

Mars 2024



L'effacement dans les unités de productions industrielles

ÉTAT DES LIEUX ET RECOMMANDATIONS



Avec le soutien de :



Étude réalisée par :





contact@alliance-alice.com
www.alliance-alice.com

L'effacement dans les unités de productions industrielles -
État des lieux et recommandations | Mars 2024

ALLICE a pour vocation de fédérer et d'innover pour décarboner l'industrie. L'alliance a 3 missions majeures :

- **Rassembler l'ensemble des acteurs de la filière pour innover collectivement au service de la décarbonation de l'industrie** : industriels exploitants, offreurs de solutions, énergéticiens, prescripteurs, bureaux d'études, acteurs du financement, laboratoires de recherche et centres de compétences, fédérations et organisations professionnelles, etc. ;
- **Soutenir le développement d'une offre de solutions de décarbonation performante** et différenciante en France et à l'international ;
- **Soutenir les industriels** dans l'accélération de leur décarbonation.

ALLICE est une structure d'animation neutre, facilitatrice des échanges, capable de rassembler des acteurs aujourd'hui dispersés, en tenant compte de la dimension économique de la filière. Avec une approche transversale, ALLICE facilite le transfert de technologies et l'émergence de projets enrichis par la diversité des parties prenantes.

Créée en 2018, à l'initiative du CETIAT, associé au CETIM, CTCPA et Blunomy (ex-Enea Consulting), puis rejoints par le CTMNC et le CTP, ALLICE est soutenue par l'ADEME. En 2024, elle compte plus de 120 membres et partenaires et a déjà produit ou engagé plus de 40 études collectives pour un budget de 2 million d'euros (feuilles de route et études économiques, études comparatives des solutions de décarbonation, état de l'art technologiques).

Étude réalisée pour le compte d'ALLICE par l'équipe de Blunomy : Florian Deveza, Anatole Rozier-Chabert et Jacques Arbeille.

Blunomy est un cabinet de conseil en stratégie indépendant spécialisé dans la transition énergétique et environnementale. Depuis 2007, il conseille et accompagne plus de 200 entreprises privées et collectivités publiques à travers le monde, des plus grands énergéticiens et industriels aux start-ups, en passant par les acteurs financiers et les investisseurs. Son expertise interne lui permet d'aider ses clients à concevoir des feuilles de route de transition solides, à impliquer l'ensemble des parties prenantes de leurs chaînes de valeur, à créer des coalitions d'entreprises, à développer de nouveaux modèles d'entreprise, à prouver leur impact, à structurer le financement et à attirer des capitaux pour passer à l'échelle supérieure.

Blunomy attache une importance particulière à son travail pro bono dans les pays en développement afin de s'assurer que la transition ne laisse personne de côté, et afin de créer une économie plus décarbonée, circulaire, mais aussi plus inclusive.

Ce document constitue la synthèse de l'étude « Stratégies d'effacement des procédés industriels » réalisée par Blunomy pour le compte d'ALLICE. Le rapport détaillé de l'étude est disponible pour les adhérents d'ALLICE.

Remerciement aux sociétés ou centres techniques ayant contribué à la réalisation de cette étude :
ADEME, Adisseo, Agregio Solutions, Ahlstrom, Axens, Bonduelle, CETIM, CTMNC, Copacel, CRITT Agro-alimentaire, Energy Pool, Gerflor, RTE, la Fédération Forge Fonderie, Gerflor, Setforge, Vynova.

Sommaire

1

L'effacement industriel,
un moyen de flexibilité davantage
exploitable en France

P.4

2

La chaîne de valeur de l'effacement
et sa mise en place opérationnelle

P.8

3

Des verrous techniques et économiques
à lever afin de maximiser l'exploitation
du gisement

P.11

4

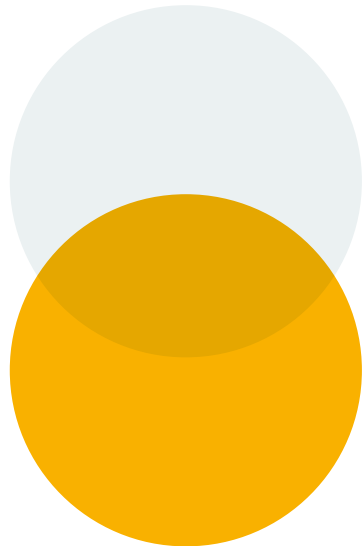
Méthodes, outils et recommandations
à destination des acteurs industriels
et de l'effacement

P.14

Travaux cités

P.18

Partie 1



**L'effacement
industriel,
un moyen de
flexibilité davantage
exploitable en France**

L'effacement électrique est un moyen de flexibilité permettant d'améliorer la fiabilité des réseaux électriques ainsi qu'un outil de baisse des émissions CO₂.

Le réseau électrique nécessite un équilibrage permanent et en « temps réel » entre production et consommation d'électricité afin de garantir une fourniture d'électricité de bonne qualité et d'éviter les risques de black-out. Lorsqu'un déséquilibre intervient, l'opérateur de réseau doit réagir entre quelques millisecondes et quelques secondes pour rétablir cet équilibre entre production et consommation.

L'effacement consiste à faire baisser la demande en électricité de consommateurs¹, pendant une période définie, en réponse à un signal extérieur (par exemple, sollicitation de la part de l'opérateur de réseau ou bien un signal de prix).

L'effacement est donc une des solutions permettant de gérer les déséquilibres du réseau.

