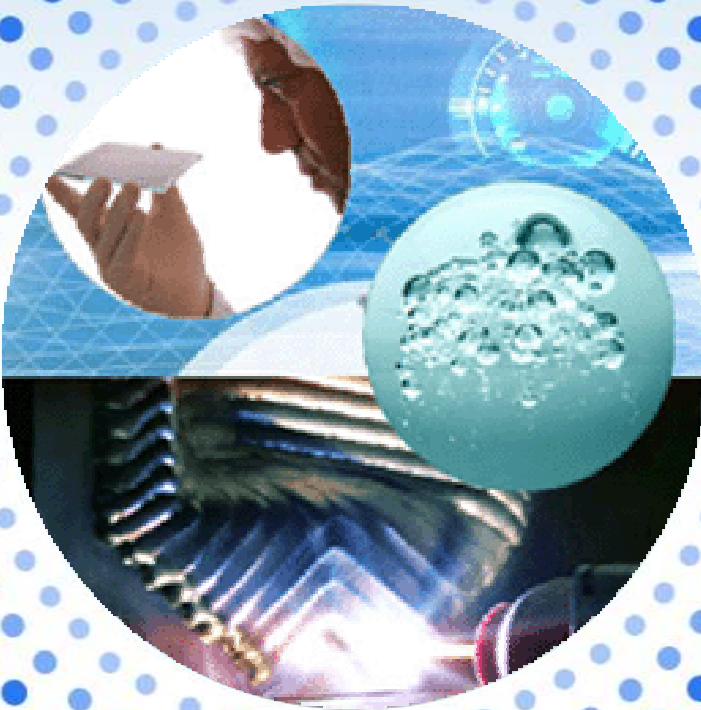


Caractérisation des composantes constitutives de la courbe de charge électrique – cas du secteur résidentiel



Mabrouka El Guedri (Thèse CIFRE)

G. Fleury : directeur de thèse

C. Lajaunie : co-directeur de thèse

G. D'Urso : encadrant industriel



Contexte

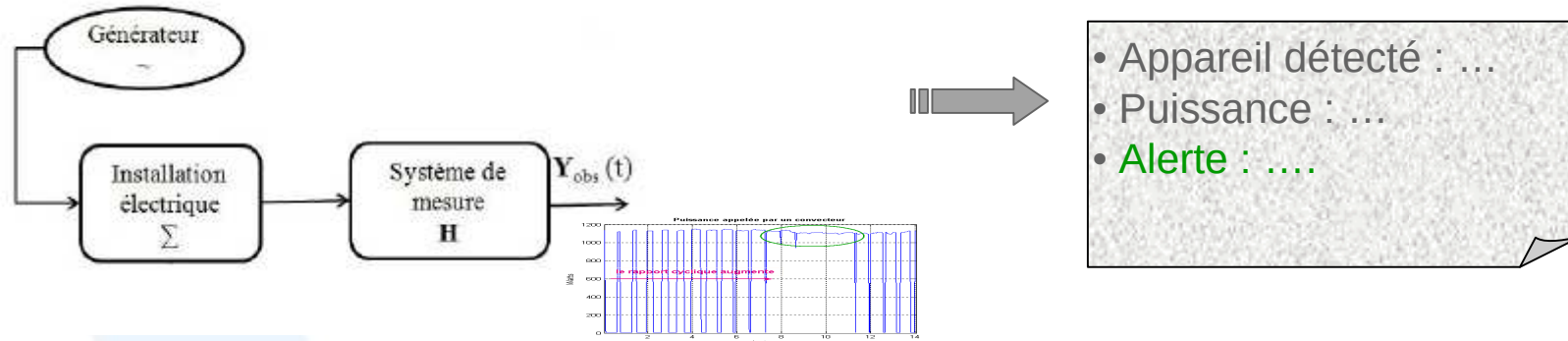
Maîtrise de la Demande d'Energie – une nécessité pour les fournisseurs d'électricité et leurs clients

- ◎ Hausse sensible de la consommation d'électricité (secteur résidentiel et tertiaire)
 - Besoin d'outils dédiés pour mieux gérer les moyens de production d'électricité et répondre à la demande croissante en énergie
- ◎ Enjeux environnementaux liés à l'énergie
 - Nécessité de concevoir des services énergétiques « personnalisés » pour une meilleure sensibilisation de la clientèle à une meilleure gestion de leur consommation
- ◎ etc.

Caractérisation de la consommation d'électricité :

Potentielles sources d'information

- L'électricité : un « nouveau » vecteur d'information



- Autres sources d'informations

- Secteur résidentiel : Questionnaire du , « programme » du gestionnaire d'énergie, caractéristiques intrinsèques des appareils ciblés, Données climatiques, etc.
- Secteur tertiaire : Modèle électrique du système étudié, Audit de l'installation, etc.

- Choix des données d'entrée

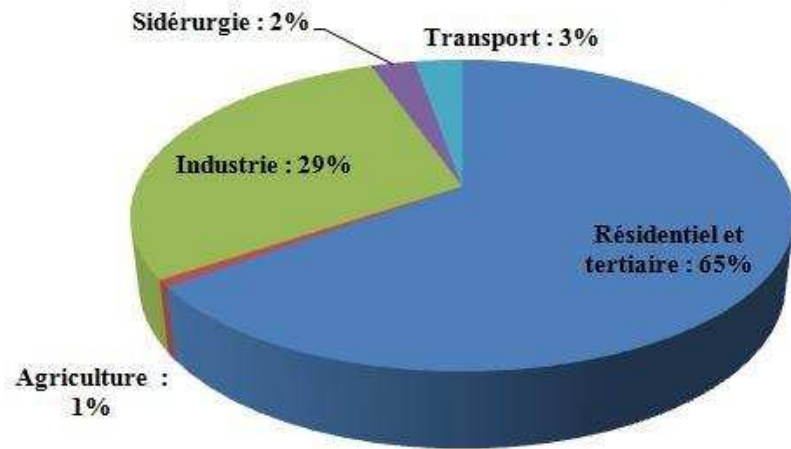
- N'utiliser que les données disponibles, fiables
- Aucune intrusion chez le client n'est tolérée



