

# Efficacité Énergétique dans l'Industrie

## Suivi de l'énergie

24-27 Novembre 2014, Tunis, Tunisie

**renac**  
renewables academy

En coopération avec:



Soutenu par:



[www.renac.de](http://www.renac.de)

## Aperçu du programme de la session

- Définition du contrôle – suivi (monitoring) de l'énergie
- Indicateurs énergétiques et de performance
- Concepts liés à la mesure
- Analyse des données

## Etat des lieux dans les entreprises

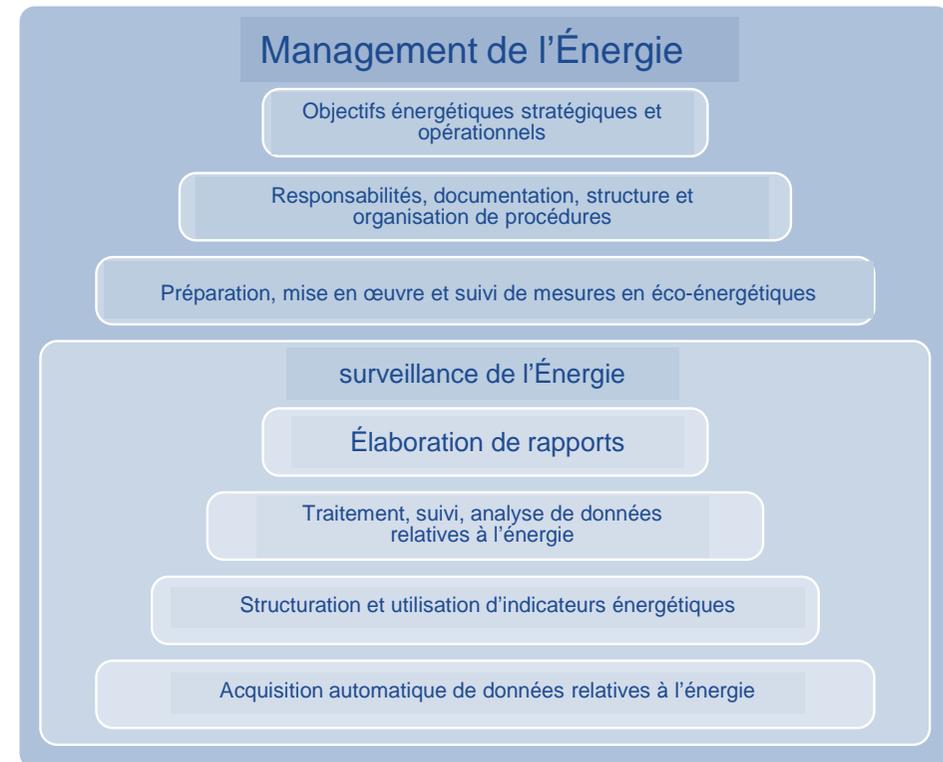
- Souvent, seuls quelques compteurs sont disponibles pour des consommateurs d'énergie uniques
- Les systèmes mis en place pour le monitoring de l'énergie
  - Génèrent souvent des « déluges d'informations »
  - Sont généralement peu faciles d'usage et donc rarement utilisés
  - Ont souvent des rapports coût/bénéfice défavorables

## Définition du monitoring de l'énergie

- Monitoring de l'énergie:  
Enregistrement régulier et systématique ainsi que le suivi de toutes les données relatives à l'énergie (consommation, prix, etc.)
- Tâches du monitoring de l'énergie
  - Administration des données
  - Analyse et interprétation des données
  - Coût énergétique - calcul et élaboration de rapports, documentation systématique et régulière de données
  - Développement de solutions d'efficacité énergétique

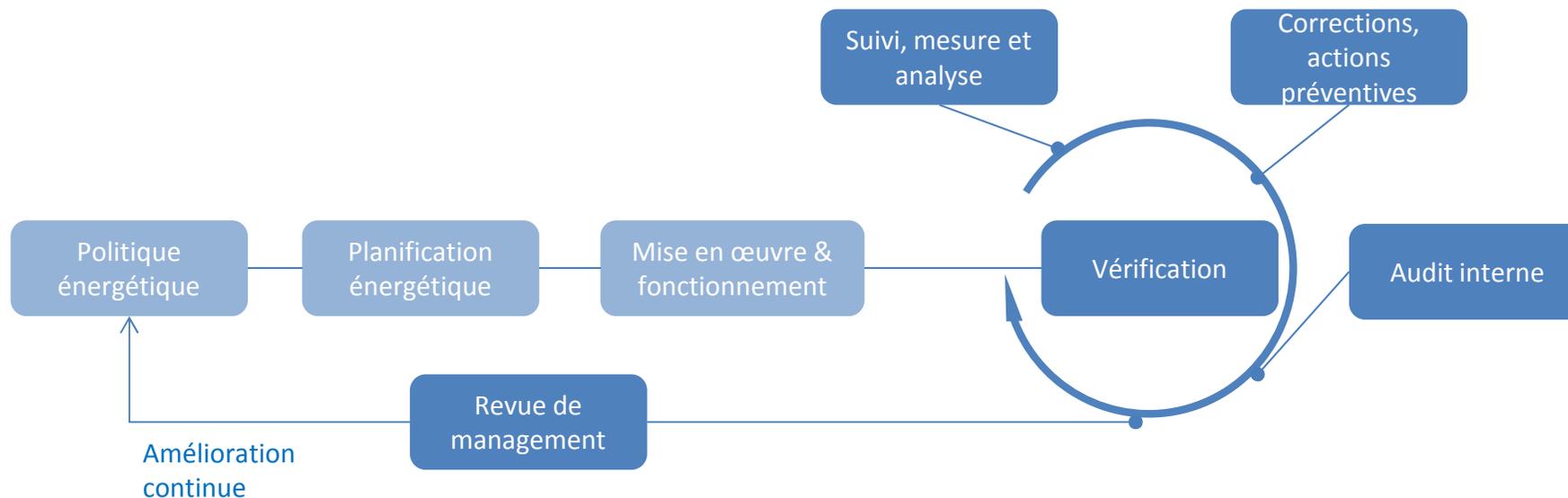
## Monitoring et management de l'énergie

- Le monitoring de l'énergie
  - Est partie intégrante du Système de Management de l'Énergie (SME)
  - Fournit des informations relatives à la situation énergétique au SME
- Taches essentielles au sein du SME
  - Résumé et archivage des données énergétiques pertinentes
  - Préparation, suivi et évaluation de la structure de demande énergétique
  - Analyse des données énergétiques amassées et établissement de ratios et indicateurs de performance



## Suivi Énergétique

- ISO 50001 est basé sur l'approche PLAN-DO-CHECK-ACT (planifier-faire-vérifier-agir) pour atteindre l'amélioration continue en terme de performance énergétique.



# Suivi Énergétique

## Approches pour la mise en œuvre du monitoring de l'énergie

1. Analyse
  - Analyse et priorisation des flux énergétiques
  - Systématisation de la structure énergétique
2. Sélection d'indicateurs d'efficacité énergétique
  - Pour les technologies de production ou transversales
  - Considération des caractéristiques nécessaires (p.ex. comparable, facilement influençable, compréhensible)
3. Développement d'une structure d'indicateurs
  - Structuration de technologies utiles à divers processus par secteur (p.ex. génération), zones (hall), autres (machines)
4. Développement de concepts de mesure
  - Détermination de, p.ex.
    - Méthode de mesure et compteurs
    - Système de transfert de données



## Suivi Énergétique

### Approches pour la mise en œuvre de la surveillance de l'énergie

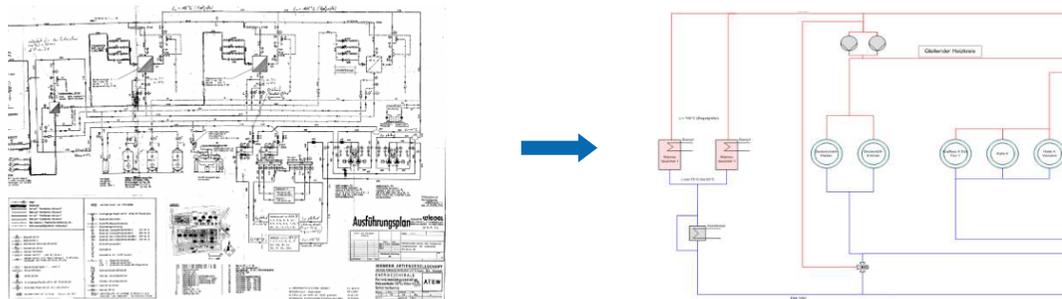
5. Sélection de matériel et logiciel
  - Mise en place de critères de sélection (p.ex. visualisation, facilité d'utilisation )
6. Vérification de fonctionnalité et plausibilité
  - Compteurs: p.ex. transfert de données sans erreurs
  - Méthodologie pour vérifications: p.ex. comparaison de compteurs décentralisés et centralisés
7. Évaluation et analyse d'indicateurs
  - Étapes préparatoires (p.ex. établir consignes, réglage de limites supérieurs et inférieurs pour les indicateurs)
  - Créer un tableau d'efficacité énergétique pour les technologies de production ou transversales
8. Développement de mesures d'économie d'énergie
9. Suivi des dispositifs d'économie mises en place



