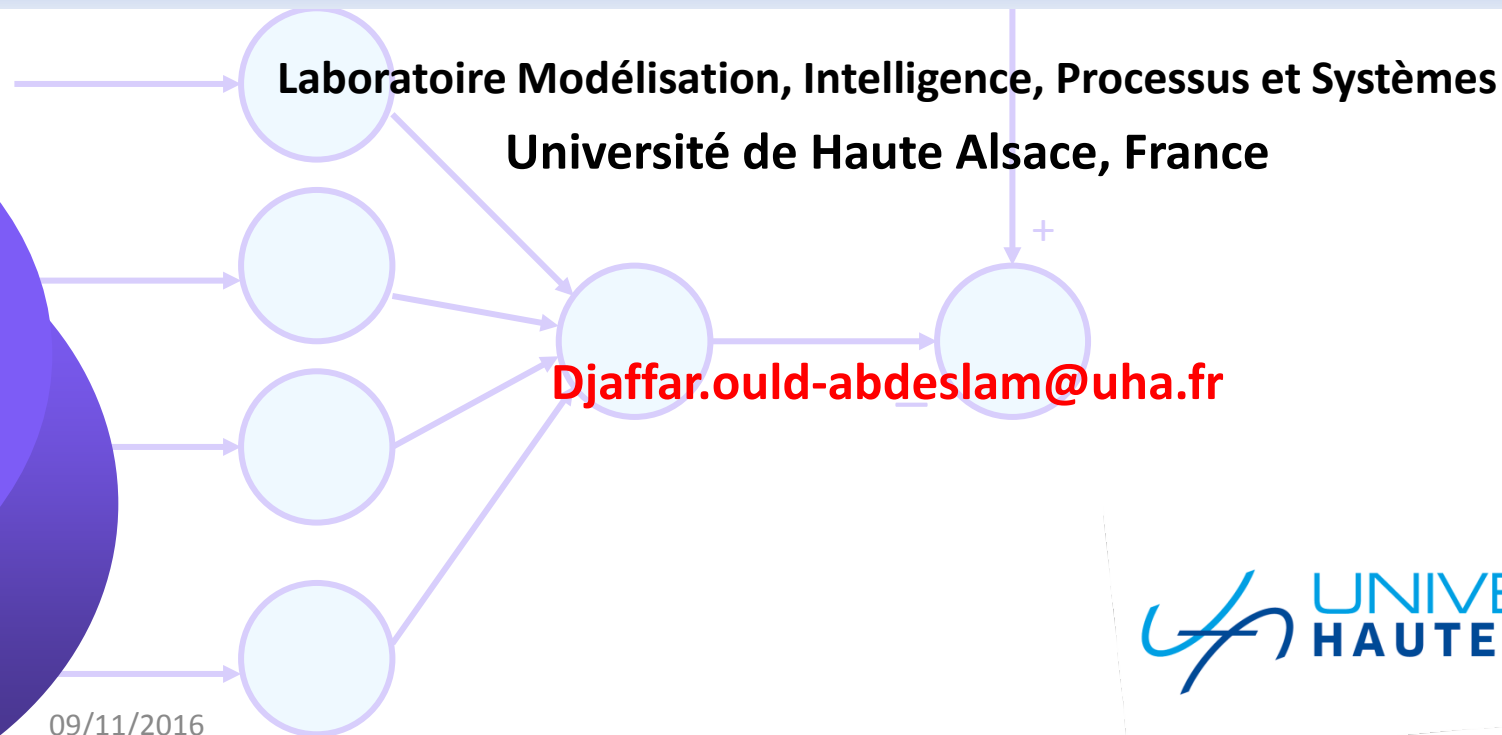


Mesures Non-Intrusives pour l'Amélioration des Smart Grid et la Réduction des Consommations



Contexte

Problématique

- Evolution de la structure classique des réseaux électriques.
- Introduction d'importantes perturbations altérant la qualité de l'énergie électrique.
- Insuffisance de méthodes de contrôle/commande classiques.

Défis

- Réduire les consommations énergétiques tout en garantissant une bonne qualité du signal électrique.
- Gestion plus intelligente et autonome du réseau électrique s'impose.
- Mesurer, avec précision et en temps réel, les différents paramètres liés à la qualité de l'énergie.
- Utilisation des méthodes modernes de contrôle/commande.

Identification des caractéristiques contenues dans les signaux

Signaux stationnaires

Adaline

Signaux non-stationnaires

Transformée en S

Variation électriques

Fréquence

Harmoniques

Déséquilibre

Evènements électriques

Transitoires

Changement
niveau

Évènements
biologiques

ECG

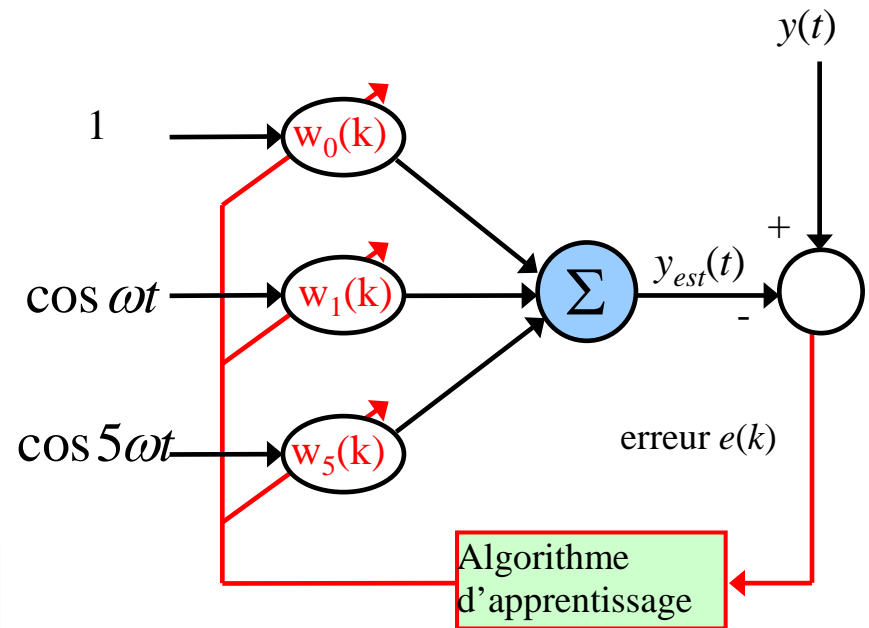
Pourquoi l'Analyse par l'Adaline (ADaptive Linear NEuron) ?