Il existe aujourd'hui — en France en particulier — une diversité de mécanismes aux conditions contractuelles variées permettant de valoriser les effacements de consommation et de contribuer à l'équilibrage du réseau électrique. L'intégration croissante des énergies renouvelables intermittentes (nécessaire à la transition écologique) crée un besoin croissant d'équilibrage du réseau électrique, favorisant ainsi le développement de solutions telles que l'effacement industriel qui utilise les consommations des sites industriels pour fournir de la flexibilité au réseau électrique.

Si l'effacement présente avant tout un **bénéfice financier pour l'industriel et le système électrique en général** et permet de contribuer à la fiabilité du réseau électrique, cette solution permet également de **diminuer le contenu carbone de l'électricité** en limitant le besoin d'activation des moyens de production de pointe (centrale à gaz, charbon ou fioul).

1 - L'effacement gris qui consiste à compenser la baisse de consommation à l'aide d'un groupe électrogène fossile n'est pas considéré dans ce rapport.

Pour atteindre ses objectifs, la France doit faire croître les capacités d'effacement industriel de 17 % d'ici 2030, et les doubler à horizon 2050.

La France s'est donné dès 2018 des objectifs ambitieux en matière de développement de l'effacement (PPE 2019-2028) : 6,5 GW de capacité contractualisée à horizon 2028 avec un point de passage à 4,5 GW en 2023 (contribution industrielle, résidentielle et tertiaire).

En 2021, RTE, le gestionnaire du réseau public de transport d'électricité a établi quatre scénarios de croissance de la capacité d'effacement industriel à horizon 2050 [1]. De 2,7 GW en 2020, l'effacement industriel pourrait atteindre 8,4 GW dans un scénario haut et resterait à 2,7 GW dans le cas d'un scénario bas. Le bilan prévisionnel 2023-2035 [2] publié par RTE en 2023 affine ces trajectoires avec des valeurs à horizon 2030. La **Figure 1** synthétise les trajectoires envisagées par RTE pour le développement de la flexibilité de consommation au sein des secteurs industriels.

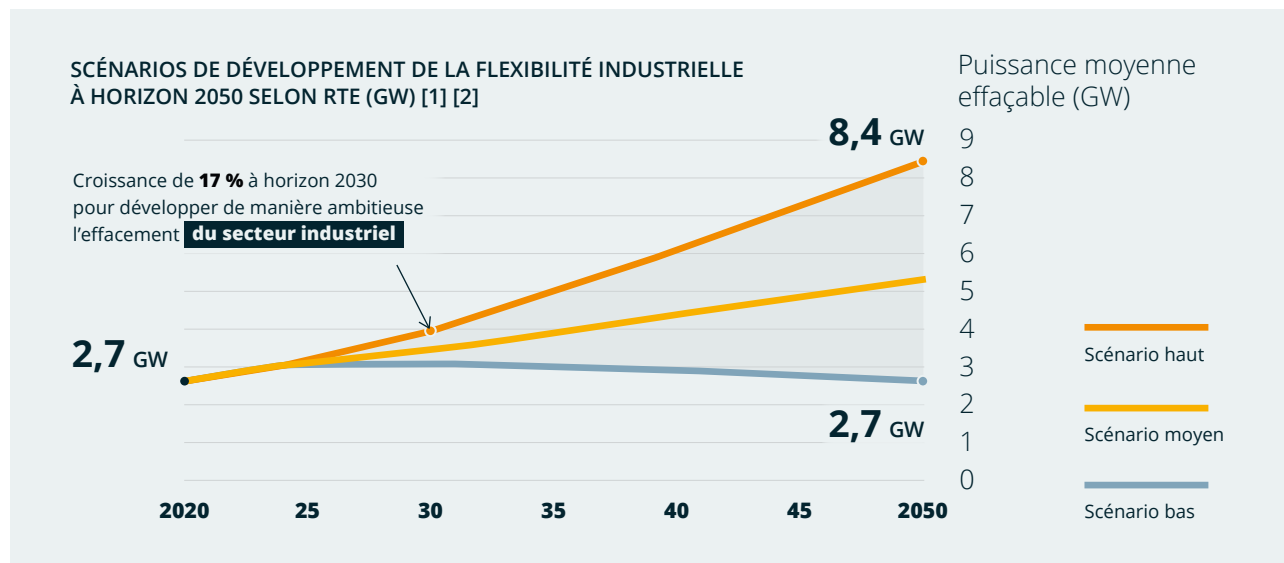


FIGURE 1

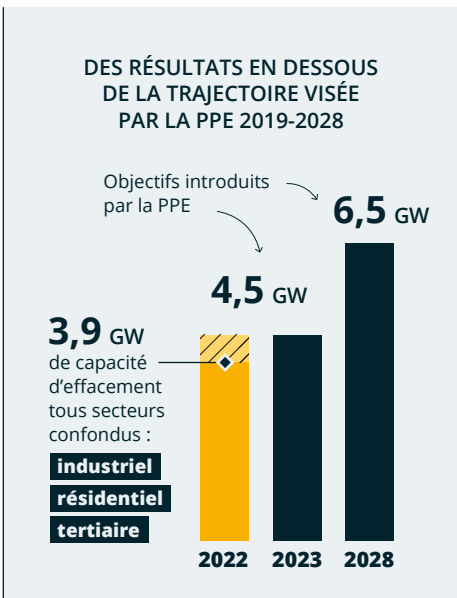


FIGURE 2

Pour autant, en 2023, la filière n'atteint pas tout à fait ses objectifs et les perspectives tablent sur un ralentissement de la croissance de l'effacement industriel.