Consommation électrique
du système étudié

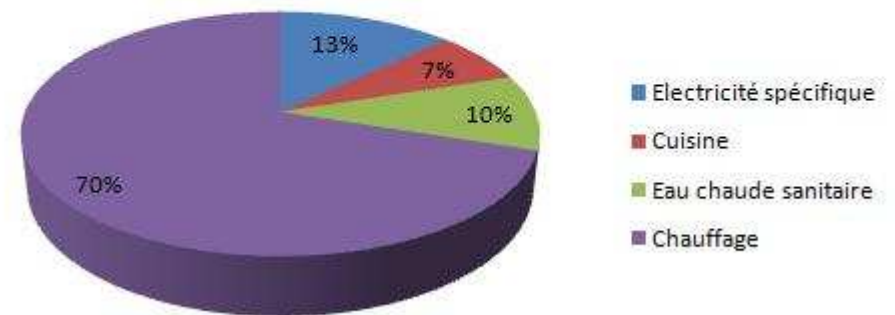


Choix du cas d'application



Consommation en électricité par secteur

Cartographie des usages domestiques (France 2005) - ADEME



Secteurs ciblés : **résidentiel et tertiaire**

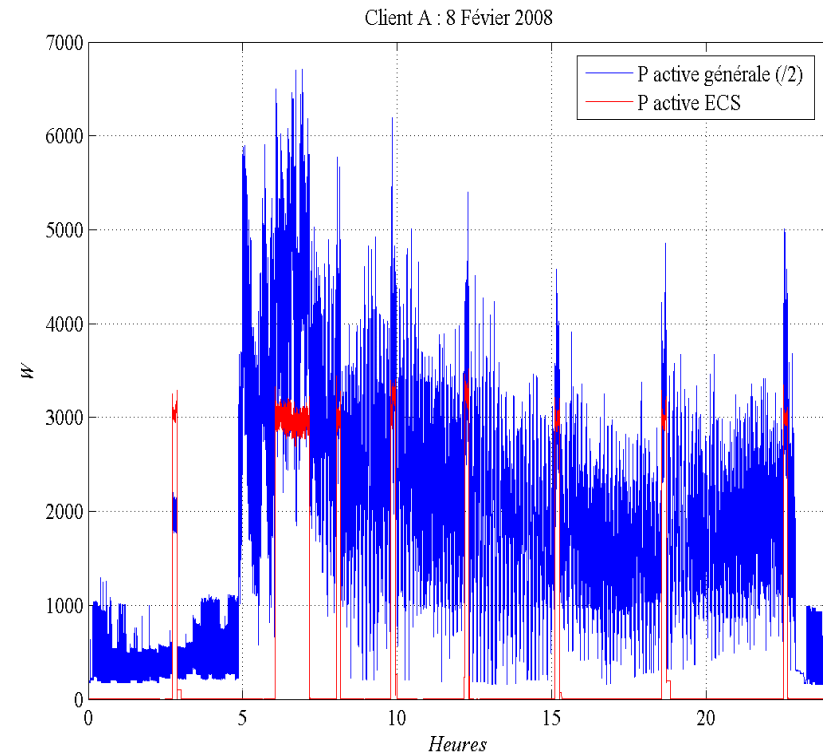
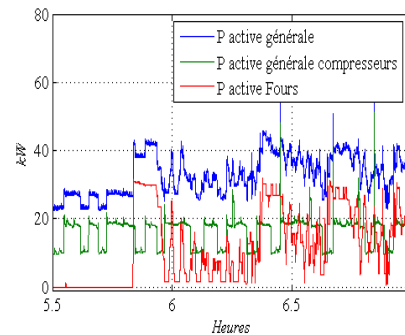
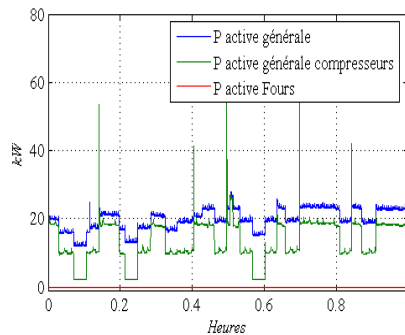
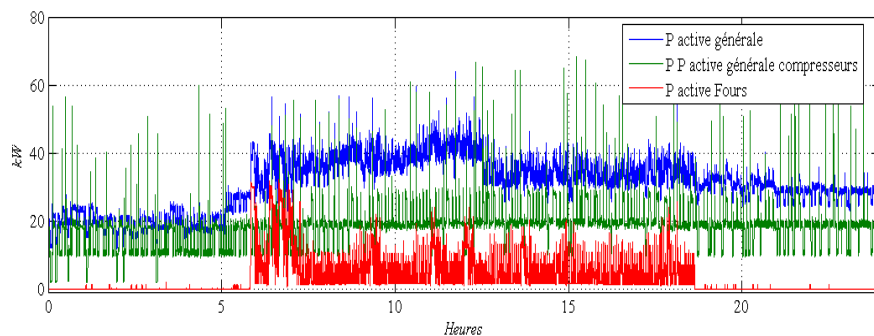
Trois usages : **chauffage, ballon d'eau chaude sanitaire et froid alimentaire**



La courbe de charge électrique

Définition & exemples

Load curve is a graph that plots the power supplied by a power system (Sci-Tech dictionary)



Puissance active quotidienne
Cas d'un hypermarché

Ecole d'été TSI Peyresq 2009 - M. El Guedri

Puissance moyenne totale
Cas d'un client particulier





Analyse de la consommation d'électricité :

Cas du secteur résidentiel



+



Courbe de charge
quotidienne ($T_e \sim 1s$)

Minimum d'informations
contextuelles

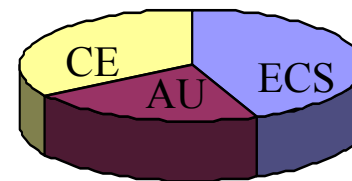
Plateforme distante de
traitement des données

Grandeurs évènementielles

- Suivi d'usages au cours du temps
- Suivi de vie
- ECS en dehors des HC
- Suivi d'un système EnR (PAC...)
- ...

Grandeurs énergétiques

- Suivi détaillé des consommations



- Énergie non consommée lors d'un effacement



Problématique

Objectif

Caractériser les signaux élémentaires (usages) $x_i(t)$ du mélange linéaire additif : la puissance moyenne $y(t)$ ($T_e \sim 1s$), où $b(t)$ est le bruit de mesure

$$y(t) = \sum_i a_i x_i(t) + b(t).$$

Sous-problème n°1 : caractériser = estimer des paramètres des usages

Grandeurs d'intérêt : support temporel, énergie consommée, etc.

Sous-problème n°2 : caractériser = séparer/reconstruire les composantes du mélange



Spécificités de la CdC électrique :

Cas du secteur résidentiel

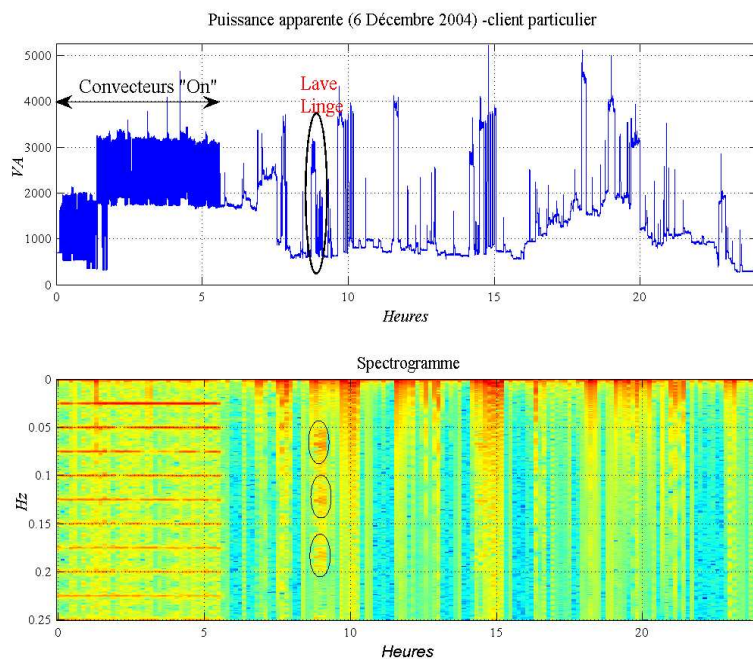
- ◎ Spécificités liées au secteur ciblé (résidentiel)
 - Nombre d'appareils assez élevé
 - Grande diversité des profils de consommation
- ◎ Spécificités liées à l'infrastructure
 - Sortie du CBE accessible : **puissance moyenne ($T_e \sim 1s$)**
 - Normes de sécurité
- ◎ Spécificités liées au client
 - Questionnaire rempli « rapidement », beaucoup d'imprécisions / erreurs
 - Ne souhaite pas d'intrusion



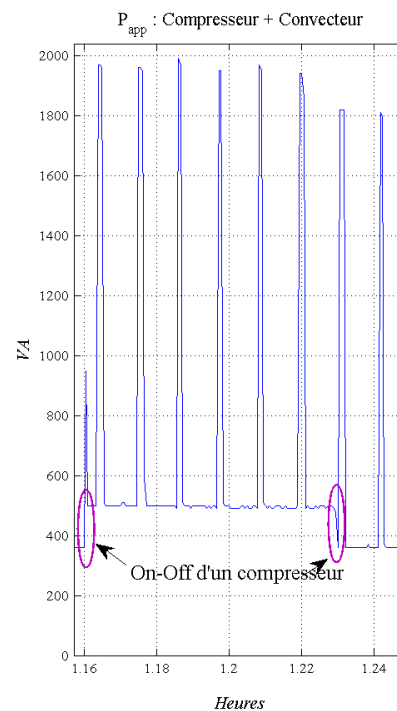
Exemple de CdC quotidienne

Quelques propriétés

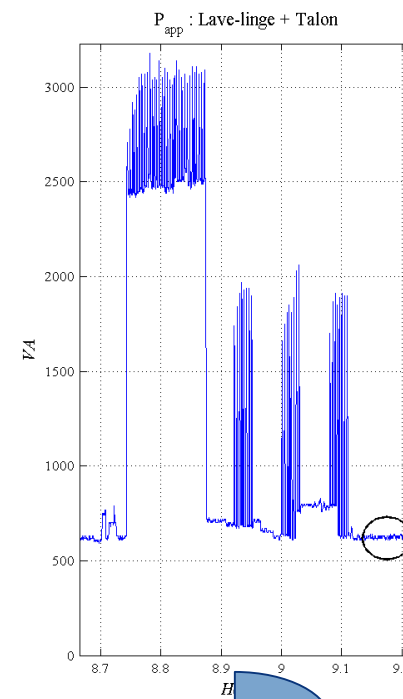
Puissance moyenne (sortie du CBE)