- Appliqué avec succès dans beaucoup de domaines.
- Architecture simple.
- Possibilité d'introduire des connaissances *a priori*.

$$y(t) = \mathbf{w}_0(t) + \mathbf{w}_1(t) \cos \omega t + \mathbf{w}_2(t) \sin \omega t$$

Contribution :

- Chercher des formes linéairement séparables pour les signaux à traiter.



Identification des caractéristiques contenues dans les signaux

Signaux stationnaires

Adaline

Signaux non-stationnaires

Transformée en S

Variation électriques

Fréquence

Harmoniques

Déséquilibre

Evènements électriques

Transitoires

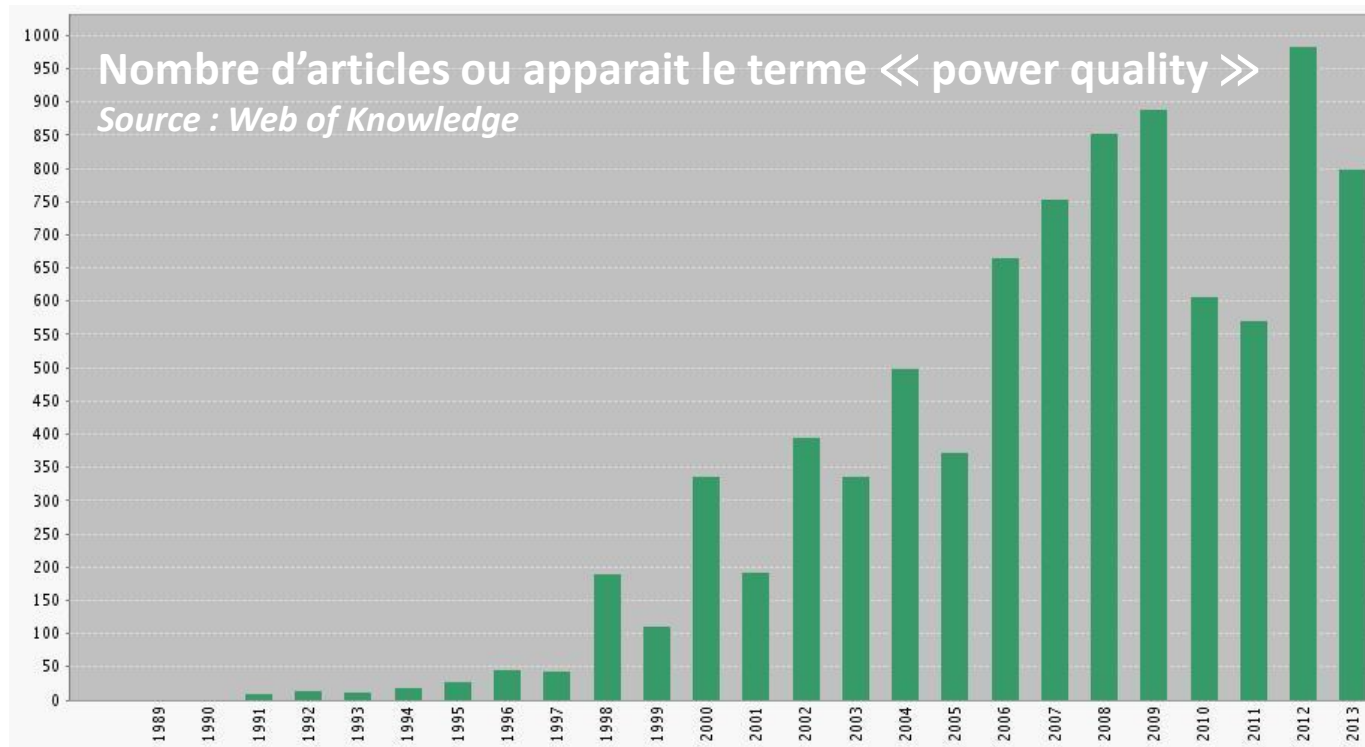
**Changement
niveau**

**Évènements
biologiques**

ECG

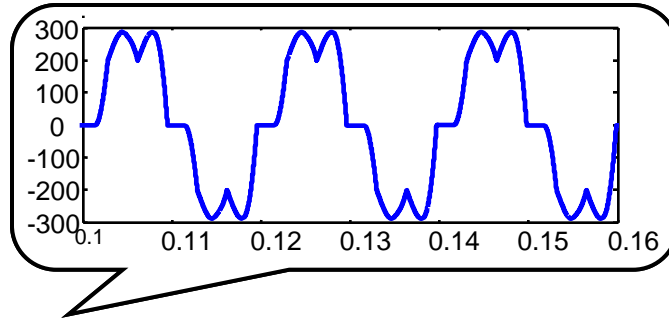
Qualité de l'énergie électrique

- Elle est jugée par la qualité des signaux de la tension et du courant.
- La qualité est évaluée par la mesure des perturbations.



Analyse des signaux stationnaires (Variations électriques)

Gestion et qualité de l'énergie



Fréquence

Harmoniques

Déséquilibre

Identification des harmoniques

Espace des courants (méthode directe)

$$i_1(t) = \underbrace{I_{11} \cos(\omega t) + I_{12} \sin(\omega t)}_{I_f(t)} + \underbrace{\sum_{n=2, \dots, N} [I_{n1} \cos n(\omega t) + I_{n2} \sin n(\omega t)]}_{I_h(t)}$$

Le fondamental est lié à des composantes alternatives

Espace des puissances (Méthode PIRI)

