACTIVÉES AUTOMATIQUEMENT

Quand la production est inférieure à la consommation, les groupes de production ralentissent et la fréquence du réseau baisse par rapport à sa valeur de référence de 50 Hz. Quand la production est supérieure à la consommation, les groupes de production accélèrent et la fréquence augmente.

Les réserves primaire et secondaire (dites « services système fréquence ») sont activées automatiquement pour contenir la déviation de fréquence, rétablir la fréquence à 50 Hz et ramener à leur valeur prévue les échanges d'énergie aux frontières. La réserve primaire, activée de manière décentralisée au niveau de chaque groupe de production, intervient en 15 à 30 secondes ; la réserve secondaire, activée automatiquement par RTE, en 400 secondes.

LES SITES CONSOMMATEURS PEUVENT CONTRIBUER AU RÉGLAGE DE TENSION

Pour garantir la sûreté de fonctionnement du système électrique, RTE assure le réglage de la tension sur le réseau public de transport (RPT) d'électricité, ceci dans un contexte où les contraintes sont de plus en plus prégnantes :

- en tension haute, à court et moyen terme, notamment en raison de l'enfouissement des réseaux électriques, et de l'évolution des charges (consommations) ayant des caractéristiques électriques de plus en plus capacitives (i.e. injectant de l'énergie réactive) ;
- en tension basse, à plus long terme, avec l'arrivée massive de clients à forte consommation.

Au cours des prochaines années, dans des zones en contrainte du RPT, RTE envisage de multiplier les points de réglage de la tension grâce aux technologies des clients consommateurs permettant un réglage dynamique et continu de la tension.

Ce service innovant, dont les modalités techniques et financières actuelles sont décrites dans les règles services système tension, nécessite une contractualisation avec RTE, et est rémunéré¹⁸.



¹⁷ <https://www.cre.fr/electricite/reseaux-delelectricite/services-systeme-et-mecanisme-dajustement.html>

¹⁸ <https://www.services-rte.com/%20/fr/actualites/r%C3%A9glage-de-la-tension-dans-d%C3%A9s-zones-en-contrainte-par-un-site-consommateur.html>

LA RÉSERVE TERTIAIRE OU MÉCANISME D'AJUSTEMENT

Contrairement aux réserves primaire et secondaire, l'activation de la réserve tertiaire est manuelle, effectuée par un dispatcher de RTE, au travers du mécanisme d'ajustement. Elle est utilisée pour compléter la réserve secondaire si celle-ci est épuisée ou insuffisante pour faire face à un déséquilibre, mais aussi pour se substituer aux réserves primaire et secondaire ou anticiper un déséquilibre à venir.

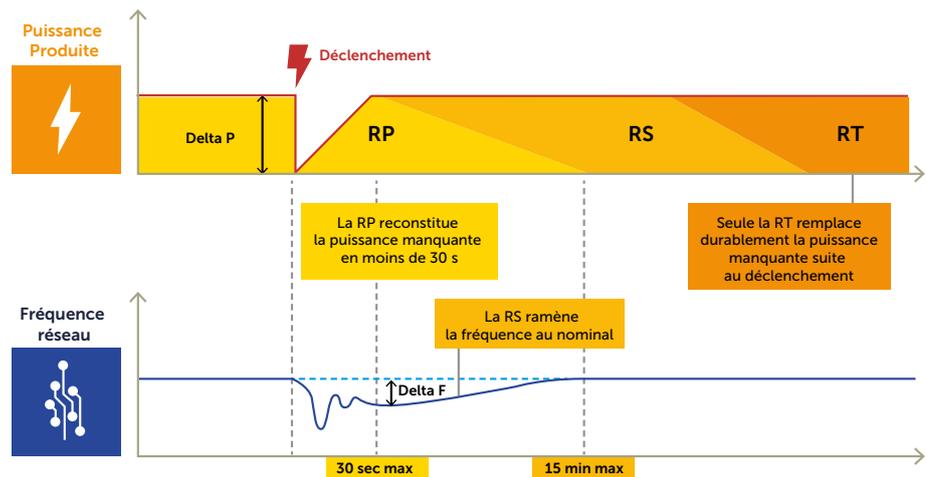
La réserve tertiaire peut aussi être utilisée pour résoudre des contraintes sur le réseau de transport résultant d'un excès ou d'un manque de production locale.

En application des dispositions de l'article L. 321-13 du code de l'énergie, tous les producteurs raccordés au réseau de transport ont l'obligation d'offrir leur puissance disponible à RTE. En outre, les consommateurs français et les acteurs étrangers peuvent, de manière volontaire, faire des offres sur le mécanisme d'ajustement français.

De plus, RTE s'assure de disposer de réserves tertiaires suffisantes en concluant, en amont du temps réel, des contrats avec des acteurs d'ajustement pour assurer la disponibilité de moyens de réserves. Ces acteurs doivent déposer des offres sur le mécanisme d'ajustement, en échange du paiement d'une prime fixe. On distingue alors la réserve rapide (mobilisable en moins de 13 minutes) de la réserve complémentaire (mobilisable en moins de 30 minutes).

FONCTIONNEMENT DES RÉSERVES POUR RÉTABLIR L'ÉQUILIBRE PRODUCTION / CONSOMMATION

RP : Réserve Primaire
RS : Réserve Secondaire
RT : Réserve Tertiaire



Source : CRE

CARACTÉRISTIQUES DES DIFFÉRENTS SYSTÈMES DE RÉSERVES

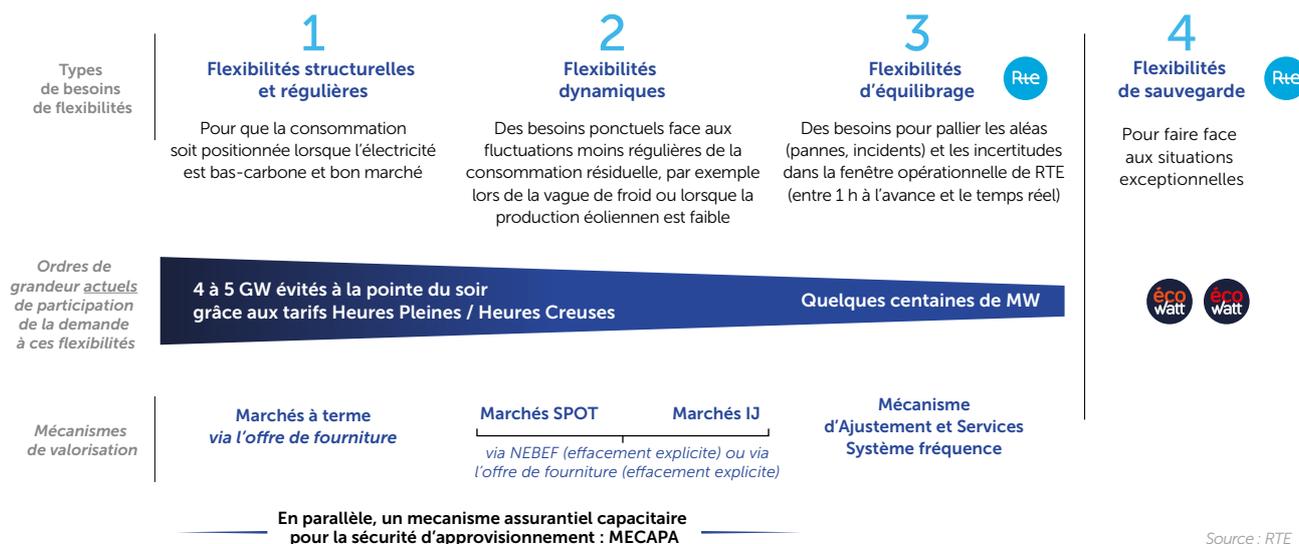
▲ Activation à la hausse
▼ Activation à la baisse

Moyens à disposition de RTE		Puissance concernée	Sens	Délai d'action	Acteurs concernés	Participation
UE	FCR	~ 600 MW	▲▼	< 30s	Producteurs et consommateurs européens	Appels d'offres
FR	Réserve primaire (automatique)					
	aFRR	500 - 1 000 MW	▲▼	< 15 min	Producteurs français	Prescription
	Réserve secondaire (automatique)					
	mFRR	Rapide 1 000 MW Complémentaire 500 MW	▲	13 min 30 min	Producteurs et consommateurs français	Appels d'offres
	Réserve tertiaire (manuelle)	Consommateurs 1 750 MW en moyenne	▲	< 2 h	Consommateurs français	Appels d'offres
	RR	Variable	▲▼	Variable	Producteurs français Producteurs RPD consommateurs Acteurs étrangers	Obligation d'offrir le disponible Volontaire
		Mécanisme d'ajustement Toutes les offres sont mises en concurrence				

Source : CRE

Selon RTE, quatre niveaux de flexibilité peuvent donc être distingués et les réflexions sur les évolutions envisageables, voire souhaitables, doivent tenir compte de cette segmentation. L'essentiel des besoins réside dans la satisfaction des flexibilités structurelles et régulières pour que la consommation soit en phase avec les périodes de production décarbonée et à faibles coûts. A l'autre bout du spectre, les flexibilités de sauvegarde visent à sortir des situations exceptionnelles. Entre les deux, les flexibilités dynamiques et d'équilibrage permettent de pallier les fluctuations de l'équilibre du système électrique.

DIFFÉRENCIATION DES NIVEAUX DE FLEXIBILITÉ



2.2 L'OPTIMISATION TECHNICO-ÉCONOMIQUE DES RÉSEAUX

Pour la CRE¹⁹, « face à l'impératif de décarbonation et de transition énergétique, les pouvoirs publics ont initié un plan volontariste visant à l'électrification des usages et la réindustrialisation de la France. Ce plan renforce la nécessité de développer des infrastructures de réseaux d'électricité suffisantes pour accueillir les nouvelles installations. Au vu de la demande croissante de nouveaux raccordements et afin de permettre un traitement efficace de ces demandes en matière de délais et de coûts, il est nécessaire d'optimiser l'utilisation des capacités des réseaux publics d'électricité. Les tarifs d'utilisation des réseaux publics d'électricité (TURPE) jouent un rôle prépondérant dans le développement du réseau notamment en couvrant une part significative des coûts de raccordement des consommateurs (l'intégralité des coûts de renforcement du réseau est couverte par le TURPE ainsi que 30 % des coûts d'extension du réseau pour les raccordements au réseau de transport et 40 % des coûts d'extension et de branchement pour les raccordements au réseau de distribution).

En contrepartie de cette prise en charge financière par la collectivité, il est attendu que les utilisateurs optimisent leur puissance de raccordement en fonction de leurs besoins réels. »

D'ici 2040

Enedis et RTE prévoit à ce stade d'investir **200 milliards d'euros** dans le réseau électrique français.

Un montant extrêmement important et pour une large partie supportée par tous les consommateurs, qui illustre à lui seul l'absolue nécessité de l'optimiser et de l'étaler dans le temps pour garantir l'acceptabilité de l'électrification et de la digitalisation.

¹⁹ <https://www.cre.fr/documents/consultations-publiques/conditions-de-modification-par-les-gestionnaires-de-reseau-public-de-la-puissance-de-raccordement-electrique-des-utilisateurs-en-application-de-larticle-l-342-24-du-code-de-lenergie.html>

2.3 CONSOMMER À MOINDRE COÛT

Au fur et à mesure que les énergies renouvelables se développent et prennent la place de la production thermique pilotable, les besoins de flexibilité augmentent dans les domaines cités précédemment.

L'offre et la demande d'électricité doivent s'équilibrer à tout instant. Les échanges sur les marchés de gros de l'électricité constituent le principal moyen d'assurer cette adéquation avec des producteurs, des négociants (traders) et des fournisseurs qui ajustent leurs positions à la fois à l'avance et au cours de la journée. Fondamentalement, à mesure que l'éolien et le solaire augmentent, il y aura une plus grande variabilité de la « charge résiduelle », c'est-à-dire de la demande à satisfaire après que les apports de l'éolien et du solaire aient été déduits.

Cela se manifestera par des périodes où ces deux sources renouvelables répondront à la totalité (ou à la quasi-totalité) de la demande, et d'autres périodes où elles ne fourniront qu'une faible part d'électricité. Il y aura également des périodes où le système passera rapidement de l'une à l'autre de ces situations.

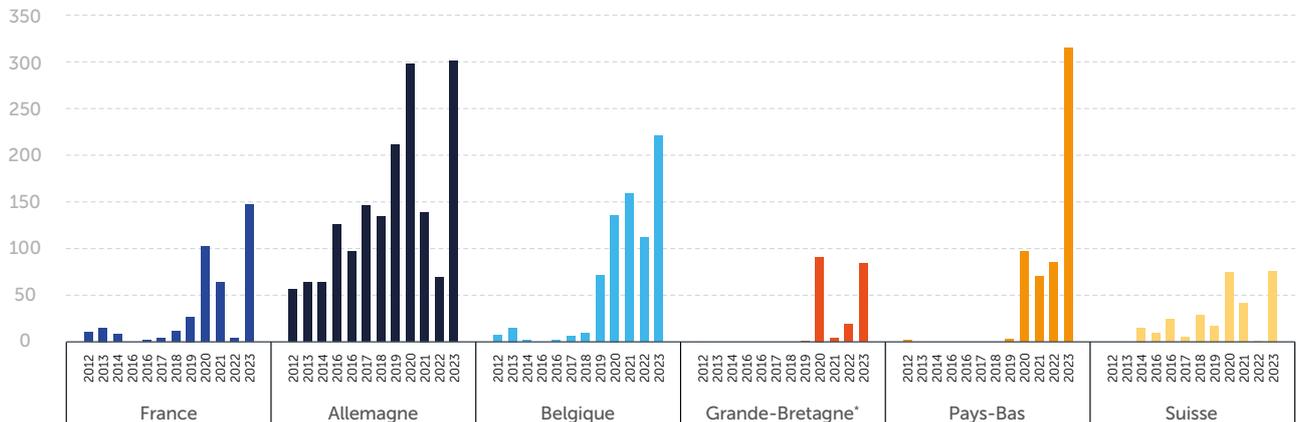
Cela signifie que toutes les autres ressources, à savoir la production pilotable, le stockage d'énergie et la flexibilité de la demande, devront s'ajuster en conséquence.

Le recours à ces nouveaux moyens d'intégration des énergies renouvelables est d'autant plus important que le marché de l'électricité connaît des épisodes de prix négatifs de l'électricité de plus en plus réguliers.