un convecteur & un compresseur



un lave linge & Talon



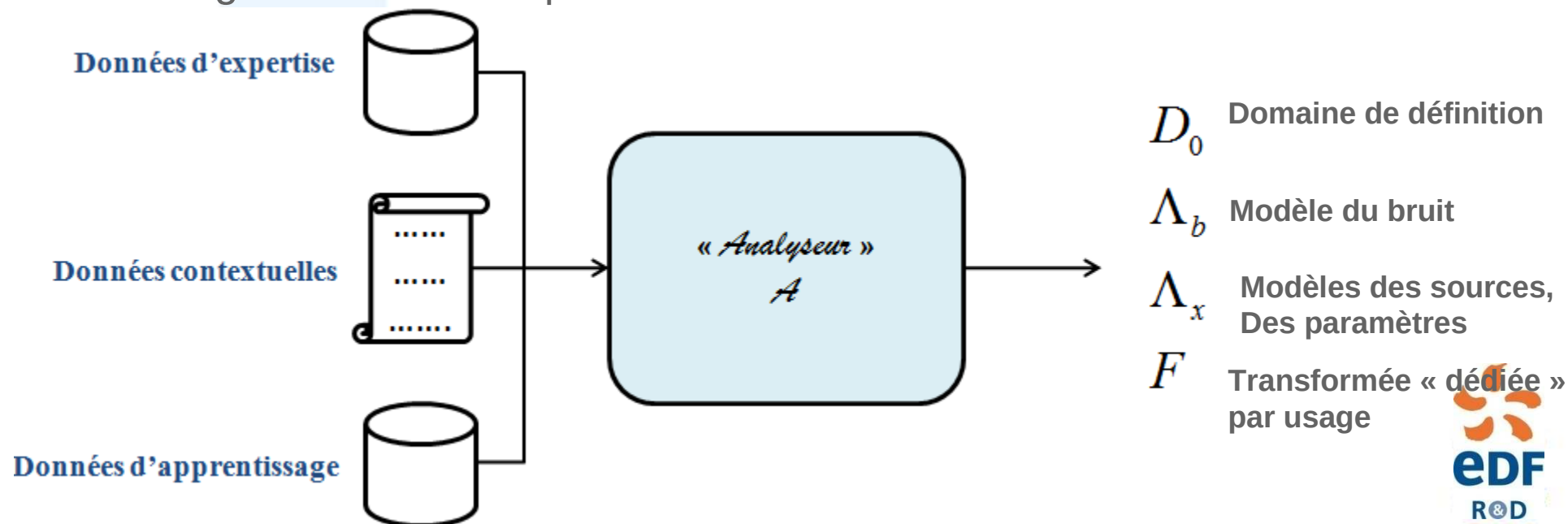
- **Foisonnement** d'usages
- **Un seul enregistrement** est fourni (Puissance apparente, $T_e \sim 1\text{sec}$)
- **Signal Non stationnaire**, mais **stationnaire par morceaux**



Caractérisation de la CdC générale

Démarche

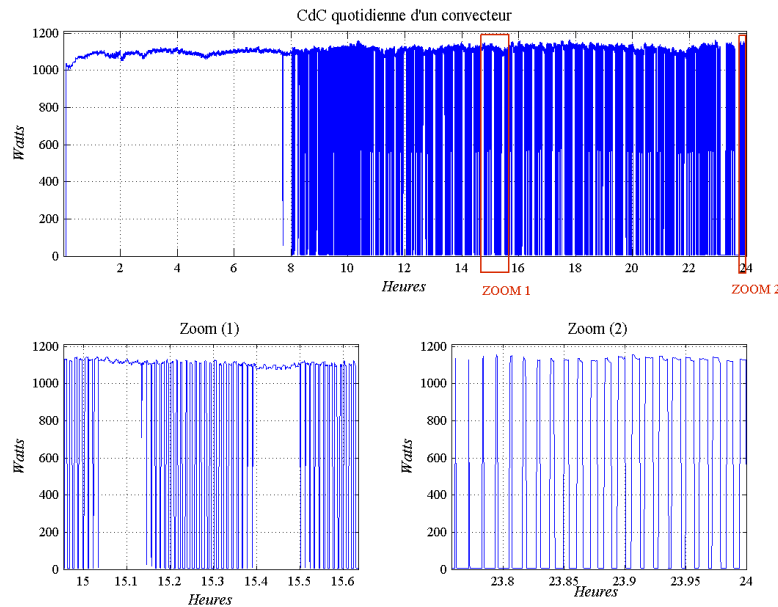
- ◎ Phase 1 : Instrumentation (Puissance totale + puissances de tous les appareils)
 - Mesures dans une maison expérimentale (hiver 2006)
 - Mesures chez deux clients particuliers (2008)
- ◎ Phase 2 : Analyse qualitative des données en vue de la « régularisation » du problème





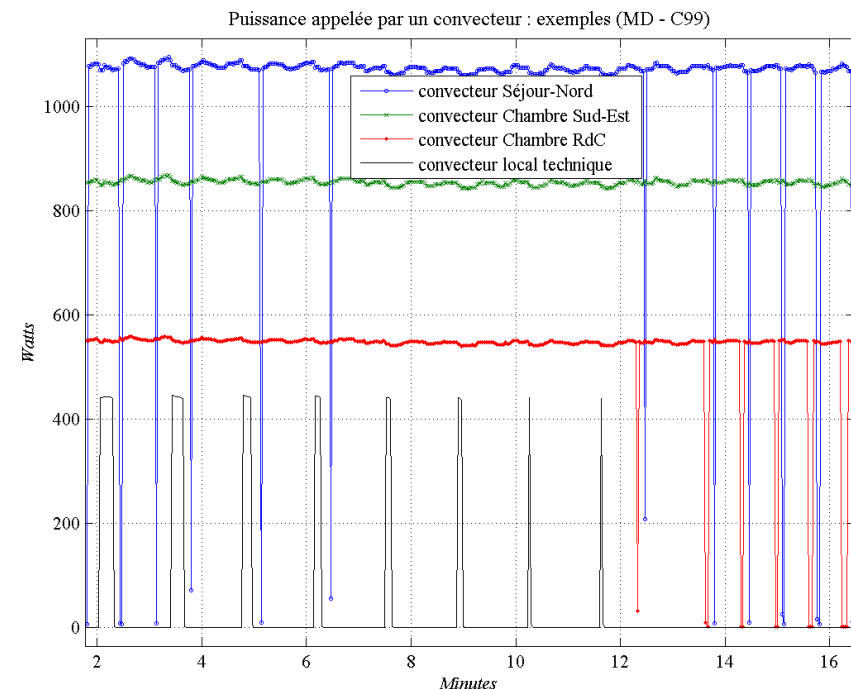
Exemples de « signatures » électriques par usage : Convecteurs

Puissance moyenne d'un convecteur



- Régulation périodique
- Périodicités observées pour tous les convecteurs : 40 sec & 80 sec
- Saturation des convecteurs