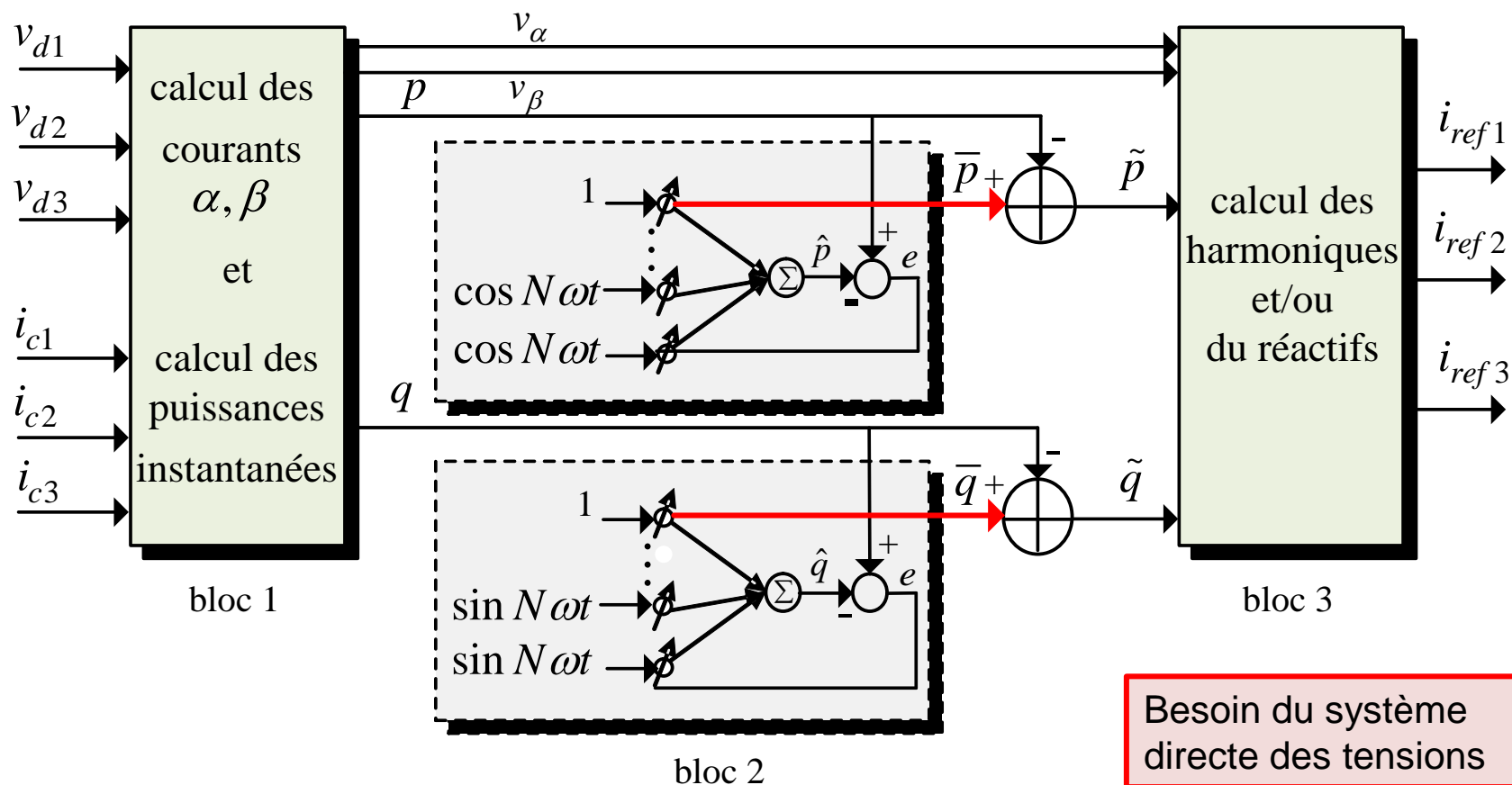
$$p(t) = \underbrace{p_1}_{\tilde{p}} + \underbrace{\sum_{n=6,12,18,\dots}^N p_{n-1} \cos(n\omega t) - p_{n+1} \cos(n\omega t)}_{\tilde{p}}$$

$$q(t) = \underbrace{-q_1}_{\tilde{q}} + \underbrace{\sum_{n=6,12,18,\dots}^N q_{n-1} \sin(n\omega t) + q_{n+1} \sin(n\omega t)}_{\tilde{q}}$$

