

25 janvier
2018

Audits énergétiques : quelle instrumentation et quelles méthodes de mesure employer ?

François VIAL – CETIAT



SOMMAIRE

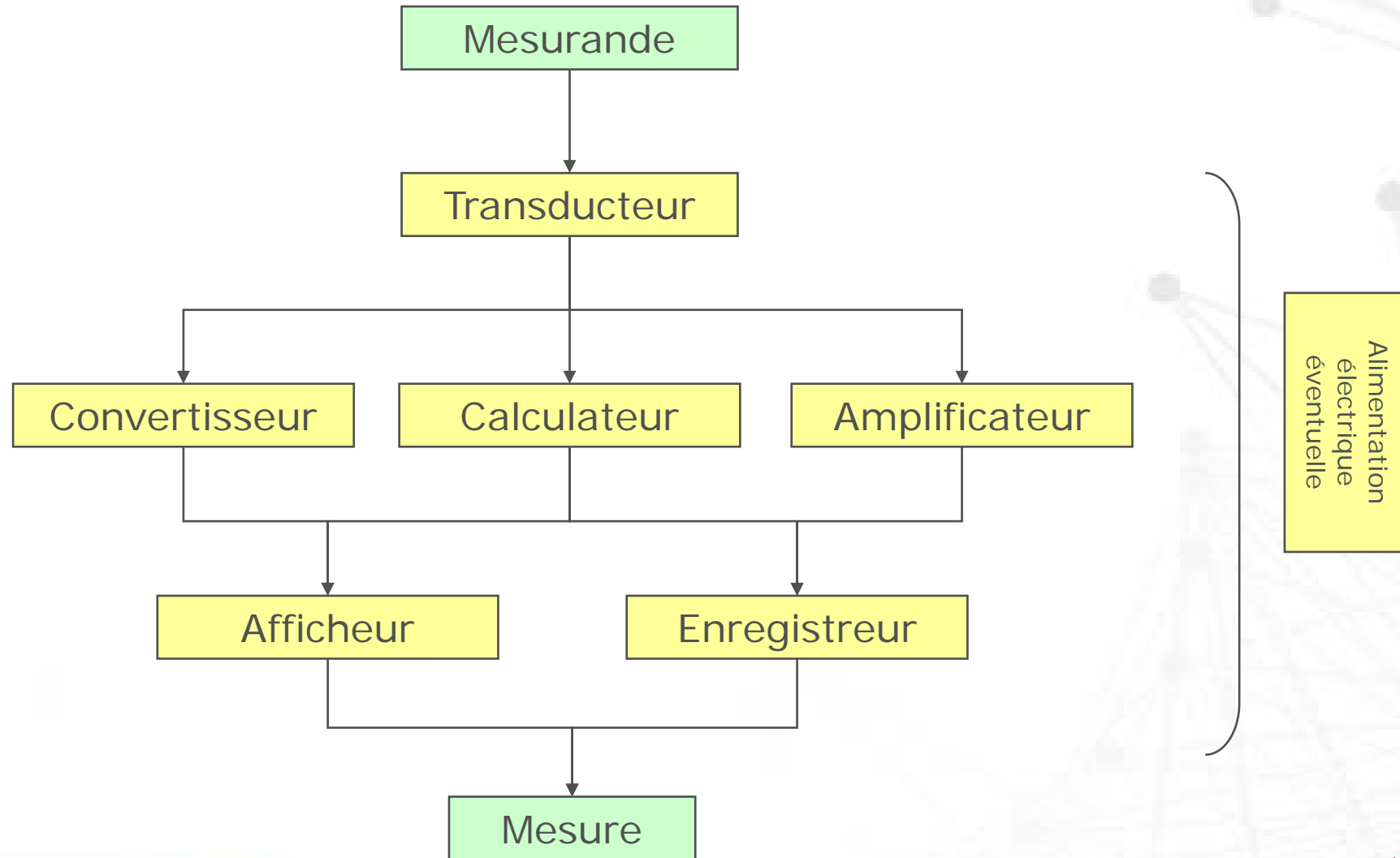
1. La mesure, partie intégrante de la démarche d'audit : le juste nécessaire appliqué à l'expression du besoin de mesure – MME (LNE)
2. Les principes de mesures et les conditions de déploiement de l'instrumentation – FVI (CETIAT)
3. Métrologie légale et utilisation sur les sites industriels (usages possibles) – MME (LNE)
4. Approche méthodologique : démarche opérationnelle, utilisation des redondances et des données qualitatives – FVI (CETIAT)