RTE précise ainsi que :

“ l'augmentation très marquée de la part des énergies renouvelables a eu des effets visibles sur les prix, engendrant un nombre record d'heures caractérisées par des prix négatifs sur les marchés de gros, nombre qui a plus que triplé par rapport aux années précédentes pour atteindre 316 heures en 2023. ”

NOMBRE D'HEURES OÙ LE PRIX DE L'ÉLECTRICITÉ A ÉTÉ NÉGATIF, PAR PAYS ET PAR ANNÉE



* La Grande-Bretagne et l'Irlande du Nord n'appartiennent pas à la même zone de marché : les données affichées ici concernent uniquement la Grande-Bretagne et non pas le Royaume-Uni

Source : EPEX

Selon le contrat qui le lie à son fournisseur d'énergie, un consommateur « flexible » peut donc avoir un avantage économique majeur à décaler au maximum ses consommations en milieu de journée au moment où la production d'énergies renouvelables fait baisser le prix de l'électricité, et ce dès la fin de l'hiver.



LES SOURCES DE FLEXIBILITÉ DES DATA CENTERS

Actuellement, les services de flexibilité sont essentiellement assurés par les barrages hydro-électriques, l'industrie et les centrales utilisant des combustibles fossiles, ces dernières devant s'arrêter à très court terme.

De nouvelles sources de flexibilité sont en train ou vont bientôt les rejoindre : les systèmes de stockage stationnaire par batteries, les batteries des véhicules électriques, les centres de production d'hydrogène par électrolyse, les logements et bâtiments tertiaires, ainsi que les data centers.

La vocation première des infrastructures énergétiques d'un data center est et sera d'assurer la continuité des services numériques. Néanmoins, les data centers sont une source de flexibilité largement méconnue, eux-mêmes étant des systèmes énergétiques sophistiqués. Ils peuvent s'inscrire dans cette perspective d'un système électrique plus ouvert, interactif et flexible, avec plusieurs gains à la clé.

Dans ce contexte, les data centers pourraient constituer un important gisement de flexibilité car ils :

- représentent un appel de puissance important qui peut, en partie, être décalé en fonction des conditions du réseau électrique ;
- concentrent une forte consommation en un seul endroit, plus facilement mobilisable que de nombreuses petites puissances réparties dans les maisons et les véhicules électriques ;
- hébergent une gamme variée de ressources énergétiques flexibles sur site ;
- disposent déjà de systèmes sophistiqués de surveillance, de contrôle, de communication et d'automatisation, contrairement à d'autres entreprises ou habitations.

Pour qu'un data center réponde à des besoins de flexibilité électrique, il est nécessaire de respecter plusieurs critères :

- le délai de préavis dont il a besoin pour répondre à un signal de flexibilité ;
- le taux de montée en puissance (*ramp rate*), c'est-à-dire le temps nécessaire pour atteindre sa capacité maximale ;
- la durée pendant laquelle la réponse flexible doit être mise en œuvre.

3.1 ALIMENTATION SANS INTERRUPTION

Une alimentation sans interruption (ASI, ou UPS en anglais – *Uninterruptible Power System*) est un système électrique composé d'un onduleur couplé à des batteries stationnaires, qui fournit une transition instantanée et transparente vers une alimentation de secours pendant une perturbation ou une panne du réseau électrique, pour une durée limitée.

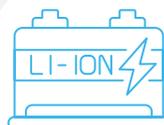
Les data centers sont les principaux utilisateurs de ces systèmes qui améliorent par ailleurs la qualité du courant électrique pendant le fonctionnement habituel. Les ASI sont généralement dimensionnées pour fournir une alimentation de secours pendant 5 à 15 minutes, le temps qu'une autre source d'alimentation de secours soit mise en action, par exemple un groupe électrogène (voir chapitre 3.3).

Il est donc techniquement possible pour une ASI de fournir des services de flexibilité au réseau électrique en mobilisant l'énergie stockée dans ses batteries. Par nature, une ASI peut fournir une puissance élevée très rapidement mais pendant une durée limitée, ce qui correspond à la fourniture de services système au réseau électrique comme la réponse en fréquence (voir chapitre 2.1). La puissance disponible et sa durée dépendent de la nature des batteries installées, de leur taille et du niveau de marge de sécurité souhaité par l'opérateur pour conserver la fonction première de l'ASI.

TYPES DE BATTERIES DES ASI

Les ASI s'appuient historiquement sur des batteries dites « plomb-acide ». Depuis quelques années, la technologie lithium-ion prend son essor grâce à des coûts en baisse, une densité énergétique plus forte et des durées de vie plus longues. Équipant à ce stade 30 % du parc d'ASI installées, les batteries lithium-ion devraient en représenter 80 % en 2035. Néanmoins il faut être prudent sur ces estimations car le secteur des batteries bénéficie de nombreuses innovations technologiques, son marché est sujet à des équilibres offre-demande très variables, et le modèle d'ASI considéré par un data center peut se satisfaire de la technologie plomb-acide.

De manière générale, les batteries plomb-acide sont sensibles aux cycles charge-décharge et seront réservées à des services de support fréquence : c'est par exemple le cas dans certains pays du Nord de l'Europe, avec une dizaine de décharge par an d'une durée inférieure à la seconde. La technologie lithium-ion permet, elle, d'envisager des cycles de charge-décharge plus importants et surtout plus longs : selon le dimensionnement on peut tout à fait envisager des durées de décharge de 15 minutes, ou bien de charge pour absorber un pic de production de renouvelables par exemple.



3.2 STOCKAGE STATIONNAIRE PAR BATTERIES

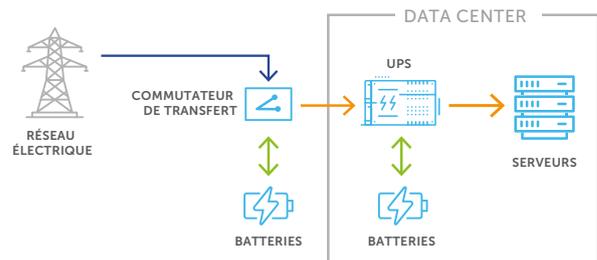
Une autre source de flexibilité pourrait être l'ajout de systèmes de stockage d'énergie par batteries (*Battery Energy Storage System* ou *BESS* en anglais) d'une durée beaucoup plus longue (plusieurs heures) que celle associée aux ASI (5 à 15 minutes).

Ce BESS s'appuierait en très grande partie sur l'infrastructure électrique du dispositif de secours des ASI.

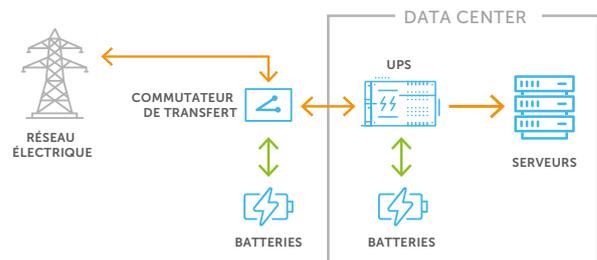
Ce type d'installation n'a pas forcément vocation à se substituer à un secours existant comme les groupes électrogènes mais à optimiser l'approvisionnement en électricité selon le moment de la journée.

LES PRINCIPES D'UN BESS

Mode parallèle



Mode bidirectionnel



- Alimentation par le réseau électrique
- Back up batteries
- Alimentation par le réseau électrique et les batteries

Source : ENGIE

3.3 GROUPES ÉLECTROGÈNES DE SECOURS

Afin d'assurer la continuité d'activités en cas de coupure d'électricité, la quasi-totalité des data centers implantés en France sont équipés de groupes électrogènes.

En cas d'incident d'alimentation, un groupe démarre en quelques secondes, atteint rapidement son fonctionnement nominal et prend le relais des ASI (voir chapitre 3.1) en quelques minutes.

Un groupe électrogène peut techniquement fonctionner pendant plusieurs jours : chaque data center est ainsi doté de cuves de stockage de combustible permettant une autonomie pouvant aller jusqu'à 72 heures afin, par exemple, de pallier d'éventuels problèmes de livraison de combustible pendant un week-end prolongé.

L'échelle temporelle des services susceptibles d'être techniquement rendus par un groupe électrogène s'étale donc de la minute à plusieurs jours.

La quasi-totalité du parc de groupes électrogènes implantés en France sert aujourd'hui « d'assurance » en cas d'incidents sur le réseau électrique, phénomènes rares. Ils ne fonctionnent donc qu'une poignée d'heures par an pour vérifier leur opérationnalité et présentent donc un bilan carbone limité.



RÉCENTES OBLIGATIONS AUX GROUPES ÉLECTROGÈNES

Face aux tensions sur l'approvisionnement en électricité apparues pendant l'hiver 2022/2023, le législateur a décidé d'obliger certaines catégories de groupes électrogènes à participer à l'équilibre du réseau électrique français : la loi « pouvoir d'achat » de 2022 impose ainsi aux « sites de consommation qui utilisent des installations de production ou de stockage d'électricité de plus d'1 MW en vue de leur fournir une alimentation de secours de mettre à la disposition de RTE, par l'intermédiaire du mécanisme d'ajustement, la totalité de leur puissance non utilisée et techniquement disponible. »

Cette disposition s'appuie sur des exemptions provisoires notamment en matière de protection de l'environnement, car les groupes électrogènes installés dans les data centers utilisent aujourd'hui du combustible fossile sans être équipés de systèmes de post-traitement.

Ces systèmes permettant de traiter les fumées de combustion sont en effet facultatifs dès lors que le groupe n'est utilisé qu'en secours.

Par ailleurs, des biocarburants compatibles avec le parc installé de groupes électrogènes sont désormais disponibles. Selon la base carbone de l'ADEME²⁰, ces biocarburants proposent un facteur d'émission situé entre 16 et 21 kgCO₂e / GJ PCI contre 75 pour le diesel. Ces produits issus des « huiles usagées » sont compatibles avec les critères de définition des énergies renouvelables par la directive « énergies renouvelables ».

AUTRES SOLUTIONS DE COMBUSTIBLES POUR LES GROUPES ÉLECTROGÈNES

Il existe également des solutions de secours à base d'hydrogène et de nombreuses expérimentations ont déjà eu lieu, notamment aux États-Unis. Il est néanmoins peu probable que ces solutions se déploient à court terme dans la mesure où ils ne peuvent proposer qu'une autonomie de courte durée. En effet, à niveau de service équivalent, par exemple 72 h d'autonomie, la quantité d'hydrogène à stocker entraînerait des contraintes fortes en matière de sécurité, notamment en milieu urbain où se trouvent souvent les data centers.

Il existe enfin des solutions faisant appel au gaz.

²⁰ https://prod-basecarbonesolo.ademe-dri.fr/documentation/UPLOAD_DOC_FR/index.htm?liquides2.htm

3.4 SYSTÈMES DE REFROIDISSEMENT DES DATA CENTERS

40%
de la consommation
d'électricité d'un data center
est consacrée aux besoins
de refroidissement

Comme le rappelle l'Agence internationale de l'énergie dans son rapport *Electricity 2024*, la consommation d'électricité d'un data center est due à 40 % à ses besoins de refroidissement.

Le fonctionnement des baies informatiques génère en effet de l'échauffement et, pour maintenir une température optimale des circuits électroniques, les salles de calcul doivent être obligatoirement refroidies. Ce chiffre moyen de 40 % cache une réalité très hétérogène : la part du « *cooling* » peut être bien supérieure dans les data centers les plus anciens, tandis qu'elle peut descendre à 10 % dans les plus récents et les plus performants ; elle est aussi très variable selon les saisons et les niveaux de température extérieure.

En France, actuellement, la quasi-totalité des data centers s'appuient sur des groupes froids²¹ et des boucles d'eau glacée pour assurer le refroidissement des salles. La plupart des data centers neufs ou récents font également appel au *free-cooling*²², les groupes froids étant uniquement sollicités lorsque l'air extérieur est trop chaud, généralement en période estivale. La recherche d'efficacité énergétique tend à privilégier le *free-cooling* lorsque c'est possible, ce dernier étant très peu consommateur d'électricité.

Les systèmes à eau glacée présentent une possibilité de flexibilité. En effet, on peut y adjoindre un système de stockage de glace ou de matériaux à changement de phase (ou MCP) pouvant prendre le relais de la distribution de froid pour une durée allant de quelques minutes à quelques heures selon le dimensionnement du système. On économise ainsi la consommation d'électricité des groupes froids.

Il est à noter que la durée nécessaire au remplissage de la réserve de glace ou de MCP est assez longue (plusieurs heures) et s'appuie sur des modes de fonctionnement des groupes froids différents de ceux utilisés pour refroidir les salles informatiques (régime de type -1°C/-5°C) avec par conséquent des performances énergétiques pouvant être dégradées. Par contre, une fois stocké, et s'il n'est pas utilisé, le froid se conserve très bien (moins de 2 % de pertes par semaine). Ce stockage prend par ailleurs de la place par rapport à un système « classique ».

Le stockage de froid est déjà assez répandu dans les DROM et dans certains bâtiments tertiaires en métropole comme les hôpitaux. On peut par exemple citer le Centre National d'Études Spatiales dont l'un des sites a complété ses trois groupes de production de froid (3 MW chacun) par un stockage de glace de 11 MWh, soit un peu plus d'une heure d'autonomie.

Dans le secteur des data centers, il existe un site dans le Nord de la France qui dispose de 600 kW de stockage de glace pour tenir 30 minutes. Un autre, de puissance 8 MW, dispose d'un stockage de glace pouvant tenir 4 heures.

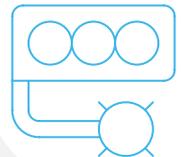
Il est enfin intéressant de souligner que la flexibilité offerte par la brique technologique du refroidissement sera en bonne partie saisonnière puisque grâce au *free-cooling*, les groupes froids tournent peu voire pas du tout pendant l'hiver et la mi-saison.

UNE OPTION DE LIQUID COOLING POUR L'IA ?

Une partie des activités d'Intelligence Artificielle fera appel au « *liquid cooling* ». Plusieurs solutions se développent (*direct-to-chip*, immersion²³) pour refroidir ainsi les baies informatiques, notamment celles qui vont utiliser des composants électroniques à forte densité de calcul pour l'IA ou le *machine-learning*. Les avantages du *liquid cooling* sont nombreux : capacité calorifique beaucoup plus importante, moindre consommation des pompes,

possibilité de récupération de chaleur fatale, moins de bruit, facilité d'entretien et température de fonctionnement des baies jusqu'à 30-45°C. Ce dernier point permet en théorie de faire beaucoup plus appel au *free-cooling*.

Néanmoins, il est probable que le développement du *liquid cooling* soit limité à une part minoritaire du parc dans les dix prochaines années.