# Suivi Énergétique

## Étape 1: Priorisation des Consommateurs d'Énergie

- Documentation détaillée de la situation réelle
- Pour les principaux consommateurs d'énergie (technologies de production (process) ou transversales), analyse de
  - Valeurs de puissance et de consommation d'énergie
  - Exigences réglementaires
  - Données de production (p.ex. quantités, facteur de charge, temps de fonctionnement)
  - Documentation et schémas simplifiés des zones pertinentes



# Suivi Énergétique

## Étape 2: Indicateurs d'Efficacité Énergétique

- Objectifs
  - Réduire le „déluge d'information“ en indicateurs clés pertinents
  - Suivi de l'**efficacité énergétique** au lieu de la consommation
  - Dérivation et estimation de **potentiels d'économies d'énergie**
  - **Suivi** des dispositifs d'économie d'énergie mis en place
  - Vérification et planification de la **consommation d'énergie**
  
- Calcul
  - Paramètres de base
  - Ratios
  - Modèles complexes

## Étape 2: Indicateurs d'Efficacité Énergétique

Indicateurs clés	Formule	Unité
Efficacité en terme de chiffre d'affaire	$\frac{\text{Chiffre d'affaire en €}}{\text{Couts énergétiques spécifiques en €}}$	%
Efficacité en terme de production (output)	$\frac{\text{Rendement de production en kg}}{\text{Apport énergétique total en kWh}}$	$\frac{\text{Kg,m}^2}{\text{kWh}_{\text{total}}}$
Efficacité en terme de rendement du refroidissement	$\frac{\text{Rendement en kg}}{\text{Consommation électrique pour refroidissement en kWh}}$	$\frac{\text{kg}}{\text{kWh}}$
Part de la récupération de chaleur	$\frac{\text{Énergie de la chaleur récupérée en kW}}{\text{Consommation totale d'énergie en kW}}$	%
Coefficient de performance du refroidissement	$\frac{\text{Puissance de refroidissement en kW (P}_{\text{thermique}})}{\text{Consommation électrique en kW (P}_{\text{électrique}})}$	-
Efficacité du convoyeur	$\frac{\text{Pellets plastiques en kg}}{\text{Consommation d'électricité du convoyeur (sous vide) en kWh}}$	$\frac{\text{Kg}}{\text{kWh}_{\text{sous vide}}}$

# Suivi Énergétique

## Étape 2: Efficacité et ratio d'utilisation

- Niveau d'efficacité  $\eta$ 
  - Ratio entre bénéfice et effort
- Niveau normal d'approvisionnement
  - Prend en compte le comportement à charge partielle d'une usine
  - "Niveau d'efficacité moyen sur la période de temps"
  - Dépend de
    - Efficacité à puissance nominale
    - Pertes dues à l'état de disponibilité  $q_B$
    - Temps de fonctionnement
    - Heures d'utilisation
  - Exemple donné: niveau normal d'approvisionnement du système de chauffage

$$\eta = \frac{P_{\text{sortie}}}{P_{\text{entrée}}}$$

$$\eta_N = \frac{\text{Production annuelle de chaleur}}{\text{Apport annuel en chaleur}} = \frac{Q_H}{Q_C}$$

# Suivi Énergétique

## Étape 2: Comparabilité des indicateurs

- Évaluation des indicateurs d'efficacité énergétique par comparaison
  - Comparaisons temporelles d'une installation
  - Comparaison avec une autre installation
  - Comparaison avec valeurs théoriques:
    - Données fournisseurs
    - Ratios issus de la littérature, enquêtes, documents de référence
  - Comparaison avec un objectif

# Suivi Énergétique

## Étape 2: Comparabilité des indicateurs

- Exigences pour comparabilité
  - Attention aux données de consommations d'énergie
    - Sources d'énergie
    - Hypothèses et conventions dans la collecte et le traitement des données
  - Considération de différences d'utilisation influençant la consommation d'énergie, p.ex.
    - Taux de charge et production
    - Qualité du produit fini
    - Qualité des matières premières
    - Programme de travail
    - Périmètre du procédé
    - Technologies utilisées
    - Exigences spécifiques d'utilisation: ventilation, refroidissement, températures ambiante,...
    - Météorologie

## Étape 3: Exemple de système d'indicateur d'efficacité

### Production

### Technologie transversale

Niveau 1

Niveau 2

Indicateur de coût énergétique PRODUCTION INTÉGRALE
$\frac{\text{Quantité de compresseurs}}{\text{Coûts énergétiques du hall de production}}$

Indicateur de demande en électricité PRODUCTION INTÉGRALE
$\frac{\text{Quantité de compresseurs}}{\text{Demande en électricité du hall de production}}$

Indicateur de demande en gaz PRODUCTION INTÉGRALE
$\frac{\text{Quantité de compresseurs}}{\text{Demande en gaz du hall de production}}$

Indicateur de demande en électricité ATELIER DE PEINTURE
$\frac{\text{Quantité de compresseurs}}{\text{Demande en électricité de l'atelier de peinture}}$

Indicateur de demande en électricité PRODUCTION + MONTAGE
$\frac{\text{Quantité de compresseurs}}{\text{Demande en électricité de la production + montage}}$

Indicateur de demande en gaz ATELIER DE PEINTURE
$\frac{\text{Quantité de compresseurs}}{\text{Demande en gaz de l'atelier de peinture}}$

Indicateur de demande en gaz PRODUCTION + MONTAGE
$\frac{\text{Quantité de compresseurs}}{\text{Demande en gaz de la production + montage}}$

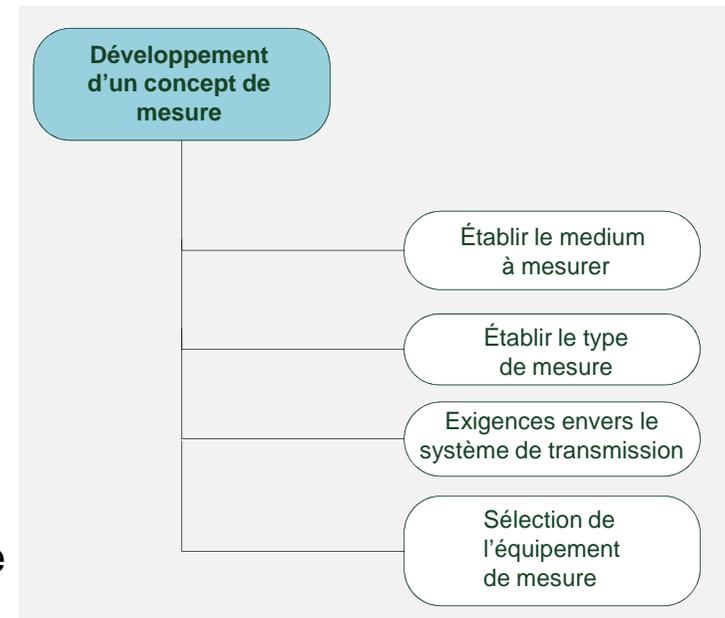
Efficacité de la chaudière
$\frac{\text{Quantité de chaleur générée}}{\text{Demande en gaz de la chaudière}}$

Demande spécifique en chauffage
$\frac{\text{Degrés-jours}}{\text{Demande en gaz pour chauffage du bâtiment}}$

COP de refroidissement
$\frac{\text{Quantité de refroidissement généré}}{\text{Demande en électricité pour le refroidissement}}$

## Étape 4: Développement d'un concept de mesure

- Seules des mesures adéquates fournissent des données fiables pour le suivi énergétique
- Détermination de points de mesure
  - Pour compteurs d'énergie
  - Pour compteurs auxiliaires
- Détermination du type de mesures
  - Continues
  - Discontinues
- Détermination des exigences envers le système de transfert des données
  - Intégration de différents signaux provenant des compteurs
  - Intégration de systèmes existants
- Sélection d'équipement de mesure