Le fondamental est lié à des composantes continues

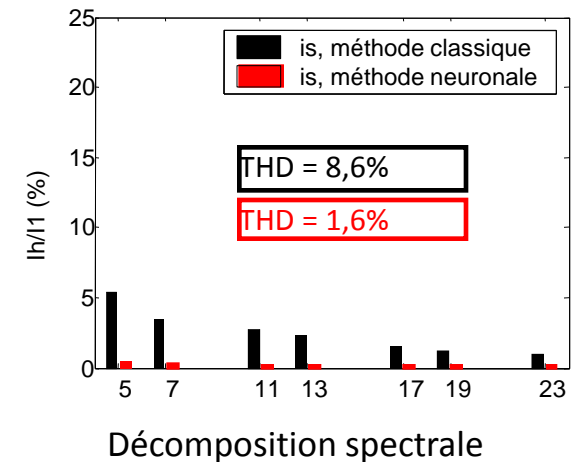
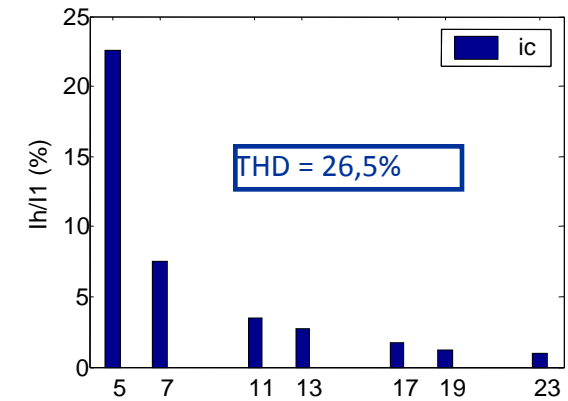
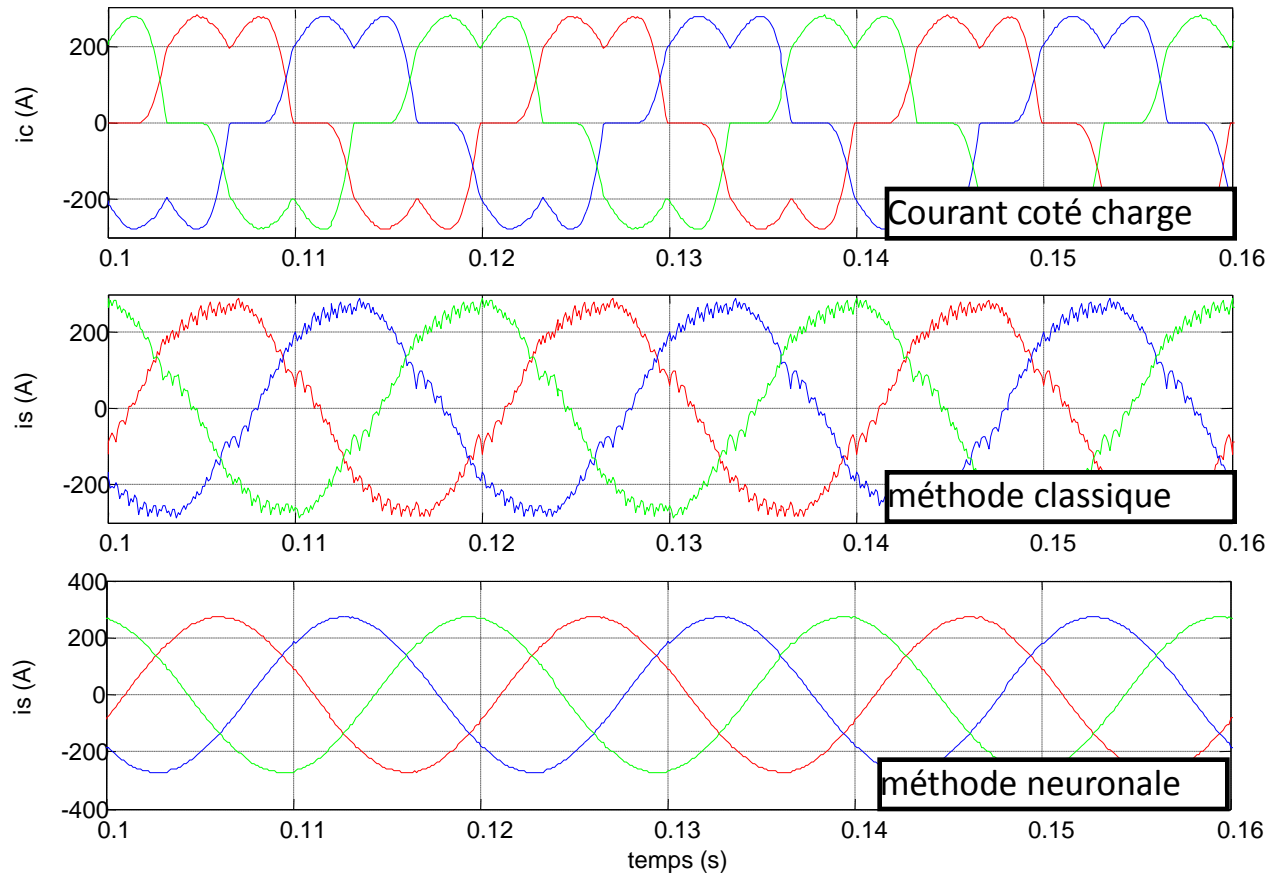
Identification des harmoniques

PIRI (Puissances Instantanées Réelle et Imaginaire)