²¹ groupes froids : machines thermodynamiques, de type « climatisation », qui génèrent des frigories soit pour refroidir directement l'air soufflé dans les salles de calcul (système à détente directe), soit pour refroidir un réseau d'eau qui circule dans les salles (système à eau glacée). Ces systèmes consomment de l'électricité pour la compression et l'évaporation des fluides frigorigènes ;

²² Principe du *free-cooling* : de l'air extérieur est capté pour refroidir, en direct ou via un fluide intermédiaire (eau ou air) les salles informatiques

²³ Voir par exemple cet article dans *Techniques de l'ingénieur* : <https://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/articles/severine-hanauer-le-refroidissement-par-immersion-est-une-technologie-prometteuse-pour-les-datacenters-129874/>

²⁴ Eaton, Statkraft, Bloomberg NEF, 2021

3.5 PILOTAGE DES INSTALLATIONS

Comme tout site industriel, un data center accumule plusieurs niveaux de consommation d'énergie (dans les salles informatiques, les bureaux, les locaux techniques, etc.) qui servent à différents usages : stockage et traitement de données, calcul, climatisation, ventilation, alimentation sécurisée en électricité, chauffage, production d'eau chaude sanitaire, éclairage, matériel informatique, détection de présence, sécurité, téléphonie, connexion internet, etc.

Pour actionner au mieux ces différents niveaux, l'utilisation d'un système de pilotage est nécessaire, il permet notamment :

- de faire un suivi détaillé des consommations ;
- d'assigner des consignes d'usages (consigne de température, horaires de déclenchement, évolution du débit d'air ou de l'éclairage en fonction de la présence des occupants, etc.) ;
- d'identifier d'éventuels problèmes (appareil en panne, fuites, etc.) ;
- de faire de la maintenance prédictive.



Les systèmes de pilotage permettent d'exploiter un potentiel d'économies d'énergie significatif, mais aussi le potentiel de flexibilité. Ils sont en effet indispensables pour :

- respecter les délais de prévenance et de déclenchement inhérents aux marchés de la flexibilité ;
- automatiser le démarrage / arrêt des briques technologiques appelées à fournir des services de flexibilité ;
- optimiser l'utilisation des différentes sources de flexibilité.

DÉCRET BACS : LES DATA CENTERS CONCERNÉS

Depuis le 8 avril 2024 (date de dépôt du permis de construire), le décret BACS (*Building Automation and Control Systems*) s'applique aux bâtiments tertiaires possédant un équipement de climatisation ou de chauffage dont la puissance nominale est supérieure à 70 kW, qu'il soit combiné ou non avec un système de ventilation.

La France considérant à ce stade qu'un data center est un bâtiment tertiaire, cette réglementation s'impose donc aux data centers.

3.6 DÉCALAGE TEMPOREL (TIME SHIFTING)

Les data centers servent à toute une série de tâches informatiques. Certaines se déroulent en temps réel, comme les appels vidéo ou les transactions financières. D'autres sont dites « tolérantes aux délais » et n'ont pas besoin d'être exécutées immédiatement, comme la sauvegarde des données ou l'entraînement pour l'IA.

Dans un data center, la proportion entre les opérations en temps réel et les opérations pouvant être décalées dans le temps varie en fonction de l'utilisateur du data center, du service demandé et de l'heure de la journée. Il existe peu de données sur la proportion entre ces types de tâches de calcul ; les études universitaires indiquent que 30 à 50 % des opérations pourraient être tolérantes aux délais²⁴. L'évolution à venir de ces proportions est encore mal connue, au regard de l'essor de l'internet des objets et de l'IA. Pour l'instant, on suppose que ces proportions vont se maintenir, et également que l'évolution des tâches de calcul sera directement proportionnelle à l'évolution de la demande en énergie des data centers. Mais en réalité, cette proportion peut varier d'un data center à l'autre en fonction de sa conception, de son efficacité et de ses clients.

Les clients des data centers programment déjà des tâches tolérantes aux délais pour gérer la capacité de calcul du data center et pour maximiser l'utilisation et l'efficacité. La possibilité de retarder une tâche dépend **donc de la volonté du client**, du temps estimé pour l'accomplir, et de l'heure à laquelle l'utilisateur souhaite que la tâche soit terminée. Si tous les signaux sont positifs, alors on peut décider de planifier l'exécution de la tâche.

Les opérateurs et les utilisateurs des data centers ont besoin d'un délai d'environ 24 heures pour planifier les tâches. L'interruption et la reprogrammation d'une tâche à court terme sont possibles, mais restent l'exception plutôt que la règle actuellement.

3.7 TRANSFERT GÉOGRAPHIQUE

La possibilité de déplacer l'emplacement d'une tâche n'est pas une idée nouvelle. Les opérateurs de data centers ayant plusieurs sites peuvent déjà transférer des tâches pour optimiser l'efficacité et l'utilisation de leur parc de data centers, ou pour profiter de prix de l'énergie plus bas dans des endroits spécifiques.

La possibilité de déplacer la charge existe si la capacité de calcul est disponible et si le site de destination dispose du matériel et des logiciels appropriés pour le transfert des données. Car ce transfert d'un site à l'autre nécessite de l'énergie, ce que l'opérateur du data center doit prendre en compte lorsqu'il évalue le coût et les impacts en termes d'émissions carbone.

La quantité de charge pouvant être transférée est difficile à quantifier et dépend de l'utilisateur et de l'opérateur du data center. Bien qu'il y ait peu de données sur lesquelles s'appuyer, on suppose que la même proportion de charge peut être déplacée que pour un décalage temporel d'ici 2030. De même, on estime que les informations seront déplacées vers le data center d'origine dans les huit heures suivant le transfert initial. Comme pour le décalage temporel, l'opérateur du data center souhaite avoir de la visibilité : quelle charge doit être transférée, vers quel endroit et en réponse à quels signaux. Cela limite de nouveau l'application de cette solution aux échanges sur le marché de l'énergie, plutôt qu'aux services de système.

Le transfert géographique de la charge implique probablement de déplacer la tâche vers un endroit plus

éloigné de l'utilisateur, ce qui augmenterait le temps de latence de la tâche. Cela dépend de la tâche, mais des recherches menées par Microsoft ont montré que le déplacement au sein de l'Europe augmente de 10 % le temps de latence subi par l'utilisateur lors d'un appel vidéo, ce que Microsoft a jugé négligeable. Le transfert des calculs sur le réseau prend du temps et peut ajouter à la latence.

Combinaison de solutions

On peut imaginer qu'un data center installe une batterie de secours, dont la durée d'action est plus courte que celle d'un groupe électrogène diesel traditionnel. Dans des moments tendus nécessitant de garantir la fiabilité du site, il pourrait l'utiliser comme source d'énergie, le temps de déplacer géographiquement les calculs informatiques vers un autre data center, assurant ainsi la continuité du service.

SYNTHÈSE DES DIFFÉRENTES TEMPORALITÉS ET TECHNOLOGIES DE FLEXIBILITÉS

Types de besoins en flexibilité

	Flexibilités structurelles et régulières pour que la consommation soit positionnée lorsque l'électricité est bas-carbone et bon marché	Flexibilités dynamiques des besoins ponctuels face aux fluctuations moins régulières de la consommation résiduelle, par exemple lors de vagues de froid ou lorsque la production éolienne est faible	Flexibilité d'équilibrage des besoins pour pallier les aléas et les incertitudes dans la fenêtre opérationnelle de RTE (entre 1h à l'avance et le temps réel)
Data Center			
Alimentation Sans Interruption (ASI)	Inadapté	Inadapté	Support fréquence ou tension
Stockage stationnaire par batteries	Possible	Possible	Possible
Groupe électrogènes	Possible	Possible	Mécanisme d'ajustement
Cooling	Possible	Possible	Possible
Décalage temporel	Possible	Possible mais limité	Possible
Transfert géographique	Possible	Possible mais limité	Possible

■ Possible ■ Possible mais limité ■ Inadapté

3.8 NIVEAU DE FLEXIBILITÉ POTENTIELLEMENT MOBILISABLE DANS LES DATA CENTERS EN 2035

Trois données doivent être prises en compte pour estimer la flexibilité potentielle des data centers en 2035 :

1

la puissance installée des ressources de flexibilité, donc le nombre de data centers qui en sont équipés, et leur puissance

2

la capacité de chaque ressource à être techniquement disponible pour servir le système électrique sans affecter les opérations des data centers

3

la proportion d'opérateurs de data centers étant disposés à participer à des services de flexibilité

Les deuxième et troisième points peuvent être déduits de la capacité installée : d'abord en déterminant le potentiel de capacité existant, puis la quantité qui pourrait être réellement disponible, étant donné que la volonté des opérateurs de data centers de participer à la flexibilité ne sera pas à 100 %.

Sur la base des analyses et des échanges avec diverses parties prenantes, on peut considérer que la maturité du sujet de la flexibilité est variable selon les structures mais demeure globalement éloignée de la mise en œuvre opérationnelle.

À ce stade, la maturité du secteur vis-à-vis du développement de la flexibilité est donc aujourd'hui relativement faible globalement et variable selon les briques technologiques susceptibles d'être sollicitées.

REDONDANCE DES DATA CENTERS

Les data centers disposent d'une capacité de réserve intégrée dans leur conception, qui pourrait également être utilisée à des fins de flexibilité avec en théorie un faible impact sur les opérations. L'intégration de la redondance des composants dans la conception des data centers garantit en effet la continuité du service au cas où l'un d'eux serait défaillant.

Cette redondance s'applique à la fois aux ASI et à l'alimentation de secours. Parfois la capacité de réserve est égale à la capacité de fonctionnement (modèle « 2N »), parfois elle en représente 25 % (modèle « N+1 »). Les capacités flexibles identifiées dans le chapitre 3 sont basées sur la capacité des baies informatiques et ne prennent pas en compte ce niveau de redondance

Ce rapport n'a pas pris en compte ces capacités de redondance.

NIVEAU DE FLEXIBILITÉ DANS D'AUTRES PAYS

Les analyses faites pour cinq pays européens par *BloombergNEF* confirment le fort écart entre les capacités installées, les capacités potentielles et les capacités de flexibilité réellement mobilisables en 2030 par les data centers. Le rapport est environ de :

- 7 pour le Royaume-Uni, avec la plus forte capacité installée (7 392 MW) et seulement 1 035 MW mobilisables ;
- 8 pour l'Allemagne (5 643 / 657 MW) ;
- 6,1 pour la Norvège (1 136 / 186 MW) ;
- 5,8 pour les Pays-Bas (5 521 / 940 MW) ;
- 4,8 pour l'Irlande (4 768 / 994 MW).

Il faut néanmoins relativiser ces chiffres de capacités mobilisables avec les besoins réels de flexibilité de ces pays ou avec d'autres sources de flexibilité. À titre de comparaison, *BloombergNEF* indique que l'Allemagne aurait besoin de 550 MW pour les besoins de maintien de fréquence en 2030.

On notera que, comme prévu, les plus fortes décotes entre les capacités potentielles et les capacités mobilisables sont dans les pays ayant surtout des centres de colocation, et peu de data center de grande taille (*hyperscale*).

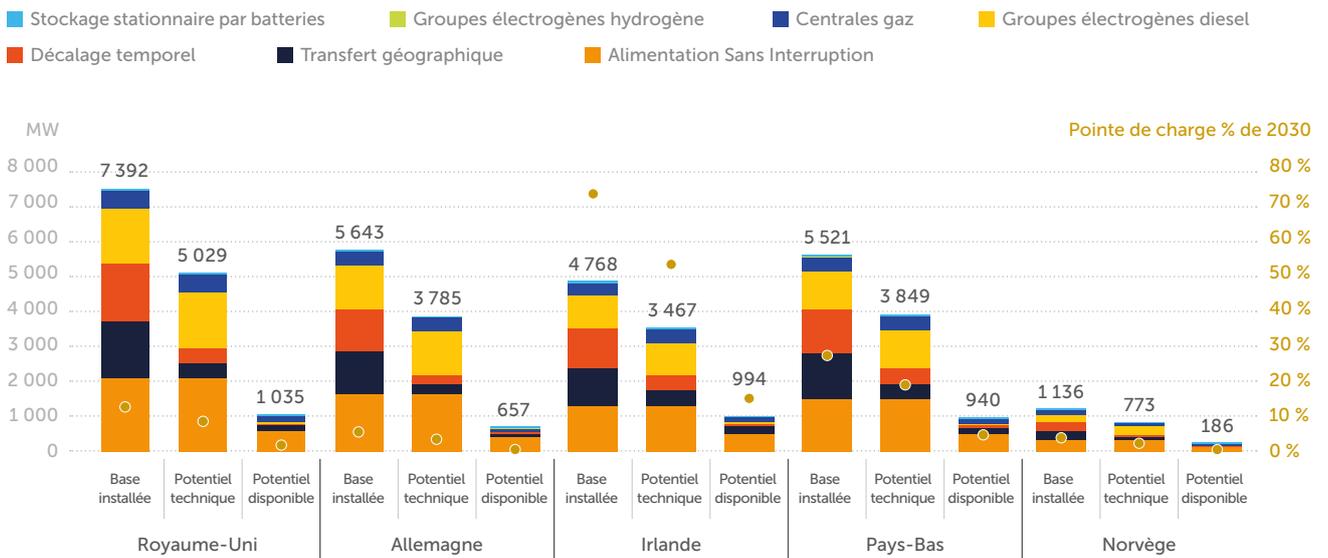
Le cas particulier de l'Irlande est caractérisé par le fait que ses 994 MW de capacités de flexibilité mobilisables dans les data centers pourraient satisfaire 15 % des pics de demande d'électricité du pays, alors que les quatre autres pays sont autour du pourcent.



Face à un manque de visibilité sur la demande de calcul à venir et donc sur la demande d'énergie, les opérateurs de data center gardent toujours une réserve pour faire face à une augmentation subite des tâches informatiques. L'accès à cette capacité de réserve pourrait constituer un banc d'essai pour explorer la flexibilité des data centers. À cette fin, et de manière générale pour maximiser le potentiel de flexibilité, les opérateurs de data centers devront développer de meilleures capacités de prévision de la charge.

Dans les paragraphes qui suivent, le potentiel mobilisable de chaque solution de flexibilité est estimé au regard de ces contraintes. Étant donné les nombreuses incertitudes, il faut lire ces projections comme des ordres de grandeur et non comme des évaluations précises.

FLEXIBILITÉ DES DATA CENTERS PAR PAYS D'ICI 2030



SYSTÈMES D'ALIMENTATION SANS INTERRUPTION

Une ASI présente de nombreux critères de performance identiques à ceux d'une batterie connectée au réseau, comme des taux de rampe rapides. Bien que l'autonomie réduite d'une ASI limite son potentiel sur les marchés de l'énergie, elle est bien adaptée aux services de fréquence du réseau.