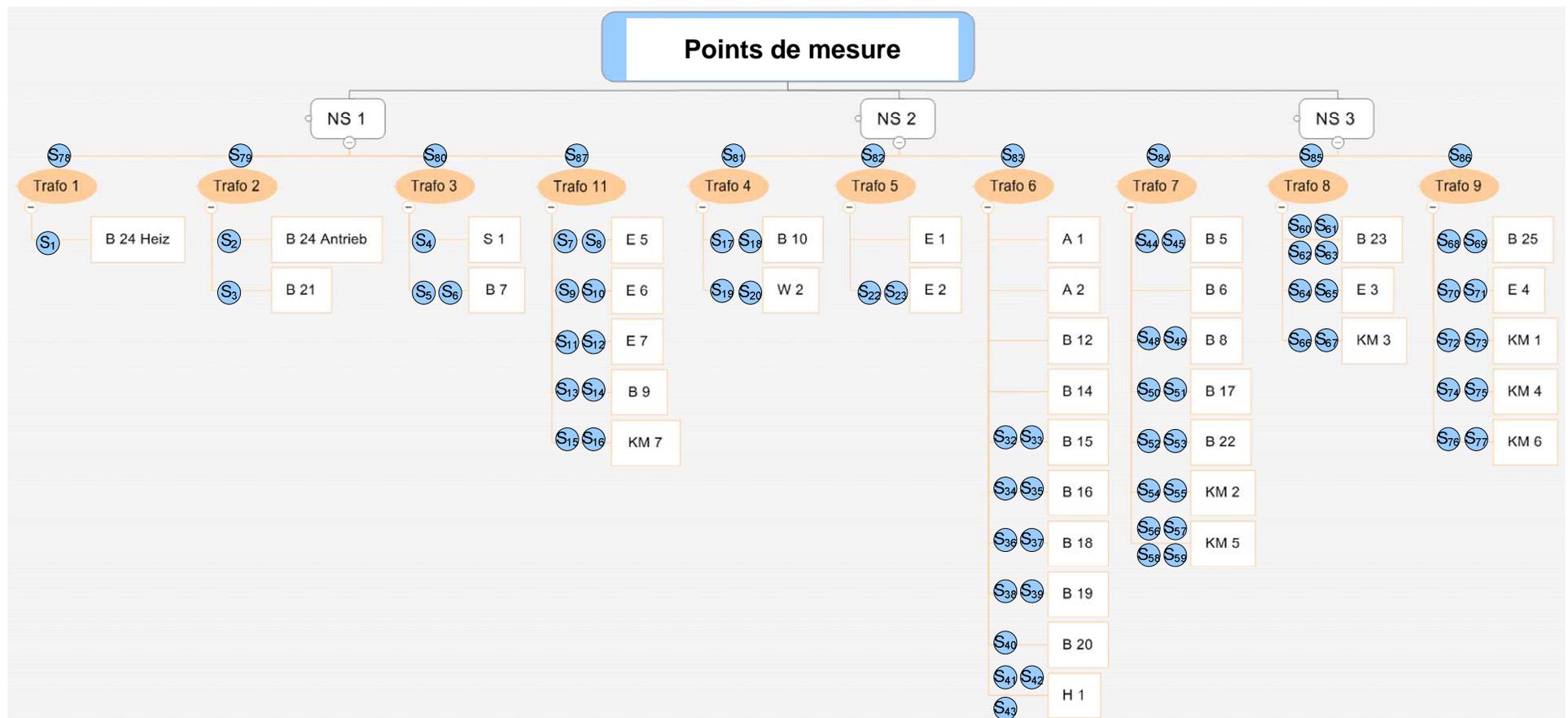


# Suivi Énergétique

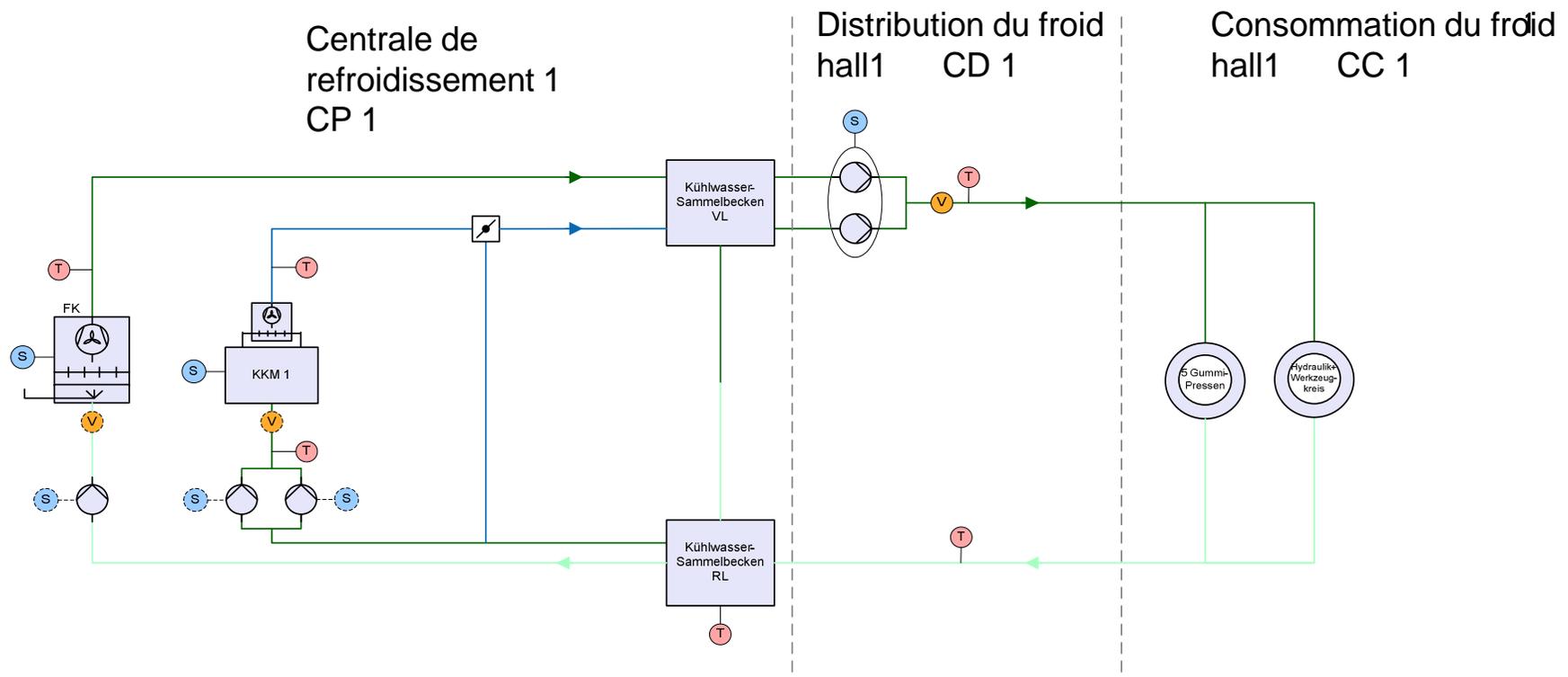
## Étape 4: Aperçu des mesures possibles

- Quantités
  - Consommation d'énergie
    - Électricité
    - Gaz Naturel, fioul liquide, etc.
    - Chaleur: compteur de calorie (débit d'eau et températures entrée/sortie), vapeur,
    - Froid: compteur de calorie (débit et températures)
  - Débits volumétriques: air, fumées de combustion, eau, produit, etc.
  - Temps de fonctionnement
- Qualités, par ex.:
  - Température
  - Pression
  - Humidité
  - Taux d'Oxygène dans les fumées de combustion

## Étape 4: Points de mesure pour la machinerie de production



## Étape 4: Points de mesure pour un système de refroidissement



## Étape 4: Points de Données Calculés I

- Il est possible de calculer les données de consommation à partir de paramètres mesurés
- Exemple: Différence entre le compteur principal et les compteurs annexes

