

IND-UT-117

SYSTÈME DE RÉCUPÉRATION DE CHALEUR SUR UN GROUPE DE PRODUCTION DE FROID

ÉTUDE DES MODALITÉS DE CALCUL DES ÉCONOMIES D'ÉNERGIE ET DES CONDITIONS TECHNIQUES D'ÉLIGIBILITÉ

Restitution des résultats

6 février 2024



Sommaire

- **Contexte sur l'IND-UT-117**
- **Objectifs de la prestation**
- **Démarche générale**
- **Analyse statistique**
- **Forfait**
 - Fonctionnement actuel
 - Modifications proposées
 - Impact des modifications
- **Conditions d'éligibilité**

Contexte de l'IND-UT-117

- 1^{ère} fiche la plus génératrice de CEE en industrie
- 230 TWhc délivrés entre 2014 et 2020
- Connues pour ses effets d'aubaine et fraudes par le passé, beaucoup moins utilisée depuis la révision du 35^{ème} arrêté
- Une qualité très variable des études préalable dans les dossiers déposés

Objectifs de la prestation

- Comprendre l'historique, le fonctionnement et l'usage actuel des fiches
- Actualiser les données utilisées dans les fiches
- Identifier les limites constatées ou potentielles
- Proposer des évolutions possibles en réponse à ces limites

ALLICE intervient en tant que prestataire indépendant pour remettre un diagnostic et des propositions d'évolution de la fiche.

Les résultats présentés aujourd'hui sont ceux de l'étude préalable à la révision, pas une annonce officielle de ce que contiendra la révision de la fiche.

La DGEC est seule décisionnaire quant au rejet, à l'adoption ou à la modification des propositions.

Démarche générale

- **Analyse statistique de l'usage des fiches sur la base des données PNCEE**
- **Analyse des FOS, FC et annexes associées**
 - Rédaction et accessibilité
 - Justification des conditions de délivrance
 - Données d'entrées et calculs pour gisement, situation de référence, durée de vie, gain annuel, et montant de CEE
- **Entretiens avec ATEE, ADEME et acteurs volontaires**
- **Mise à jour des données et vérification des calculs**
- **Rédaction de propositions d'évolutions**

IND-UT-117

Le gisement

Mise à jour du gisement

Révision 2020

71 TWhc

Données CEREN 2010 & 2013
Hypothèses de calcul



Proposition de révision

53 TWhc

Données CEREN 2019
Mêmes hypothèses de calcul

Malgré, pour rappel, 230 TWhc délivrés entre 2014 et 2020

IND-UT-117

Le forfait

Forfait : les constats

- Une structure globale pertinente
- Des facteurs utilisés dans le calcul manquant de justification, parfois très sévères
- Des données d'entrée insuffisantes pour approximer la réalité et pouvant aboutir à de grandes variations dans les résultats de l'étude préalable
- Des possibilités d'amélioration en termes de lisibilité, de pédagogie et de degré d'interprétation de la fiche

Forfait : rappel de la structure

$$M = \text{Durée de récupération} \times \text{Durée de vie actualisée} \times \text{Puissance récupérée}$$

$$M = D \times 9,9 \times P_{\text{récup}}$$

Raisonnement solide → pas de modification structurelle du forfait

Forfait : les paramètres

$$M = \text{Durée de récupération} \times \text{Durée de vie actualisée} \times \text{Puissance récupérée}$$

$$M = D \times 9,9 \times P_{\text{récup}}$$

$$= \min \left[\frac{\sum D_i \times P_i}{\sum P_i} ; D_{\text{frigo}} \right] \times \dots$$

Durée moyenne de fonctionnement annuel des compresseurs frigorifiques

Forfait : les paramètres

$$M = \text{Durée de récupération} \times \text{Durée de vie actualisée} \times \text{Puissance récupérée}$$

$$M = D \times 9,9 \times P_{\text{récup}}$$

$$= \min\left[\frac{\sum D_i \times P_i}{\sum P_i}, D_{\text{frigo}}\right] \times \dots$$

Durée moyenne de fonctionnement annuel des compresseurs frigorifiques

Moyenne pondérée des durées annuelles des besoins unitaires affectée de leurs puissances respectives