Ces services sont généralement sollicités en cas d'écarts importants de la fréquence du système, par exemple lorsqu'une grande centrale électrique s'arrête inopinément. Ils ne sont donc pas souvent utilisés et sont plutôt mis en place par mesure de sécurité. Ces faibles occurrences de risque sont donc susceptibles d'apaiser les inquiétudes quant à une éventuelle baisse des marges de sécurité en matière d'approvisionnement en électricité ou bien d'usure prématurée. Il est cependant à noter que contrairement aux pays du nord de l'Europe, de l'Allemagne ou de l'Italie, le gestionnaire du réseau de transport français RTE estime

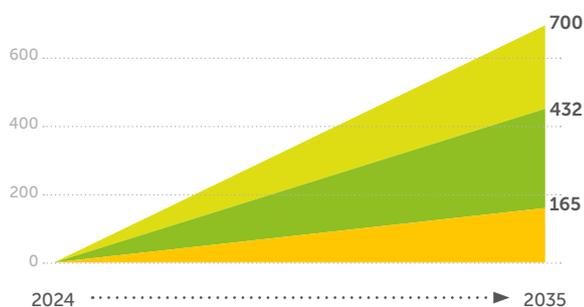
à ce stade que les besoins en « support fréquence » demeureront faibles en France et sont déjà largement couverts par des installations existantes, notamment des batteries stationnaires.

La valeur économique potentiellement offerte par ce service de flexibilité pourrait, seule, s'avérer insuffisante pour convaincre les opérateurs de s'y engager.

Dans une communication du 8 avril 2024, RTE a lancé un appel à manifestation d'intérêt car il « envisage de multiplier les points de réglage de la tension grâce aux technologies des clients consommateurs permettant un réglage dynamique et continu de la tension » dans certaines zones tendues dont l'Île de France. Les ASI sont théoriquement capables de fournir ce service mais cela nécessitera d'intégrer les « codes réseaux »²⁵ à l'image des onduleurs utilisés dans les installations renouvelables.

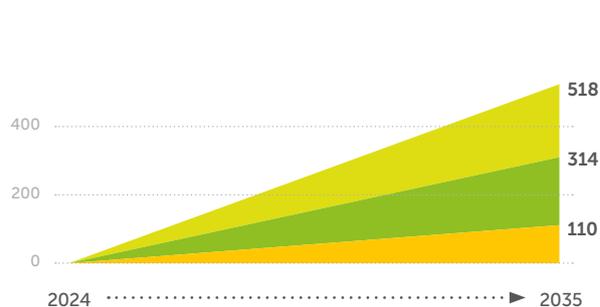
ASI - SUPPORTS EN TENSION (MW)

■ Minimum ■ Moyenne ■ Maximum



ASI - SUPPORTS EN FRÉQUENCE (MW)

■ Minimum ■ Moyenne ■ Maximum



Nous considérons de manière prudente que seuls 5 % à 10 % de la puissance IT équivalente disponible en 2035 serait consacrée à de la flexibilité pour support fréquence via des ASI, soit entre 110 et 220 MW dans le scénario bas de croissance du secteur des data centers (voir chapitre 1.3) et 259 à 518 MW dans le scénario haut.

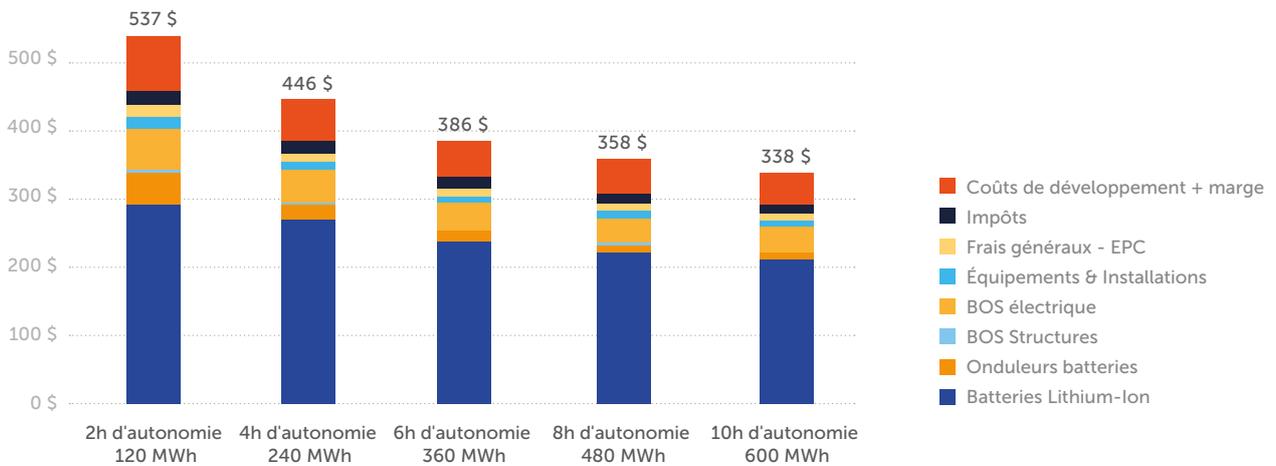
Pour la flexibilité en support de tension, où l'intérêt du gestionnaire de réseau peut être plus grand, la fourchette retenue est 7,5 % à 15 %, ce qui conduit à une capacité potentielle de 165 à 330 MW pour le scénario bas, et 350 à 700 MW pour le scénario haut (dans ce dernier cas, on considère que seuls les data centers en Ile-de-France seront sollicités, soit 90 % du parc).

²⁵ ou *grid code* : document qui définit les conditions nécessaires pour un producteur d'énergie électrique ou un consommateur d'énergie électrique pour pouvoir se raccorder sur un réseau électrique

STOCKAGE STATIONNAIRE PAR BATTERIES

L'ajout d'une fonction « stockage stationnaire par batteries » d'une durée de 2 à 3 heures (horizon temporel le plus intéressant selon RTE) contre 5 à 15 minutes habituellement, présente l'intérêt de permettre d'une part une mutualisation des coûts de toute façon mobilisés pour mettre en œuvre le « secours électrique ASI » et d'autre part de valoriser économiquement un actif qui jusqu'à présent ne sert que de secours.

COÛTS D'UN SYSTÈME DE STOCKAGE STATIONNAIRE LITHIUM-ION DE 60 MW (USD/kWh, 2021)



Source : NREL

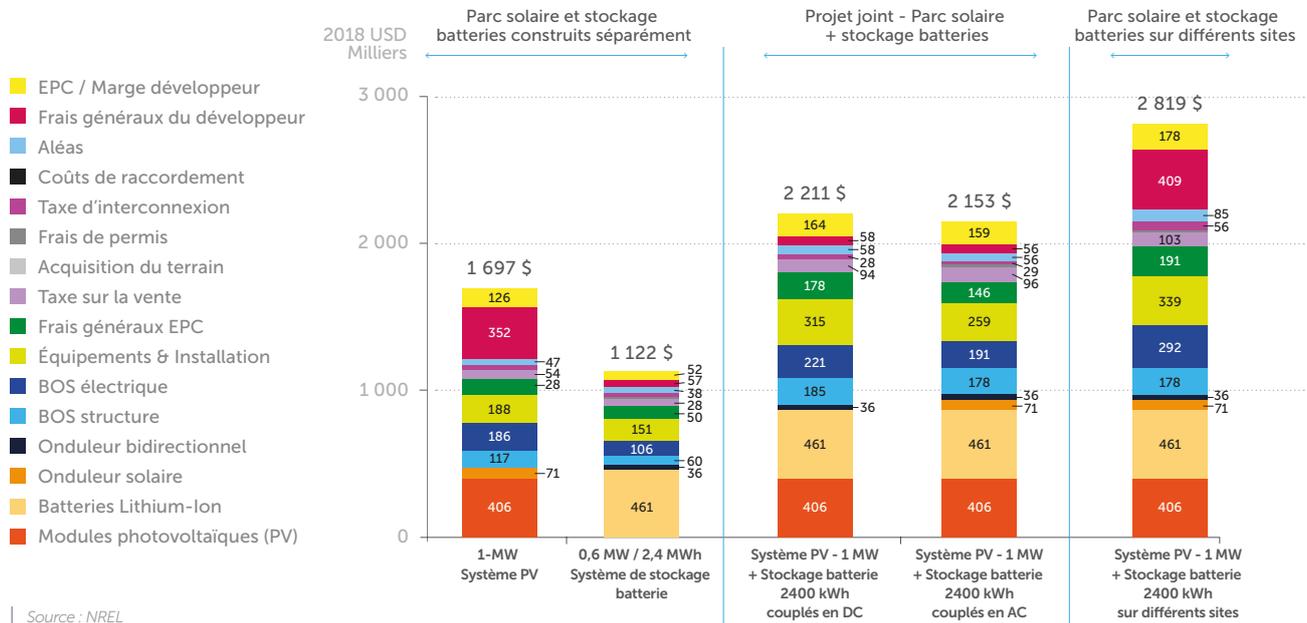
Aux États-Unis (voir graphe ci-dessus), les coûts associés aux batteries lithium-ion représentent seulement 50% du coût total d'un système de stockage stationnaire d'énergie d'une durée de 2 heures, créneau minimal présentant un intérêt économique pour RTE. La structure des coûts est évidemment différente en Europe et en France et des coûts spécifiques (chargeur de batteries, convertisseurs, espace nécessaire) pourraient être à intégrer.

La part des investissements mutualisables paraît néanmoins suffisamment importante pour s'interroger sur l'opportunité économique de ce type de stockage lors de nouveaux projets de data centers : selon le National Renewable Energy Laboratory, une démarche de mutualisation entre une installation solaire et un système de stockage stationnaire (BESS) permettrait de réduire le coût d'investissement au kilowattheure de 25 %





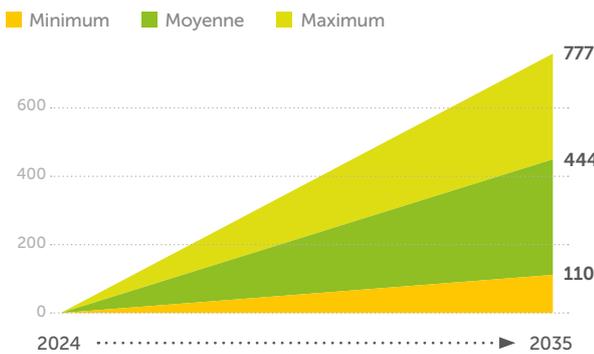
ESTIMATION DES COÛTS DE SYSTÈMES COMMERCIAUX DE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE ET DE BESS, INDIVIDUELLEMENT ET COUPLÉS ENSEMBLE



Source : NREL

On notera que deux types d'installations sont envisageables : l'une permettant « d'effacer » tout ou partie du data center vis-à-vis du réseau, l'autre permettant d'injecter de l'électricité au réseau. Outre un dimensionnement plus important du parc de batteries, la deuxième option impose également la compatibilité de l'installation avec les « codes réseaux ».

STOCKAGE STATIONNAIRE PAR BATTERIES (MW)



En 2022, Google inaugurerait dans son campus belge de data centers un système de stockage par batteries de 2,75 MW / 5,5 MWh²⁶.

Les objectifs pour l'entreprise : remplacer une partie des groupes électrogènes et fournir au réseau électrique des services de flexibilité.



Vu les avantages que les data centers pourraient retirer de la flexibilité (voir chapitre 4), notamment l'optimisation de l'achat d'électricité sur les marchés, et la diminution des coûts de raccordement au réseau en échange d'une disponibilité pour les services de flexibilité, nous estimons que l'équivalent de 5 % à 15 % des capacités IT disponibles en 2035 y seraient consacrés grâce à des batteries stationnaires. Soit de 110 à 330 MW pour le scénario bas, et de 259 à 777 MW pour le scénario haut.

²⁶ <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/google-picks-fluence-for-275mw-grid-supporting-battery-system-in-belgium/>

REFROIDISSEMENT

Le développement de services de flexibilité s'appuyant sur le refroidissement présente de nombreux avantages mais est également susceptible d'engendrer divers degrés de complexité.

Faire varier la température de consigne dans les salles blanches en amont et/ou en aval de la contrainte du réseau est relativement peu complexe. La difficulté réside essentiellement dans les engagements contractuels (température maximale dans les salles) liant le prestataire et son client qui, pour certains d'entre eux, utilisent des serveurs obsolètes et donc susceptibles d'être sensibles à des températures trop hautes. Face à la complexité pour obtenir l'accord de l'ensemble des clients, une intervention réglementaire pourrait s'avérer nécessaire.

Du côté des systèmes de stockage de froid (glace ou matériaux à changement de phase), plusieurs éléments sont à considérer :

- l'ajout de systèmes de stockage engendre très logiquement des coûts supplémentaires que ce soit en termes d'équipements (régimes de température différents du refroidissement « classique » des salles informatiques) ou d'espace occupé ;
- la consommation d'électricité due à la fabrication de glace, moins efficace que la génération d'air frais, va venir dégrader l'indicateur d'efficacité énergétique.

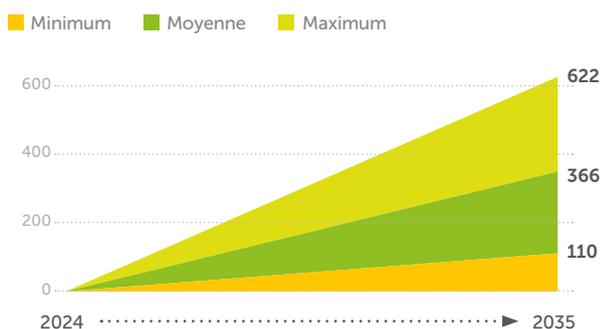
Les variations saisonnières font que les besoins de froid des data centers seront plus forts durant l'été en France. Ces périodes « chaudes » seront donc plus propices à moduler la production de frigories pour répondre à des besoins de flexibilité du réseau électrique.

Elles seront d'autant plus propices que dans le système électrique de 2035, la production d'électricité par des sources renouvelables sera importante l'été, avec de potentielles fortes variations et des prix extrêmement bas, voire négatifs, pendant l'après-midi.

Au regard de son poids dans la consommation d'électricité d'un data center, et de sa possibilité de modulation qui existe déjà pour s'adapter aux températures extérieures, les systèmes de *cooling* permettent d'envisager trois types de flexibilité :

1. en réponse à une demande du réseau électrique, une variation à la hausse de la température de consigne dans les salles informatiques permettrait de baisser le besoin de refroidissement et donc d'effacer une partie de consommation d'électricité pour les groupes froids. Cette flexibilité ne nécessiterait pas d'investissements supplémentaires et répondrait à des durées courtes de modulation ;
2. en réponse à une demande du réseau électrique, une modulation du stock de froid pour consommer de l'électricité (production de frigories) ou s'effacer du réseau (décharge du stockage). Dans le cas de modulation à la hausse, la durée de flexibilité sera courte – de l'ordre de la demi-heure – et seulement possible si le stockage de glace n'est pas entièrement plein ; dans le cas de modulation à la baisse, la durée pourrait être plus longue mais ne doit pas impacter la capacité de secours en froid pour le data center ;
3. pour une optimisation tarifaire interne, l'ajustement de la production de stockage de froid en fonction des prix de l'électricité est envisageable, si l'écart de prix entre différentes périodes le justifie.