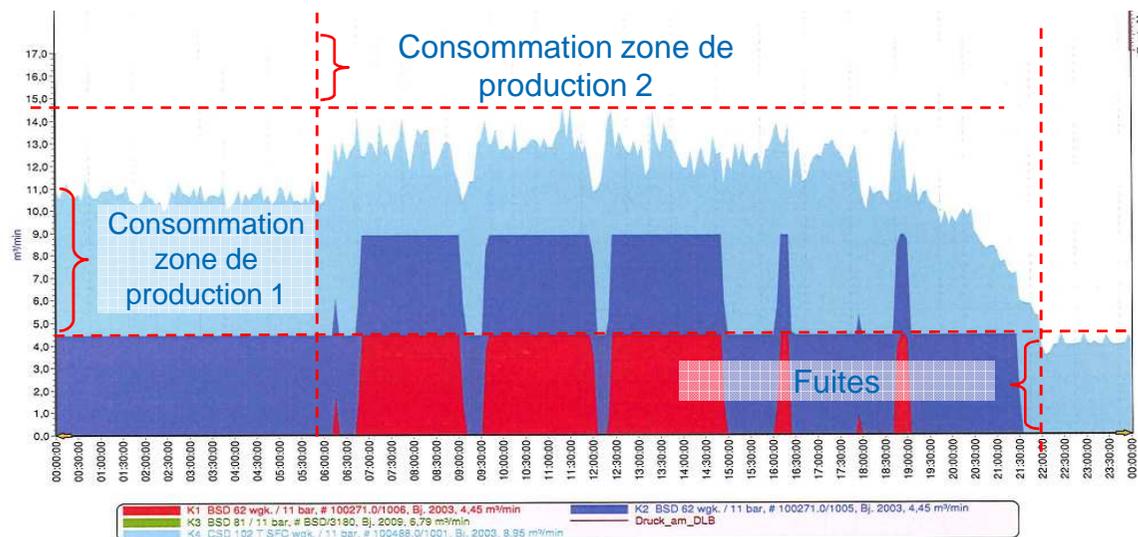
© 2014 renac

Calcul de la  
consommation

# Suivi Énergétique

## Étape 4: Points de Données Calculés I

- Exemple: Fuite d'air comprimé
  - Détermination de fuites en mesurant la consommation d'air comprimé ou la consommation de puissance des compresseurs lors de périodes sans production



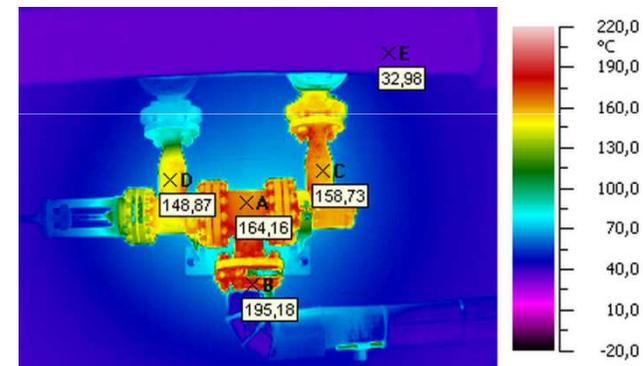
## Étapes 4: Mesures temporaires versus continues

	Mesures temporaires	Mesures continues
Facteurs de dépense	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Coûts de location pour l'équipement de mesure</li><li>▪ Coûts pour le support externe</li><li>▪ Coûts liés à l'interruption de la production</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Coûts d'achat et de maintenance</li><li>▪ Coûts d'installation</li><li>▪ Coûts liés à l'interruption de la production</li></ul>

Il faudrait privilégier les mesures en permanence pour les consommateurs d'énergie puisque leur consommation peut ainsi être suivie et analysée en continu.

## Étape 4: Mesures temporaires

- Exemples typiques de mesures temporaires:
- Thermographie
  - Les cameras thermographiques détectent les rayonnements de la gamme infra-rouge du spectre électromagnétique
  - Images thermogrammes
  - Aide à identifier les pertes thermiques
- Mesure ultrasonique de fuites d'air comprimé



Thermogramme de manchon non-isolé



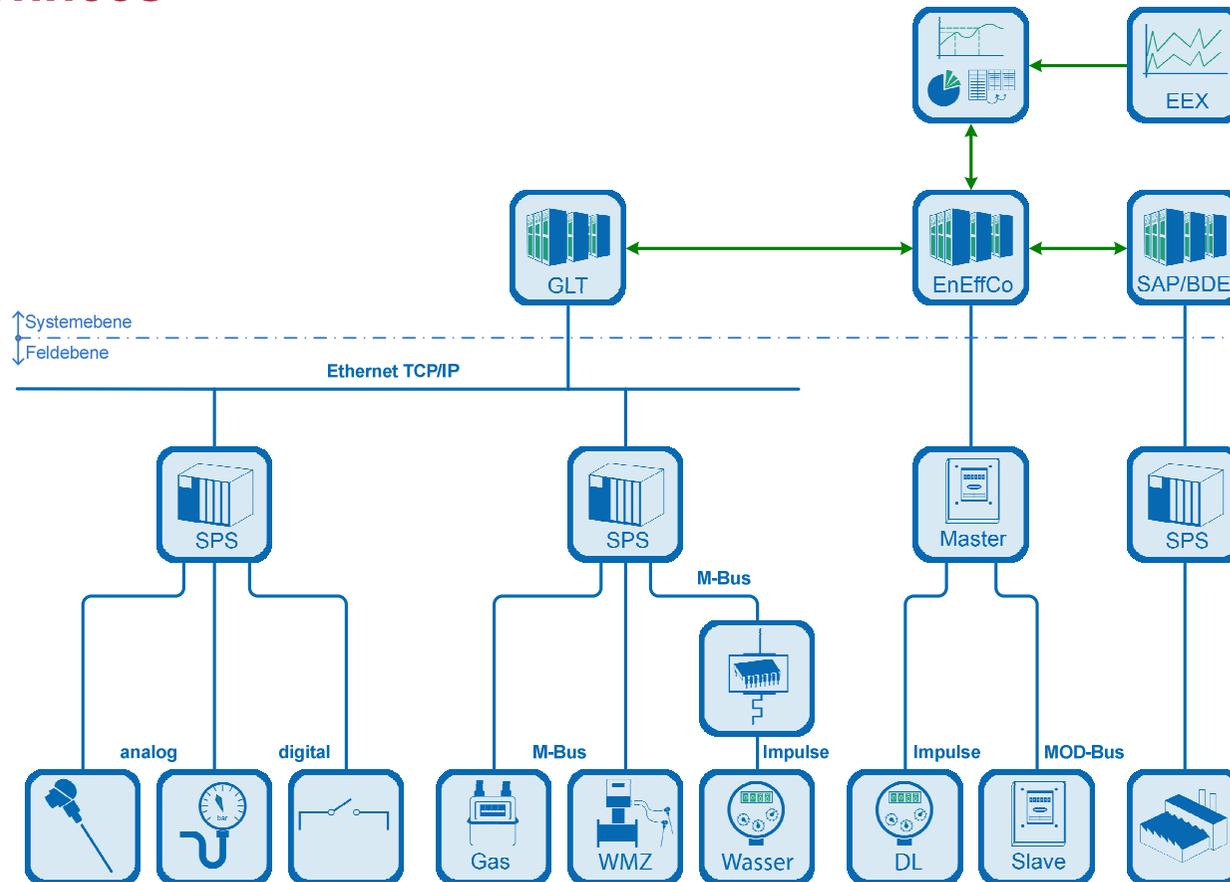
## Étape 4: Mesures Continues – Acquisition manuelle de données

- Selon le degré d'importance des données
  - Recueil hebdomadaire
  - Recueil mensuel
- Traitement des données
  - Logiciel de surveillance
  - Listes et tableaux Excel

Consommateur	Meter number / Contract number	Unit	31.01.	28.02.	31.03.	30.04.	31.05.	30.06.	31.07.	31.08.	30.09.	31.10.	30.11.	31.12.
Building main meter	50537-0	kWh	2.518.151	5.245.172	2.559.045	2.572.007	2.587.375	2.611.856	2.648.074	2.699.674				
Moulding injection machine 1	69220037	kWh	238.213	238.213	238.213	238.213		4.014	7.771	14.537				
Moulding injection machine 2	69140816	kWh	515.595	519.904	524.293	528.530	532.683	536.404	544.630	552.186				
Cooling generation	69173026	kWh	52.649	53.770	54.934	56.188	57.370	58.548	59.809	61.219				
Administration building	51367-0	kWh	183.895	189.144	191.252	193.327	195.302	197.477	203.896	213.731				

