



RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*



## Description de l'expérimentation 3

# AUDIT EFFACEMENT ELECTRIQUE DANS L'INDUSTRIE

---

---

## SOMMAIRE

---

1 - QUELS SONT LES OBJECTIFS DE CETTE EXPERIMENTATION ? .....	3
2 - JE SUIS UN INDUSTRIEL, PUIS-JE CANDIDATER ? .....	4
3 - POURQUOI CHOISIR L'EXPERIMENTATION 3.....	4
4 - QUI REALISERA CETTE EXPERIMENTATION ? .....	5
5 - COMMENT SE DEROULERA L'EXPERIMENTATION ? .....	6

---

## LISTE DES ANNEXES

---

<b>Annexe 1</b> : Questionnaire site .....	17
<b>Annexe 2</b> : Questionnaire process (1 questionnaire par atelier, par ligne ou par machine).....	17
<b>Annexe 3</b> : Exemple de points 10 minutes sur un groupe froid.....	Erreur ! Signet non défini.

# 1 - QUELS SONT LES OBJECTIFS DE CETTE EXPERIMENTATION ?

L'électricité étant difficilement stockable, le réseau électrique doit ajuster en temps réel la production aux fluctuations de la consommation. Pour cela, il est possible d'agir soit sur les moyens de production, soit sur les consommateurs. L'effacement consiste donc à fortement réduire sa consommation d'électricité quelques heures par an lorsque le réseau électrique en a besoin pendant un pic de consommation. C'est un moyen de sécuriser le réseau électrique de manière décarbonée en évitant de recourir aux moyens de production électrique de pointe essentiellement alimentés par les énergies fossiles : charbon, fioul et gaz.

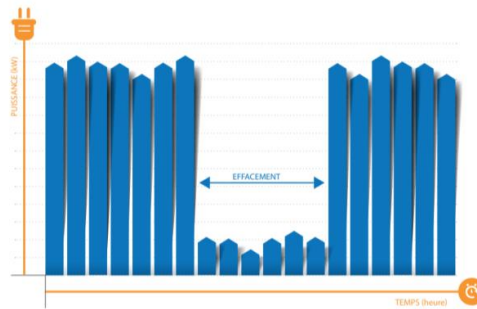


Illustration d'un effacement sur une courbe de charge

Depuis de nombreuses années, le réseau électrique français est soumis à des pics de consommations en hiver qui doivent être compensés. En juin 2020, le gouvernement attirait l'attention sur la fragilité de la sécurité d'approvisionnement électrique lors de l'hiver 2020-2021, expliqué notamment par le décalage du planning de maintenance des réacteurs nucléaires. Un manque de capacité électrique qui nécessite donc l'accroissement de capacités d'effacement électrique. À travers la volonté de développer ces audits, l'ambition est de favoriser l'appropriation des dispositifs d'effacement par les consommateurs industriels.

Quelques chiffres clés sur le marché de l'effacement : aujourd'hui, le marché français est composé de 3,4 GW de flexibilité sur les différents mécanismes, l'objectif étant d'atteindre une capacité totale de 6,5 GW en 2028. L'étude de marché « L'effacement de consommation électrique en France », publiée par l'ADEME, en septembre 2017, présente les éléments clés pour l'atteinte de ces objectifs.

Le gisement de flexibilité des entreprises industrielles électro-intensives étant d'ores et déjà capté, la croissance des capacités d'effacement doit être orientée vers de nouveaux secteurs industriels, historiquement peu concernés par le sujet. L'objectif de cette expérimentation est donc de faire émerger de nouvelles flexibilités pour le réseau électrique et de développer davantage l'effacement électrique dans l'industrie.

Les enjeux de l'effacement électrique sont multiples :

- **Stabilité du réseau** : L'effacement électrique participe à maintenir l'équilibre et les capacités du réseau afin d'éviter les coupures et pannes. Il permet non seulement de diminuer les contraintes inhérentes à l'acheminement et au stockage de l'électricité, mais favorise également la baisse de la demande en période de pointe, en hiver notamment.
- **Diminution des émissions de gaz à effet de serre** : Parallèlement, il existe d'autres solutions. En cas de pics, RTE peut par exemple demander à certains producteurs d'augmenter la production, ou encore activer certaines centrales modulables. Plus polluantes, ces centrales sont principalement alimentées par des combustibles fossiles, elles émettent donc davantage de gaz à effet de serre (principalement CO<sub>2</sub>).

Objectifs de l'expérimentation – pour les industriels :

- Détecter, quantifier et qualifier un potentiel d'effacement sur leur site grâce à l'intervention d'experts mandatés par l'ADEME,
- Disposer des éléments nécessaires pour échanger avec les opérateurs d'effacement en préparation d'une éventuelle contractualisation.

Objectifs de l'expérimentation – pour l'ADEME et la France :

- Développer un cahier des charges d'études d'effacement électrique,
- Faire émerger de nouvelles flexibilités pour le réseau électrique et développer davantage l'effacement électrique dans l'industrie,
- Favoriser l'appropriation des dispositifs d'effacement par les consommateurs industriels

## 2 - JE SUIS UN INDUSTRIEL, PUIS-JE CANDIDATER ?

- Les entreprises cibles de l'expérimentation
  - L'ensemble de la France dont les DROM-COM,
  - Entreprises industrielles mono-site,
  - Tout secteur d'activité et type de production.
- Mon profil est-il pertinent pour l'effacement ?
  - Mon site présente une puissance souscrite de plusieurs Mégawatts,
  - Je dispose de machines de process ou d'utilités avec une puissance installée supérieure à 100 kW,
  - La production présente assez de flexibilités pour être arrêtée de manière exceptionnelle mais imprévue (la veille au soir pour un arrêt le lendemain),
  - Les équipements pouvant participer à l'effacement représentent une part non négligeable de la consommation du site,
  - Les équipements concernés par l'effacement sont en fonctionnement régulier.
- Quels sont les freins majeurs à la démarche d'effacement ?
  - La production ne présente aucune flexibilité (flux tendu),
  - Le profil de consommation du site est en dent de scie ou avec des forts appels de puissance,
  - Tout arrêt de la production peut avoir des conséquences graves pour la pérennité économique du site.