La capacité d'effacement tous secteurs confondus s'établit à 3,9 GW en 2022, 0,6 GW en dessous de l'objectif de 4,5 GW introduit par la PPE.

En ce qui concerne l'effacement industriel, les perspectives tablent sur un ralentissement du développement des capacités. Les dernières prévisions de RTE pour l'industrie suggèrent une croissance passant de 3,5 % annuellement à 2,2 % et un point de passage en 2030 inférieur à l'objectif initial de la PPE.

Aux conditions de rémunération actuelles, le gisement d'effacement industriel exploitable s'établit à 3,4 GW, ce qui est en deçà des objectifs ambitieux de la filière. L'électrification des usages pourrait permettre d'augmenter ce gisement de manière significative.

Une étude réalisée par l'ADEME en 2017 [3] quantifie le gisement brut de capacité d'effacement au sein du secteur industriel. Selon l'ADEME, sous les conditions de rémunération actuelles de 60 €/kW/an, seuls 3,4 GW de capacités d'effacement industrielles sont accessibles pour une durée d'effacement de 30 minutes. En outre, 1,4 GW nécessitent une rémunération significative (au moins 100 €/kW/an) pour être effectivement exploités. Enfin, l'étude montre que plus de 70% de ce gisement se concentre sur quatre secteurs industriels : la métallurgie, la chimie, la mécanique et le papier.

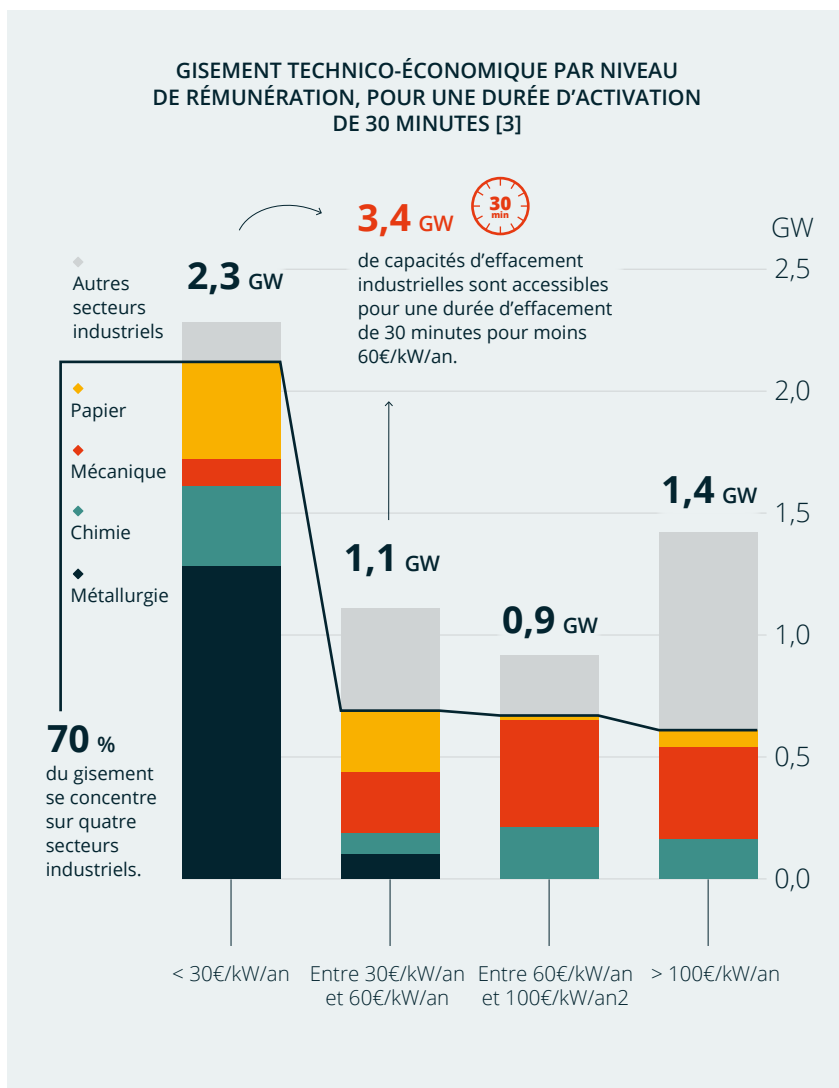
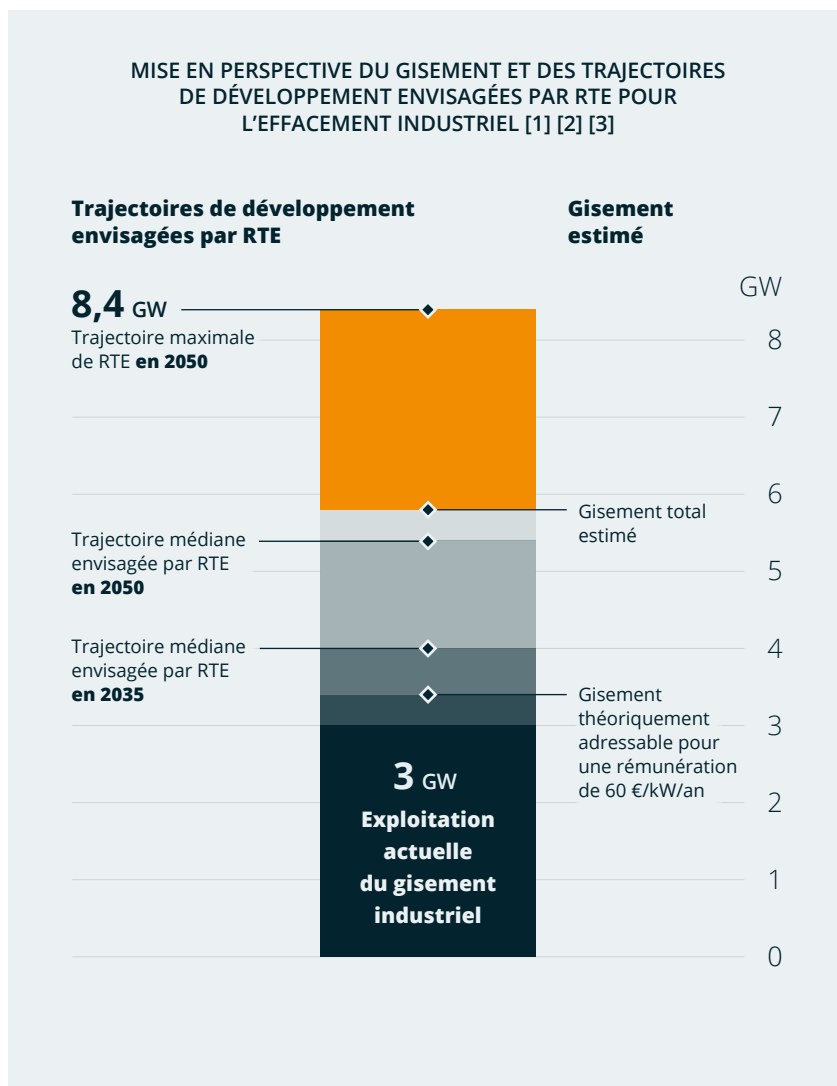