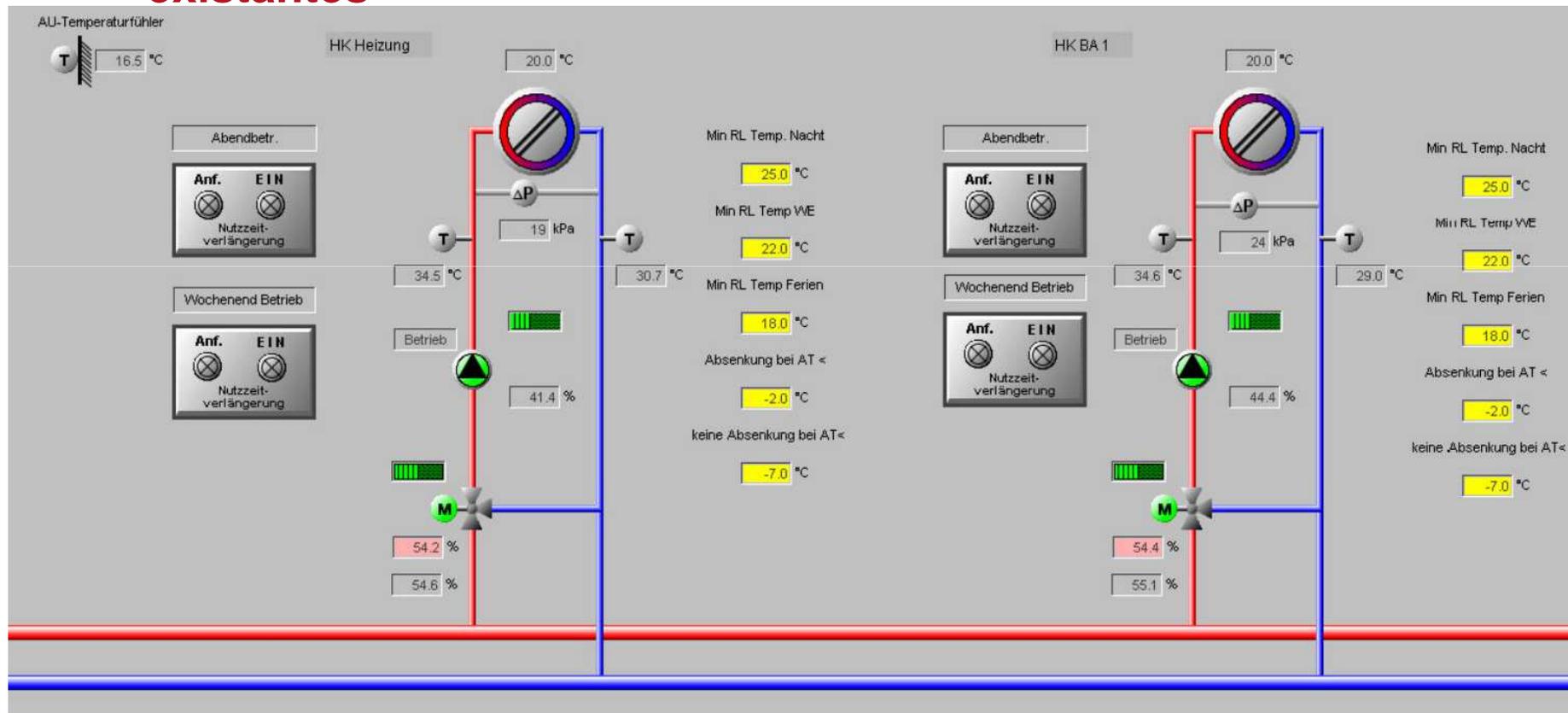
# Suivi Énergétique

## Étape 4: Mesures continues – Acquisition automatisée des données



# Suivi Énergétique

## Étape 4: Système de surveillance – Utilisation de données existantes



## Étape 5: Sélection des équipements de mesure / comptage

- Il existe un très grand nombre d'équipements disponibles sur le marché
  - À des prix très différents
  - Des caractéristiques différentes
  - Prendre en compte les coûts de calibration, maintenance, pièces de rechange et consommables

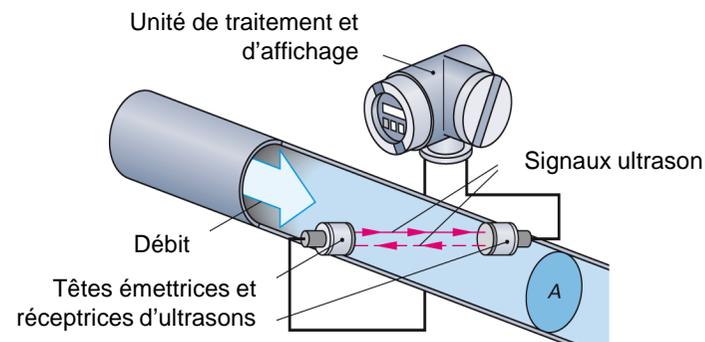
## Étape 5: Mesure du courant et de la puissance

- Mesure de tout type de charges électriques, p.ex.
  - Usines de production
  - Refroidisseurs
  - Compresseurs d'air
- Mesure nécessitant une déconnexion
- Mesure ne nécessitant pas de déconnexion
  - Charge résistive Ohmique (p.ex. ampoule): pince ampèremétrique ( $\cos \varphi \approx 1$ )
  - Charge résistive non-Ohmique (p.ex. moteur électrique):  
Compteur de puissance réelle



## Étape 5: Mesure de débits volumétriques

- Mesure de fluides gazeux et liquide
- Mesure de base pour la chaleur et le froid
- Divers méthodes de mesure différentes existent, p.ex.
  - Débitmètre à ultrasons
  - Débitmètre à turbine



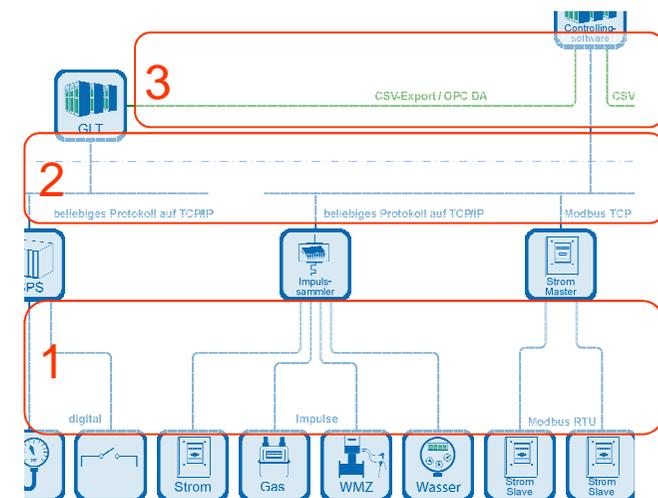
## Étape 5: Mesure de la température et de l'illumination

- Mesure de l'éclairage
  - Utilisation de luxmètres
  - Considération de différentes incidences de lumière tout au long d'une journée et d'une année
- Mesure de températures
  - Air: ambiante, air/gaz d'échappement
  - Eau: eau chaude, eau froide
  - Surfaces: tuyaux, équipement