Les principes de mesures et les conditions de déploiement de l'instrumentation

Impact – Exemple Thermométrie

Constitution classique d'une chaîne de mesure





- Mesure directe : La chaîne de mesure acquiert directement la grandeur et donne un résultat de mesure dans l'unité de la grandeur
- Exemple : chaîne de mesure de température qui donne un résultat en °C
- Mesure indirecte : il faut plusieurs chaînes de mesure qui donnent des résultats de mesure qui combinés entre eux donnent le résultat de mesure
- Exemple : Mesure d'un débit volumique à l'aide d'un organe déprimogène. Il faut disposer des mesures dimensionnelles du diaphragme, de la mesure de pression et du coefficient du diaphragme et de la masse volumique du fluide pour calculer le débit.
- Nota : si on étalonne l'ensemble diaphragme + ΔP on obtient alors une mesure directe.



Exemple de principe de mesure

Thermométrie - Comparaison :

Sondes Platines

Couples Thermo-électriques

Sondes Platines

Thermomètres à résistance de platine industriel: TRPI

Principes

- Variation de résistance électrique d'un conducteur en fonction de la température.
- La résistance électrique d'un conducteur électrique croît avec la température. Cette variation est parfaitement réversible.
- On peut donc établir une relation $R=f(T)$ entre la résistance R et la température T et ainsi on détermine la température par des mesures de résistance
- Condition de déploiement : courant de mesure, 2 fils ou 3 fils ou 4 fils, fuites thermiques et le lieu de déploiement vont impacter les résultats de mesures

Sondes Platines

Thermomètres à résistance de platine industriel: TRPI

- Les classes de tolérances (inter-changeabilité)

Classe de tolérance	Domaine valide de température °C		Valeurs de la tolérance ^a °C
	Résistances bobinées	Résistance à film	
AA	-50 à +250	0 à +150	$\pm (0.1 + 0.0017 t)$
A	-100 à +450	-30 à +300	$\pm (0.15 + 0.002 t)$
B	-196 à +600	-50 à +500	$\pm (0.3 + 0.005 t)$
C	-196 à +600	-50 à +600	$\pm (0.6 + 0.01 t)$

^a $|t|$ = valeur absolue de température en °C sans considération de signe.

Couples Thermoélectriques

Effet Seebeck

Apparition d'une f.e.m. dans un circuit composé de 2 conducteurs différents lorsque les jonctions sont à des températures différentes

Effet Peltier

Dégagement ou absorption de chaleur, autre que l'effet joule, provoqué par le passage d'un courant à travers les jonctions de 2 conducteurs portés à la même température

Effet Thomson

Dégagement ou absorption de chaleur, autre que l'effet joule, provoqué par le passage d'un courant à travers un conducteur homogène dont la température n'est pas uniforme

Couples Thermoélectriques

Point très délicat car à part les tolérances d'interchangeabilité les conditions thermiques de déploiement des sondes de températures ont une influence majeure sur les spécifications. Valable pour les sondes platines également (fuites thermiques).