FIGURE 3

L'électrification des procédés thermiques dans l'industrie représente un gisement de flexibilité additionnel important. En se basant sur les conclusions de l'étude PEP 2 d'ALLICE [4], le gisement additionnel d'effacement lié à l'électrification des procédés thermiques pourrait se situer entre 3 GW et 6 GW, en fonction des scénarios de coûts de l'électricité. Cette estimation montre que l'électrification pourrait significativement augmenter le gisement de flexibilité industrielle, ce qui permettrait de s'inscrire dans les trajectoires envisagées par RTE.

FIGURE 4



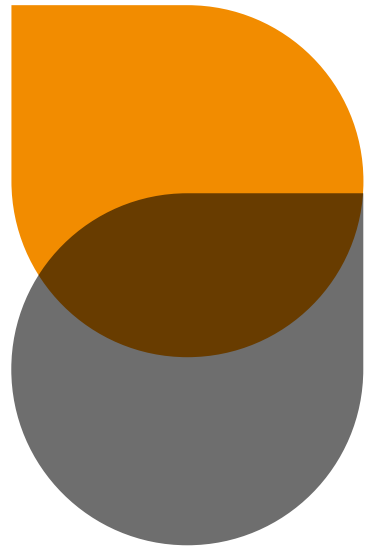
Cette étude vise à objectiver les freins à l'adoption de l'effacement dans l'industrie et faire des propositions pour aider le développement de la filière effacement industrielle en France.

ALLICE a réalisé une étude pour comprendre le décalage entre ambition et développement réel de la filière de l'effacement, et à l'enjeu de stimuler l'effacement au sein des process qui vont s'électrifier. Ce document en est la synthèse publique, l'étude complète est disponible pour les adhérents ALLICE.

Elle a pour objectifs de :

- Comprendre les principaux freins à l'adoption des solutions d'effacement sur les sites industriels.
- Décrire la mise en place opérationnelle de l'effacement.
- Proposer des leviers pour atteindre les objectifs d'effacements fixés par la PPE et les scénarios bâtis par RTE.

Partie 2



**La chaîne de valeur
de l'effacement
et sa mise en place
opérationnelle**

L'opérateur d'effacement, plus communément appelé agrégateur, est souvent un acteur indispensable pour faciliter la participation des sites industriels aux mécanismes d'effacement

La participation aux mécanismes d'effacement peut être réalisée par les sites industriels directement ou bien par le biais d'un agrégateur. Dans le premier cas, l'industriel dispose d'un accès « en propre » aux mécanismes de RTE, gère sa stratégie de participation, surveille et atténue les risques de mauvaise mise à disposition ou de mauvaise réalisation des effacements.

Dans le deuxième cas, l'industriel s'appuie sur un agrégateur. Ces acteurs sont des intermédiaires commerciaux et techniques qui ont une connaissance fine et un accès aux marchés de l'électricité ce qui permet à des sites ne possédant pas les ressources ou compétences nécessaires de tout de même participer aux mécanismes d'effacement. L'agrégateur est accrédité par RTE pour opérer les effacements. Le site n'a donc pas à s'engager dans une démarche de certification qui pourrait s'avérer coûteuse en ressources humaines et financières.