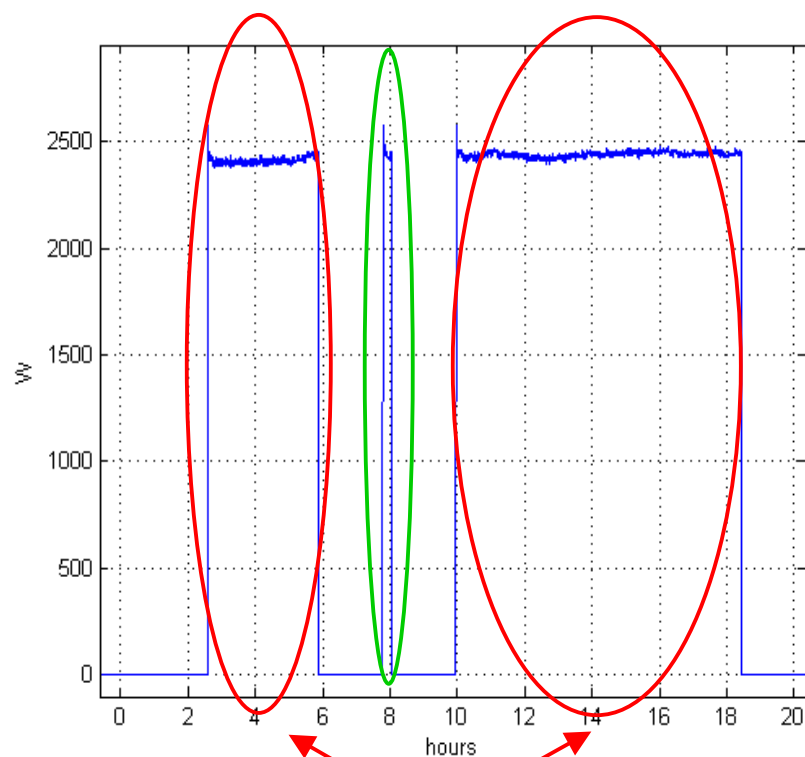
Foisonnement de plusieurs convecteurs





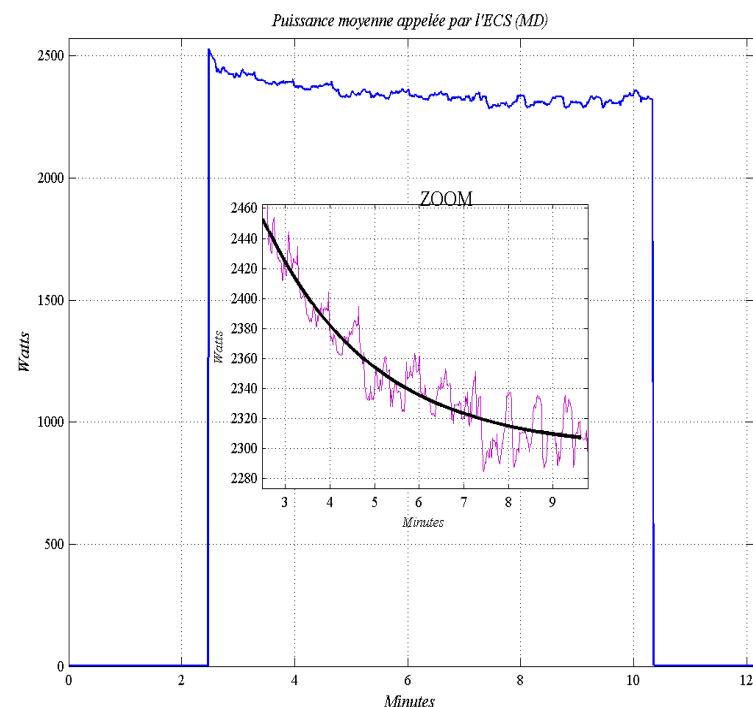
Exemples de « signatures » électriques par usage : l'ECS

Relance du ballon d'eau chaude

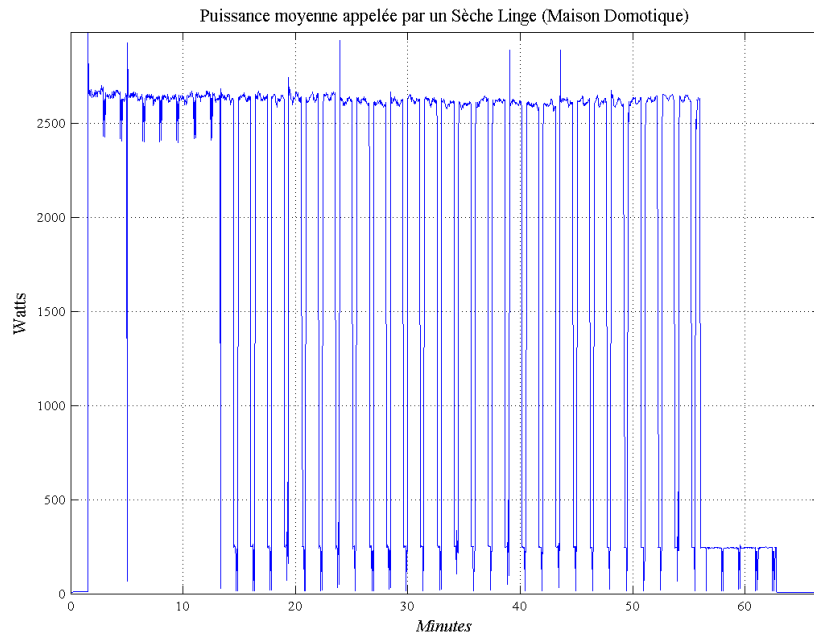


2 tirages d'eau chaude

Zoom sur un cycle de fonctionnement

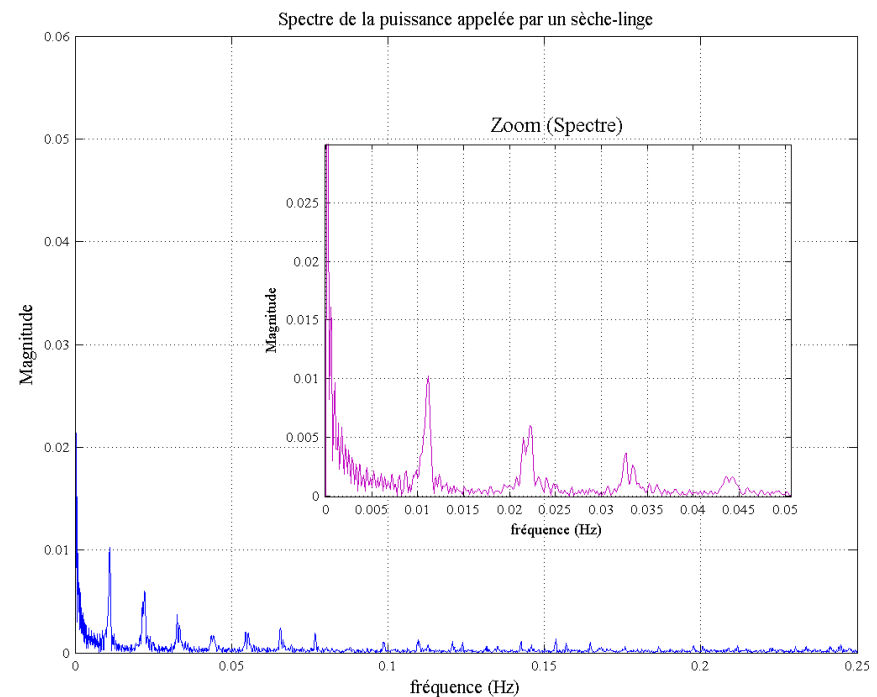


Exemples de « signatures » électriques par usage : le sèche-linge



Puissance moyenne

Spectre – sèche linge





Trois méthodologies proposées

- Caractérisation « globale » d'une CdC quelconque (résidentiel)

- **Approche : détection + estimation d'un usage dans un domaine transformé**

[El Guedri, D'Urso et al – EUSIPCO 2009]

- Décomposition d'une CdC quasi-mono-usage (résidentiel & tertiaire)

- **Modélisation paramétrique du mélange à partir d'un dictionnaire de formes temporelles + estimation dans un cadre bayésien**

[El Guedri, Bect et al – EUSIPCO 2009] & [El Guedri, Lajaunie et al – GRETSI 2009]

- Vers une caractérisation complète d'une CdC quelconque (résidentiel & tertiaire)

- **Modélisation stochastique de la série des événements de la CdC**

- **« Régularisation » : priors sur les durées + priors sur les amplitudes par usage**

[El Guedri – 2009]

Caractérisation globale d'une CdC quelconque (secteur résidentiel)