Hors effet de déploiement voici quelques spécifications (CEI 60584.1) :

Type	Classe 1	Classe 2	Classe 3
T	-40°C/125°C Tol. 0,5°C 125°C/350°C Tol. 0,004. T	-40°C/133°C Tol. 1,0°C 133°C/350°C Tol. 0,0075. T	-67°C/40°C Tol. 1,0°C -200°C/-67°C Tol. 0,015. T
J	-40°C/375°C Tol. 1,5°C 375°C/750°C Tol. 0,004. T	-40°C/333°C Tol. 2,5°C 333°C/750°C Tol. 0,0075. T	-
E	-40°C/375°C Tol. 1,5°C 375°C/800°C Tol. 0,004. T	-40°C/333°C Tol. 2,5°C 333°C/900°C Tol. 0,0075. T	-

Type	Classe 1	Classe 2	Classe 3
K	-40°C/375°C Tol. 1,5°C 375°C/1000°C Tol. 0,004. T	-40°C/333°C Tol. 2,5°C 333°C/1200°C Tol. 0,0075. T	-167°C/40°C Tol. 2,5°C -200°C/-167°C Tol. 0,015. T
S	0°C/1100°C Tol. 1,0°C 1100°C/1600°C Tol. 1+0,003.(T -1100)°C	0°C/600°C Tol. 1,5°C 600°C/1600°C Tol. 0,0025. T	-
R	-	-	-
B	-	600°C/1700°C Tol. 0,0025. T	600°C/800°C Tol. 4,0°C 800°C/1700°C Tol. 0,005. T



Conditions de déploiement des couples Thermoélectriques

Maîtrise de la jonction Froide de référence peut être une source de difficulté dans les mesures réalisées par les couples thermo-électriques

Hétérogénéité des couples thermo-électriques

Théoriquement les conducteurs des couples thermo-électriques sont supposés uniformes

Les principales origines des défauts d'homogénéité sont: oxydation des fils, évaporation de certains constituants, pollution à haute température, écrouissages, ou encore, transformation en phase solide

Les défauts d'hétérogénéité s'expriment lorsqu'ils sont soumis à des gradients de température (déploiement de la sonde)



Approche méthodologique :
démarche opérationnelle, utilisation des
redondances et des données qualitatives



Audit énergétique d'un four de cuisson

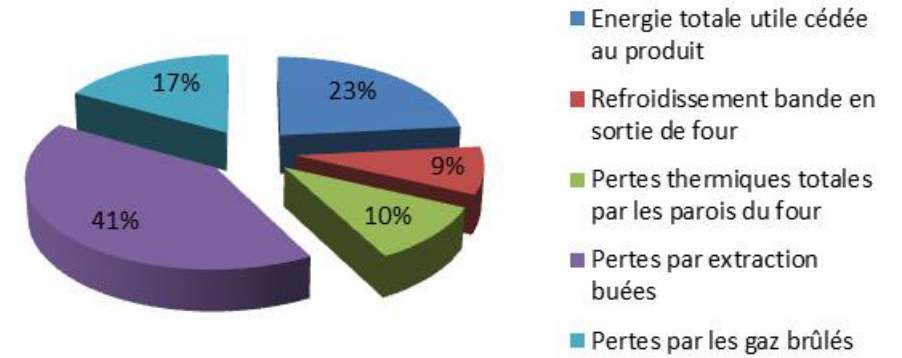
Objet : Economie d'énergie

Méthode : Bilan énergétique (Bilan puissance)

Moyens : utilisation de données

- Métrologie disponible chez l'industriel
- Métrologie déployée par l'auditeur
- Données qualitatives

Le four de cuisson audité



Bilan Thermique

Pertes thermiques par les parois

- Mesures auditeurs
- Capteur : lecteur numérique + sonde de contact type K et sonde d'ambiance
- Mesure des dimensions
- Hypothèse sur le coefficient d'échange
- Calcul : $P = H \cdot S \cdot (T_{\text{surf}} - T_{\text{amb}})$



Bilan Thermique

Pertes thermiques par les extractions

- ▶ Mesures auditeur
- ▶ Deux méthodes
 - ▶ Analyse combustion
 - ▶ Mesure de vitesse : Pitot ou anémométrie
- ▶ Redondance possible
- ▶ Connaissance de l'effluent nécessaire
 - ▶ Hypothèse : assimilable à de l'air