## 3 - POURQUOI CHOISIR L'EXPERIMENTATION 3

- **Financement de l'audit effacement**

L'audit effacement d'un volume de 6 jours homme est entièrement financé par l'ADEME. En contrepartie, l'industriel s'engage à mettre à disposition des auditeurs l'accès aux données nécessaires et des moyens humains pour la bonne réalisation de la mission (visite du site, entretiens avec les équipes).

- **Livrable potentiel d'effacement**

En fin d'audit, un livrable détaillé présentant le potentiel d'effacement est remis à l'industriel et peut être utilisé pour échanger avec les opérateurs d'effacement pour obtenir une offre d'effacement.

- **Communication de l'ADEME**

Par ailleurs, l'ADEME pourra être amenée à communiquer autour de l'opération et de ses participants.

- **Évaluation de la maturité énergétique de l'entreprise**

Finalement, la démarche permet de faire un état des lieux de la maturité du site sur les questions énergies et sur l'organisation de la production.

## 4 - QUI REALISERA CETTE EXPERIMENTATION ?

Les audits d'effacement sont réalisés par un groupement de 4 entreprises. En phase d'audit et en contact direct avec les industriels, on retrouve deux entreprises de consultants, experts en efficacité énergétique et énergies renouvelables :

- **Akajoule**

AKAJOULE est une société de conseil et d'ingénierie spécialisée en maîtrise de l'énergie (bâtiment, industrie et transport) et énergies renouvelables (biomasse, biogaz, solaire et chaleur captée).

Située à St Nazaire en Loire Atlantique, Akajoule est présent sur toutes les phases de l'expérimentation (analyses préliminaires, visites et audit, rendu final et fiches REX) pour l'ouest de la France.



- **OID Consultants**

OID Consultants est un bureau d'études spécialisé dans la réduction des consommations énergétiques et déchets des sites industriels.

L'entreprise dispose de sites à Lyon, Paris et Montpellier et propose des services de diagnostic et d'audit énergétique et d'audit coût et gestion des déchets. OID réalise les audits pour l'est de la France.



Les deux autres entreprises du groupement interviennent sur les phases méthodologiques ou en appui technique. Ce sont les entreprises suivantes : OPEO, cabinet d'experts process et Enerdigit opérateur d'effacement :

- **OPEO**

Bureau d'études spécialisé process et excellence opérationnelle, OPEO est basé à Paris.

L'objectif de la démarche de l'entreprise est d'améliorer l'agilité d'organisation des process et favoriser l'excellence opérationnelle et hybridation digitale.

OPEO est présent en phase d'analyse des impacts de l'effacement pour les industriels et apporte également son expertise pour déceler les opportunités de l'effacement ainsi que les impacts potentiels au niveau industriel.



- **EnerDigit**

Enerdigit est une entreprise Nantaise qui a pour but d'accompagner la modernisation et la numérisation du réseau électrique.

L'entreprise intervient en tant qu'opérateur d'effacement pour des consommateurs industriels et développe des solutions de flexibilité pour le réseau électrique.

EnerDigit est également présent en phase d'analyse des impacts de l'effacement pour les industriels en tant qu'expert en effacement des consommations électriques.



# 5 - COMMENT SE DEROULE L'EXPERIMENTATION ?

Les étapes chronologiques de l'expérimentation sont les suivantes :



La méthodologie d'audit détaillée dans ce document est succinctement présentée ci-dessous :

- L'identification des équipements et du process industriel ainsi que leur consommation électrique.
- La détection des opportunités de flexibilité des équipements les plus énergivores.
- La définition des paramètres de flexibilité et du potentiel d'effacement du site en prenant en compte les contraintes de production du site.
- L'exploration des pistes permettant d'optimiser le potentiel d'effacement du site.

Le planning prévisionnel est le suivant :

- S0 contact préliminaire
- S1-S3 récolte des données
- S4 analyse préalable
- S5 visite
- S6-7 analyse détaillée
- S8 propositions d'effacement
- S9 restitution

## 5.1 - Étape 1 : Contact préliminaire

Avant tout audit effacement, un contact préliminaire entre le bureau d'études et le site industriel est nécessaire. L'objectif est de poser le cadre et les bases de l'étude. Il sera généralement réalisé en visio et d'une durée d'environ 60 mn.

### 5.1.1 - *Intervenants de l'étude*

Le contact préliminaire a notamment pour but de présenter et connaître :

Les auditeurs :

- Les intervenants de l'audit effacement : le but étant de mettre en avant leurs qualifications techniques et professionnelles pour la réalisation de l'étude ;
- Les références / clients industriels pour lesquels des audits sur l'énergie ont déjà été réalisés ;
- Les certifications, accréditations et qualifications du bureau d'études en charge de l'audit énergétique.

Les contacts entreprise :

- Les personnes du site qui seront les interlocuteurs privilégiés du bureau d'études pendant l'audit effacement : Responsable maintenance, production, directeur de site ou toute personne maîtrisant le process industriel et les données de consommation énergétique du site. A noter que ces interlocuteurs doivent prévoir du temps pour accompagner le bureau d'études lors de l'audit sur le site.