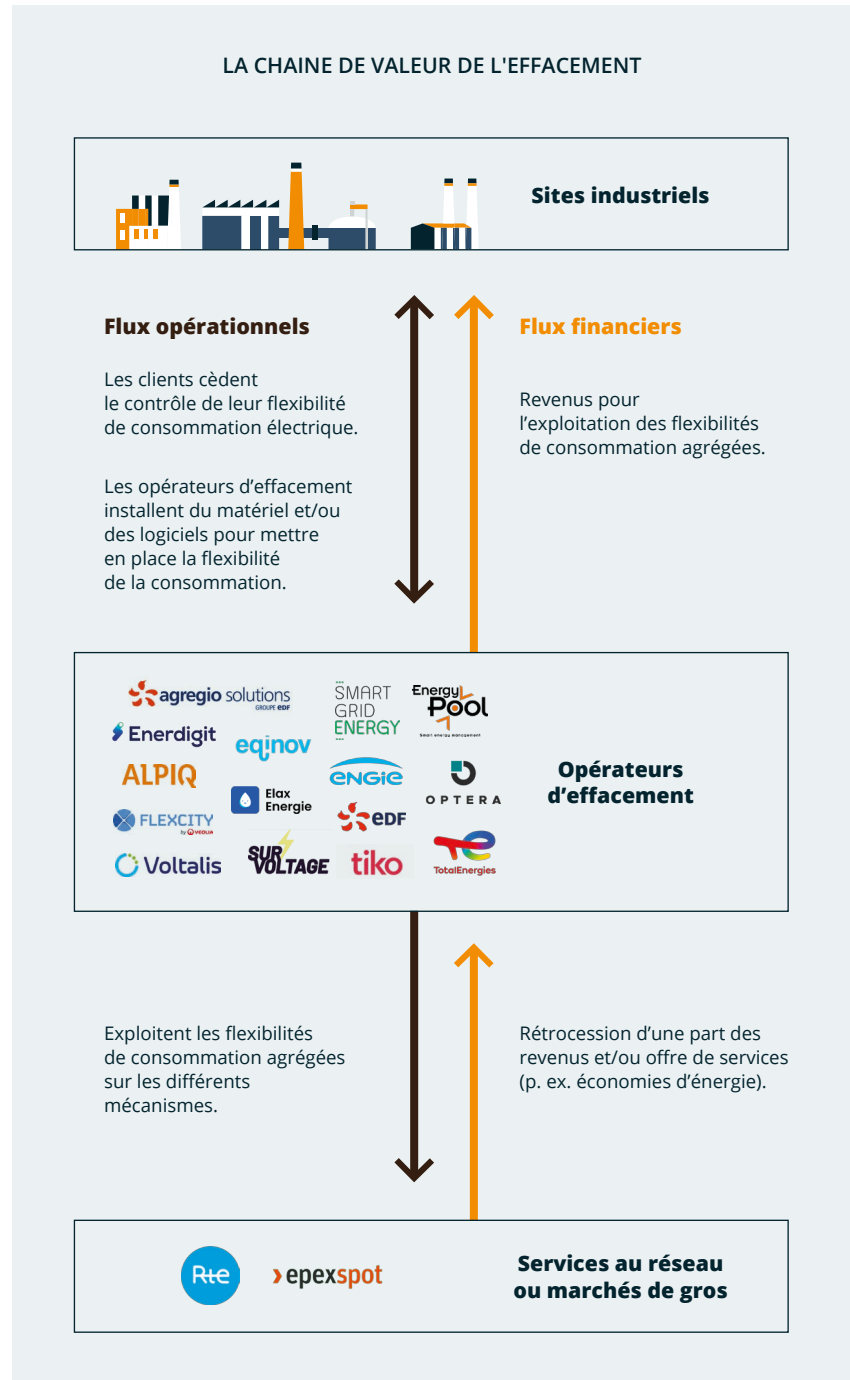


FIGURE 5

Processus de mise en place de l'effacement sur un site industriel (via un agrégateur)

La mise en place de l'effacement sur un site est un processus qui peut être découpé en quatre phases. La **figure 6** présente ces étapes et les questions clés à se poser en tant qu'industriel.

Entre 2021 et 2023, L'ADEME a procédé à une étude intitulée « Expérimentations pour favoriser la Décarbonation Industrielle & sa Transition Énergétique » ou EXPEDITE. Le lot 3 de cette étude porte sur l'effacement et répond à la volonté de l'ADEME de développer la flexibilité de la consommation industrielle en France. Les livrables de l'étude incluent la mise à jour du guide technique « Flexibilité électrique en industrie » [5], le cahier des charges « Audit Effacement » [6] et un outil de pré-diagnostic du potentiel d'effacement électrique sur site industriel [7] qui permet à un industriel d'évaluer son potentiel de flexibilité en répondant à 8 questions.

5 fiches de retours d'expériences (REXs) ont également été créées, elles concernent des audits d'effacement effectués pour des entreprises de différents secteurs : [automobile](#), [aéronautique](#), [métallurgie](#), [agroalimentaire](#), [chimie](#)