Forfait : les paramètres

$$M = \text{Durée de récupération} \times \text{Durée de vie actualisée} \times \text{Puissance récupérée}$$

$$M = D \times 9,9 \times P_{\text{récup}}$$

$$= \min \left[\frac{\sum D_i \times P_i}{\sum P_i} ; D_{\text{frigo}} \right] \times \text{Durée de vie actualisée} \times \text{Facteur pertes de distribution} \times \dots$$

$$= 10,986$$

Durée de vie conventionnelle de 14 ans, taux d'actualisation à 4 %

Forfait : les paramètres

$$M = \text{Durée de récupération} \times \text{Durée de vie actualisée} \times \text{Puissance récupérée}$$

$$M = D \times 9,9 \times P_{\text{récup}}$$

$$= \min \left[\frac{\sum D_i \times P_i}{\sum P_i} ; D_{\text{frigo}} \right] \times \text{Durée de vie actualisée} \times \text{Facteur pertes de distribution} \times \dots$$

$$= 10,986$$

Durée de vie conventionnelle de 14 ans, taux d'actualisation à 4 %

$$= 0,9$$

Inspiré de la « réglementation thermique » (non sourcé) sur réseau collectif isolé à basse ou moyenne température <65°C

Forfait : les paramètres

$$M = \text{Durée de récupération} \times \text{Durée de vie actualisée} \times \text{Puissance récupérée}$$

$$M = D \times 9,9 \times P_{\text{récup}}$$

$$= \min \left[\frac{\sum D_i \times P_i}{\sum P_i} ; D_{\text{frigo}} \right] \times \text{Durée de vie actualisée} \times \text{Facteur pertes de distribution}$$

$$\times \min \left[P_{\text{systeme recup}} ; \sum P_i ; \left(\text{COP}_{\text{chaud}} \times \text{Facteur pertes compresseur} \times \text{Facteur pertes recuperation} \right) \times P_{\text{comp}} - P_{\text{déjà recup}} \right]$$

Puissance thermique du système de récupération de chaleur

Forfait : les paramètres

$$M = \text{Durée de récupération} \times \text{Durée de vie actualisée} \times \text{Puissance récupérée}$$

$$M = D \times 9,9 \times P_{\text{récup}}$$

$$= \min \left[\frac{\sum D_i \times P_i}{\sum P_i} ; D_{\text{frigo}} \right] \times \text{Durée de vie actualisée} \times \text{Facteur pertes de distribution}$$

$$\times \min \left[P_{\text{systeme recup}} ; \left(\sum P_i ; \left(\text{COP}_{\text{chaud}} \times \text{Facteur pertes compresseur} \times \text{Facteur pertes recuperation} \right) \times P_{\text{comp}} - P_{\text{déjà recup}} \right) \right]$$

Puissance thermique du système de récupération de chaleur

Somme des puissances thermiques des besoins à couvrir

Forfait : les paramètres

$$M = \text{Durée de récupération} \times \text{Durée de vie actualisée} \times \text{Puissance récupérée}$$

$$M = D \times 9,9 \times P_{\text{récup}}$$

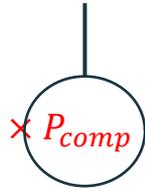
$$= \min \left[\frac{\sum D_i \times P_i}{\sum P_i} ; D_{\text{frigo}} \right] \times \text{Durée de vie actualisée} \times \text{Facteur pertes de distribution}$$

$$\times \min \left[P_{\text{systeme recup}} \left(\sum P_i \right) ; \left(\text{COP}_{\text{chaud}} \times \text{Facteur pertes compresseur} \times \text{Facteur pertes recuperation} \right) \times P_{\text{comp}} - P_{\text{déjà recup}} \right]$$

Puissance thermique du système de récupération de chaleur

Somme des puissances thermiques des besoins à couvrir

Somme des puissances électriques nominales indiquées sur les plaques du ou des compresseur(s) raccordé(s) au système de récupération



Forfait : les paramètres

$$M = \text{Durée de récupération} \times \text{Durée de vie actualisée} \times \text{Puissance récupérée}$$

$$M = D \times 9,9 \times P_{\text{récup}}$$

$$= \min \left[\frac{\sum D_i \times P_i}{\sum P_i} ; D_{\text{frigo}} \right] \times \text{Durée de vie actualisée} \times \text{Facteur pertes de distribution}$$

$$\times \min \left[P_{\text{systeme recup}} \left(\sum P_i \right) ; \left(\text{COP}_{\text{chaud}} \times \text{Facteur pertes compresseur} \times \text{Facteur pertes recuperation} \right) \times P_{\text{comp}} - P_{\text{déjà recup}} \right]$$