### 5.1.2 - *Présentation de la flexibilité et de l'audit effacement*

Pour une bonne compréhension des tenants et aboutissants de l'audit effacement, le bureau d'études présente le sujet de la flexibilité électrique à l'industriel :

- Les grands principes de fonctionnement du réseau électrique et son besoin de flexibilité ;
- L'effacement électrique : définition, intérêts, avantages ;
- Retours d'expérience du secteur d'activité de l'entreprise.
- L'audit effacement : en quoi consiste-t-il, et quelle est son utilité dans le process de mise en place de l'effacement ?
- Le planning de réalisation de l'étude.

### **5.1.3 - Présentation du site et définition du périmètre de l'étude**

Pendant le contact préliminaire, il faut définir et lister les objectifs de l'étude et appréhender la maturité de l'entreprise sur les sujets énergies :

- Les attentes, besoins, contraintes du site concernant l'audit effacement.
- La maturité du site sur les sujets énergies : site ISO 50 001, site soumis à l'audit réglementaire, audit énergies déjà réalisé, existence d'objectifs d'économie d'énergie, présence d'un référent énergies, d'un plan d'actions énergies, des actions ont t'elles déjà été réalisées à ce sujet, un suivi de la courbe de charge est t'il réalisé et existence ou non d'un système de sous-comptage ?
- Les objectifs et le but de l'étude : les gains financiers, l'intégration dans une démarche de transition énergétique, l'accessibilité et l'analyse des données de consommation électrique, etc.
- Le périmètre de l'étude : le nombre de sites à étudier, les types de process industriels des sites, les types de machines, etc.

### **5.1.4 - Synthèse du contact préliminaire**

L'auditeur transmet à la suite du contact préliminaire :

- Le support de présentation et un compte rendu des échanges,
- La liste des données d'entrées à fournir avant la visite,
- Un planning prévisionnel pour l'ensemble de l'intervention y compris la restitution,
- Le programme de la journée sur site.

En retour, le site fournira les données d'entrée, les coordonnées des interlocuteurs principaux et les conditions d'accès aux locaux (EPI, documents administratifs...).

## **5.2 - Étape 2 : Récolte des données**

Les équipements étudiés dans l'audit effacement pourront être choisis à partir des critères suivants : équipement ou groupe d'équipements similaires ayant une puissance moyenne appelée (ou à défaut installée) supérieure à 100 kW ainsi qu'un nombre d'heures de fonctionnement annuel élevé et pendant la journée 7-20h (correspondant au moins à un 1x8 à savoir environ 2 000h par an). En complément, les échanges avec le site pourront également aider à cette sélection. Finalement, l'auditeur pourra adapter sa sélection en fonction de son expérience et des bonnes pratiques de l'effacement.

### **5.2.1 - Les données énergie**

L'auditeur réalise un état des lieux des données énergies disponibles et fournies par le site. La courbe de charge peut être récupérée directement par le bureau d'études si le site valide l'autorisation nécessaire. Les données à fournir par le site sont les suivantes :

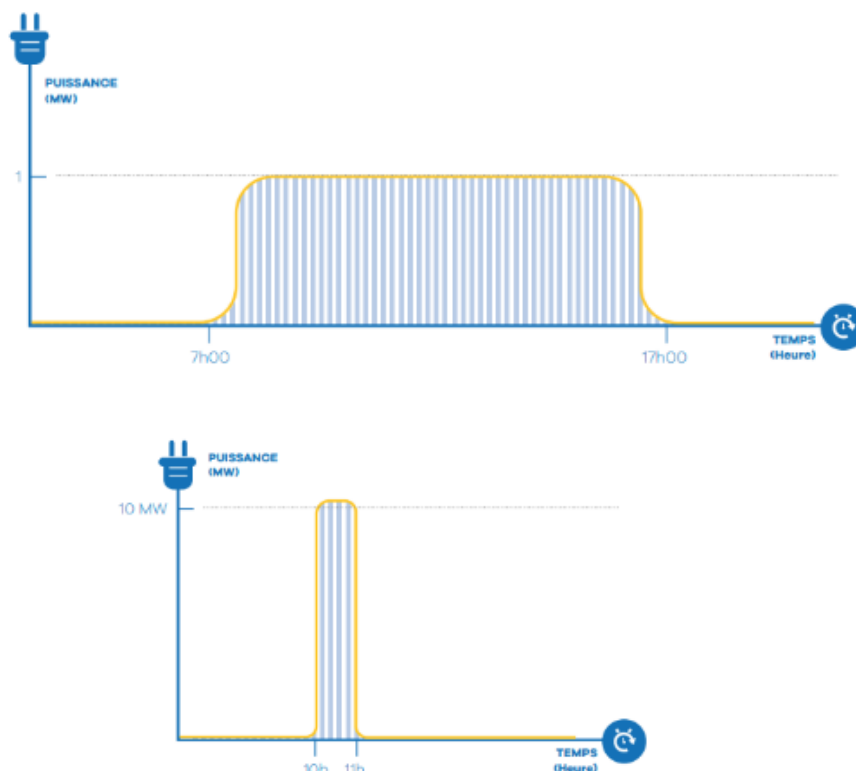
- Les audits énergétiques si existants<sup>1</sup>,
- Le plan du site, les synoptiques ou schéma des principaux process,
- La liste des appareils électriques énergivores,
- A minima, les factures d'électricité d'une année complète dite année de référence (puissance souscrite, option TURPE, etc.),
- La consommation et les coûts annuels des autres énergies consommées par le site,
- La courbe de charge du site (points 10 minutes) et si disponible la courbe de chaque machine au pas maximal de 30 minutes<sup>2</sup>,
- Le plan de sous comptage (si existant) et les moyens de reporting,
- À défaut, le fonctionnement théorique en kW en pleine activité, la nuit / le week-end de ces machines,
- La puissance installée et nominale électrique des machines énergivores (Puissance > 100 kW et durée de fonctionnement annuel > 2 000 h),
- La présence de variateurs de fréquence (si existants),
- La présence de stockage ou d'autoconsommation PV, d'installation PV en revente (si existants).