Identification des harmoniques

Comparaison PIRI et filtre passe bas



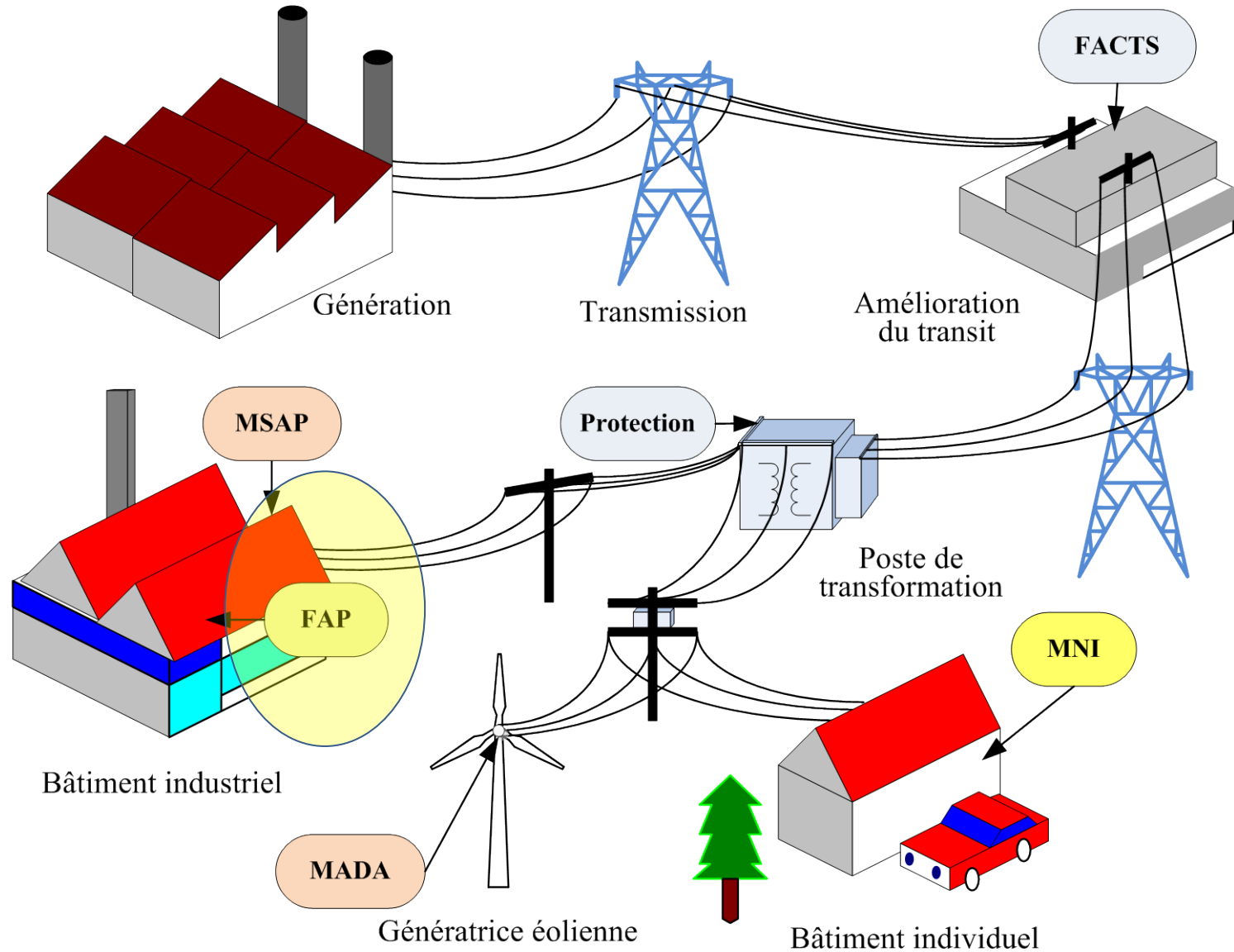
Identification des harmoniques

Comparatif des méthodes d'identification

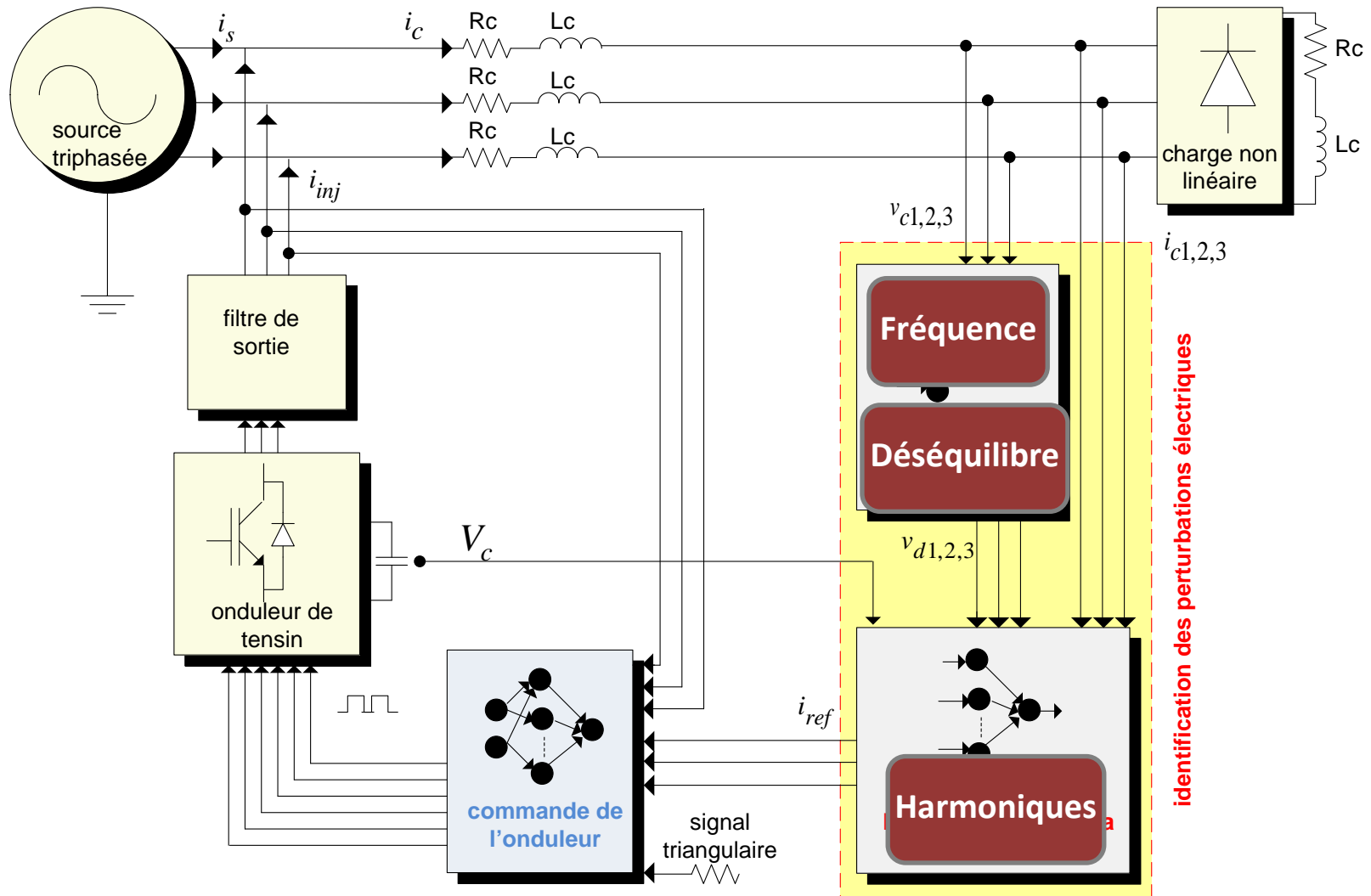
méthodes d'identification	identification individuelle de l'harmonique N	poids	coût
tri-mono	$I_{N1} \cos N(\omega t) + I_{N2} \sin N(\omega t)$	2	 
PIRI	$p_{N-1} \cos(N\omega t) + p_{N+1} \cos(N\omega t) + q_{N-1} \sin(N\omega t) + q_{N+1} \sin(N\omega t)$	4	
Courant Diph.	$\sqrt{\frac{3}{2}} I_N \cos(N-1)\omega t + \sqrt{\frac{3}{2}} I_N \sin(N-1)\omega t$	2	
PIRI modifiée	$3p \cos(N-1)\omega t - 3p \sin(N-1)\omega t +$ $-3p \cos(N+1)\omega t + 3p \sin(N+1)\omega t +$ $3q_\alpha \cos(N-1)\omega t - 3q_\alpha \sin(N-1)\omega t +$ $-3q_\alpha \cos(N+1)\omega t + 3q_\alpha \sin(N+1)\omega t +$ $3q_\beta \cos(N-1)\omega t - 3q_\beta \sin(N-1)\omega t +$ $-3q_\beta \cos(N+1)\omega t + 3q_\beta \sin(N+1)\omega t$	12	
Courants actifs	$3p_d \cos(N-1)\omega t - 3p_d \sin(N-1)\omega t +$ $-3p_d \cos(N+1)\omega t + 3p_d \sin(N+1)\omega t +$ $3p_i \cos(N-1)\omega t - 3p_i \sin(N-1)\omega t +$ $-3p_i \cos(N+1)\omega t + 3p_i \sin(N+1)\omega t$	8	
Compo. Inv.	$p_{N-1}(d) \cos(N\omega t) + p_{N+1}(d) \cos(N\omega t) +$ $q_{N-1}(d) \sin(N\omega t) + q_{N+1}(d) \sin(N\omega t) +$ $p_{N-1}(i) \cos(N\omega t) + p_{N+1}(i) \cos(N\omega t) +$ $q_{N-1}(i) \sin(N\omega t) + q_{N+1}(i) \sin(N\omega t)$	8	 