Puissance thermique du système de récupération de chaleur

Somme des puissances thermiques des besoins à couvrir

Somme des puissances électriques nominales indiquées sur les plaques du ou des compresseur(s) raccordé(s) au système de récupération

Puissance thermique déjà récupérée par un ou plusieurs systèmes de récupération de chaleur

Forfait : les paramètres

$$M = \text{Durée de récupération} \times \text{Durée de vie actualisée} \times \text{Puissance récupérée}$$

$$M = D \times 9,9 \times P_{\text{récup}}$$

$$= \min \left[\frac{\sum D_i \times P_i}{\sum P_i} ; D_{\text{frigo}} \right] \times \text{Durée de vie actualisée} \times \text{Facteur pertes de distribution}$$

Somme des puissances électriques nominales indiquées sur les plaques du ou des compresseur(s) raccordé(s) au système de récupération

$$\times \min \left[P_{\text{ystème récup}} \left(\sum P_i \right) ; \left(\text{COP}_{\text{chaud}} \times \text{Facteur pertes compresseur} \times \text{Facteur pertes recuperation} \right) \times P_{\text{comp}} - P_{\text{déjà récup}} \right]$$

Puissance thermique du système de récupération de chaleur

Somme des puissances thermiques des besoins à couvrir

= 3 Issu de COP_{froid} = 2
 = 0,9 Conversion élec/travail (non sourcé)
 = 0,75 Échangeur (non sourcé)
 = 2,025 arrondi à 2

Puissance thermique déjà récupérée par un ou plusieurs systèmes de récupération de chaleur

Forfait : les paramètres

$$M = \text{Durée de récupération} \times \text{Durée de vie actualisée} \times \text{Puissance récupérée}$$

$$M = D \times 9,9 \times P_{\text{récup}}$$

$$= \min \left[\frac{\sum D_i \times P_i}{\sum P_i} ; D_{\text{frigo}} \right] \times \text{Durée de vie actualisée} \times \text{Facteur pertes de distribution}$$

$$\times \min \left[P_{\text{systeme recup}} ; \sum P_i ; \left(\text{COP}_{\text{chaud}} \times \text{Facteur pertes compresseur} \times \text{Facteur pertes recuperation} \right) \times P_{\text{comp}} - P_{\text{déjà recup}} \right]$$

Puissance thermique du système de récupération de chaleur

Somme des puissances thermiques des besoins à couvrir

$$\text{Précupérée} \leq 2 * P_{\text{compresseurs}} - P_{\text{déjà récupérée}}$$

Forfait : propositions de correction des paramètres

$$= \min \left[\frac{\sum D_i \times P_i}{\sum P_i} ; D_{frigo} \right] \times \text{Durée de vie actualisée} \times \text{Facteur pertes de distribution}$$

$$\times \min \left[P_{\text{système récup}}, \sum P_i ; \left(\text{COP}_{\text{chaud}} \times \text{Facteur pertes compresseur} \times \text{Facteur pertes recuperation} \right) \times P_{\text{comp}} - P_{\text{déjà récup}} \right]$$

Le réseau distribution est calorifugé (critère contrôlé, cf. arrêté du 20/04/22 contrôles IND-UT-117).
 Pour isolation de classe 4 (niveau réglementaire), niveau de pertes défini par NF EN 12828 « Système de chauffage dans les bâtiments ». Avec $T^\circ = 45 \text{ °C}$ et diamètre tuyau = 40 cm :

$$\text{Pertes de distribution [kW]} = 0,24 \times \text{Longueur du circuit de distribution [m]}$$

Forfait : propositions de correction des paramètres

$$= \min \left[\frac{\sum D_i \times P_i}{\sum P_i} ; D_{frigo} \right] \times \text{Durée de vie actualisée}$$

$$\times \min \left[\underbrace{P_{\text{système récup}} - \text{Pertes de distribution}}_{\text{Capacité du système de récupération}} ; \sum P_i ; \left(COP_{\text{chaud}} \times \text{Facteur pertes compresseur} \times \text{Facteur pertes recuperation} \right) \times P_{\text{comp}} - P_{\text{déjà récup}} \right]$$