<sup>1</sup> Les audits énergétiques existants du site si déjà réalisés : audit réglementaire, audit spécifique, certificat ISO 50001 et revue énergétique.

<sup>2</sup> La courbe de charge du site (points 10 minutes) est la donnée la plus importante à récupérer avec un pas de temps d'acquisition de maximum 30 minutes sur une période de 1 à 2 années. Plus le pas de temps est petit, plus l'analyse est fine. Si le site possède des sous compteurs, il est intéressant de récupérer leurs données. Elles permettent de connaître la consommation exacte de la machine analysée.

La flexibilité électrique s'étudie grâce à la reconstitution de la courbe de charge au pas temporel maximal de 30 minutes (les relevés d'énergie sur des pas de temps plus importants ne permettent pas de connaître réellement le profil de consommation et l'impact d'un effacement électrique sur ce profil).

À titre d'exemple : une consommation de 10 MWh au cours d'une journée peut être réalisée par 1 MW soutiré pendant 10 heures mais aussi par 10 MW soutirés pendant 1 heure. Selon les deux cas, l'opportunité d'effacement n'est pas la même.



## Campagne de mesure (si nécessaire)

Une campagne de mesure dédiée peut être nécessaire si le site industriel ne dispose pas de toutes les données.

La collecte des données de consommation électrique via la campagne de mesure peut se faire de plusieurs manières :

- À partir des capteurs déjà installés sur site,
- À partir de capteurs installés uniquement pendant la durée de l'audit effacement par le bureau d'études (si nécessaire),
- À partir des données obtenues lors d'une campagne de mesure passée.

Le bureau d'études identifiera les capteurs nécessaires à l'audit effacement et pourra ainsi analyser le profil de consommation de chaque équipement pertinent : courbe de charge, talon, pic de charge, temps de fonctionnement / arrêt / redémarrage, maintenance, etc.



## 5.2.2 - Les données process

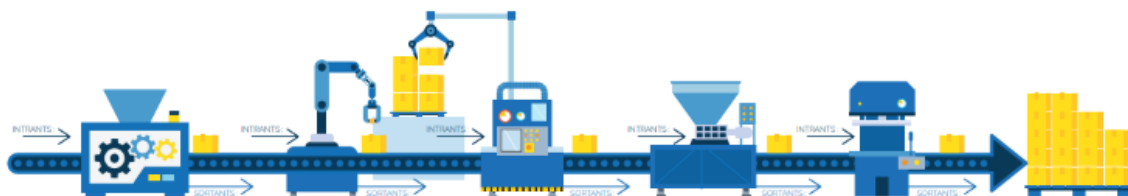
Le bureau d'études doit obtenir les informations nécessaires pour pouvoir détailler le fonctionnement du site et des équipements principaux. Il utilise pour cela les données transmises par le site, les informations obtenues lors des entretiens réalisés et les constats faits sur le terrain. Les données nécessaires sont :

- Le fonctionnement du site :
  - Les informations sur l'activité du site
  - Les mois, jours, horaires de fonctionnement du site
  - Les dates et nombre de semaines de fermeture / d'arrêt du site
  - La saisonnalité du site
  - Les horaires de montée en charge et décharge du site
  - Le nombre de salariés sur chaque poste
  - La possibilité ou non de travailler sur les horaires non ouvrés
  
- La description des machines et leur fonctionnement :
  - La description du process et la liste des machines énergivores
  - Le relevé de process avec l'utilisation de chaque machine ainsi que les plages horaires de fonctionnement<sup>3</sup>
  - Les entrants et sortants des machines
  - Les stocks en amont et aval des machines exprimés en heure ou en quantité de matière
  - La cadence de production par heure de chaque machine
  - L'arrêt et le démarrage des machines : temps, contraintes
  - La possibilité d'arrêts inopinés des machines (pannes)
  - L'automatisation de l'arrêt des machines
  
- Les données sur la production :
  - Le rattrapage ou décalage de la production en cas d'arrêt
  - Les impacts de l'arrêt de chaque machine sur la production
  - Le planning de production du site

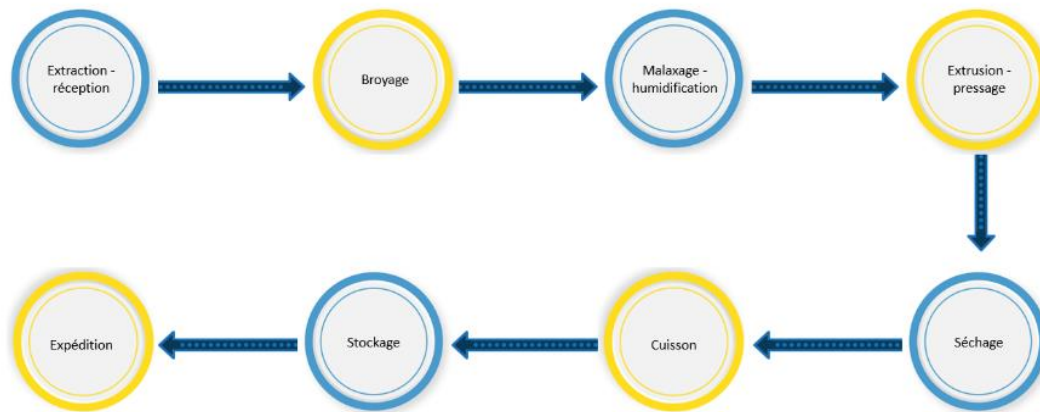
<sup>3</sup> Par exemple, pour une minoterie, le relevé de process correspond aux informations suivantes :