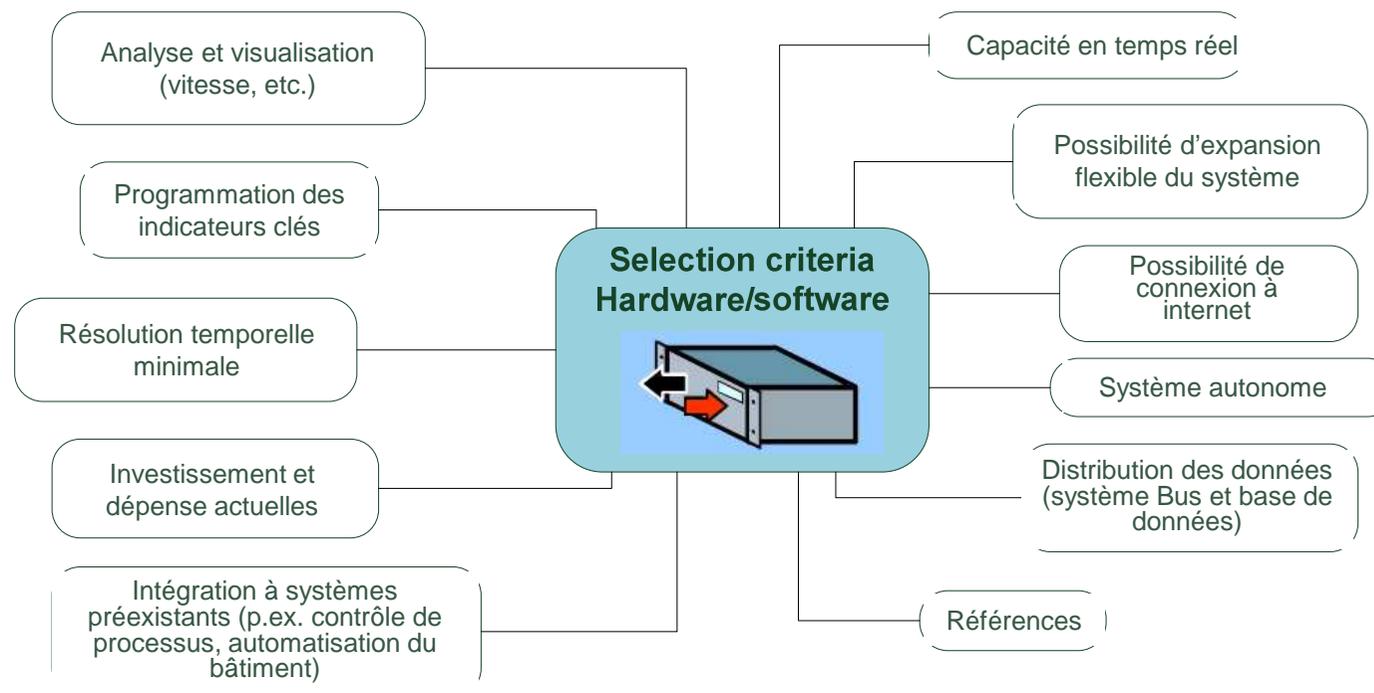


## Étape 5: Traitement et transfert automatisé des données

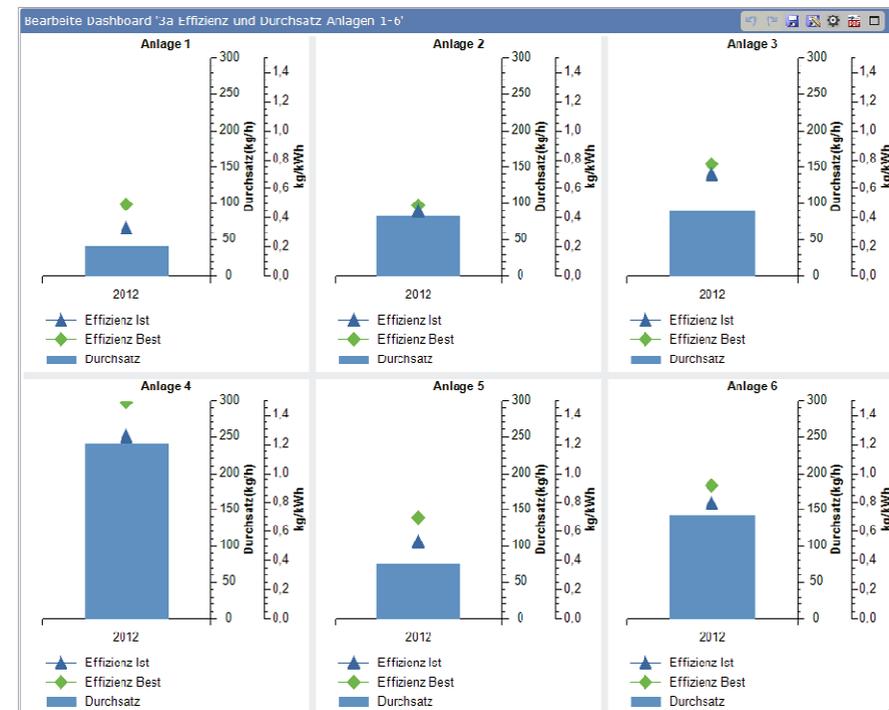
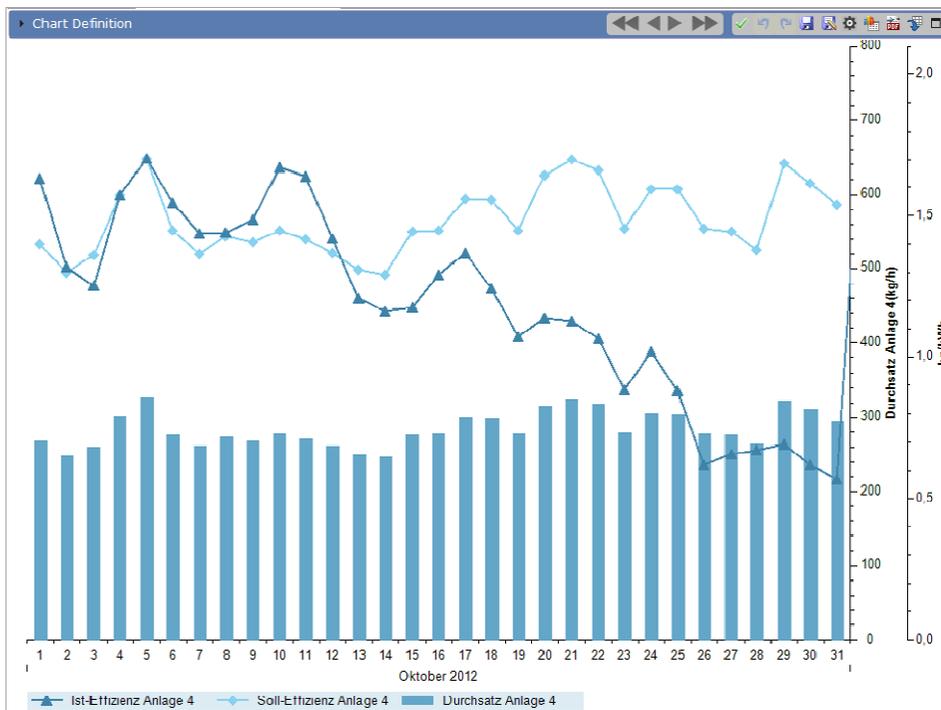
- Utilisation d'enregistreurs de données
  - Stockage intermédiaire de données
  - Transformation du format des données
- Dans des systèmes de surveillance automatisés, le transfert des données a lieu dans trois zones
  1. De l'appareil de mesure jusqu'à l'enregistreur de données
  2. De l'enregistreur de données au logiciel de surveillance
  3. Du logiciel externe (p.ex. système de contrôle du bâtiment) au logiciel de surveillance



## Étape 5: Critère de sélection pour un logiciel de surveillance de l'énergie



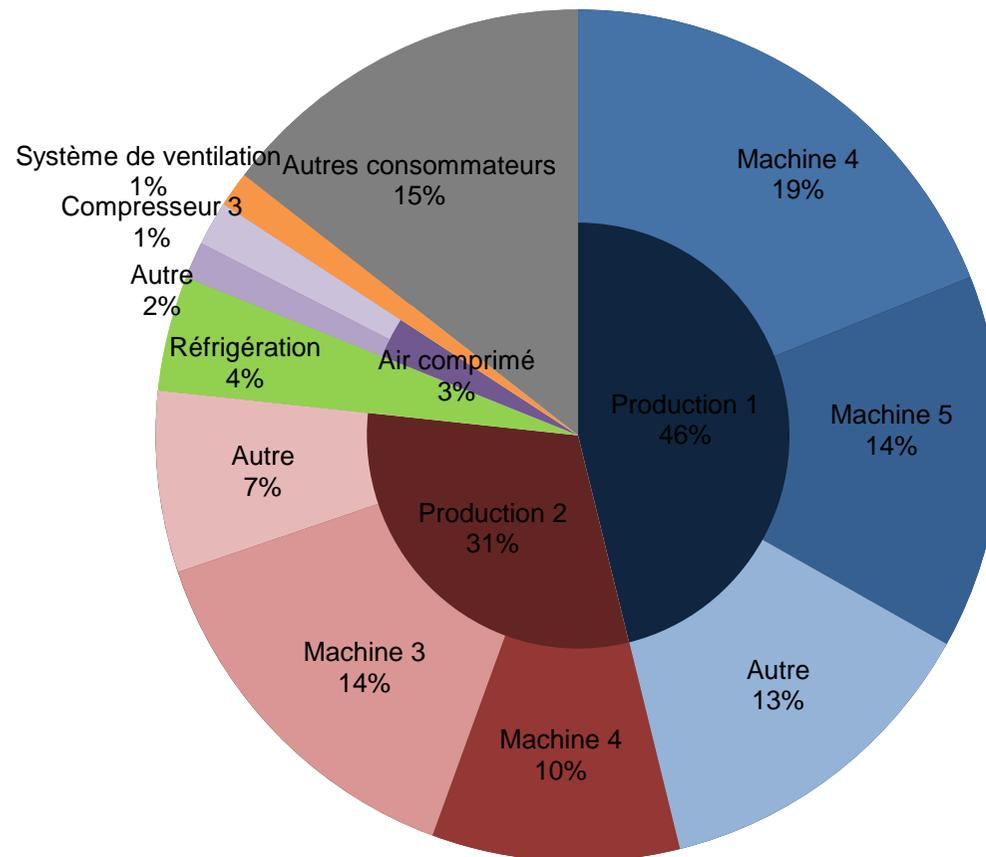
## Étape 5: Logiciel de surveillance – Visualisations – Exemples