Le réseau distribution est calorifugé (critère contrôlé, cf. arrêté du 20/04/22 contrôles IND-UT-117). Pour isolation de classe 4 (niveau réglementaire), niveau de pertes défini par NF EN 12828 « Système de chauffage dans les bâtiments ». Avec $T^\circ = 45 \text{ °C}$ et diamètre tuyau = 40 cm :

$$\text{Pertes de distribution [kW]} = 0,24 \times \text{Longueur du circuit de distribution [m]}$$

Forfait : propositions de correction des paramètres

$$= \min \left[\frac{\sum D_i \times P_i}{\sum P_i} ; D_{frigo} \right] \times \text{Durée de vie actualisée}$$

$$\times \min \left[P_{\text{systeme recup}} - \text{Pertes de distribution} ; \sum P_i ; \left(\text{COP}_{\text{chaud}} \times \text{Facteur pertes compresseur} \times \text{Facteur pertes recuperation} \right) \times P_{\text{comp}} - P_{\text{déjà recup}} \right]$$

Efficacité d'un échangeur

$$= \frac{\text{Puissance échangeur}}{\text{Pthéorique échangeur à contre-courants et } \infty \text{ grand}}$$

E = 1 inatteignable pour des raisons physiques et économiques, est souvent entre 0,5 et 0,6

≠

Rendement énergétique d'un échangeur

$$= \frac{\text{Puissance échangeur}}{\text{Pthéorique si pertes aux parois nulles}}$$

$\eta \approx 1$ car pertes négligeables p/r P'échangée

Proposons de retenir **$\eta = 0,95$**

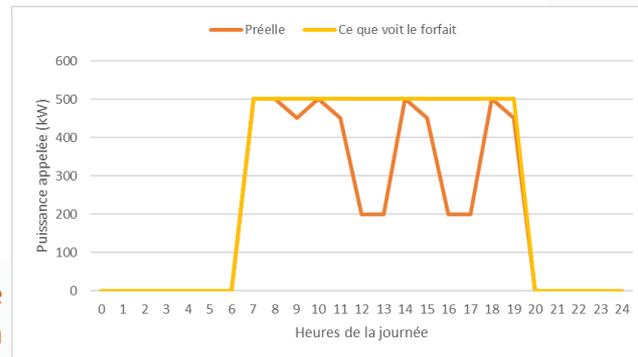
Forfait : les limites des données d'entrées

1. Limite de l'utilisation des puissances nominales ou plaquées

$$\frac{P_{comp}}{\frac{\sum D_i \times P_i}{\sum P_i}}$$

- Le forfait est aveugle à tout fonctionnement du groupe froid ou des besoins à une puissance inférieure à leur puissance nominale
- Les équipements sont achetés à des puissances nominales permettant d'absorber les anomalies (marge de sécurité, variation saisonnière, augmentation de la demande...). La puissance réelle de fonctionnement est donc **très souvent** inférieure à la puissance nominale
- Surestimation importante du forfait

Illustration des variations de puissance appelée par un besoin sur 24h



Forfait : les limites des données d'entrées

2. Limite du calcul de la durée de récupération

$$\min \left[\frac{\sum D_i \times P_i}{\sum P_i} ; D_{frigo} \right]$$

- La formule actuelle permet d'éviter que la durée de récupération dépasse celle de fonctionnement des équipements
- Mais regarde la durée sans regarder la simultanéité

Forfait : les limites des données d'entrées

2. Limite du calcul de la durée de récupération

$$\min \left[\frac{\sum D_i \times P_i}{\sum P_i} ; D_{frigo} \right]$$

- La formule actuelle permet d'éviter que la durée de récupération dépasse celle de fonctionnement des équipements
- Mais regarde la durée sans regarder la simultanéité