Process	Fonctionnement
Moulin n°1	1h30 - 12h / 15h - 17h / 22h - 23h30
Moulin n°2	Toute la journée
Moulin n°3	15h30 - 00h00
Compresseur	Toute la journée
Pompe à chaleur	6h - 18h
Four	12h - 16h / 18h - 22h

Le but de l'exploration du process est de réaliser un schéma macroscopique recensant ses différentes étapes.



Pour une cimenterie, l'exploration du process peut être traduite par ce schéma synoptique simplifié :



## Conduite d'une visite de site industriel

La visite du site industriel permet de faire un état des lieux, de se rendre compte de l'organisation, du mode de fonctionnement et de la production du site. Cela permet de visualiser le process industriel et l'ensemble des machines qui le composent, de prendre et remonter des informations terrains pour compléter les éléments déjà reçus. L'objectif est d'avoir tous les éléments nécessaires pour réaliser une étude de potentiel d'effacement.

La visite consiste à minima à :

- Effectuer le tour du site avec l'intervenant et dans l'ordre du process : de la réception des matières premières à l'expédition. Cela aidera dans la réalisation du schéma process (sans oublier le focus sur les flux de matières),
- Identifier les moyens de mesure existants et les systèmes de remontée d'informations,
- Analyser de manière approfondie les machines présentant le plus de potentiel via des relevés et entretiens avec le personnel.



## Accessibilité des données

Le site industriel remonte un certain nombre de données sur des bases lui permettant de les récupérer et de les traiter. Afin de mener une étude approfondie des données, le bureau d'études doit poser les questions suivantes au site, concernant les compteurs généraux et les éventuels sous-compteurs :

- Un historique de consommation pour les équipements pertinents est-il disponible via des sous-compteurs ? Un historique de consommation est-il disponible via le compteur général ?
- Peut-on récupérer un export des données de consommation ?
- Qui gère l'export de ces données ?
- Sur quelle durée peut-on récupérer ces données ? (Au moins un an est nécessaire)
- Quel est le pas de temps de l'export des données ? (10 minutes ou moins dans l'idéal, 30 minutes maximum)

### **5.3 - Étape 3 : Analyse préalable**

L'auditeur réalise une première analyse des données reçues. Il adapte les points clés à voir et clarifier lors de la visite en fonction de ces éléments.

## 5.4 - Étape 4 : Visite du site

Le programme général proposé est le suivant :

- 1h réunion de démarrage
- 1h visite process du site, « sens du flux »
- déjeuner
- 1h visite énergies du site « puissance installée & sous comptage »
- 1h entretien avec les contacts clés
- 0,5 h validation des données
- 1h débrief de la journée

Il sera évidemment adapté en fonction des spécifications et des données disponibles pour chaque site.

## 5.5 - Étape 5 : Analyse détaillée

### 5.5.1 - Repérer les opportunités de flexibilité

#### 5.5.1.1 - Quelles opportunités pour les différents profils de consommation électrique ?

À ce stade, il ne faut garder pour l'étude que les machines de production les plus énergivores. Ces dernières doivent représenter une part significative de la consommation électrique globale du site pour qu'elles soient visibles sur la courbe de charge.

Selon la puissance souscrite du site, cette valeur peut être adaptée pour ne conserver que les équipements principaux en termes de consommation électrique. Le bureau d'études peut par exemple sélectionner les cinq machines ou sous-ensembles les plus consommateurs d'électricité.

L'objectif des analyses proposées ici est de définir les opportunités de flexibilité de chaque machine sélectionnée :

- L'analyse du profil de consommation pour chaque machine: temps de fonctionnement journalier, profil plat / en dents de scie, horaires habituels de fonctionnement, etc.
- L'analyse de la saisonnalité avec la courbe de charge générale du site : la puissance moyenne électrique de chaque mois (saisonnalité), la puissance moyenne de chaque jour de la semaine, la puissance moyenne de chaque jour de la semaine en hiver, la courbe annuelle des jours ouvrés, la courbe de charge d'une ou plusieurs semaines en hiver ainsi que les courbes de consommation du site industriel les jours où il y a eu des effacements électriques ou des pannes machines / des maintenances dans les années ou mois passés.
- La répartition statistique des puissances appelées sur les heures ouvrées (7h – 20h) des mois d'hiver (Novembre à Mars).

Le bureau d'études peut recenser les informations globales de fonctionnement du site industriel au sein d'un tableau, permettant de savoir si le profil du site correspond au profil type pour les effacements de consommation électrique.

Critères	Résultats	Opportunités / Freins
Mois de fonctionnement du site industriel		Les consommations hivernales représentent une opportunité car ce sont celles qui sont les plus bénéfiques à être effacées pour le réseau. En revanche, des consommations uniquement estivales ou lors de mi-saison ne sont pas propices à une valorisation.
Jours de fonctionnement du site industriel au sein d'une semaine		Une régularité dans le planning de fonctionnement de la machine étudiée est une bonne opportunité pour les effacements. Par exemple, une machine qui fonctionne 2 jours par semaine aléatoirement ne pourra pas être valorisée. En revanche, une machine consommant les lundis, mardis et mercredis peut être valorisée en exploitant ces trois journées. Les effacements pendant les weekends ne sont pas valorisés.