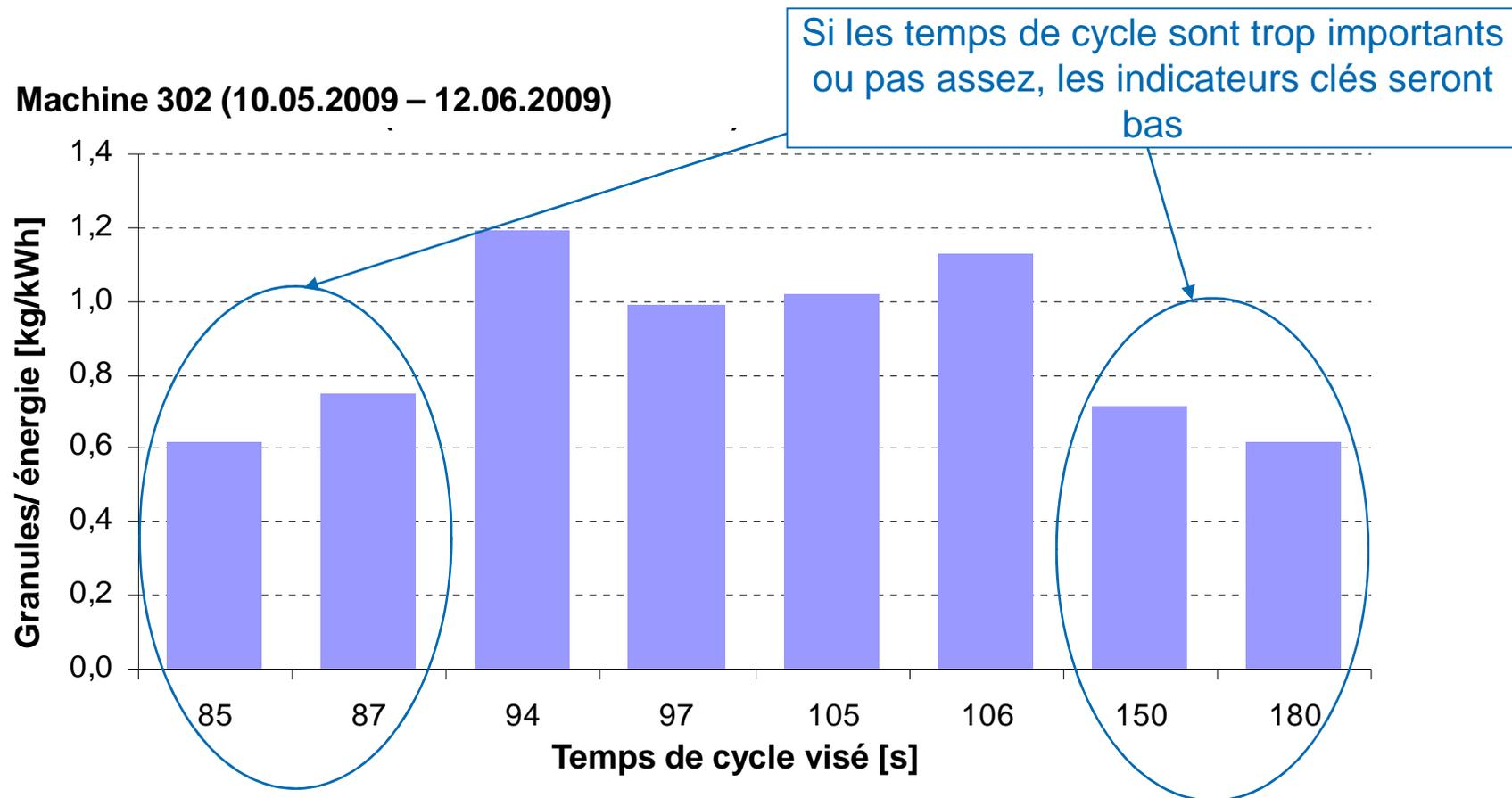
## Étape 6: Vérification de la fonctionnalité et de la plausibilité

- Équipement de mesure
  - Transmission d'impulsions sans erreurs
  - Transfert intégral des données
  - Connexion correcte des transducteurs de courant et circuits de tension
- Transfert et traitement des données
  - Désignation correcte des points de mesure
  - Valeurs d'impulsion et ratios de transducteurs de courant correctes
- Système entier
  - Comparaison de mesures de compteurs aux points de mesure – système de surveillance
  - Comparaison de la somme des compteurs auxiliaires au compteur principal
  - Comparaison des instructions du fabricant avec les valeurs mesurées (plausibilité)

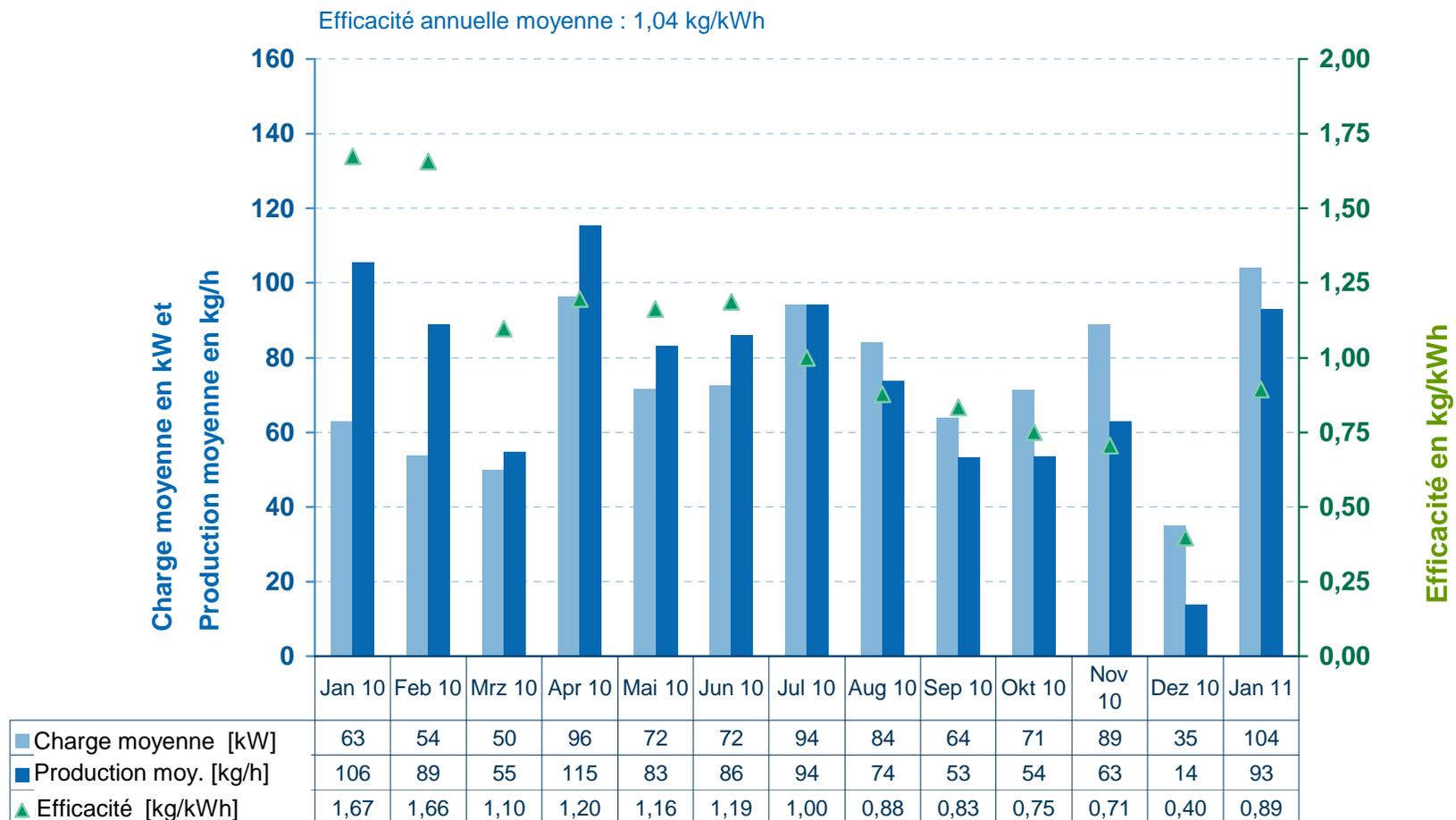
## Étape 7: Analyse des principaux consommateurs d'énergie