Bilan Thermique

Pertes thermiques par la bande

- Mesures auditeur
 - Température E et S
 - Vitesse bande
- Données industriel
 - Caractéristiques matériaux, laize, e, masse
 - Vitesse bande
- Redondance possible (pour la vitesse)

Bilan Thermique

Puissance utile au produit

- Mesures auditeur
 - Température E et S
 - Cadence, comptage nbre de produits
 - Pesée E/S, bilan eau
- Données industriel
 - Bilan masse, composition produit, débit produit
- Redondance (pour le débit produit et le bilan eau)



Bilan Thermique

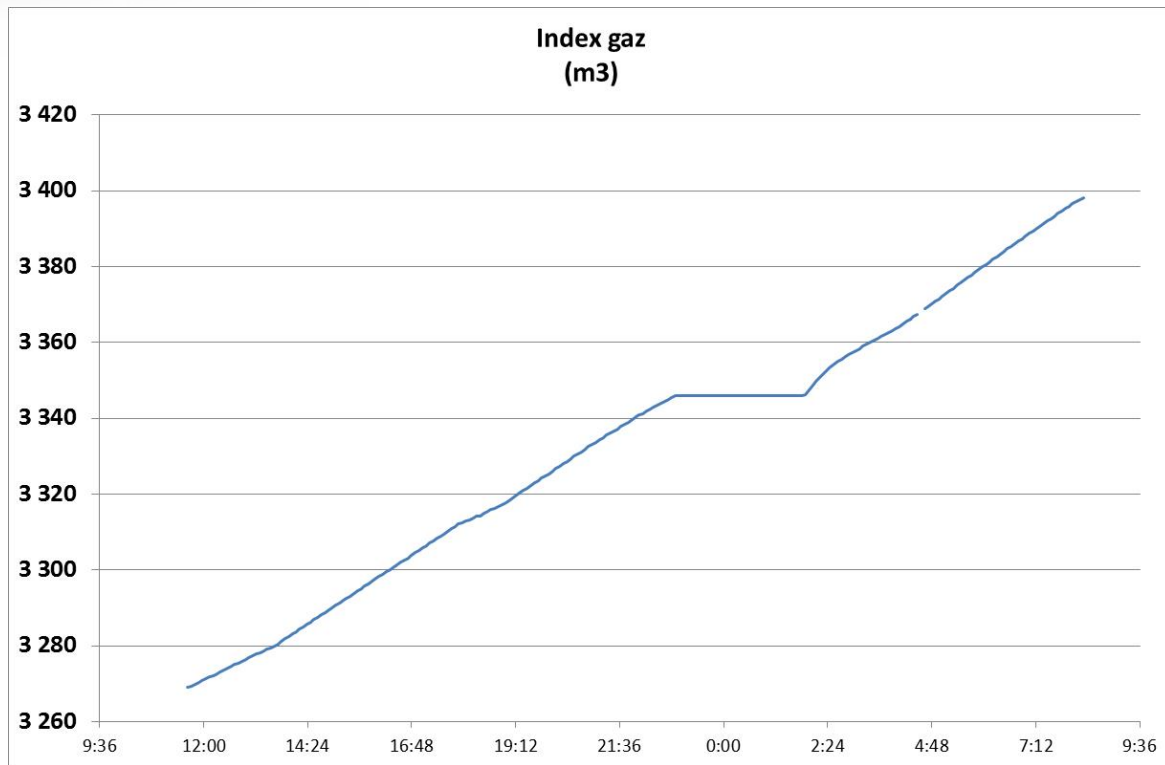
Puissance thermique : Puissance gaz

- Mesures auditeur
 - Relevée visuel compteur énergie en place
 - Température du gaz
 - Pression du gaz
- Hypothèse : PCI du gaz