Horaires de fonctionnement du site industriel au sein d'une journée		La plage horaire [7h-20h] est celle pendant laquelle les effacements sont appelés. Le fonctionnement de la machine doit couvrir au maximum cette plage horaire. La valorisation est directement proportionnelle à ce taux de couverture.
Périodes d'indisponibilité et/ou d'arrêt		Les périodes d'indisponibilité et/ou d'arrêt de la machine doivent être minimales pendant l'hiver pour constituer une bonne opportunité pour l'effacement. En revanche, un arrêt sur les mois d'été ainsi que sur la période des vacances de Noël n'a aucune influence sur le potentiel d'effacement.

### 5.5.1.2 - Quelles opportunités selon les types de production et d'industries ?

L'objectif de cette étape est d'analyser les données liées à l'organisation de la production.

De même que précédemment, le bureau d'études peut recenser les informations au sein du tableau suivant :

Critères	Résultats	Opportunités / Freins
Moyens humains sur le poste étudié (nb. de personnes)		Plus il y a de salariés nécessitant le fonctionnement d'une machine, moins la mise en place des effacements sera possible : l'arrêt de production risque d'entraîner des coûts liés à la perte de main d'œuvre et de réorganisation. Cependant, si les salariés peuvent effectuer d'autres travaux pendant l'effacement (autre poste, maintenance préventive, etc.), ce point peut être nuancé.
Temps d'arrêt / de redémarrage		Plus ces temps sont élevés, moins la machine présentera d'opportunités pour l'effacement. Cependant, ce phénomène de surcoût dû aux arrêts et redémarrages longs peut être écrasé par la mise en place uniquement d'effacements longs (ex : des périodes d'au moins 4h).
Possibilité de maintenance préventive pendant un effacement		Ce point représente une forte opportunité car il réduit l'impact de l'arrêt machine.
Possibilité d'automatiser la coupure		Quel que soit le moyen de pilotage de l'effacement, la valorisation sera la même. En revanche, un effacement piloté de manière automatique sera plus simple à activer et plus fiable pour le réseau. La possibilité d'automatiser est une bonne opportunité.

### 5.5.1.3 - Quelles opportunités pour les différents types de flux et process ?

La connaissance des différents processus et flux permet de faire ressortir les opportunités de flexibilité pour l'effacement électrique.

#### Critère 1: TU

Le Taux d'Utilisation machine TU (% pourcentage de temps de fonctionnement / temps ouvré) donne une indication sur la flexibilité de la machine et permet d'analyser les temps d'arrêts et les opportunités d'exploiter ces arrêts pour les effacements électriques. Il convient de comprendre pourquoi le Taux d'Utilisation des machines n'est pas de 100% (très rare dans l'industrie). Plusieurs causes sont possibles :

- Temps de changement de lots
- Temps d'attente lié à la discontinuité du flux
- Surcapacité de la machine par rapport à la demande client

Pour chacune de ces causes, le bureau d'études cherche à savoir si ces temps d'arrêts peuvent être flexibles, pouvant permettre un décalage des arrêts pendant les effacements.

## Critère 2 : Type de flux

Chaque type de flux peut également faire ressortir les opportunités de flexibilité pour l'effacement électrique.

Les divers types de flux sont :

- Les flux discontinus : la production en discontinu est utilisée généralement pour des petites séries et des productions variées en termes de produits fabriqués. Ce type de flux présente généralement de nombreux stocks et encours et donc de nombreuses opportunités d'effacement. En revanche, le Taux d'Utilisation machine est généralement faible, et les courbes de charges de consommation électrique discontinues.

*Exemple : dans l'industrie de mécanique de pièces élémentaires : chaudronnerie, usinage, on trouve des flux discontinus.*

- Les flux continus : ce type de flux est très présent dans l'industrie. Les opportunités de flexibilité existent mais sont moins évidentes que pour un flux discontinu.
  - Les flux poussés : chaque étape de fabrication est déclenchée par la disponibilité des matières au poste amont. Les produits fabriqués sont stockés en attente d'une demande pour la consommation. La capacité de production est définie soit par des prévisions de vente, soit par l'impossibilité de stocker la matière en amont de la fabrication.  
*Les opportunités d'effacement consisteront à exploiter le stock aval de la production. Tout ou une partie du process peut être arrêté dans la mesure où les commandes clients ne sont pas impactées.*

*Exemple : dans les filières agroalimentaires, par exemple du lait ou du sucre, on trouve des flux poussés.*

- Les flux tirés : chaque étape de fabrication est déclenchée par la demande du poste suivant. La fabrication est déclenchée par une demande client. Un processus avec flux tiré ne produit en principe aucun stock de produit fini.  
*Les opportunités d'effacement consisteront à exploiter des encours de la production. Par exemple, une partie du processus non synchrone avec le reste de la production peut être flexible dans la mesure où des encours se forment en amont et en aval.*

*Exemple : dans les secteurs de l'assemblage automobile, l'alimentation animale, on retrouve des flux tirés.*

### 5.5.2 - Caractériser la flexibilité et définir le potentiel

La flexibilité d'un site industriel peut être qualifiée de plusieurs manières selon ses contraintes et ses spécificités. Grâce à l'ensemble des données récoltées et analysées notamment sur les machines les plus énergivores, le bureau d'études va pouvoir dresser le profil d'effacement de l'entreprise et ainsi qualifier sa flexibilité selon plusieurs critères.