Analyse des signaux stationnaires (Variations électriques)

Les variations pour l'identification et la commande des systèmes électriques



Filtrage actif parallèle

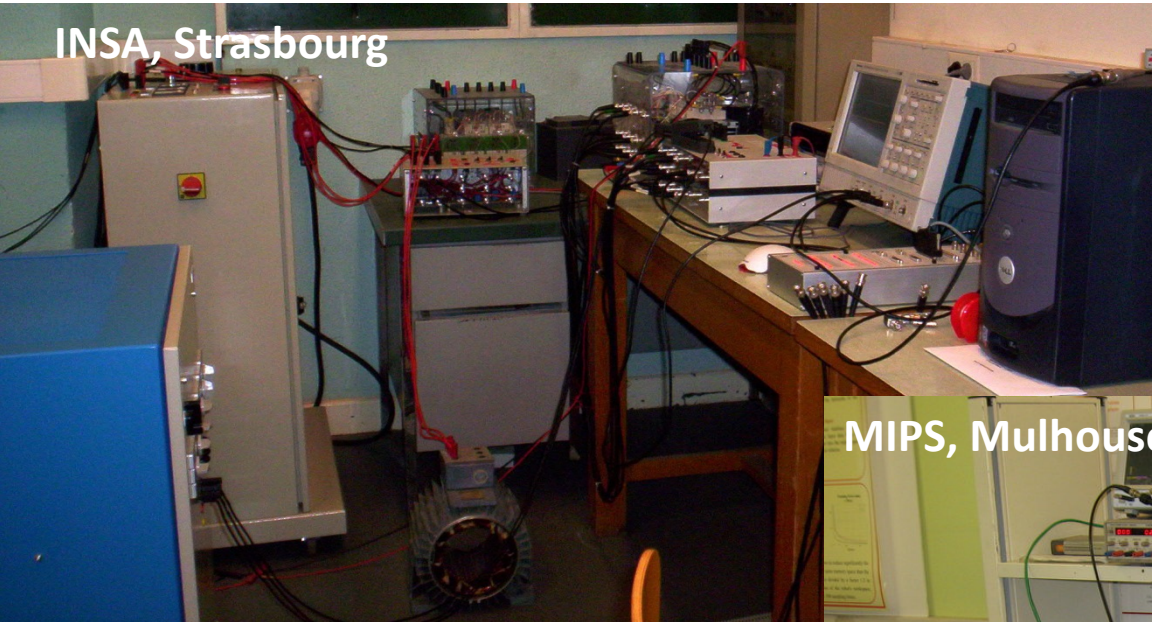


Analyse des signaux stationnaires (Variations électriques)