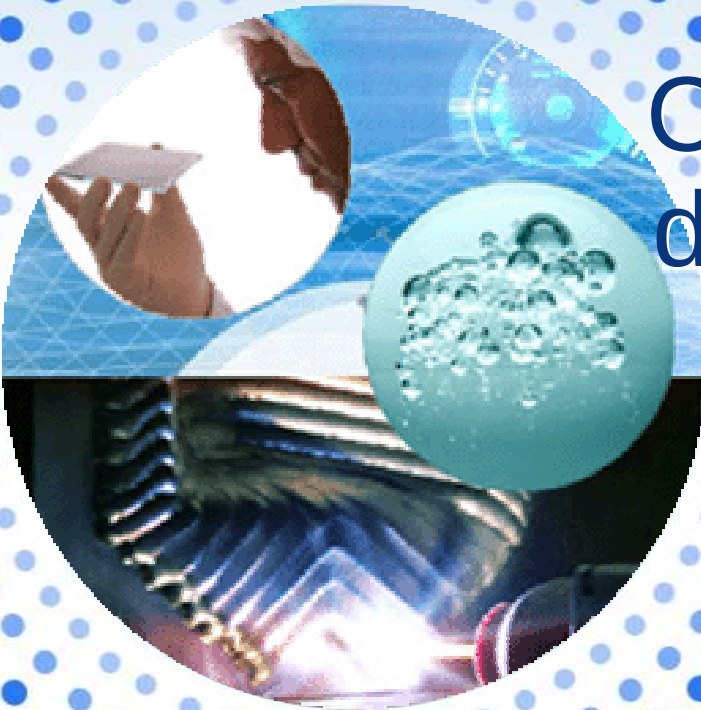
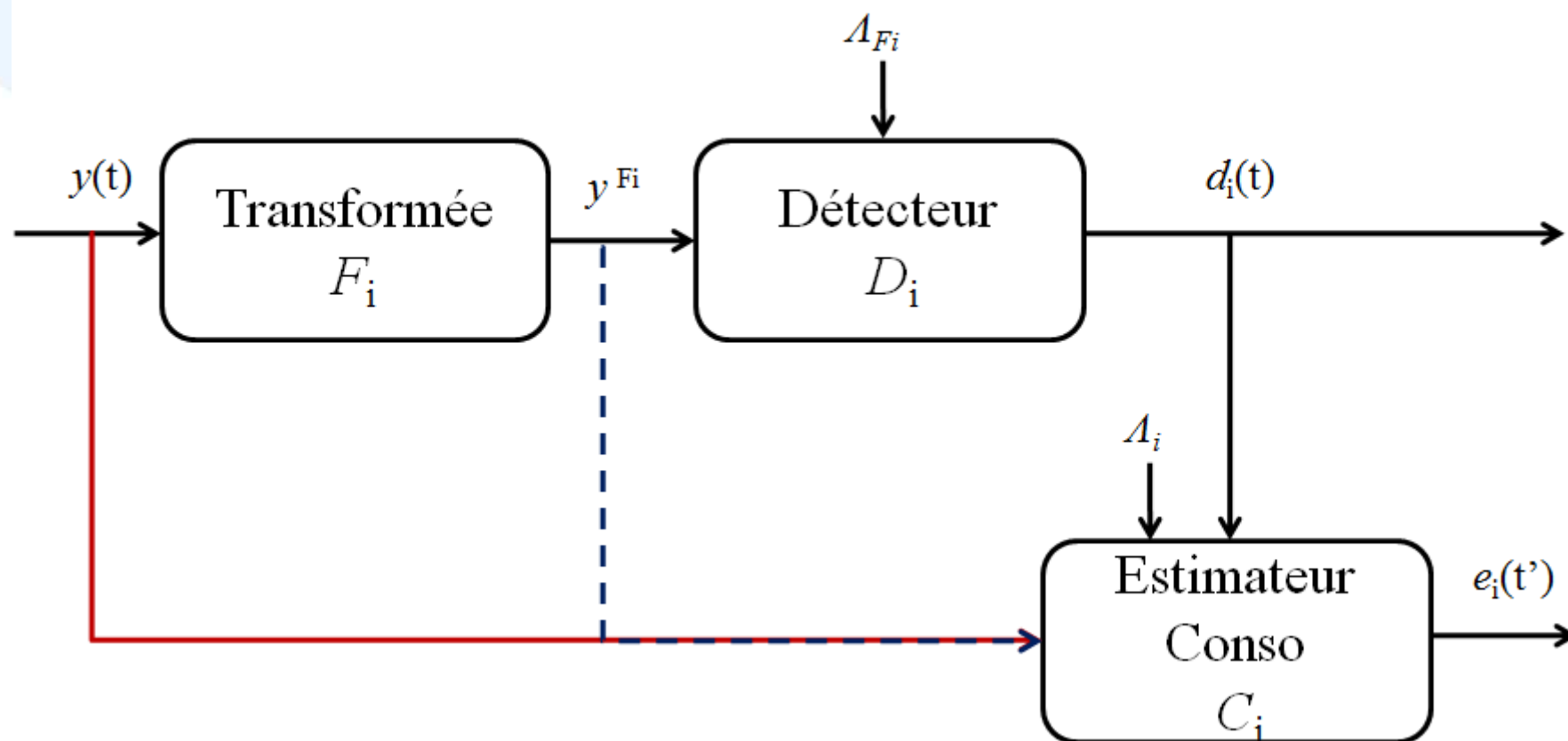