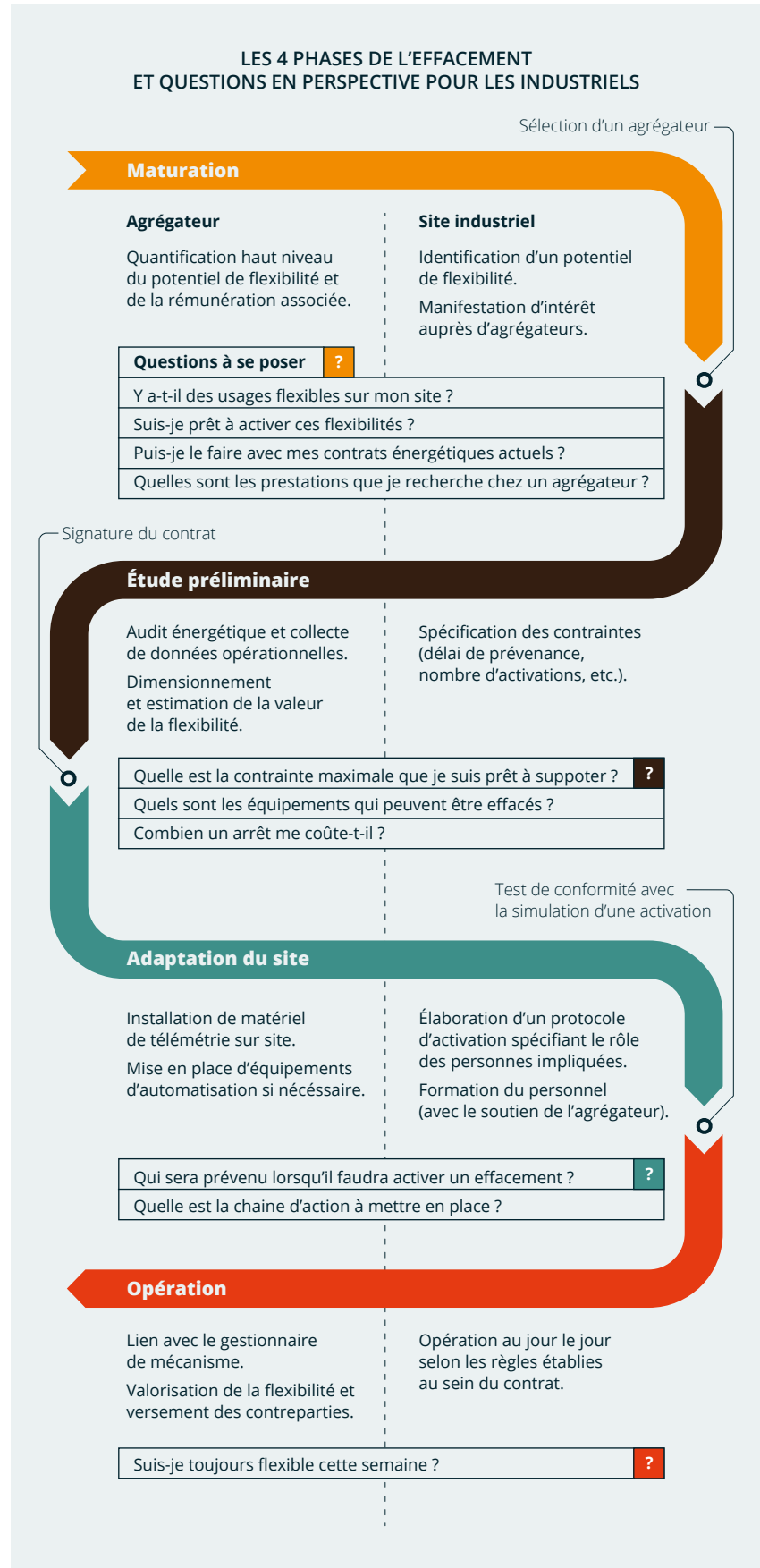
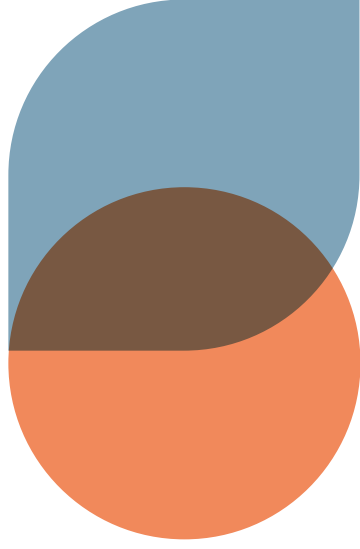


FIGURE 6

Partie 3

**Des verrous
techniques et
économiques à lever
afin de maximiser
l'exploitation
du gisement**



En s'appuyant sur des entretiens avec des acteurs du marché de l'effacement et une quinzaine d'industriels, l'étude montre que l'exploitation du gisement est très inégale en fonction des secteurs d'activité. Quatre typologies de secteurs industriels ont en particulier été identifiées :

- Secteur au gisement pleinement exploité : métallurgie.
- Secteurs avec une exploitation en croissance au cours des dernières années : papier et mécanique.
- Secteurs pour lesquels la flexibilité est mise en œuvre sur des usages spécifiques : chimie, agroalimentaire et matériaux non métalliques.

- Secteurs au gisement très peu exploité : plasturgie et caoutchouc, et textile et industries diverses

L'étude a permis de mettre en évidence six verrous à lever afin de maximiser l'adoption de l'effacement au sein de l'industrie française.

1.

Une attractivité financière encore trop faible pour de nombreux acteurs.

Les niveaux de rémunération proposés par les mécanismes ne sont pas assez élevés pour envisager de pratiquer l'effacement avec des usages impactant directement les outils de production. Ce constat est notamment partagé par des industriels de la chimie et de l'agroalimentaire qui sont deux industries avec des produits à forte valeur ajoutée.

Les conditions financières des mécanismes, et plus particulièrement la durée de contractualisation, ne sont pas alignées avec les contraintes d'une entreprise industrielle. Comprise entre un et deux ans, la durée des contrats est considérée comme trop faible par de nombreux industriels interrogés dans le cadre de cette étude. Cette durée ne permet pas de réaliser les investissements augmentant la flexibilité des procédés.