Illustration 1 : besoins asynchrones entre eux

Source S = 650 kW ; fonctionne 24h/24h 7j/7

Besoin A = 500 kW ; fonctionne le matin

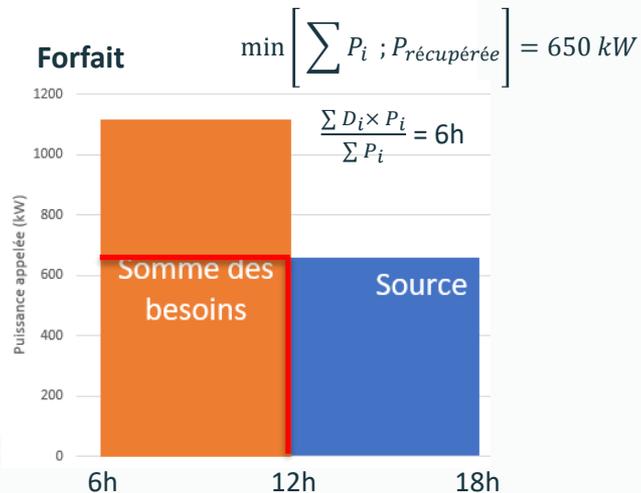
Besoin B = 600 kW ; fonctionne l'après-midi

Réalité :

Erécup = 500 kW * 6h + 600kW * 6h = 6600 kWh

Forfait :

Erécup = 650 kW * 6h = 3900 kWh



→ Sous-valorisation

Forfait : les limites des données d'entrées

2. Limite du calcul de la durée de récupération

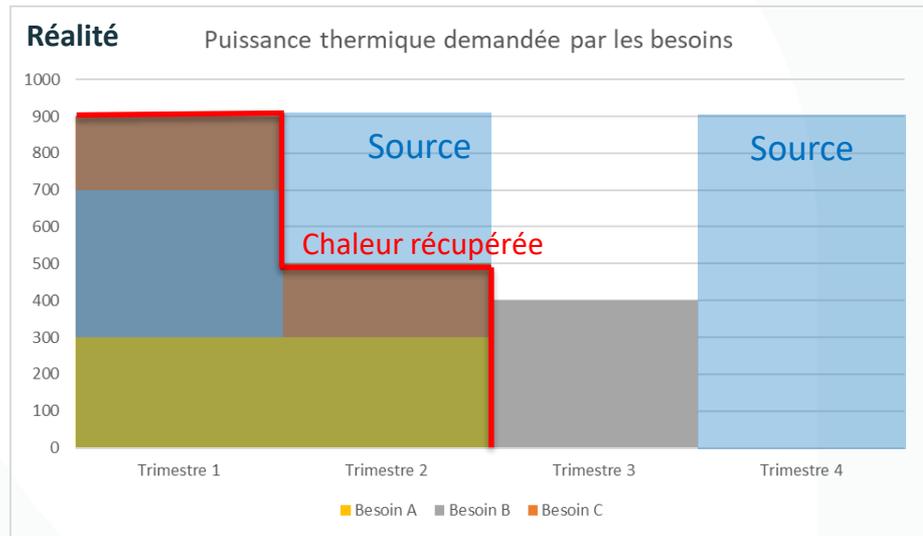
Illustration 2 : source et besoin asynchrone

Variations annuelles des puissances (kW thermiques)				
	Source	Besoin A	Besoin B	Besoin C
Trimestre 1	900	300	400	200
Trimestre 2	900	300	0	200
Trimestre 3	0	0	400	0
Trimestre 4	900	0	0	0

8000 h / an

Réalité :

$$\text{Erécup} = (900 + 500 + 0 + 0 \text{ kW}) * 2000 \text{ h} = 2\,800 \text{ MWh}$$



Forfait : les limites des données d'entrées

2. Limite du calcul de la durée de récupération

Illustration 2 : source et besoin asynchrone

Variations annuelles des puissances (kW thermiques)				
	Source	Besoin A	Besoin B	Besoin C
Trimestre 1	900	300	400	200
Trimestre 2	900	300	0	200
Trimestre 3	0	0	400	0
Trimestre 4	900	0	0	0