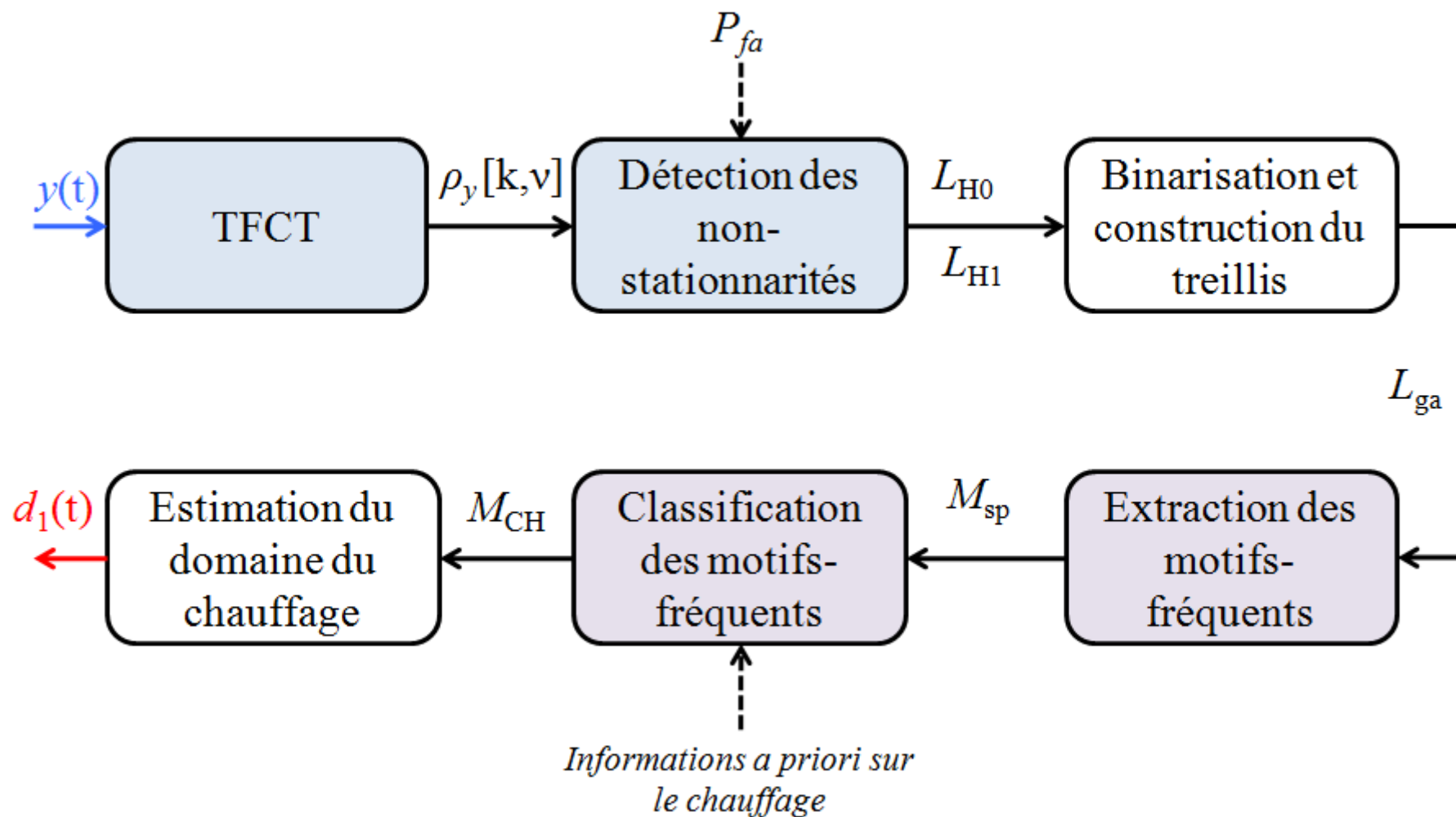


Schéma général de la caractérisation d'un usage donné





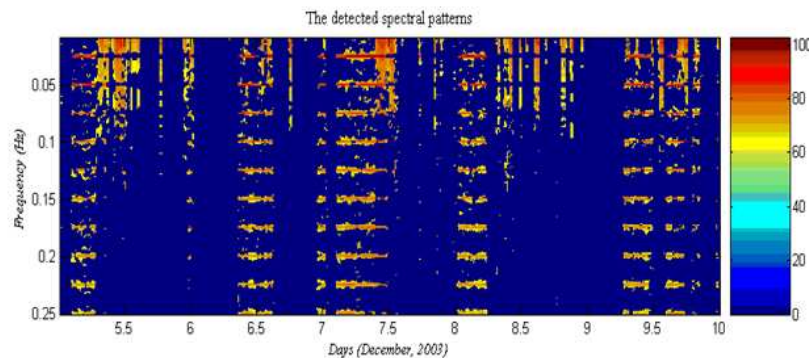
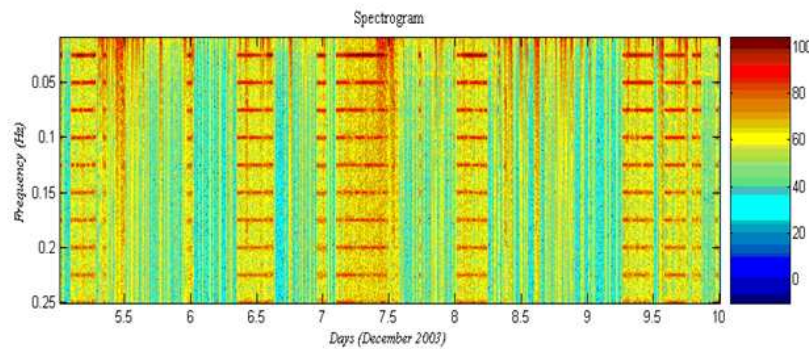
Détection du chauffage dans le domaine temps-fréquence (1/2)



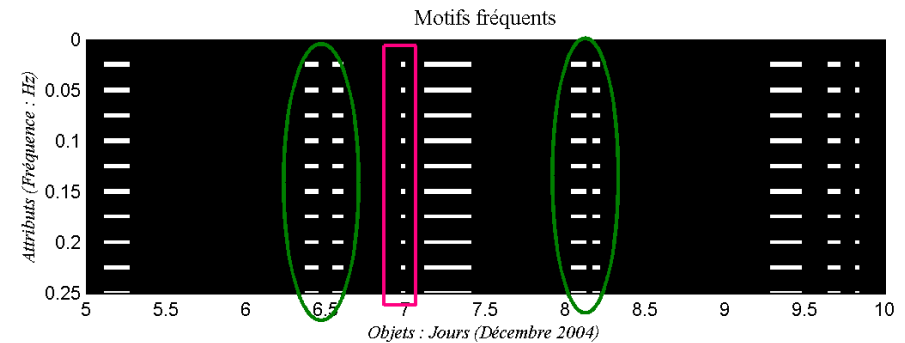
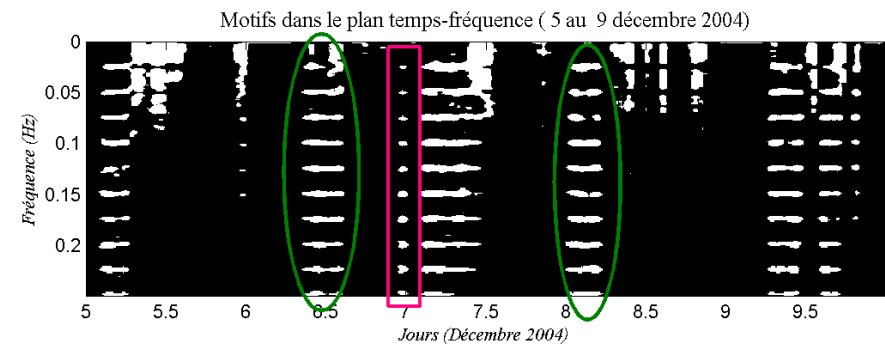


Détection du chauffage dans le domaine temps-fréquence (2/2)

Segmentation du spectrogramme



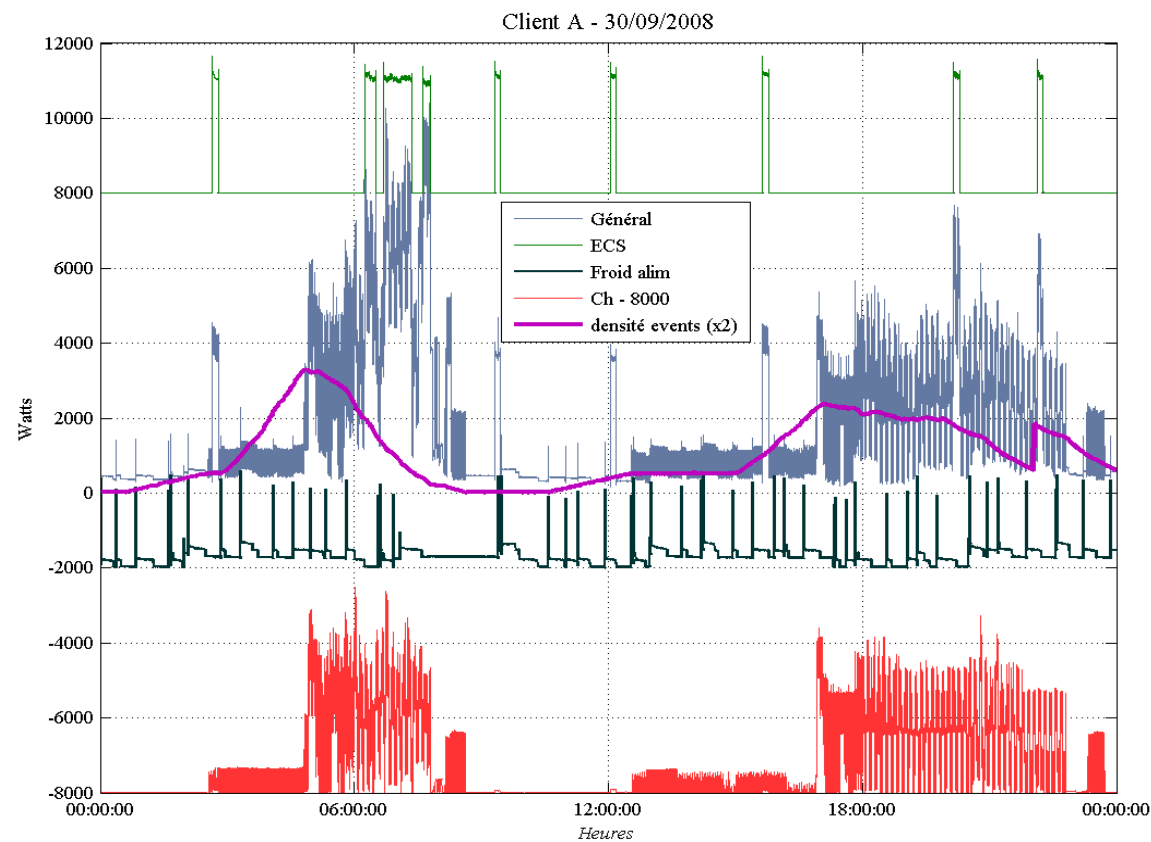
Extraction des motifs spectraux du chauffage





Détection et estimation du chauffage (1/4)