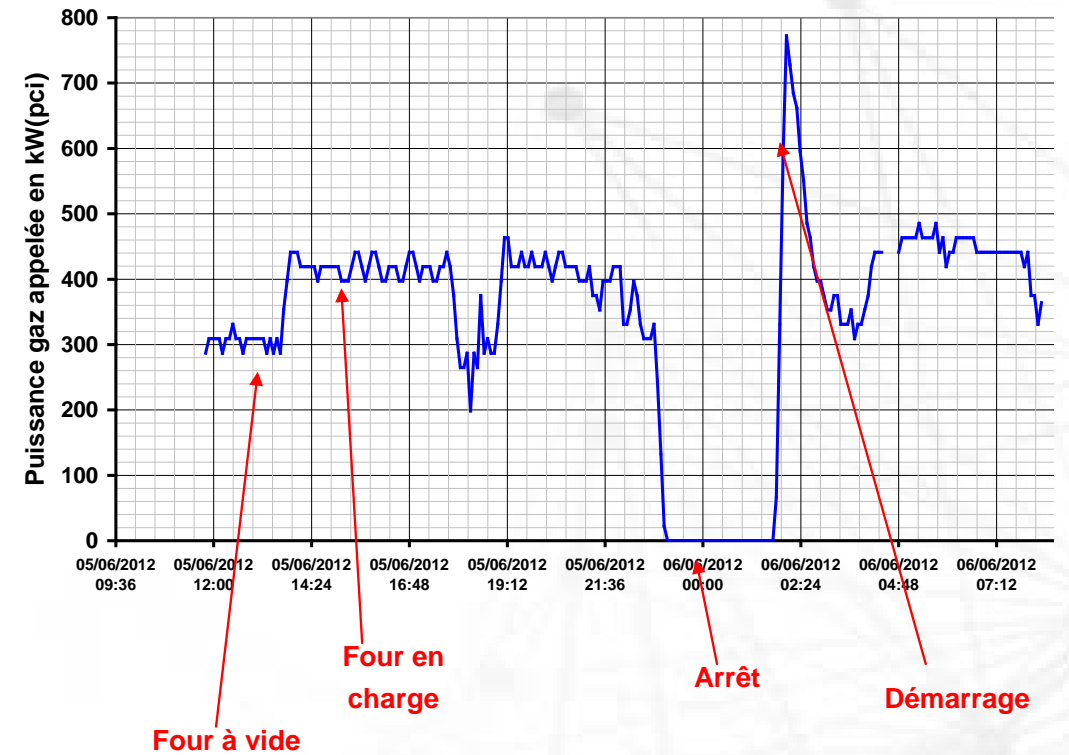


Bilan thermique

Puissance gaz : télérelève



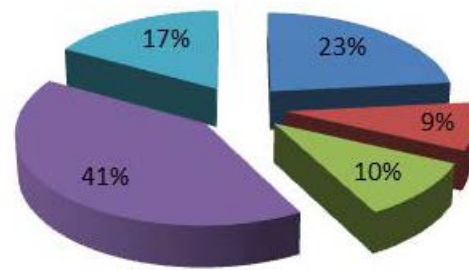
Puissance gaz appelée par le four



Bilan Thermique

Puissance thermique : Puissance gaz

- Mesures auditeur
 - Relevée compteur énergie en place
- Redondance
 - Bilan thermique
 - Comparaison actif/passif



Bilan thermique du four

Energie thermiques actives

Consommation horaire de gaz total four	384	kWh
Total	384	kWh

Energie thermiques passives

Energie totale utile cédée au produit	86	kWh
Refroidissement bande en sortie de four	31	kWh
Pertes thermiques totales par les parois du four	38	kWh
Pertes par extraction buées	150	kWh
Pertes par les gaz brûlés	62	kWh
Total	366	kWh

Ecart bilan thermique **-5** **%**



Critères de fiabilisation

Nécessité de continuité de fonctionnement
Relevé sur plusieurs heures (mini 2 heures)
Stabilité de production
Redondance des mesures et des données
Expertise de l'auditeur



**Domaine scientifique de la Doua
25 avenue des Arts – BP 52042
69003 VILLEURBANNE CEDEX - FRANCE**

Mail : information@cetiat.fr

Tél : 04 72 44 49 00

Fax : 04 72 44 49 49