8000 h / an

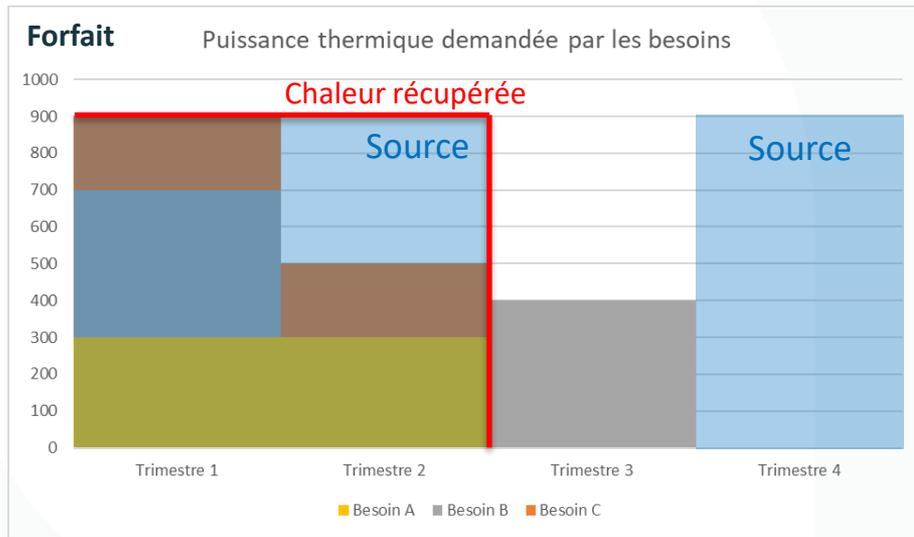
Réalité :

$$E_{récup} = (900 + 500 + 0 + 0 \text{ kW}) * 2000 \text{ h} = 2\,800 \text{ MWh}$$

Forfait :

$$\frac{\sum D_i \times P_i}{\sum P_i} = 4\,000 \text{ h} \quad \min \left[\sum P_i ; P_{récupérée} \right] = \min [900 \text{ kW} ; 900 \text{ kW}] = 900 \text{ kW}$$

$$E_{récup} = 900 \text{ kW} * 4\,000 \text{ h} = 3\,600 \text{ MWh}$$



→ Sur-valorisation

Forfait : proposition d'alternative pour les données d'entrée

- Essayer de représenter au plus proche de la réalité les **durées de fonctionnement réelles** des équipements, pour pouvoir prendre en compte la simultanéité dans la semaine et dans l'année
- Essayer de représenter au plus proche de la réalité les puissances réelles de fonctionnement des équipements, pour pouvoir prendre en compte les variations hebdomadaires et annuelles
- Opération standardisée = faire des approximations pour simplifier le calcul



Définition de courbes-typé de comportement pour chaque source et chaque besoin sur la base des informations déjà demandées dans l'étude préalable

1 courbe pour représenter les variations hebdomadaires

1 courbe pour représenter les variations saisonnières

Forfait : proposition d'alternative pour les données d'entrée

Comment créer sa courbe hebdomadaire ?

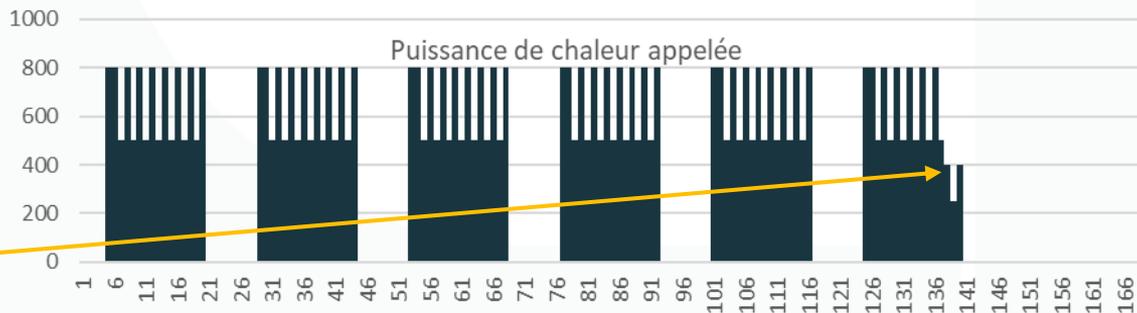
- Se baser sur la période de l'année où l'équipement est le plus sollicité
- S'appuyer sur des informations connues, quanti ou quali
 - Mode de la zone de production (2*8h, 3*8h...)
 - Fonctionnement continu / discontinu, cycles
 - Périodes programmées d'allumage et de veille
 - Arrêts complets programmés
 - *Si équipé d'outils de suivi, courbe journalière/hebdo de conso*
 - ...