- **Observation** : Densité des événements très élevée en présence du chauffage

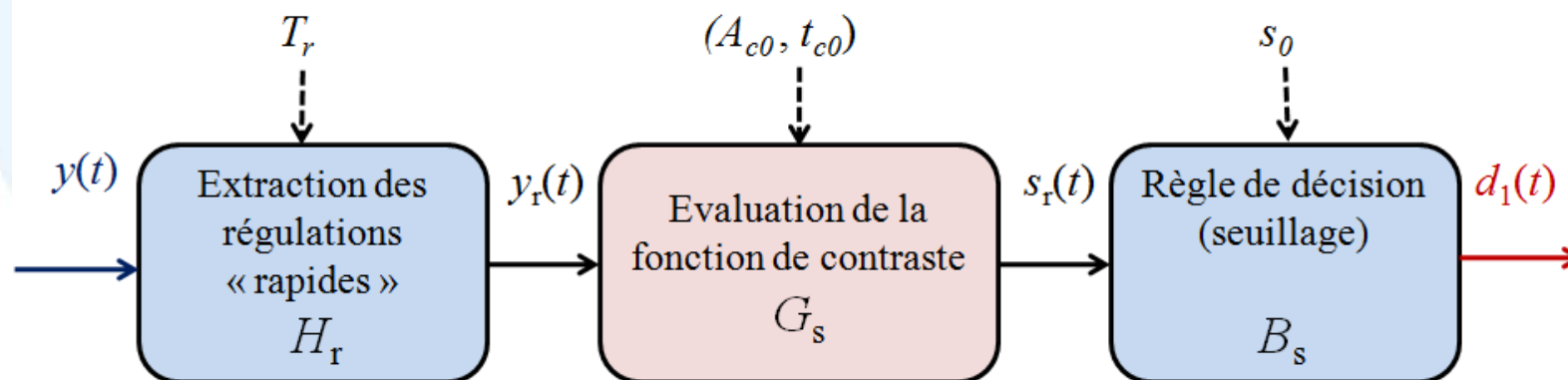




Estimation du chauffage (2/4)

● Méthode proposée

● Détection du chauffage



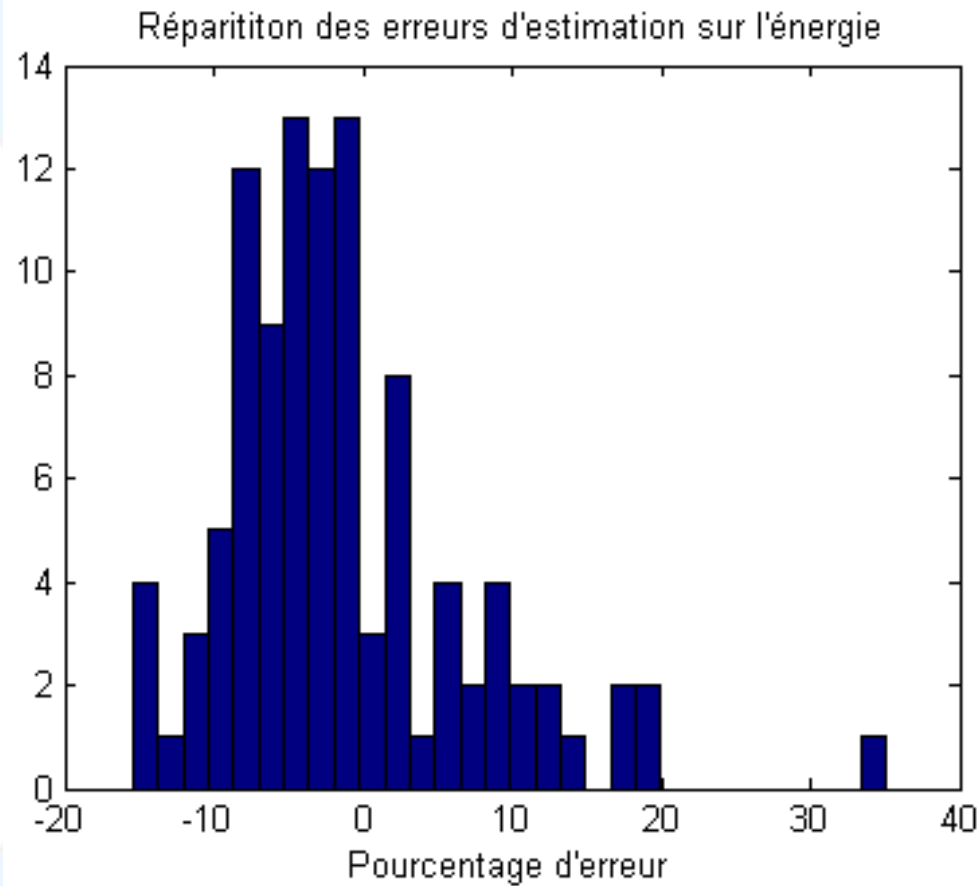
● Modèle empirique de la consommation journalière du chauffage

$$\begin{aligned} y_{ch}(t) &= y_{regul}(t) + F(x_H(t), x_B(t), Nc(t)) \\ &= y_{regul}(t) + (a_1 Nc(t) + b_1) x_B(t) + (a_2 Nc(t) + b_2) x_H(t) \end{aligned}$$



Estimation du chauffage (3/4)

Performances sur données semi-synthétiques



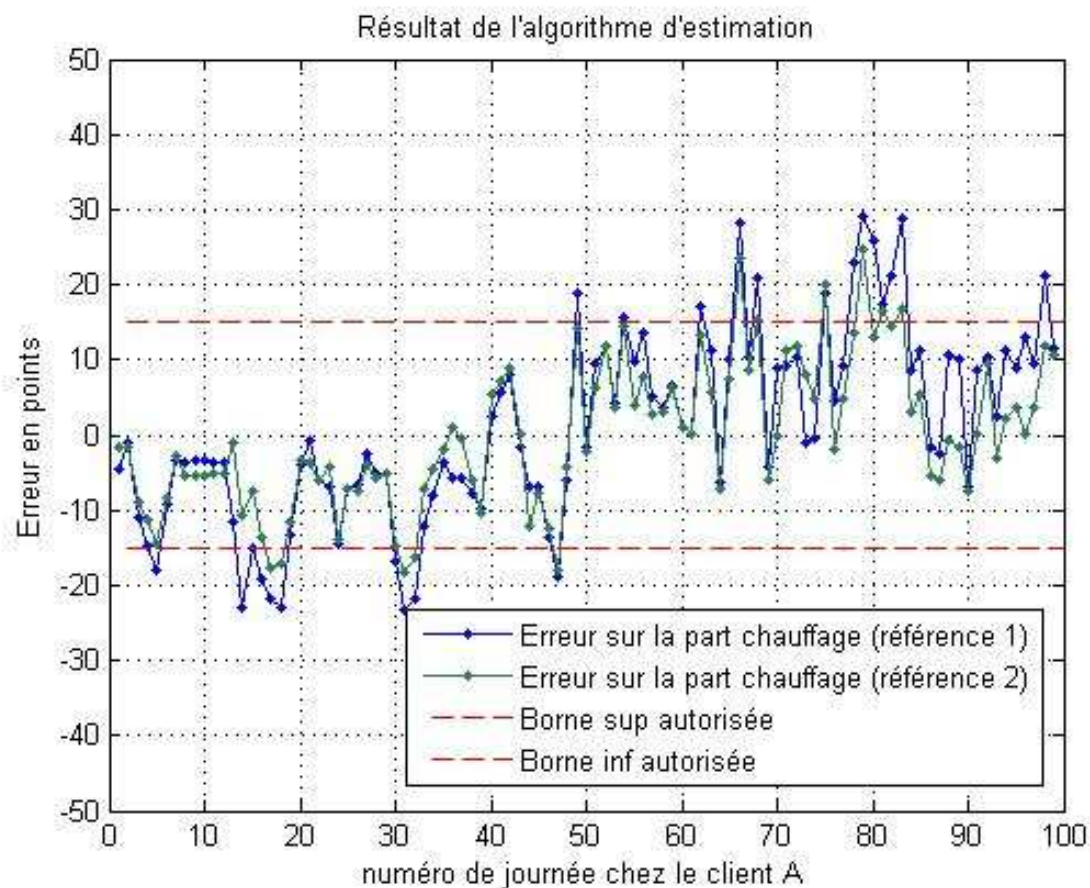
Données testées

104 CdC quotidiennes



Estimation du chauffage (4/4)

Performances de l'estimation de l'énergie sur données « site »