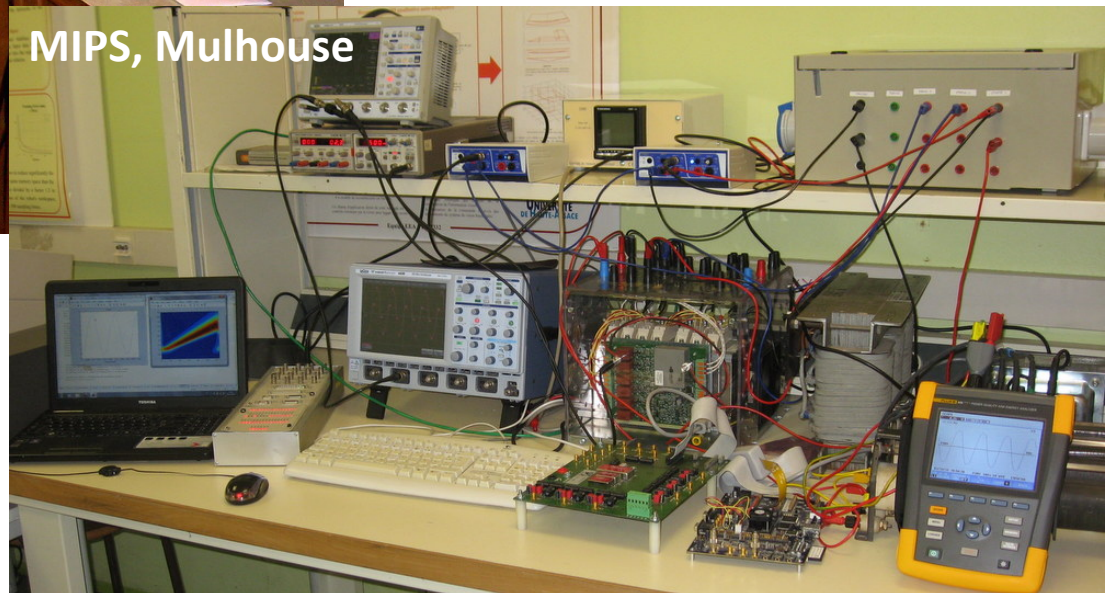
Filtrage actif parallèle

Plateformes expérimentales

INSA, Strasbourg

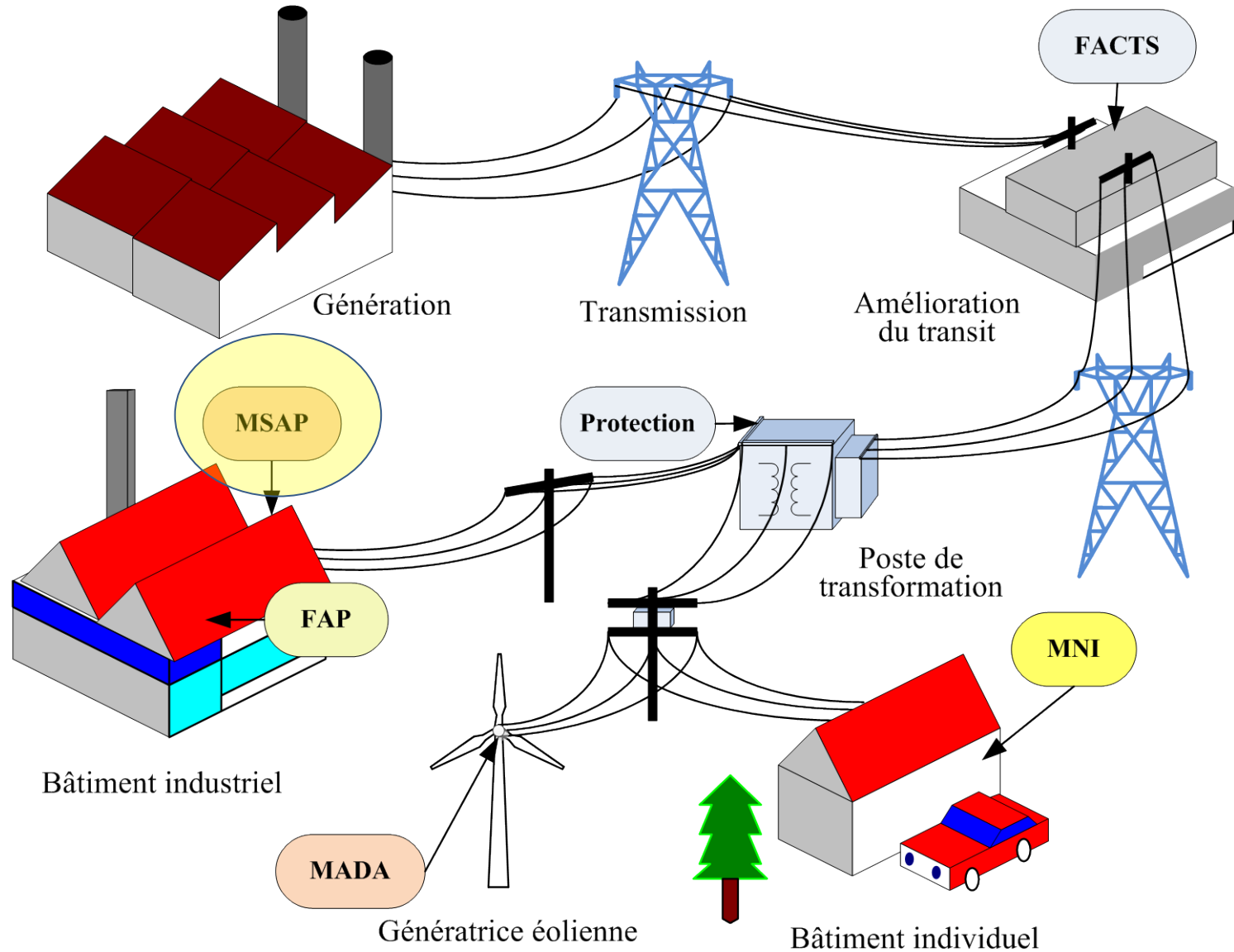


MIPS, Mulhouse



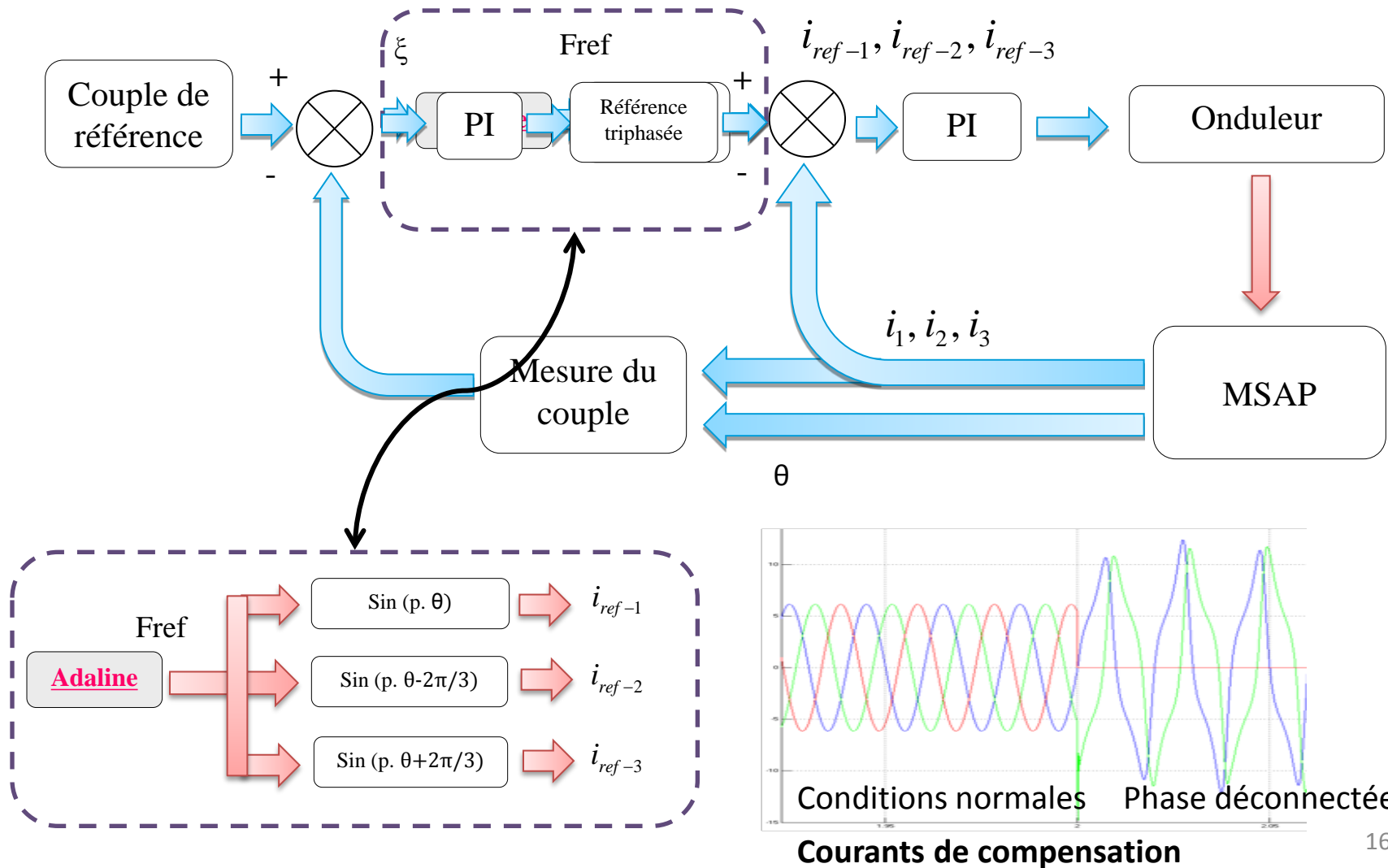
Analyse des signaux stationnaires (Variations électriques)