#### 5.5.2.1 - Définition et classification des contraintes du process industriel

Les contraintes du process industriel correspondent aux obligations du site de fonctionner d'une certaine manière afin d'assurer la continuité et la qualité de la production. Le bureau d'études doit analyser l'ensemble de ces contraintes et noter leurs importances dans la détermination des caractéristiques d'effacement. Le bureau d'études peut recenser ces informations au sein d'un tableau pour mieux les exploiter. Concernant le process industriel, il existe ces différents types de contraintes :

- Contraintes de stock : le niveau de stock que l'entreprise doit en permanence assurer, la capacité de stock maximum, les moments dans le process industriel où se trouvent les stocks
- Contraintes de planning / temporelles : la capacité de prévoir à l'avance le planning de production ou de le gérer en juste à temps, les horaires de livraison des matières premières, les horaires de chargement des expéditions avec les produits finis, la durée nécessaire pour arrêter et redémarrer les machines
- Contraintes humaines : le nombre d'employés prévus sur chaque plage horaire, les postes de chaque employé, l'emploi du temps de ces employés (horaires fixes ou flexibles)
- Contraintes de coûts : les coûts engendrés (toute nature) par l'arrêt d'une ou plusieurs machines
- Contraintes de qualité du ou des produits : l'impact de l'arrêt d'une ou de plusieurs machines sur la qualité des matières premières, des produits, la charte de qualité à respecter
- Contraintes de maintenance : le détail des opérations de maintenance prévues et de leur planning prévisionnel, la possibilité ou non de reporter ces opérations de maintenance, l'impact d'une opération de maintenance sur le process de production

- Contraintes de production : la possibilité du site à ralentir ou accélérer sa production, l'impact de l'arrêt d'une machine sur la production, la puissance électrique minimum de fonctionnement permanent sur le site
- Contraintes techniques : la possibilité d'automatiser l'arrêt des machines

Le bureau d'études, en détaillant ces contraintes, va créer le profil de flexibilité du site qui servira de base pour valider l'intérêt de l'effacement. Si l'intérêt est validé, ce profil sera utilisé par l'opérateur pour adapter son offre et permettre au site de participer aux effacements tout en minimisant l'impact sur sa production.

### 5.5.2.2 - Paramètres de flexibilité

En tenant compte de ces contraintes, le bureau d'études peut dresser un profil de flexibilité et définir les éléments suivants :

- Le gisement disponible pour l'effacement : machine(s) effaçable(s)
- Le temps de prévenance possible pour les jours de pointe et les effacements
- La durée d'un effacement minimum et maximum
- Le nombre d'effacements minimum et maximum par jour
- La durée minimum et maximum entre deux effacements
- L'activation de l'effacement : manuelle ou automatique
- La puissance effaçable : différence entre une courbe de charge typique du site et une courbe de charge avec effacement. Cette puissance d'effacement peut être différente selon les heures, les jours de la semaine ou la saison
- Les périodes de disponibilité pour les effacements (mois, jours, heures)

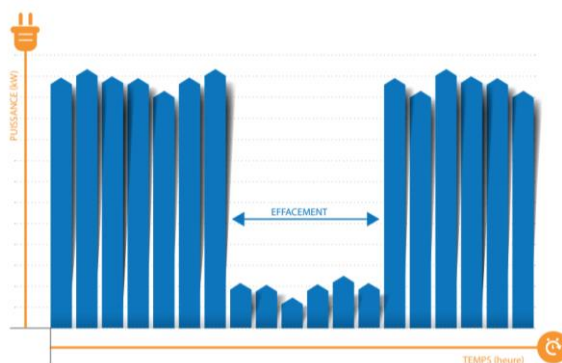


Illustration d'un effacement sur une courbe de charge

### 5.5.2.3 - Calcul des gains financiers

Les paramètres ci-dessus constituent les éléments d'entrée du calcul de la rémunération de l'effacement.

Les gains financiers se divisent en deux catégories :

- La part fixe, calculée en fonction de la puissance potentielle effaçable et des disponibilités (jours, heures, temps d'effacement possible dans une journée, délai de prévenance etc.): en €/MW effaçable.
- La part variable, uniquement indexée sur la puissance réellement effacée, multipliée par le nombre d'heures effectuées dans l'année : en €/MWh effacé.

À titre d'exemple, la part fixe peut être indexée sur le coefficient de l'appel d'offres effacement qui est fixé chaque année. En 2021, le prix est de 55,8 k€/MW. Ce coefficient correspond à une puissance d'effacement d'1 MW parfait sans aucune contrainte. La part variable, elle, peut être comprise entre 100 et 500 €/MWh.

Si des investissements doivent être faits par l'entreprise, un calcul du ROI sera réalisé par le bureau d'études.

Le bureau d'études peut proposer plusieurs offres de gains adaptées à l'entreprise en fonction de contraintes différentes pour que la société puisse évaluer la meilleure rémunération par rapport aux efforts/contraintes associés.

Dans le cas où la suite donnée à l'audit par l'industriel serait favorable, ces éléments constituent un cahier des charges simplifié qui permettra aux opérateurs d'effacement de déterminer la rémunération réelle du site industriel.

### **5.5.3 - Optimiser le potentiel**

Grâce au recensement des données électriques et du process industriel du site, le bureau d'études bénéficie d'un grand nombre d'informations et peut identifier des gisements d'amélioration de la flexibilité électrique de l'entreprise. Par exemple, le bureau d'études peut reprendre l'ensemble des machines non retenues pour l'analyse afin de comprendre ce qui ne peut être exploité. Le but ici est de permettre au site industriel de valoriser une plus forte capacité d'effacement et donc de bénéficier d'une rémunération plus importante.