REFROIDISSEMENT (MW)



Nous estimons que l'équivalent de 5 % à 12 % des capacités IT disponibles en 2035 pourraient être mobilisées pour de la flexibilité via la modulation de la production de froid, soit de 110 à 330 MW pour le scénario bas, et de 259 à 622 MW pour le scénario haut.

STOCKAGE DE FROID : L'EXEMPLE DE CIV

Le stockage latent de froid est une pratique pour l'instant confidentielle mais réelle en France. C'est par exemple le cas de l'opérateur CIV. Plusieurs raisons l'ont poussé à adopter cette solution :

- il ajoute une sécurité supplémentaire en cas d'incident électrique, le stockage latent pouvant prendre le relais pendant environ 1h en cas d'arrêt éventuel des groupes froids ;
- il réduit l'impact CO₂ des tests de groupes électrogènes en s'abstenant de devoir alimenter les groupes froids, mis en stand-by pendant ces périodes ;
- il se donne la possibilité d'augmenter les régimes de température et ainsi améliorer l'efficacité énergétique du data center.



LES GROUPES ÉLECTROGÈNES DE SECOURS

Une conversion des groupes électrogènes de secours en systèmes pouvant répondre à des besoins de flexibilité implique un certain nombre de changements techniques avec des coûts afférents pouvant être non négligeables :

- il est tout d'abord nécessaire d'équiper les installations présentes et futures de systèmes de traitement des fumées de combustion (système facultatif si le groupe n'est utilisé qu'en secours) engendrant un coût supplémentaire et la disponibilité d'un espace susceptible de les accueillir, pas toujours prévu initialement ;
- il faut également adapter l'infrastructure électrique du data center. Ce changement peut-être relativement léger si l'on attend des groupes qu'ils « effacent » (ou « ilôtent ») le data center du réseau. Il peut être beaucoup plus conséquent si on lui demande également d'injecter la puissance électrique restant disponible. Actuellement, les conceptions des data centers existants comme ceux à venir n'offrent pas cette possibilité.

La question de l'acceptabilité sociale se pose également : même traités acoustiquement, les groupes électrogènes génèrent inévitablement des nuisances sonores lorsqu'ils sont sollicités. Une plus grande durée de fonctionnement peut engendrer une opposition locale dans les zones fortement urbanisées.

Reste enfin le sujet du combustible et des questions relatives à l'environnement. Des solutions à base de biocarburants de deuxième génération sont désormais disponibles sur le marché et compatibles avec les groupes électrogènes déjà installés et ceux à venir : de nombreux opérateurs de data centers se sont d'ailleurs déjà convertis à ce type de combustibles.

Leur utilisation dans le cadre de services de flexibilité soulève plusieurs interrogations relatives :

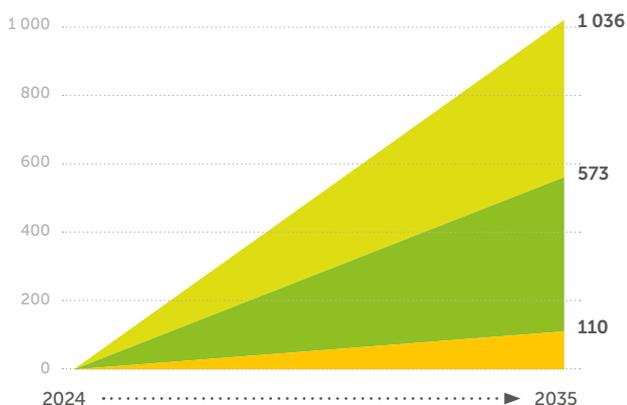
- à la capacité des producteurs de biocarburants à répondre à une éventuelle demande plus forte des groupes électrogènes qui tourneraient plus longtemps et plus régulièrement ;
- au prix à long terme de ces biocarburants ;
- à la priorité à donner au réapprovisionnement des installations de data centers, condition indispensable pour rassurer les opérateurs.

Un dialogue entre les acteurs de la filière de production de biocarburants et ceux du data center est ici à lancer.

Ces barrières levées, les groupes électrogènes pourraient à terme tout à fait assumer le rôle qui était le leur avant 2014²⁷ et redevenir des contributeurs importants aux marchés de la flexibilité.

GROUPES ÉLECTROGÈNES (MW)

■ Minimum ■ Moyenne ■ Maximum



Nous estimons que l'équivalent de 5 % à 20 % des capacités IT disponibles en 2035 et également disponibles sous forme de groupes électrogènes pourraient être mobilisées pour de la flexibilité, soit de 110 à 440 MW pour le scénario bas, et de 259 à 1 036 MW pour le scénario haut.

²⁷ avant leur exclusion des mécanismes d'effacement en 2014, jusqu'à 30 % de la puissance installée en groupes électrogènes y participaient.

DÉPLACEMENT DANS LE TEMPS

Le délai de prévenance et la durée du décalage associée font du « *time shifting* » et du transfert géographique des leviers de flexibilité adaptés aux opérations du marché de l'énergie telles que l'écrêtement des pointes de consommation (effacement) ou l'adaptation à la production d'énergie renouvelable, mais relativement peu compatibles avec les services système qui nécessitent une réponse rapide.

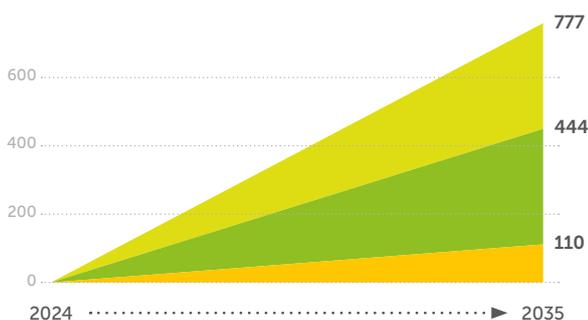
Il n'est aujourd'hui pas naturel ou évident de décaler la charge des data centers dans le temps, notamment faute d'incitation. Les opérateurs et les utilisateurs de data centers doivent en effet recevoir les bons signaux pour encourager le décalage temporel et pour concevoir des logiciels et des applications dans cette optique.

La problématique est par ailleurs plus complexe pour les data centers de colocation que pour ceux *hyperscale* : un fournisseur de colocation ne peut pas voir ou contrôler les tâches de calcul, alors que les opérateurs *hyperscale* peuvent gérer leurs applications internes.

En France, où le modèle de la colocation est prédominant, l'opérateur de data centers peut adopter une infrastructure énergétique lui permettant de générer un potentiel de flexibilité mais sa pleine exploitation nécessite un alignement du pilotage entre le client et le fournisseur de services.

DÉCALAGE TEMPOREL (MW)

■ Minimum ■ Moyenne ■ Maximum



En principe, 30 à 50 % des tâches informatiques des data centers pourraient être décalées dans le temps²⁸. Mais face à l'incertitude de mise en œuvre réelle de cette pratique dans les data centers en colocation, nous estimons que 5 % à 15 % des capacités IT disponibles en 2035 pourraient utiliser de la flexibilité par décalage temporel, soit de 110 à 330 MW pour le scénario bas, et de 259 à 777 MW pour le scénario haut.

TRANSFERT GÉOGRAPHIQUE

Jusqu'à présent, le déplacement spatial était uniquement à la main du client, ce dernier pouvant décider de mouvoir sa charge IT selon les contraintes du réseau électrique des data centers où sont hébergés ses serveurs, que ce soit en France ou en Europe.

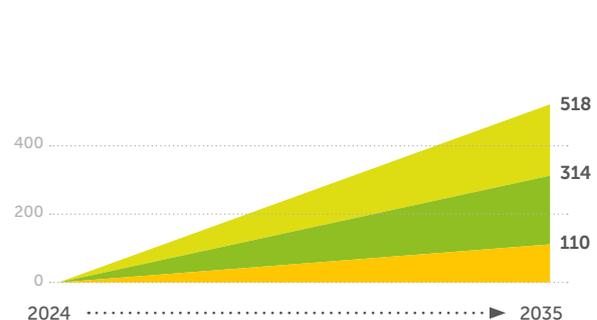
Il est néanmoins à noter le développement récent d'offres de type *Data Center As A Service* (DCAAS) qui ouvrent la possibilité au prestataire de service de s'appuyer sur son éventuelle flotte de data centers pour procéder à un déplacement géographique tout en assurant le même service à ses clients.

Ainsi, les grands acteurs mondiaux de la colocation pourraient également avoir la possibilité de déplacer géographiquement la charge IT de leurs clients DCAAS.

Par ailleurs, lors de la mise en œuvre d'un transfert géographique, il faut se demander si les données peuvent être déplacées en dehors d'une juridiction ou d'un pays, par exemple en raison de la gouvernance sur la confidentialité des données ou de la sécurité nationale. Cette limitation des données peut ne pas être importante (par exemple en cas de mouvements au sein de l'Union européenne), mais les opérateurs de data centers doivent garder cette limite à l'esprit.

TRANSFERT GÉOGRAPHIQUE (MW)

■ Minimum ■ Moyenne ■ Maximum



Nous estimons que l'équivalent à 5 à 10 % des capacités IT disponibles en 2035 seraient en mesure d'être flexibles par déplacement géographique des tâches informatiques, soit de 110 à 220 MW pour le scénario bas, et de 259 à 518 MW pour le scénario haut.

²⁸ www.eaton.com/content/dam/eaton/company/news-insights/energy-transition/documents/bnef-eaton-statkraft-data-center-study-en-us.pdf

BILAN DES POTENTIELS DE FLEXIBILITÉ

La croissance du parc de data centers d'ici 2035 en France positionne ce secteur comme un des consommateurs significatifs d'électricité. Mais au delà du moins consommer, il y a aussi le mieux consommer : la flexibilité, par la valeur qu'elle pourrait représenter non seulement pour le secteur des data centers et ses clients mais aussi pour celui de l'énergie, mérite un examen approfondi.

Dans l'Hexagone, les sites en colocation resteront probablement très majoritaires. Leurs exploitants ont moins de latitude que les acteurs des data centers hyperscale pour appliquer concrètement des mesures de flexibilité. Ces dernières doivent être anticipées avec les clients d'un point de vue contractuel, mais également d'un point de vue technique par rapport aux contraintes réseaux, de conception et du site (notamment foncières) et bien sûr d'un point de vue financier au regard des objectifs de compétitivité de l'exploitant.

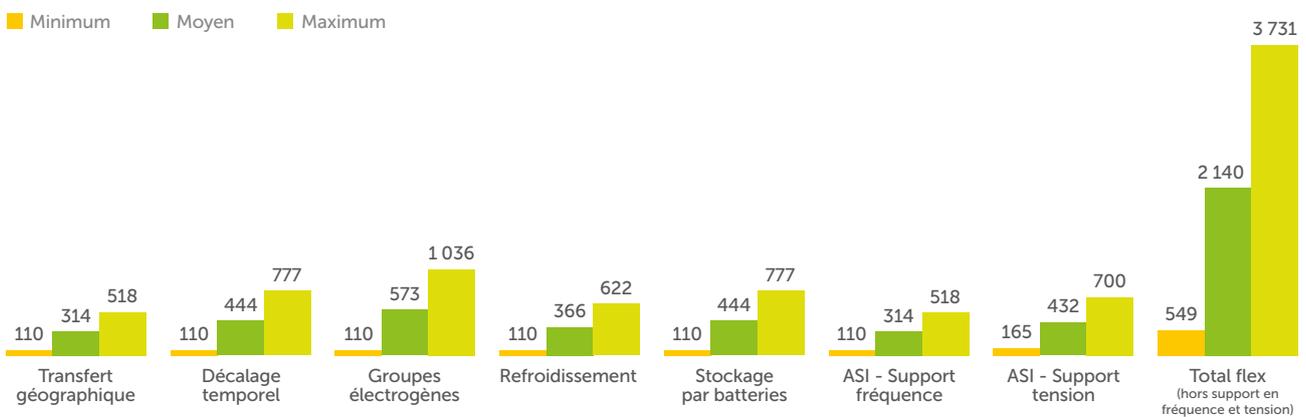
Par ailleurs, il faut considérer que les data centers nouvellement construits ou les nouvelles capacités actives de serveurs sont plus susceptibles d'être flexibles que les capacités existantes. Les nouvelles installations auront plus

de chances d'être dotées des systèmes de contrôle et de communication nécessaires pour fonctionner avec des services de flexibilité. De même, les nouvelles technologies d'alimentation de secours, telles que les batteries de grande capacité ou les groupes électrogènes décarbonés, seront installées dans les nouveaux centres. Les sites existants peuvent éventuellement s'équiper de ces nouvelles technologies mais à des coûts plus élevés.

Les estimations faites dans ce rapport sont donc prudentes mais réalistes et s'appuient sur différentes ressources flexibles qui existent dans les data centers.

Les potentiels théoriques de flexibilité disponibles en 2035 sont synthétisés dans le graphique suivant.

ENSEMBLE DES POTENTIELS DE FLEXIBILITÉ POUR LES DATA CENTERS À HORIZON 2035 (MW)



NB : les potentiels en supports fréquence et en tension ne sont pas comptabilisés dans le total dans la mesure où ils correspondent à un besoin très spécifique de flexibilité (l'équilibrage).

NDLR : la simplicité des hypothèses prises doivent inciter le lecteur à considérer les valeurs affichées pour ce qu'elles sont : des ordres de grandeurs. Le GIMELEC appelle évidemment de ses vœux la réalisation de travaux ultérieurs prenant en compte toutes les complexités du secteur.

En cumulé, les hypothèses les plus basses atteindraient 549 MW de capacité de flexibilité en 2035 dans les data centers, tandis que les hypothèses les plus hautes cumuleraient à 3,7 GW. Il est bien sûr peu probable que tous les moyens de flexibilité soient activés simultanément, ne serait-ce que parce que les systèmes ASI ne vont pas traiter fréquence et tension en même temps, ou que des groupes électrogènes ne vont pas être démarrés l'été lorsque la modulation à la hausse de la production de froid se fera grâce à une surproduction d'électricité renouvelable.

Le potentiel reste néanmoins très significatif pour le réseau électrique français. Un niveau moyen de 2,1 GW de flexibilité peut être retenu. Il correspond à 70 % du niveau actuel d'effacement des industriels en France.