**Votre procédé est très variable ?
Approximez !**

Ex. : production à la demande = très dépendante des commandes.
Mon four fait parfois 1 seul cycle par jour, et jusqu'à 8 en cas de rush.
Prenez le fonctionnement moyen

Exemple fictif :

- Conso nominale chaleur : 800 kW
- Zone de prod en 2*8 (6h-22h), 6j/7
- Four discontinu, ~8 tournées/jour
- Maintien à bas régime entre tournées
- Montée en température à partir de 5h
- Arrêt à 18h 1 samedi/2 pour nettoyage



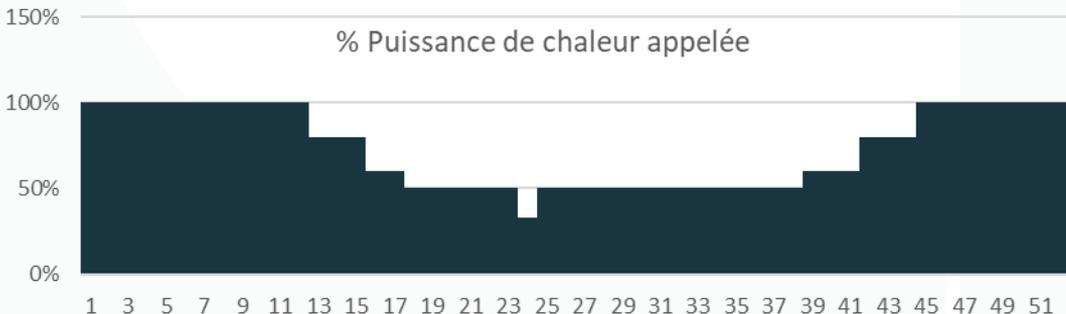
Forfait : proposition d'alternative pour les données d'entrée

Comment créer sa courbe annuelle ?

- Référence : semaine de pic de conso
- Pour simplifier, raisonner en % par rapport à ce pic
- S'appuyer sur des informations connues, quanti ou quali
 - Variations saisonnière (ex : chauffage arrêté l'été, déshydrateur de petits pois tourne à fond juste après la période de récolte, groupe froid plus sollicité l'été...)
 - Arrêts systématiques (ex : congés de Noël, semaines de maintenance, arrêts d'activité saisonniers...)

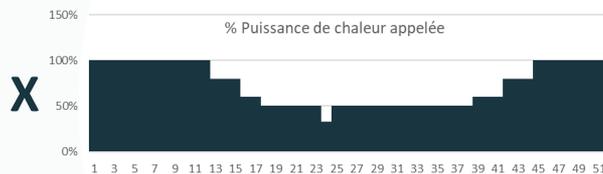
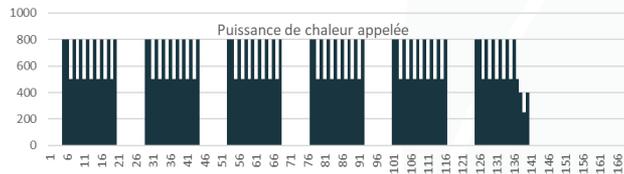
Exemple fictif :

- La production suit les pics de demande : Noël, St-Valentin, Pâques
- Saison creuse l'été
- Arrêt complet de 4 jours en juin pour maintenance (4 j/6*50% = 33%)



Forfait : proposition d'alternative pour les données d'entrée

- Réaliser cette démarche pour chaque équipement (besoin et source)
- Toutes les étapes suivantes sont automatisables → *proposition de template comme guide*
 - Pour chaque équipement, pondérer les puissances appelées sur une semaine-type par les variations représentées dans l'année type