Si des améliorations restent nécessaires, des progrès sont possibles et ont été constatés au cours des dernières années. La hausse de la rémunération constatée au cours des dernières années (notamment via le mécanisme Appel d'Offres Effacement) est mise en avant comme la principale raison ayant permis d'accélérer l'effacement dans des secteurs tels que la mécanique ou le papier.

2.

Un besoin important de mobilisation des ressources internes

La disponibilité des ressources en interne pour organiser l'effacement est également un frein important principalement relayé par des entreprises de type PME ou ETI. Nombre de ces structures n'ont pas d'équipes dédiées aux sujets énergétiques et éprouvent des difficultés à allouer du temps de leurs employés à ce sujet. Certaines entreprises, par manque d'information sur le sujet, pensent d'ailleurs ne pas avoir le droit d'accéder aux mécanismes d'effacement.

La mise en place des contrats d'effacement peut être compliquée. Les entreprises de taille modeste s'appuient majoritairement sur du personnel au profil non juridique pour la lecture et la signature des contrats. Souvent effectuée par les chefs d'entreprise, la relecture d'un contrat de taille conséquente avec des termes complexes peut parfois être une expérience « intimidante » voire se traduire par un « blocage psychologique fort ».

3.

Des adaptations culturelles et organisationnelles importantes pour certains industriels

Développer l'effacement au sein d'un site industriel nécessite de convaincre un nombre important de parties prenantes allant des équipes de direction jusqu'aux équipes de production. **La première opposition peut provenir des dirigeants de l'entreprise.** Pour ces derniers, l'effacement va générer un changement de paradigme fort, en contradiction avec l'optimisation de la production.

Il est également possible de rencontrer une seconde opposition en provenance des équipes de production. Le personnel encadrant les opérateurs (contremaitres, chef de machines, etc.) peut éprouver une certaine appréhension à l'idée de réaliser un arrêt de la production. Demander à leurs équipes d'arrêter l'outil de production est inhabituel pour eux et les place dans une situation d'inconfort.

4.

Les contraintes associées aux contrats clients pèsent sur la flexibilité des industriels

Pour les sites fonctionnant sans stock intermédiaire ou à flux tendu, les délais supplémentaires de livraison susceptibles d'être engendrés par un effacement peuvent être incompatibles avec les contrats clients existants.

5.

La taille des sites : une barrière à l'entrée

Les entreprises ayant des puissances effaçables faibles ne sont pas attractives pour les agrégateurs et en conséquence, ne parviennent pas à accéder aux mécanismes d'effacement. Démarcher un site, gérer la relation contractuelle, installer l'équipement nécessaire à la participation aux mécanismes d'effacement, assurer le suivi du site au cours du contrat représentent des coûts importants pour les agrégateurs. Aussi en dessous d'une certaine puissance effaçable, ces coûts sont trop importants par rapport au revenu

espéré sur les mécanismes d'effacement pour générer un business case rentable pour l'agrégateur. À titre d'exemple, les PME des secteurs de la mécanique ou de l'agroalimentaire, avec un grand nombre de sites à faible puissance souscrite, se situent sous le seuil minimum de rentabilité pour les agrégateurs (généralement autour de la centaine de kilowatts effaçables).

6.

Des mécanismes trop contraignants pour certains procédés

De nombreux industriels de divers secteurs (chimie, mécanique, agroalimentaire, papier) ont des usages électriques qui sont majoritairement liés à de la force motrice et qui ont ainsi très peu d'inertie. Les effacer revient à les arrêter complètement et peut nécessiter d'arrêter d'autres procédés de la chaîne de production (souvent thermiques et fonctionnant avec des combustibles). Cela implique des temps de remise en route plus longs (montée en température) de la chaîne de production.

Les procédés continus rencontrent des freins techniques lors de la mise en place de l'effacement. Ce type de production est supposé être le plus à même de s'effacer en raison de la stabilité de consommation. Cependant, la mise en place est complexe dès que la chaîne de production est segmentée en plusieurs portions. Il devient nécessaire de mettre en place des stockages intermédiaires afin de s'assurer que l'effacement

d'un maillon de la chaîne ne la paralyse pas en intégralité.

Enfin, plusieurs autres freins techniques ont été identifiés au cours des entretiens :

- Les procédés de production en batch ont une consommation électrique trop intermittente pour pouvoir être effacée.
- Certaines entreprises n'ont pas la latitude nécessaire sur leurs consommations énergétiques (achat d'énergie groupé, recours à des sous-traitants pour l'exploitation des équipements, etc.).
- L'effacement est, à tort, associé à un fort besoin en automatisation de la chaîne de production par l'industriel.

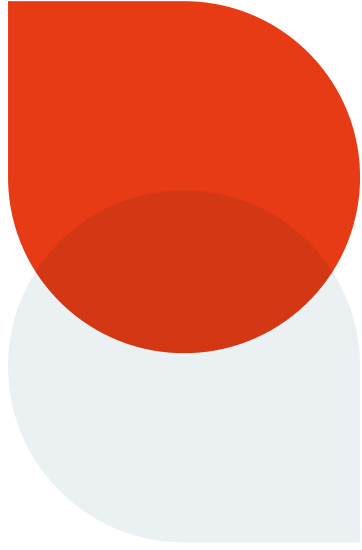
7.

Les industriels n'intègrent pas l'effacement dans leur réflexion liée à l'électrification

Le manque de visibilité sur la rémunération ne permet pas aux industriels de considérer l'effacement comme une source de revenus supplémentaire pour amortir une partie de leurs investissements d'électrification. L'ensemble des acteurs interrogés indiquent en effet que lors de leur prise de décision d'investissement, l'effacement n'est pas pris en compte. Si les durées de contractualisation étaient plus longues, les mécanismes d'effacement pourraient servir à promouvoir l'électrification de l'industrie en agissant de la même manière qu'une subvention.