²⁹ Dans le cas où les hypothèses ambitieuses sur le nucléaire et la sobriété ne seraient pas atteintes. Voir les principaux résultats du Bilan prévisionnel, page 52 : <https://assets.rte-france.com/prod/public/2023-10/2023-10-02-bilan-previsionnel-2023-principaux-resultats.pdf>



CHIFFRES CLÉS DATA CENTERS POTENTIELS DE FLEXIBILITÉ

3,7 GW

hypothèse la plus haute
de capacité de flexibilité
accessible en 2035

549 MW

hypothèse la plus basse
de capacité de flexibilité
accessible en 2035

2,1 GW

hypothèse médiane
de capacité de flexibilité
accessible en 2035

= 70%

du niveau actuel
d'effacement
des industriels
en France

4

LES BÉNÉFICES DE LA FLEXIBILITÉ POUR LES DATA CENTERS

Les data centers sont énergétiquement plus efficaces que les ordinateurs individuels ou les serveurs privés et, dans l'ensemble, ils réduisent la consommation d'énergie pour les tâches de calcul. Ils sont un élément clé de l'économie numérique du 21^e siècle et cette filière réalise déjà des efforts importants pour réduire ses émissions de gaz à effet de serre. La flexibilité représente la prochaine étape à franchir.

Les analyses précédentes montrent que le potentiel technique des data centers en matière de flexibilité est réel. Mais la capacité réelle disponible sera probablement plus faible car conditionnée à la volonté des opérateurs de data centers et leurs clients, ainsi qu'à la complexité opérationnelle associée. La priorité des opérateurs de colocation reste et restera de fournir un service de qualité et sans interruption à leurs clients ayant souscrit l'accès à une infrastructure IT.

Utiliser leurs systèmes de secours (ASI, groupes électrogènes) de manière volontaire et régulière, piloter leurs systèmes de refroidissement, voire moduler la disponibilité de leurs infrastructures numériques en fonction d'appel à la flexibilité du réseau électrique ou de signaux prix est une idée qui fait petit à petit son chemin. Elle doit notamment gagner en maturité sur les conditions opérationnelles de mise en œuvre de telles flexibilités, et sur les bénéfices, notamment économiques, que les opérateurs de data centers et leurs clients peuvent en retirer.

Ils peuvent considérer plusieurs avantages à fournir des services de flexibilité au réseau grâce à leurs systèmes énergétiques :



Avantages d'accès au réseau électrique

s'engager à fournir de la flexibilité au réseau peut permettre de bénéficier de raccordements moins coûteux et plus rapides, en raison de la réduction des travaux de renforcement de l'infrastructure que cela nécessite



Avantages financiers

il est possible de réduire la facture énergétique d'un data center en optimisant la consommation de l'énergie en fonction des prix de l'électricité et des coûts de réseau, et/ou en fournissant des services de flexibilité rémunérés au réseau



Avantages environnementaux

même si en France l'empreinte carbone du kilowattheure électrique est faible, il y a un intérêt à aligner les consommations d'électricité avec les périodes les moins carbonées, au plus près de la réalité du mix énergétique

Ces bénéfices doivent être replacés dans le contexte d'un système électrique qui va fortement évoluer dans la prochaine décennie, avec le développement des énergies renouvelables et une multiplication des usages de l'électricité (réindustrialisation, pompes à chaleur, véhicules électriques, production d'hydrogène). Les data centers représentent des puissances électriques de plus en plus importantes et la poursuite de leur développement va participer de cette pression supplémentaire sur le système.

Agir de manière proactive en réduisant par moment leur impact grâce à la flexibilité, en puissance et en énergie, est également un moyen d'accompagner positivement les pouvoirs publics sur le chemin de crête constitué par la croissance du numérique associée à la transition énergétique.

4.1 RÉDUCTION DES DÉLAIS ET DES COÛTS DE RACCORDEMENT AU RÉSEAU

Vu la croissance du parc de data centers, leurs exploitants sont soumis à un important défi : obtenir la connexion de leurs sites au réseau électrique. Les nouveaux raccordements dans les zones géographiques où les réseaux sont encombrés sont de plus en plus coûteux et longs à réaliser.

Étant donné leur puissance électrique importante, les data centers peuvent absorber une grande partie de la capacité locale disponible du réseau, ce qui oblige les gestionnaires de ce réseau à le renforcer, par exemple en modernisant une sous-station ou en construisant de nouvelles lignes électriques. En outre, les exploitants de data centers souhaitent parfois des connexions distinctes à plusieurs sous-stations, afin de garantir la redondance en cas de défaillance.

La sécurisation de la capacité du réseau peut constituer un défi plus important pour les data centers que pour les autres utilisateurs industriels d'électricité, car ils souhaitent généralement s'installer à proximité des villes à forte densité de population. Or, la capacité du réseau dans les zones urbaines est parfois déjà limitée en raison d'une forte consommation d'électricité, et la mise à niveau de l'infrastructure locale peut s'avérer plus difficile qu'en zone rurale. Dans certains pays, cette capacité arrive parfois à saturation.

Les gestionnaires de réseau publient des cartes permettant d'identifier les zones sous tension : en France, par exemple, RTE le fait via le site web www.capareseau.fr, en particulier dans le cadre des schémas régionaux de raccordement aux réseaux des énergies renouvelables.

C'est un outil intéressant pour les opérateurs de data centers cherchant à localiser de nouveaux projets.

La demande et l'obtention d'un nouveau raccordement au réseau peuvent prendre beaucoup de temps : de 2 à plus de 9 ans selon le niveau de tension du réseau concerné. L'évaluation, la conception, l'autorisation et la construction d'un nouveau raccordement peuvent durer des années (voir le Préambule), soit des délais très longs par rapport aux besoins des exploitants de data centers.

En conséquence, ils ont tendance à faire des demandes de connexion spéculatives ou de « développement » : ils préparent un site pour un futur data center, ils disposent du terrain, demandent un permis de construire et le raccordement au réseau.

Il n'est pas garanti que le data center sera réellement ou totalement construit, mais cette « sur-demande » sécurise d'une certaine manière l'exploitant pour l'avenir. Inversement, comme le gestionnaire de réseau doit examiner toutes les demandes de raccordement qui lui sont faites, il se retrouve avec de fortes contraintes pour intégrer dans son réseau ces demandes de capacité surdimensionnées.



CAPARESEAU.FR

Site développé par RTE pour informer sur les possibilités de raccordement aux réseaux de transport et de distribution des installations de production d'électricité.

DES RACCORDEMENTS INCITANT À LA FLEXIBILITÉ

Pour contribuer à résoudre cette problématique, contenir les coûts et/ou accélérer les projets de raccordement de data centers, la flexibilité est un levier à disposition des gestionnaires de réseaux et des data centers. Il s'agit de faire appel à des opérations de raccordement intelligentes (ORI) qui visent à « *optimiser le dimensionnement des ouvrages de raccordement, ou le délai de mise en service du raccordement d'un utilisateur. En contrepartie, le demandeur de raccordement consent à voir une partie de sa production ou de sa consommation écrêtée sur certaines périodes, ou à recevoir une solution de raccordement à une puissance inférieure à la puissance demandée, tout en permettant des injections ou des soutirages complémentaires sur certaines périodes*³⁰ ».

Selon la CRE, « *les offres de raccordement intelligentes émergent comme une solution innovante à proposer au demandeur du raccordement. Elles sont un moyen efficace d'optimiser le dimensionnement des ouvrages propres et de réduire les délais de mise en service des raccordements. Ainsi, le demandeur peut consentir à avoir des limitations ponctuelles en injection ou en soutirage en cas de contrainte réseau pour bénéficier d'ouvrages de raccordement moins coûteux et/ou d'un raccordement plus rapide* ».

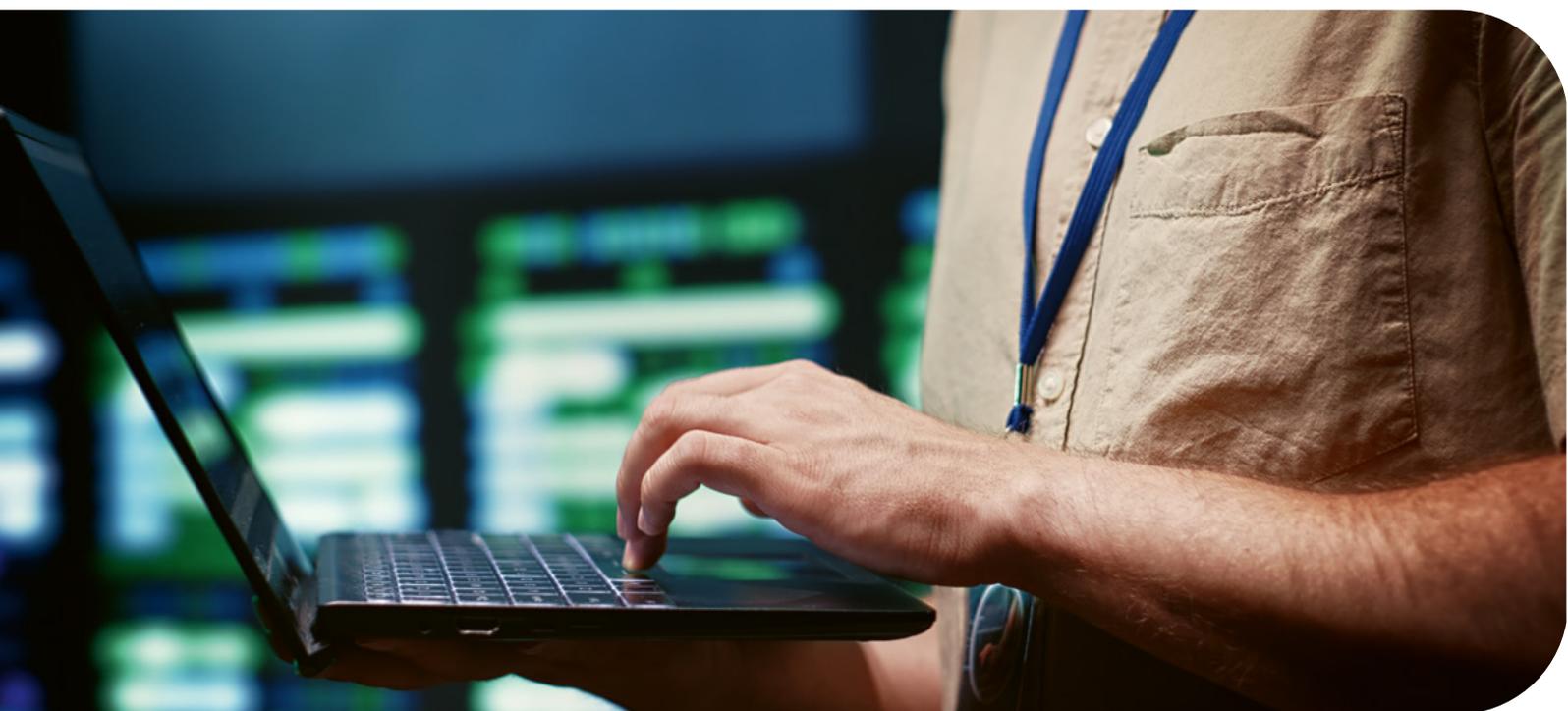
Par exemple, le gestionnaire de réseau réséda, à Metz, a expérimenté le raccordement d'un parc éolien intégrant des limitations ponctuelles à l'injection afin d'optimiser le rapport entre investissement et productible injectable.

Cette offre de raccordement a permis une économie de 730 k€ par rapport au raccordement de référence, soit 42 % des coûts de raccordement.

Auparavant réservées aux installations de production d'énergies renouvelables et donc au réseau basse tension très majoritairement exploité par Enedis, les ORI sont proposées depuis 2022 par RTE aux grands consommateurs. Cet élargissement a été accueilli favorablement par la CRE qui appelle à la généralisation de ces offres.

Ainsi, en région Ile-de-France où les demandes de raccordement de data centers sont les plus importantes, RTE mène des travaux de renforcement du réseau à très haute tension (400 kV) qui s'étaleront jusqu'en 2030. Il doit également gérer des contraintes sur le réseau régional 225 kV qui complexifient les raccordements. Dans ce contexte, le gestionnaire a généralisé des offres de raccordement « anticipées » souvent retenues par les porteurs de projet : elles permettent de raccorder les projets de data centers plus rapidement à la condition d'accepter un possible bridage du soutirage de 1 200 heures maximum par an pendant les travaux de renforcement.

Dans les Bouches-du-Rhône, RTE expérimente aussi des solutions de raccordement mutualisées où plusieurs consommateurs peuvent partager études, liaisons et postes de transformation, afin de réduire les coûts de raccordement.



³⁰ Définition tirée du glossaire du site <https://www.smartgrids-cre.fr/glossaire#ori>

4.2 BAISSÉ DE LA FACTURE D'ÉLECTRICITÉ

La consommation d'électricité d'un data center est la somme de la consommation propre aux serveurs informatiques et de celle due aux « utilités » du centre (alimentation sécurisée en électricité et refroidissement).

Plusieurs modèles sont aujourd'hui adoptés par les opérateurs de colocation pour intégrer le coût de l'électricité dans leur prestation :

- la facturation au client de l'électricité au forfait, sur la base d'une évaluation de la consommation annuelle. Cette solution est plutôt à destination des clients ayant les plus faibles charges IT ;
- la facturation « metered » c'est-à-dire une refacturation sur la base des relevés de compteurs. Dans ce cas, il y a deux possibilités pour fixer le prix du kilowattheure : soit un prix fixe décidé en début d'année avec le client, soit un prix variant au cours des saisons, voire tous les mois. Cette dernière solution, dite « pass-through », peut même être calée sur les prix du marché spot de l'électricité ;

NB : Dans leur relation contractuelle, il y a généralement un engagement réciproque entre le client, qui s'engage à respecter un certain niveau de charge IT, et l'opérateur de colocation qui s'engage à tenir une certaine performance de PUE.