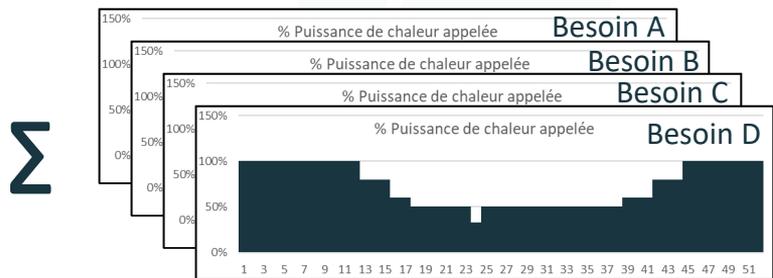
X

=

Courbe-type annuelle
de l'équipement, h par h

Forfait : proposition d'alternative pour les données d'entrée

- Réaliser cette démarche pour chaque équipement (besoin et source)
- Toutes les étapes suivantes sont automatisables → *proposition de template comme guide*
 1. Pour chaque équipement, pondérer les puissances appelées sur une semaine-type par les variations représentées dans l'année type
 2. Côté besoins, sommer les puissances appelées par chaque besoin

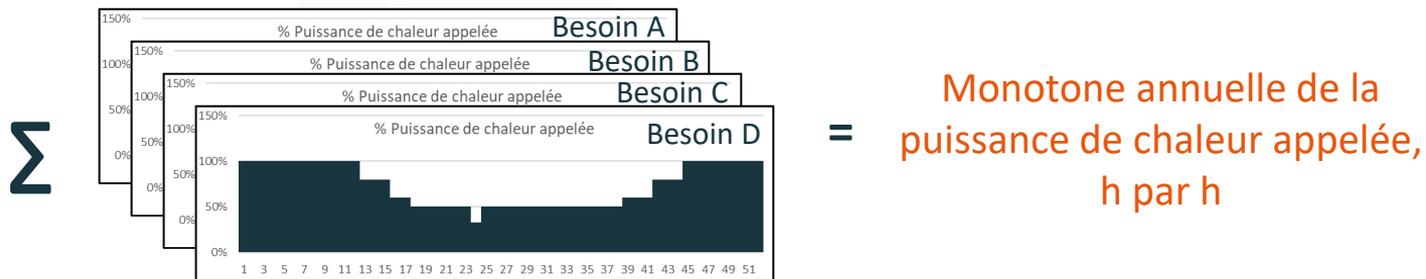


=

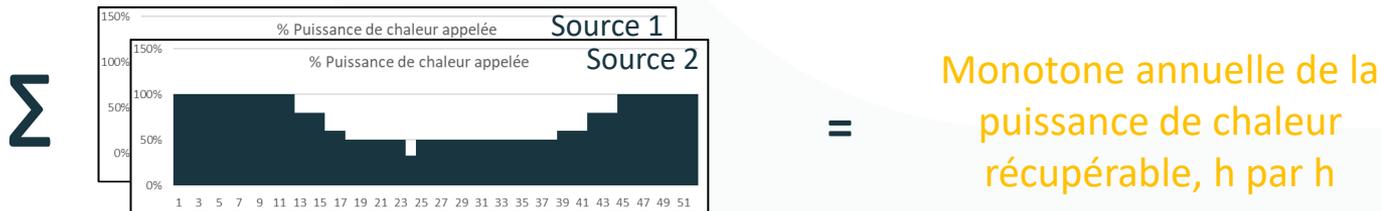
Monotone annuelle de la
puissance de chaleur appelée,
h par h

Forfait : proposition d'alternative pour les données d'entrée

- Réaliser cette démarche pour chaque équipement (besoin et source)
- Toutes les étapes suivantes sont automatisables → *proposition de template comme guide*
 - Pour chaque équipement, pondérer les puissances appelées sur une semaine-type par les variations représentées dans l'année type
 - Côté besoins, sommer les puissances appelées par chaque besoin



S'il y a plusieurs groupes froid sources, faire la même chose pour les sources



Forfait : proposition d'alternative pour les données d'entrée

- Réaliser cette démarche pour chaque équipement (besoin et source)
- Toutes les étapes suivantes sont automatisables → *proposition de template comme guide*
 1. Pour chaque équipement, pondérer les puissances appelées sur une semaine-type par les variations représentées dans l'année type
 2. Côté besoins, sommer les puissances appelées par chaque besoin
 3. Regarder la concordance des besoins et des sources en chaque heure de l'année :

Minimum

Monotone annuelle de la
puissance de chaleur appelée,
h par h

Monotone annuelle de la
puissance de chaleur
récupérable, h par h

Capacité du système de
récupération (échangeur +
pertes distrib)

= Monotone annuelle de la
puissance de chaleur
récupérée, h par h

Illustration avec le modèle d'étude préalable

Merci pour votre attention