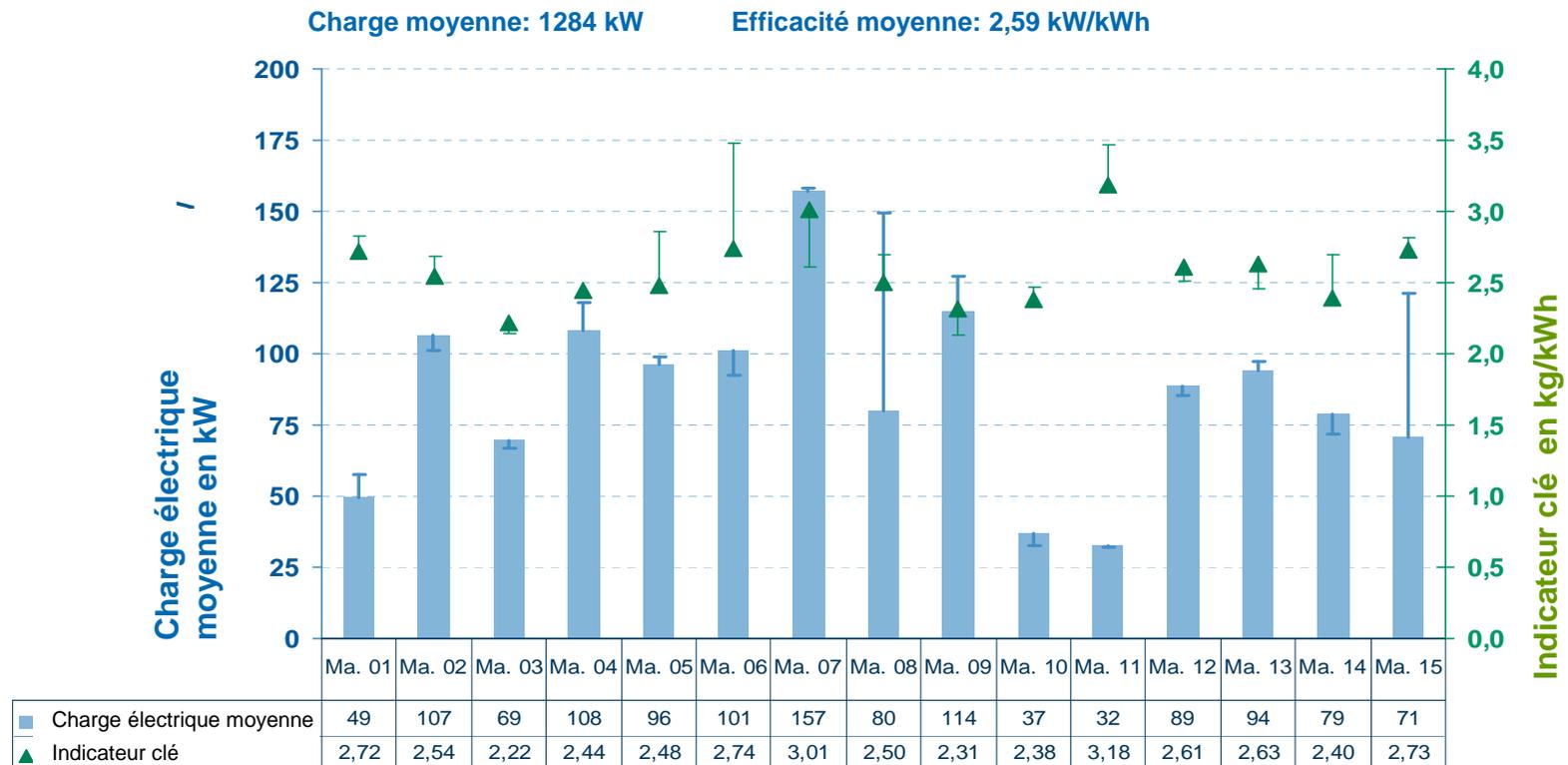
## Étape 7: Exemple de résultat - Mise en évidence de facteur d'inefficacité



## Étape 7: Efficacité d'une machine à mouler par injection

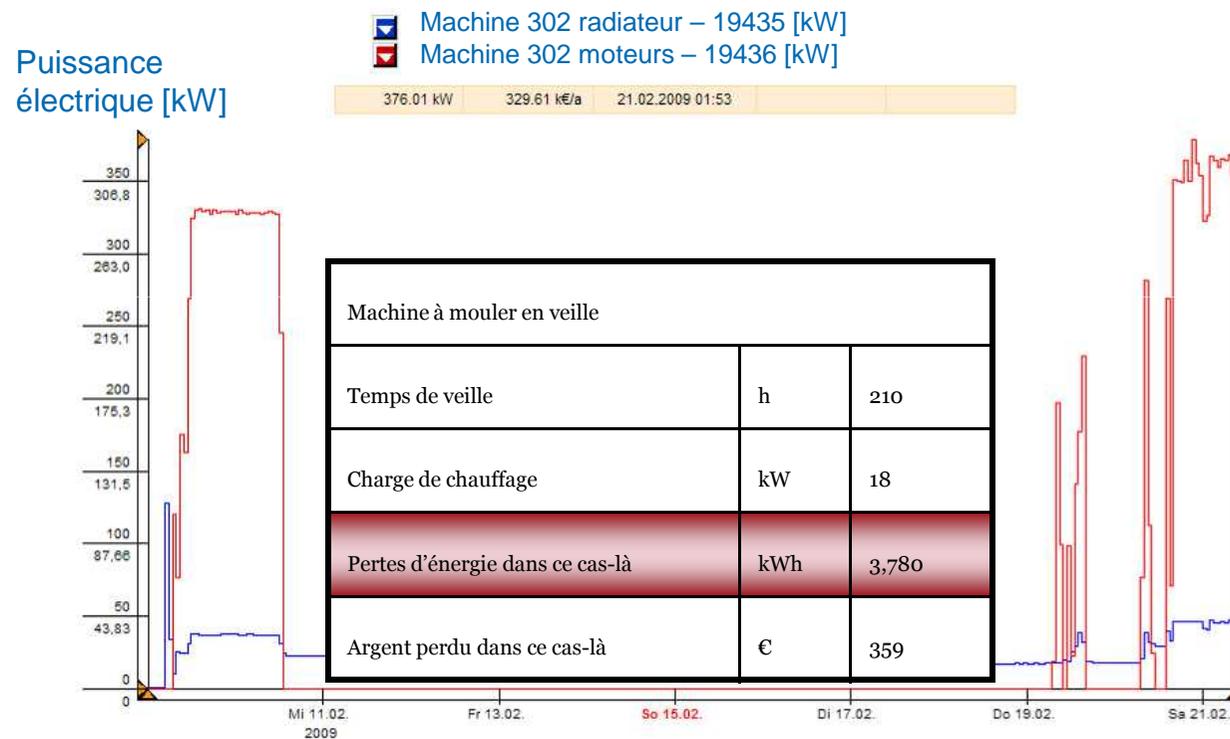


## Étape 7: Comparaison d'installations de production identique



⊥ Previous year

## Étape 8: Développement de mesures d'économies d'énergie



- Le radiateur de la machine à mouler par injection est en fonctionnement même lorsque celle-ci ne produit pas





# Merci!

**Franck Dagnaud**

Pour le compte de:

**Renewables Academy (RENAC)**

Schönhauser Allee 10-11

D-10119 Berlin

Tel: +49 30 52 689 58-91

Fax: +49 30 52 689 58-99

capobianchi@renac.de



**renac**  
renewables academy

En coopération avec:



Soutenu par:



[www.renac.de](http://www.renac.de)