Les prix spot de l'électricité sur la plaque européenne sont de plus en plus impactés par la part croissante en France et en Europe d'électricité renouvelable. Ils peuvent par ailleurs rapidement évoluer sous l'effet d'événements

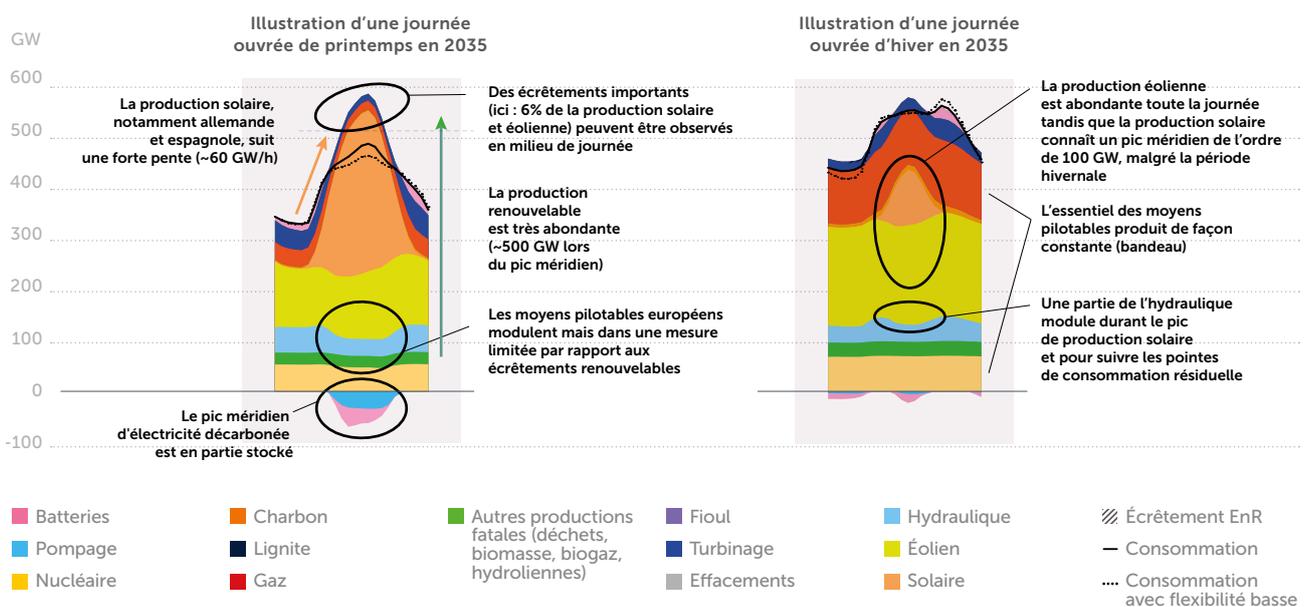
imprévus (crise en Ukraine, immobilisation d'une part du parc nucléaire comme en 2022). La volatilité des cours de l'électricité est donc de plus en plus importante mais une tendance apparaît : on observe une augmentation continue du nombre de journées lors desquelles le marché spot affiche une valeur en milieu de journée beaucoup plus faible (voir négative) qu'en début ou fin de journée. Le graphe en page suivante l'illustre, d'après les données d'Eco2mix de RTE (exemple d'une journée de prix sur le marché Spot en France).

Ce phénomène est dû en partie au fait qu'il y a désormais un pic méridien de production solaire photovoltaïque, avec parfois le complément de l'éolien.

Une offre importante d'électricité à ce moment-là, sans ajout particulier de consommations, fait mécaniquement baisser les prix sur le marché. Ce phénomène devrait s'amplifier avec la montée en puissance des parcs de production d'énergie renouvelable.

Dans les projections de RTE à 2035 (voir graphe ci-dessous), cet effet sera très fort l'été mais également non négligeable l'hiver.

EXEMPLE DE FONCTIONNEMENT DU SYSTÈME ÉLECTRIQUE EUROPÉEN EN 2035



Source : RTE

Pour répondre à cet enjeu, il sera de plus en plus utile de piloter les charges, en déplaçant des consommations au moment de ces pics de production. En ce sens, la flexibilité que pourrait apporter tout grand consommateur – comme un data center – est un service qui a besoin de signaux incitatifs, économiques et/ou réglementaires.

Du côté économique, deux leviers sont à considérer :

1. Certains services de flexibilité peuvent être rémunérés : gestion de la fréquence et de la tension, effacements explicites, mécanisme d'ajustement (voir chapitre 2.1). Comme on l'a vu au chapitre 3, les data centers disposent de moyens pouvant répondre à certains de ces besoins de flexibilité. La fréquence et le volume de ces services doivent apporter une rémunération suffisante à l'opérateur par rapport aux investissements complémentaires qu'il devra consentir afin de pouvoir les mettre en œuvre.
2. Le prix de l'électricité constitue un levier important d'incitation à la flexibilité. Il est ici important de rappeler que ce prix se décompose grossièrement aujourd'hui en trois parts. En plus des taxes, il y a :
 - une part fourniture : les opérateurs de data centers peuvent choisir de moduler la charge IT directement en fonction des prix de marché, les écarts de prix sur une journée pouvant dès à présent atteindre presque 100 €/MWh (voir l'exemple en encadré) ;
 - une part « réseaux » : la Commission de Régulation de l'Énergie, soutient une politique plus volontariste en matière de tarification dite « heure pleine / heure creuse », beaucoup plus incitative au pilotage des charges. Cette volonté devrait se traduire dans la mise en œuvre en 2025 du prochain Tarif d'Utilisation du Réseau Public d'Électricité (part « réseau » du prix global du kWh électrique). La CRE envisage ainsi de placer des heures creuses fortement incitatives l'été entre 2 h et 6 h puis entre 12 h et 16 h³¹. L'ajout d'une composante stockage dans le calcul du TURPE est également envisagé de manière à favoriser les projets « contracycliques ».

Dans tous les cas, quelle que soit la pertinence financière d'un signal économique ou réglementaire, se pose la question du transfert du signal-prix entre les opérateurs de colocation et leurs clients. La tendance étant actuellement à l'adoption du modèle dit « *pass through* », le client de la colocation est souvent le plus (voire le seul) incité à se flexibiliser. Il y a donc un travail contractuel à mener pour partager ce signal avec l'opérateur du data center, afin que ce dernier soit également incité à mettre en œuvre les services de flexibilité.

EXEMPLE D'UNE JOURNÉE DE PRIX SUR LE MARCHÉ SPOT EN FRANCE (SOURCE RTE)



NOUVELLE PLACE DE MARCHÉ POUR L'ÉLECTRICITÉ DÉCARBONÉE

Aux États-Unis, les grands acteurs du numérique comme Google et Microsoft font partie d'un groupement qui va tester un approvisionnement en électricité décarbonée au pas horaire.

La *Granular Certificate Trading Alliance* a été lancée par *LevelTen Energy*³² et va reposer sur une plateforme où vendeurs et acheteurs d'électricité pourront assurer leurs transactions, 24 h/24 et 7 jours sur 7.

L'objectif est d'avoir accès à un marché reflétant, heure par heure, et de manière localisée, la production décarbonée d'électricité, principalement renouvelable. Ainsi, les consommateurs auront accès à des certificats pour justifier leur approvisionnement zéro carbone avec une fine granularité temporelle. Les producteurs seront incités à investir dans des moyens permettant de mieux répondre à cette demande aux moments où les consommateurs en ont besoin. Les moyens de production ne bénéficiant pas encore de certificats, comme le stockage d'énergie, trouveront aussi un débouché sur cette plateforme.

EXEMPLE DE GAINS GRÂCE AU DIFFÉRENTIEL DE PRIX SUR LE MARCHÉ

Imaginons qu'un data center de 100 MW déplace 20 % de sa charge du matin (7 h-9 h) et du soir (19 h-20 h) vers le temps méridien (12h-15h) le 6 juin 2024. Sur la base des prix de la bourse de l'électricité (EPEX SPOT), les économies potentielles sur la part fourniture serait de l'ordre de 6 000 €.

L'évaluation des gains potentiels sur le TURPE est plus complexe à réaliser puisque les tarifs heures pleines heures creuses varient selon les types de contrat, les niveaux de tension et la saison. En termes d'ordre de grandeur, les hausses/baisses peuvent osciller entre 15 et 40 % (soit entre 5 % et 15 % du prix total du kWh).

³¹ https://www.cre.fr/fileadmin/Documents/Consultations_publicques/import/231214_CP_2023-13_Structure_TURPE_7_HT_et_HTA-BT.pdf

³² <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/google-and-microsoft-back-247-carbon-free-energy-marketplace/>

4.3 RÉDUCTION DES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE

L'exploitation flexible d'un data center peut réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) du data center lui-même, tout en contribuant à réduire les émissions de l'ensemble du système électrique.

Les réductions peuvent provenir de :

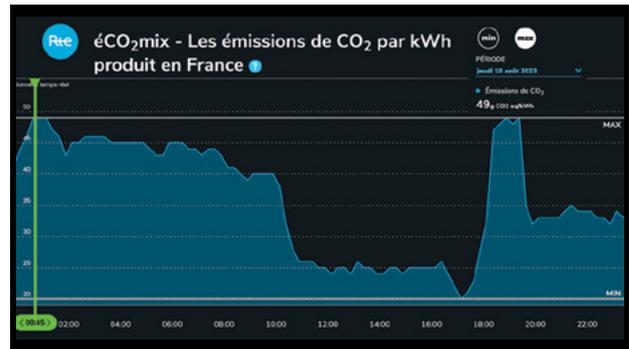
- l'arbitrage de l'empreinte CO₂ du kilowattheure en fonction du temps : déplacer la consommation d'énergie vers les moments où l'intensité carbone de la production électrique est plus faible. Avec un peu d'anticipation, l'opérateur d'un data center peut en effet réduire ses émissions de GES en déplaçant la charge numérique d'une période à une autre, principalement quand la production d'énergie renouvelable est élevée. Ce déplacement de la charge permettrait également de réaliser des économies, car les périodes de forte production d'énergie renouvelable coïncident généralement avec des périodes où les prix de l'électricité sont plus faibles (voir chapitre précédent) ;
- l'arbitrage carbone en fonction de la localisation géographique : déplacer la consommation d'un data center situé dans un pays ou une région où les émissions de GES du réseau sont élevées vers un endroit où ces émissions sont plus faibles. En France, l'électricité étant déjà fortement décarbonée, ce type de déplacement sur le territoire national a peu d'intérêt. On peut cependant imaginer des opérateurs de data centers rapatrier ponctuellement des charges IT en France pour éviter de consommer de l'électricité fortement carbonée de certains autres pays européens. On peut aussi imaginer déplacer la consommation vers une zone avec une très forte production d'énergie renouvelable, de manière à éviter au gestionnaire de réseau d'écarter ces productions ;
- le remplacement de la production d'énergie fossile : le data center peut utiliser une ressource flexible peu carbonée pour répondre à son besoin énergétique pendant les moments où l'empreinte CO₂ de l'électricité fournie par le réseau est plus importante.

En France, la faible empreinte carbone du kilowattheure électrique diminue l'enjeu de réduction des émissions de CO₂ induite par les activités des data centers. Néanmoins, en période hivernale aux heures de pointe, lorsque le réseau a un recours accru à des centrales à énergies fossiles, une modulation à la baisse de la consommation d'électricité d'un data center peut réduire son bilan carbone.

³³ <https://www.bloomberg.com/news/articles/2024-02-25/ai-increases-data-center-energy-use-google-pioneered-technique-could-help>

³⁴ Storage, Respond and Save, 2019 : <https://windenergyireland.com/images/files/iwea-baringastorerespondsavereport.pdf>

EXEMPLE DE VARIATIONS JOURNALIÈRES DES ÉMISSIONS DE CO₂ DU kWh ÉLECTRIQUE EN FRANCE (SOURCE RTE)



EXEMPLE DE TRANSFERT GÉOGRAPHIQUE

En février 2024, Google et l'entreprise Cirrus Nexus ont testé le transfert géographique de tâches informatiques de la Californie vers les Pays-Bas qui bénéficiaient à ce moment là d'une forte production d'énergies renouvelables. Il en a résulté une baisse de 34 % des émissions de GES³³.

INTÉRÊTS « CARBONE » DE LA FLEXIBILITÉ EN IRLANDE ET AU ROYAUME-UNI

Une étude irlandaise³⁴ a montré que si des sources de flexibilité sans carbone, telles que les batteries ou la modulation de la demande, fournissent la moitié des réserves requises (350 sur 700 MW) dans le système électrique irlandais, cela permet d'éviter l'émission de 400 000 tonnes de CO₂ par an d'ici 2030. L'économie est alors de 1 200 tonnes d'émission de CO₂ par MW de réserve. Le rendement est néanmoins décroissant en termes de bénéfice carbone : si 100 % des réserves provenaient des batteries et de la modulation de la demande, les économies diminueraient de moitié pour atteindre environ 600 tonnes par MW. Par ailleurs, l'étude montre que si toutes les réserves et autres besoins du réseau étaient satisfaits par des sources décarbonées, la quantité de production renouvelable écartée en 2030 serait réduite de moitié, passant de 8,1 % à 4 %.

Le potentiel économique des sources décarbonées pour fournir des réserves au réseau a été montré par le gestionnaire du réseau au Royaume-Uni. National Grid ESO a mené un essai en 2020 durant trois semaines où quatre grandes batteries de 41 MW à 49 MW ont fourni des réserves au système, à la place de centrales thermiques. L'essai a atteint ses objectifs et a montré que 700 000 £ avaient été économisées sur les coûts de service système, puisqu'il y a eu moins de paiements aux autres fournisseurs conventionnels de réserves.



LIBÉRER LE POTENTIEL DE FLEXIBILITÉ DES DATA CENTERS

Depuis un long moment déjà, les gestionnaires de réseau et les régulateurs ont mis en œuvre des mécanismes permettant d'assurer l'équilibre offre-demande :

- le TURPE est ainsi depuis plusieurs années déjà « horo-saisonnalisé » c'est-à-dire que son coût varie selon l'heure de la journée pendant la période hivernale ;
- certains contrats de fourniture, comme « Tempo » ou « heures pleines/heures creuses », ont adopté le même principe d'horosaisonnalité ;
- des marchés de capacités assurant la disponibilité d'une certaine quantité de puissance en cas de problème fonctionnent déjà depuis plusieurs années en France.

Les data centers hébergeront d'importantes quantités de ressources flexibles d'ici 2035, mais toutes ne pourront être exploitées. Cela est illustré par les écarts importants entre les estimations basses et hautes évoquées dans la partie 3.

L'accès à ces ressources présente néanmoins des opportunités significatives. Les opérateurs de data centers peuvent jouer un rôle actif dans la transition du secteur de l'électricité vers une économie à faible émission de carbone tout en optimisant leurs coûts énergétiques,

tandis que les gestionnaires de réseaux électriques peuvent avoir accès à des ressources plus flexibles pour aider à la résilience du système électrique et, eux aussi, optimiser leurs coûts et lisser leurs investissements.

Pour libérer son potentiel de flexibilité, plusieurs chantiers doivent désormais être ouverts.

En France, les data centers sont couverts par une première réglementation spécifique visant à rendre disponible la flexibilité de leurs groupes électrogènes pour participer à l'équilibre du système électrique, suite à la crise de 2022 ([voir chapitre 3.3](#)).

Cela pourrait se renforcer à l'avenir, avec l'augmentation de la capacité des data centers, parallèlement à l'essor des énergies renouvelables, et au fait que d'autres secteurs, tels que les transports et les bâtiments, font de plus en plus appel au vecteur électrique.