Voici par exemple des actions qui peuvent être préconisées par le bureau d'études :

- Installer des variateurs de fréquence électrique sur ses équipements : un variateur de fréquence va permettre au site de commander la puissance d'un équipement électrique et va l'adapter au besoin précis du process. Pour un effacement électrique, cela peut permettre de ne pas arrêter complètement l'équipement mais d'adapter son fonctionnement à un besoin réduit. En plus d'améliorer la flexibilité électrique de l'industriel, l'installation de variateurs peut faire réaliser des économies d'énergie en continu au site.
- Installer des capteurs qui remontent les données électriques de chaque machine : analyser le profil de consommation électrique de chaque machine permet de connaître ses besoins d'utilisation. Pour l'effacement de consommation, il s'agit de savoir à quel moment l'équipement pourra être arrêté.

## **5.6 - Étape 6 : Restitution des résultats**

Le rapport de l'audit effacement est le document final qui est remis à l'entreprise auditée.

### **5.6.1 - Généralités**

Doit être apporté à ce rapport, un contenu particulièrement soigné et englobant l'ensemble des données et résultats de l'étude. Il présente à l'entreprise auditée les modalités possibles de participation à l'effacement pour son/ses site(s). Pour ce faire, le bureau d'études utilise l'ensemble des tableaux, graphiques et données qu'il a récolté et analysé.

Il permet à l'entreprise auditée de juger de la pertinence et de la faisabilité de mettre en place un contrat d'effacement sur son/ses site(s).

### **5.6.2 - Contenu du rapport**

Le rapport final contient à minima les éléments suivants :

- Les informations générales relatives à l'organisme audité, à l'auditeur effacement et à la méthodologie afférente à l'audit,
- Le contexte de l'audit effacement,
- La description de l'objet ou des objets audités,
- La description du contact préliminaire, de la réunion de démarrage, la conduite du travail sur place, la réunion de clôture,
- Le détail du recueil des données et des observations à ce sujet :
  - Liste des données collectées du site pour réaliser l'audit,
  - Les éléments sur la campagne de mesure et le type d'informations récoltées ainsi que les résultats,
  - Les difficultés rencontrées.
- La méthodologie d'analyse des données pour réaliser l'audit,
- Les résultats de l'analyse des données,
- Le profil de consommation de l'entreprise,
- Les contraintes opérationnelles de la société,
- La qualification de la flexibilité de l'entreprise,
- La capacité d'effacement du site (la puissance d'effacement électrique),
- L'estimation des gains financiers fixes et variables,

- Les actions d'amélioration de la flexibilité électrique identifiées sur le(s) site(s),
- Les étapes suivantes pour mettre en place un programme d'effacement.

En plus du rapport détaillé, une synthèse reprenant les principaux résultats de l'audit effacement sera placée en tout début de rapport.

Ce rapport ainsi que les données collectées pourront être communiqués à l'opérateur d'effacement si l'entreprise souhaite mettre en place un contrat.

### **5.6.3 - Réunion de clôture**

Une réunion finale de restitution sera organisée afin de présenter les résultats de l'audit effacement au client industriel.

Cet entretien a pour but de :

- Expliquer et commenter à l'entreprise les résultats de l'audit
- Interagir avec l'entreprise sur les résultats de l'audit
- Discuter avec l'entreprise de la pertinence de la mise en place de l'effacement au sein de la société
- Faire coïncider l'intérêt de l'effacement avec les objectifs de l'entreprise
- Définir avec l'entreprise les étapes suivantes, les délais, les personnes concernées dans la mise en place d'un contrat d'effacement

Après la réunion de clôture, si l'entreprise souhaite mettre en place un contrat d'effacement, le bureau d'études met le site en relation avec un ou plusieurs opérateurs d'effacement.

Il peut également proposer une prestation complémentaire de type assistance à maîtrise d'ouvrage AMO pour faciliter les échanges avec les opérateurs et garantir la bonne mise en place de l'effacement sur le site.



**Annexe 1 :** Exemple d'éléments à fournir en cas de validation de la candidature

Activité	
Fonctionnement	1x8, 2x8, 3x8 Horaires précis Fermeture, congés, maintenance
Saisonnalité de l'activité	Si oui, détailler l'impact
Le nombre de salariés sur le site	
Horaire de montée en charge	
Horaire de baisse de charge	
Nombre d'atelier ou ligne	
Coût de la main d'œuvre chargée	

**Annexe 2 :** Exemple d'éléments sur le process (1 questionnaire par atelier, par ligne ou par machine) à fournir en cas de validation de la candidature

Atelier, ligne ou machine	Atelier madeleines
Description du process	
Type de process	Continu ou batch
Rattrapage ou décalage de production	
Nombre total de salariés	
Travail possible sur horaires non ouverts	
Fonctionnement global de l'atelier/ligne	
Détail des machines Machine 1 Machine 2 ...	
Machine 1 Nombre d'opérateurs Opérateurs mobilisables sur d'autres tâches Puissance Plage horaire de fonctionnement Produit Exigences qualité en lien avec arrêt-démarrage Cadence de production nominale Cadence de production constatée Entrants Sortants Stocks amont Stocks aval Démarrage Démarrage automatisé Temps de changement de série, lots, matière Arrêt Arrêt automatisé Arrêt inopinés (pannes) Maintenance possible pendant arrêt si effacement Impact sur la production de la ligne si arrêt	t/h ou pièce/h...  en h ou en quantités matières en h ou en quantités matières 4h de préchauffage  1h nécessaire, 2 par jour max  Réguliers
Machine 2	
....	