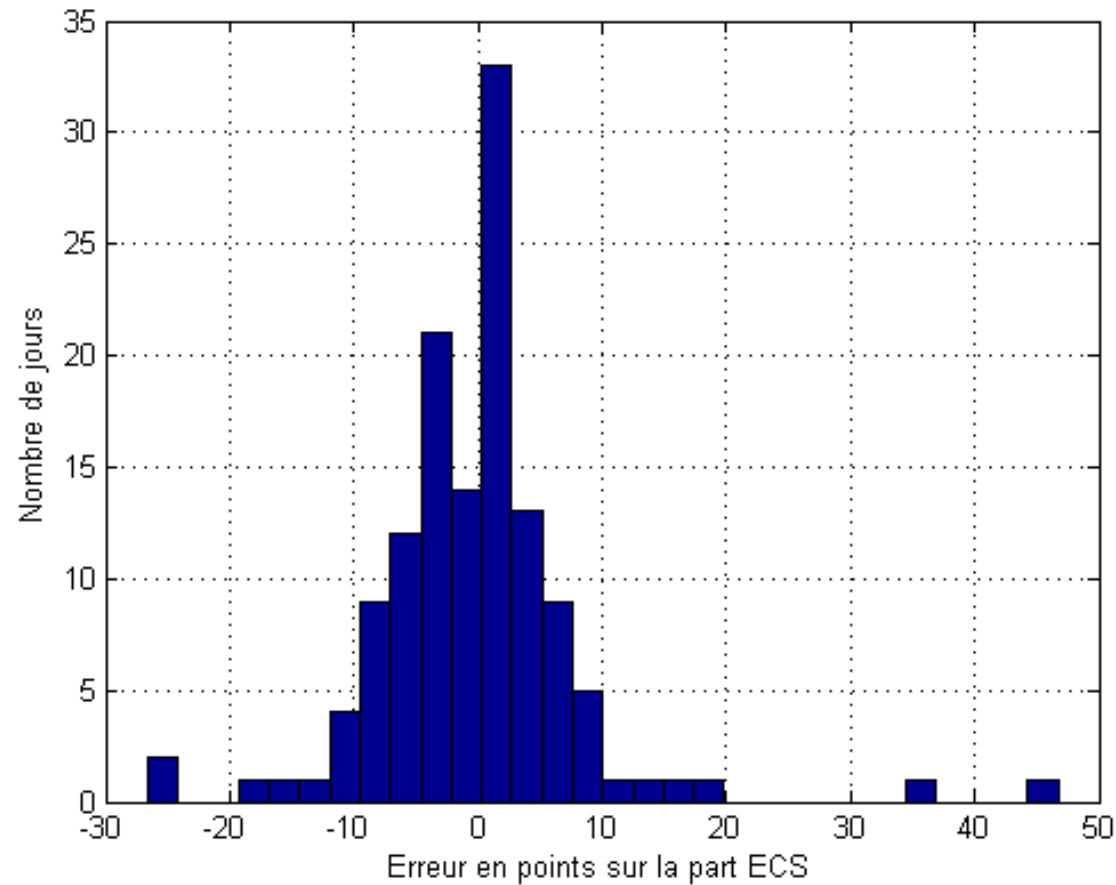




Estimation de l'eau chaude sanitaire

Performances sur données « site »

Erreur d'estimation de l'énergie quotidienne de l'ECS





Conclusions

- ⊙ Algorithmes d'estimation du chauffage, de l'ECS et du froid alimentaire
 - Mise en œuvre simple
 - Premiers résultats sur données « site » satisfaisants
- ⊙ Méthodologies de décomposition de la CdC générale fondées sur :
 - Le choix d'un domaine transformé dédié
 - Les a priori sur les lois des durées des cycles de fonctionnement
 - Les propriétés de symétrie/asymétrie des « on-off » des appareils électriques



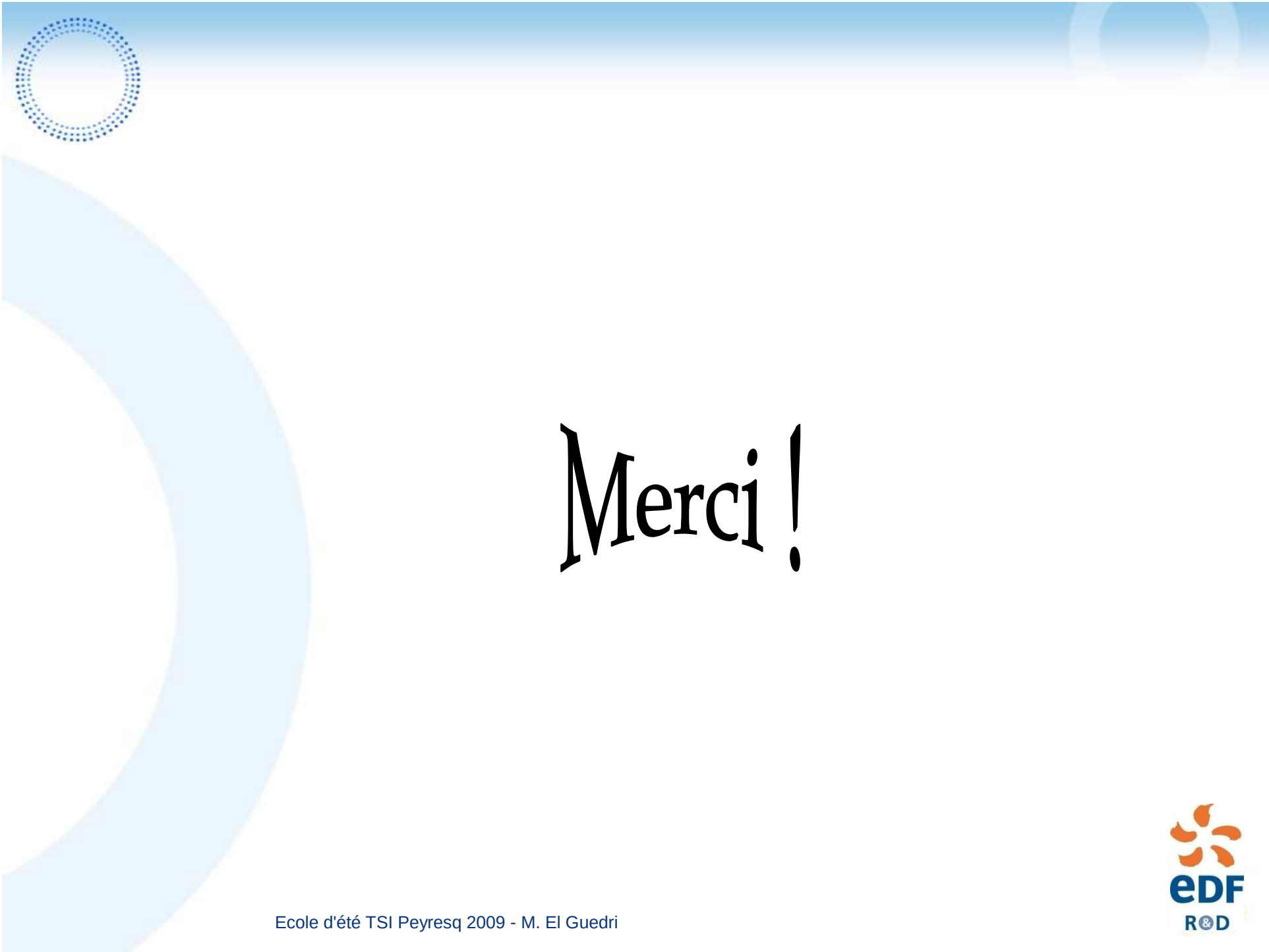
Publications

CONFERENCES

- ◎ « RJMCMC Sampler for Single Sensor Source Separation: an Application to Electric Load Monitoring »
 - EUSIPCO 2009
- ◎ « Time Frequency Characterization for Electric Load Monitoring »
 - EUSIPCO 2009
- ◎ « Modèle Stochastique pour la Séparation Aveugle des Usages Électriques à partir d'un seul Capteur »
 - GRETSI 2009

BREVET

- ◎ « Procédé et Système de Détection de la Consommation des Usages Électriques d'un Souscripteur »
 - Brevet 08157409.7, Décembre 2008



Merci !

Annexes



Approches proposées

Deux Approches

- Une approche « séquentielle / incrémentale » : caractérisation usage par usage
 - Algorithmes d'estimation du chauffage, de l'ECS et du froid alimentaire
- Une approche « conjointe / globale » de caractérisation des composantes de la CdC
 - Modèle stochastique de la CdC

Dans chaque approche, deux familles de méthodes :

- Méthodes du type « filtrage »
- Méthodes « génératives » pour la séparation des composantes de la CdC