5.1 FAIRE ÉVOLUER LES MODÈLES CONTRACTUELS

La mission première d'un acteur de la colocation est de fournir à ses clients des services fiables de stockage et de traitement de données. De nombreux opérateurs pensent ainsi que toute action de flexibilité risque d'interférer avec cet objectif principal, soit par des performances de calcul moindres, soit par un service moins fiable ou bien un vieillissement prématuré de leurs équipements. Pour ces raisons et parce qu'ils sont une industrie mal comprise, ils sont souvent réticents à explorer la piste de la flexibilité.

Par ailleurs, les exploitants de data centers et leurs clients ont des accords de niveau de service (SLA - *Service Level Agreement*) précis qui définissent les attentes en matière de performances, telles que la latence, la vitesse de traitement, le temps de disponibilité et la capacité de stockage, etc. De plus, ces SLA imposent généralement aux opérateurs de déclarer auprès de leurs clients tout incident et déclenchement de systèmes de sécurité énergétique. De nombreux opérateurs craignent donc que toute action de flexibilité ne contrevienne aux accords de niveau de service.

Le marché français étant quasiment exclusivement de la colocation (et devant le rester, au moins à moyen terme), le développement de la flexibilité passe inévitablement par l'émergence de SLA spécifiques ou « *green SLA* ». Ces derniers devront notamment modifier les responsabilités mutuelles sur l'ensemble de la chaîne technique de la flexibilité et le partage de la valeur tirée de cette dernière (voir page suivante). Outre ses clients, l'opérateur d'un data center a également des accords avec des sous-traitants et d'autres parties prenantes qui peuvent également être directement concernés.

On ne part cependant pas de zéro : lors de l'hiver 2022/2023 et avec l'obligation faite aux opérateurs de data centers en France de mettre à disposition leurs groupes électrogènes de plus de 1 MW sur le mécanisme d'ajustement, des discussions entre les acteurs de la colocation et leurs clients ont sans nul doute eu lieu. En effet, les SLA prévoient en général des stocks minimaux de 48 à 72 h d'autonomie en carburant et une notification systématique lors du lancement de ces groupes. Des modifications contractuelles dues à la loi ont ainsi dû être faites.

Dans ce réaménagement des habitudes contractuelles, l'exploitant d'un data center pourrait faire appel à un fournisseur de services tiers, ou à un exploitant de centrale électrique virtuelle (agrégateur), pour exploiter les ressources flexibles du data center sur les marchés. Cela reviendrait à confier le contrôle partiel d'un actif à une partie extérieure, ce qui soulève des questions sur la sécurité du site et les limites opérationnelles.

Les SLA peuvent inciter ou au contraire dissuader clients et opérateurs de colocation d'adopter une plus grande flexibilité. Un travail sur leur conception intégrant les effets d'une exploitation flexible permettrait de faciliter la mise en œuvre opérationnelle de la flexibilité dans le secteur.



5.2 FAVORISER LE DIALOGUE ENTRE ACTEURS DE L'ÉNERGIE ET LES DATA CENTERS

Les data centers sont une industrie fortement consommatrice d'électricité : sa compétitivité dépend donc de sa capacité à s'assurer un approvisionnement en électricité à bas coût et à long terme.

Comme pour la plupart des acteurs electro-intensifs français, les data centers s'appuient fortement sur l'ARENH (Accès Régulé à l'Electricité Nucléaire Historique).

Ce dispositif, qui permettait jusqu'à présent aux data centers d'avoir un accès à une électricité peu chère, arrive à échéance sans que la suite ne soit à ce stade satisfaisante par les industriels concernés : le secteur français est donc entré dans une période d'incertitude.

Face à cela, certains font par exemple le choix des *Power Purchase Agreements*³⁵, garantissant un approvisionnement d'électricité verte à coût fixe sur une longue période. Cette pratique est d'ailleurs généralisée au niveau mondial : le secteur du numérique est le premier « consommateur » de PPA³⁶.

Par ailleurs, la crise de l'énergie qu'a traversé l'Europe a créé de fortes turbulences pour le secteur et en particulier en France où les coûts de l'électricité ont fortement augmenté en 2022.

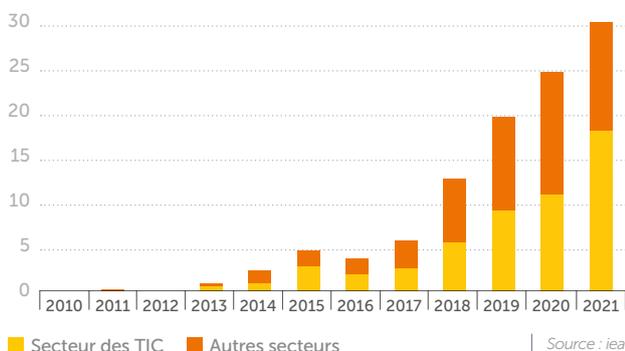
Même s'ils sont revenus à des niveaux relativement bas aujourd'hui, il est probable que la perception du risque représenté par un approvisionnement « sur le marché » de l'électricité ait été impactée négativement.

Pourtant, les marchés européens de l'électricité, y compris celui français, sont en train de fortement et structurellement se déformer face à la croissance forte et continue de la production d'énergies renouvelables :

dès la fin de l'hiver jusqu'à la fin de l'automne, les prix sont nettement plus faibles pendant l'après-midi que pendant le début de matinée, le début de soirée ou la nuit. Il y a donc ici une réelle valeur économique à exploiter.

La valeur « assurantielle » d'un contrat d'approvisionnement à long terme est donc à revisiter et à comparer à la valeur potentiellement retirée d'un approvisionnement tirant partie de ces variations journalières.

PPA D'ÉNERGIES RENOUVELABLES PAR SECTEUR, 2010-2021



Autre élément économique :

le Tarif d'Utilisation des Réseaux Publiques d'Électricité qui représente en moyenne 1/3 de la facture d'électricité.

Depuis plusieurs années, le TURPE est « horosaisonnalisé » c'est-à-dire qu'il est différencié selon les heures et les jours pour inciter les clients à limiter leur consommation durant les périodes de l'année où la consommation de l'ensemble des consommateurs est la plus élevée. L'horosaisonnalité est pour l'instant limitée à la période hivernal mais la Commission de Régulation de l'Énergie, en charge de la définition du prochain TURPE prévu pour 2025, envisage l'opportunité de l'étendre aux périodes estivales :

“

les analyses préliminaires de la CRE [portent] sur les modifications possibles des plages temporelles type heures pleines / heures creuses pour s'adapter aux évolutions à venir et plus particulièrement pour tirer parti de l'accroissement de la production photovoltaïque, tout en répondant aux contraintes fortes du système électrique sur certaines heures. La CRE étudie en conséquence la possibilité de privilégier le placement des heures creuses lorsque la production à partir d'ENR est abondante comme c'est le cas durant les journées d'été. Cela pourrait conduire à augmenter le nombre d'heures creuses disponibles en été. De même, la CRE envisage de déplacer certaines heures creuses actuellement positionnées sur des plages horaires pendant lesquelles une forte consommation pourrait créer des tensions sur l'équilibre offre-demande. De ce fait, les heures pleines et creuses pourraient être différenciées entre l'été et l'hiver, pour s'adapter à la saisonnalité des besoins du système électrique.

”³⁷

³⁵ <https://www.equinix.fr/newsroom/press-releases/2024/01/equinix-et-wpd-concluent-l-un-des-plus-importants-contrats-d-achat-d-electricite-verte-en-france-ppa-finan-ant-la-cr-ation-de-sept-nouveaux-parcs-oliens-et-la-d-carbonation-du-r-seau>

³⁶ <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-renewable-energy-power-purchase-agreements-by-sector-2010-2021>

³⁷ https://www.cre.fr/fileadmin/Documents/Consultations_publicques/import/231214_CP_2023-13_Structure_TURPE_7_HT_et_HTA-BT.pdf

La CRE envisage également de favoriser les installations de stockage d'électricité via « la possibilité d'introduire une nouvelle tarification soutirage/injection pour les batteries. Cette tarification, optionnelle, aurait pour objectif d'envoyer des signaux tarifaires permettant d'exploiter au mieux les capacités de stockage au bénéfice du réseau. Ainsi, les sites d'injection-soutirage pourraient recevoir une incitation à un fonctionnement contracyclique par rapport à la poche dans laquelle ils se situent (par exemple, à injecter lorsque les autres utilisateurs de la poche soutirent fortement) ».

Ces bouleversements en cours du « monde de l'énergie » sont diversement perçus dans le secteur des data centers qui traverse par ailleurs ses propres changements profonds notamment en matière de répartition du signal-prix de l'électricité (voir page 42).

Face à certains cloisonnements et aux changements rapides des mondes de l'énergie et du data center, le dialogue entre ces derniers doit être promu de manière à faciliter la compréhension des enjeux et mécanismes de flexibilité, et stimuler l'innovation notamment en matière de pratiques contractuelles susceptibles d'inciter les clients de la colocation à piloter au plus près leur charge IT.





5.3 EMBARQUER LA FLEXIBILITÉ DANS LES RÈGLES DE RACCORDEMENT ET DE PLANIFICATION

Pouvant être proposée par Enedis ou RTE, l'Offre de Raccordement Intelligent (ou ORI) permet un raccordement innovant, avantageux pour le demandeur mais sous conditions (voir chapitre 4.1).

Du côté des opérateurs de data centers, cette disposition permet de réduire les contraintes de délai qui structurent fortement l'activité du secteur et de diminuer les coûts associés. Pour les gestionnaires de réseaux, elle permet de lisser dans le temps les investissements.

Ce type de raccordement est provisoirement imposé en région Ile-de-France. En effet, RTE renforçant une partie du réseau 400 kV (fin des travaux estimées à 2030), toute offre de raccordement inclut une demande d'engagement du demandeur à être capable d'effacer une partie de sa consommation jusque 1 200 heures par an.

Les ORI, très prisées par les projets d'énergies renouvelables et de stockage d'énergies, sont fortement mises en avant par la CRE. Étant donné les leviers de flexibilité à disposition du secteur des data centers susceptibles de répondre aux besoins ponctuels du gestionnaire de réseau, il paraît important d'explorer plus avant cette option sans oublier d'embarquer les aspects contractuels (impacts contractuels avec les clients, partage de la valeur d'un ORI).

On notera que pour Enedis, les gains permis sur les coûts de raccordement par les ORI pour les producteurs HTA sont de l'ordre de 90 k€/MW installé³⁸.

³⁸ <https://www.enedis.fr/sites/default/files/documents/pdf/les-flexibilites-au-service-de-la-transition-energetique-et-performance-du-reseau.pdf>

5.4 MIEUX CONNAÎTRE ET COMMUNIQUER LES AVANTAGES ENVIRONNEMENTAUX

Qu'ils soient opérateurs de colocation ou bien géants du numérique, la plupart des acteurs du marché des data centers se sont engagés publiquement dans une démarche de réduction forte de leurs impacts environnementaux.

Cela se décline opérationnellement de diverses manières, la plus visible étant l'utilisation de PPA d'énergies renouvelables : les grandes entreprises technologiques figurent parmi les principaux signataires d'accords d'achat d'électricité avec des projets renouvelables. Certains opérateurs de data centers, tels que Google et Microsoft, passent à l'étape suivante dans leurs stratégies d'approvisionnement et visent à faire coïncider l'approvisionnement en énergie renouvelable avec la demande 24 heures sur 24, 7 jours sur 7, s'engageant de facto dans la voie de la flexibilité.

Le secteur des data centers manque de données transparentes sur la consommation d'énergie ou les émissions de GES. Par le biais des gestionnaires de réseau, le suivi de ces données permettrait à la filière et aux utilisateurs de mieux comprendre leur impact sur le système électrique et sur l'environnement.

Avec un pas fin de 15 minutes par exemple, ces données permettraient aux utilisateurs des data centers d'ajuster leur programmation des calculs. On pourrait même imaginer que les concepteurs d'applications numériques prévoient une architecture tolérant des décalages temporels ou des réponses aux signaux du marché en temps réel.

Cette amélioration des connaissances de la flexibilité et du cadre dans lequel elle s'opère, serait source d'innovation. Les opérateurs de data centers pourraient facturer à leurs clients des prix de l'énergie variables tout au long de la journée pour refléter les conditions du marché de l'électricité. Ils inciteraient ainsi le consommateur à déplacer sa charge vers les heures où le coût est le plus bas, réduisant les besoins d'équilibrage sur le réseau ou l'écrêtement des productions renouvelables.

Le stockage par batteries et la modulation de la demande pouvant fournir des services au système, une évaluation normalisée de ce bénéfice et de son attribution aux différents acteurs encouragerait les opérateurs de data centers, et leurs utilisateurs, à mobiliser des ressources de flexibilité.



CONCLUSION

Les data centers sont la clé de voûte des services numériques que nous utilisons tous au quotidien, et dont notre société ne peut plus se passer. Parmi les différents usages consommateurs d'électricité, ils sont désormais significatifs et leur croissance, en nombre comme en taille, devrait rester forte dans les 10 prochaines années.

Du point de vue des réseaux électriques, les data centers créent de nouveaux besoins qui s'ajoutent à ceux existants de l'industrie qui s'électrifie, et ceux émergents de la réindustrialisation et de l'électrification des usages. Alors que l'acceptabilité de la transition énergétique passe par une maîtrise des coûts, l'équation pour les opérateurs de réseaux est un véritable casse-tête.

La flexibilité des data centers offre des solutions accessibles pour résoudre une partie de cette équation : il est possible d'atteindre près de 3,7 GW en 2035 si un maximum de solutions étaient mises en œuvre. Ce livre blanc détaille les différentes stratégies à mettre en œuvre pour exploiter ce gisement de flexibilité.

Les solutions technologiques sont donc là mais les obstacles à la massification de leur utilisation relèvent de l'organisation actuelle du monde des data centers et son environnement, même si quelques initiatives commencent à germer. Pour faire converger les pratiques de marché et le cadre réglementaire en faveur de la flexibilité, un véritable effort collaboratif est nécessaire de la part des opérateurs de data centers, de leurs clients, d'opérateurs de réseaux électriques et du régulateur.

Acceptabilité, attractivité, compétitivité : la flexibilité énergétique des data centers est dans l'intérêt de tout le monde !



**Nous fédérons
les entreprises de la filière
électronumérique française.**

**Nos 210 adhérents
conçoivent, fabriquent
et déploient les solutions
d'électrification, d'automatisation
et de digitalisation pour
l'industrie, les bâtiments,
la mobilité, les infrastructures
énergétiques et numériques.**

**Nous, GIMELEC Data Centers,
déployons les technologies
les plus innovantes afin de
garantir la croissance numérique
pour tous, dans une empreinte
écologique réduite.**

contact@gimelec.fr

gimelec.fr | [in](#) [X](#)

17, rue de l'Amiral Hamelin
75116 Paris