Partie 4

**Méthodes, outils
et recommandations
à destination des
acteurs industriels
et de l'effacement**



MÉTHODES ET OUTILS À DESTINATION DES ACTEURS INDUSTRIELS

Afin de faciliter la mise en place de l'effacement sur des sites industriels, l'étude met à disposition des éléments permettant d'accompagner les industriels dans leur processus de prise de décision.

Évaluation de la pertinence économique de l'effacement pour l'industriel

Pour un acteur industriel, la pertinence économique de l'effacement s'évalue en comparant les bénéfices apportés par l'effacement aux coûts supplémentaires engendrés par sa mise en place.

Trois méthodes de réflexion ont été identifiées lors des entretiens avec les industriels :

MÉTHODES D'ÉVALUATION DE LA PERTINENCE FINANCIÈRE DE L'EFFACEMENT

TABLEAU 1

SITUATION	MÉTHODE DE DÉCISION
Pas de pertes financières particulières générées par l'effacement et pas de besoin d'investissement.	L'économie sur la facture énergétique est le premier facteur de décision. Détermination d'un seuil de rémunération minimale, par exemple 20 k€/an ou alors 5 % de la facture électrique.
Pas de besoin d'investissement, mais pertes de revenus liées à l'effacement.	Il est nécessaire de calculer un coût d'équilibre entre la rémunération de l'effacement et les pertes de production. La rémunération associée à l'effacement est convertie en €/h, en divisant le gain annuel par la durée d'effacement contractuelle. Il est possible d'effectuer des hypothèses sur le taux d'activation des effacements qui peut être significativement plus faible que les conditions contractuelles. Le coût de l'arrêt est également calculé en €/h et est à comparer aux gains associés à l'effacement.
Nécessité d'investissement pour mettre en place l'effacement.	Le même calcul que ci-dessus doit être effectué, puis complété par le calcul d'un temps de retour sur investissement qui est ensuite à comparer avec les attentes de l'entreprise. La durée de contractualisation peut être prise en compte afin de réduire les risques à long terme.

RECOMMANDATIONS POUR ATTEINDRE LES OBJECTIFS DE LA PPE ET S'INSCRIRE DANS LES TRAJECTOIRES DE RTE



Professionnels de l'effacement

RECOMMANDATION 1

Fournir des dispositifs, des mécanismes ou des offres d'effacement avec une visibilité à long terme accrue, sur des horizons de temps de l'ordre de 5 ans, en visant en particulier les industriels devant investir pour faire émerger de nouvelles flexibilités.

RECOMMANDATION 2

Entretenir un niveau attractif de rémunération, aligné avec la valeur que la flexibilité apporte sur le réseau.

RECOMMANDATION 3

Développer, pour les acteurs des services énergétiques (y compris les agrégateurs), des offres énergétiques globales afin de faciliter l'accès aux mécanismes d'effacement (efficacité énergétique, digitalisation de l'énergie, électrification, intégration d'énergies alternatives...).

L'étude émet sept recommandations à destination des professionnels de l'effacement — agrégateurs comme gestionnaires du système électrique — ainsi que des industriels pour augmenter le recours à la flexibilité industrielle en France.



Industriels

RECOMMANDATION 4

S'appuyer sur les fédérations professionnelles afin d'organiser le dialogue commercial entre les agrégateurs et les industriels membres intéressés par la flexibilité, en particulier développer un modèle de contractualisation simplifié et standardisé, en mesure de rassurer les industriels des filières.

RECOMMANDATION 5

Pour les industriels désireux d'engager une démarche d'effacement, anticiper un accompagnement interne auprès de toutes les parties prenantes amenées à contribuer à la flexibilité du site.

RECOMMANDATION 6

Engager un véritable travail de filière pour réfléchir de manière plus aboutie au lien entre électrification et effacement. Ce travail de filière pouvant, entre autres, impliquer le gestionnaire du réseau, les fédérations d'industriels, les équipementiers et les agrégateurs.

RECOMMANDATION 7

Encourager, pour les industriels, l'assouplissement des conditions contractuelles envers leurs clients.

Travaux cités

- [1]** RTE, « Futurs Energétiques 2050 » 2022.
- [2]** RTE, « Billan Prévisionnel 2023-2035 - Principaux résultats » 2023.
- [3]** ADEME, E-CUBE Strategy Consultants, CEREN, « L'effacement de consommation électrique en France » 2017.
- [4]** ALLICE, « Potentiel d'électrification des procédés thermiques industriels - Phase 2 » 2022.
- [5]** ADEME; Enerdigit, « La Flexibilité électrique en industrie » Librairie ADEME, 2024.
- [6]** ADEME, « Cahier des charges audit d'effacement électrique dans l'industrie » Librairie ADEME, 2024.
- [7]** ADEME, *Effacement de la consommation électrique d'un site industriel : Outil d'évaluation pour connaître son potentiel d'effacement*, Librairie ADEME, 2024.



contact@alliance-alice.com
www.alliance-alice.com

L'effacement dans les unités de productions industrielles -
État des lieux et recommandations | Mars 2024

Contact

Alliance ALLICE

25 avenue des arts, 69100 Villeurbanne

contact@alliance-alice.com

www.alliance-alice.com