Les variations pour l'identification et la commande des systèmes électriques



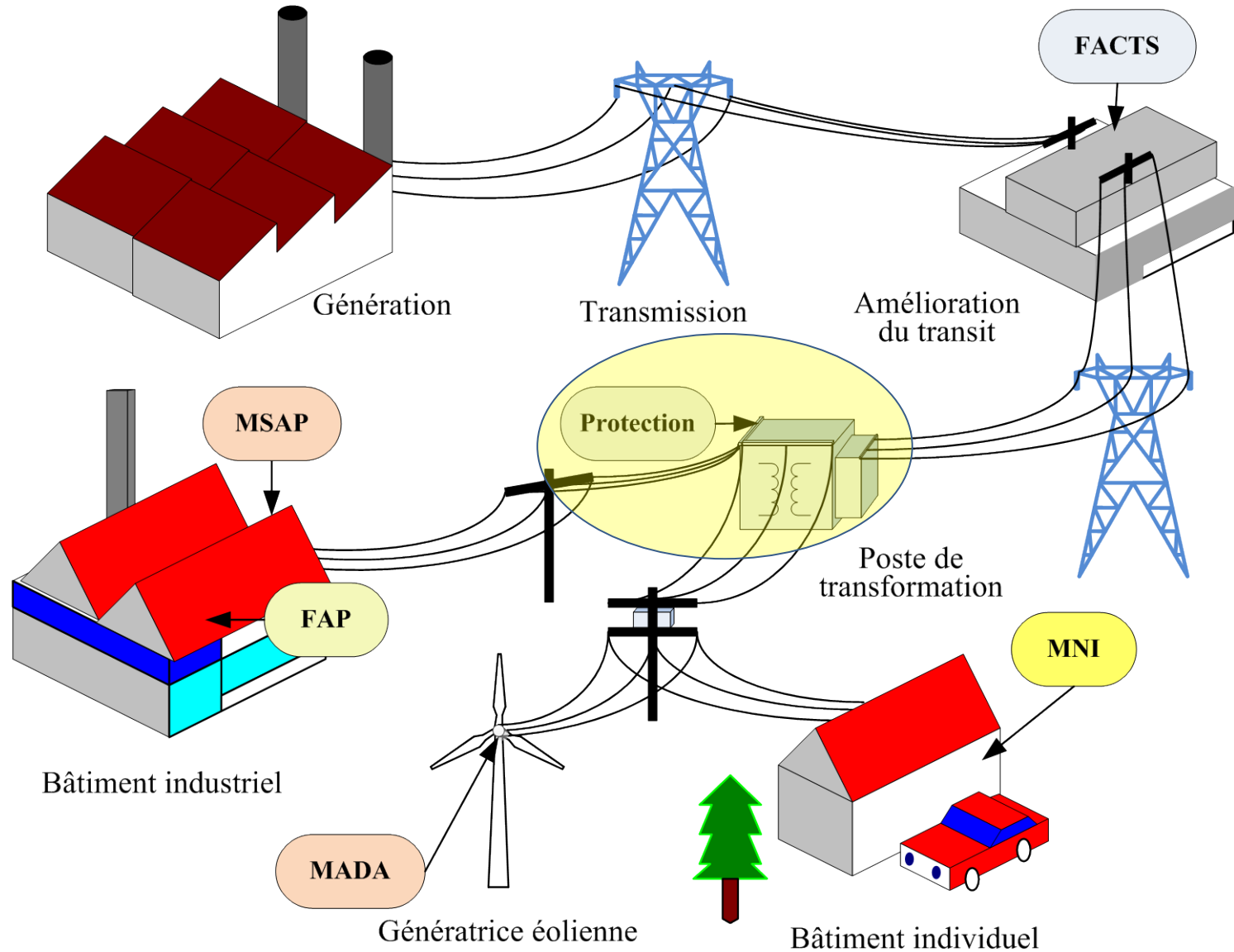
Commande du moteur synchrone par les courants de référence

Commande auto adaptative



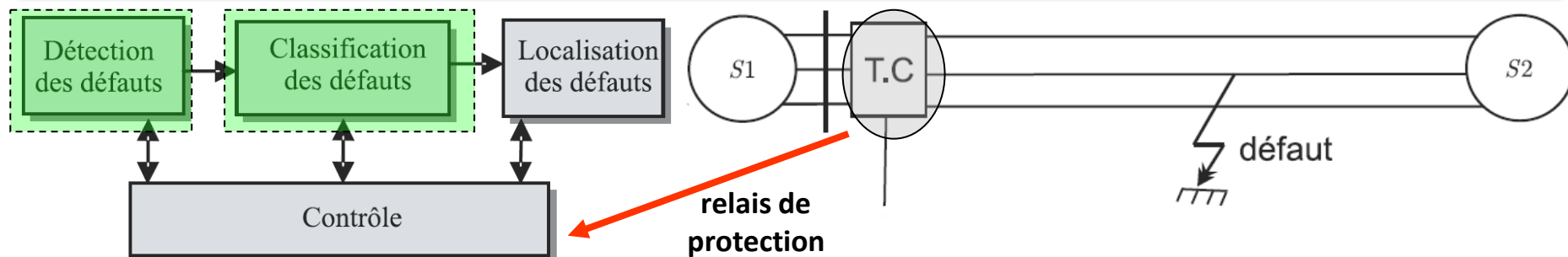
Analyse des signaux stationnaires (Variations électriques)

Les variations pour l'identification et la commande des systèmes électriques



Identification des défauts sur les lignes HT

Protection des lignes HT par les relais



- Détection du défaut monophasé uniquement (le plus répondu)

- Tenir compte du transitoire pour les autres types de défauts
- Vers les méthodes temps-fréquence

- Adaptative

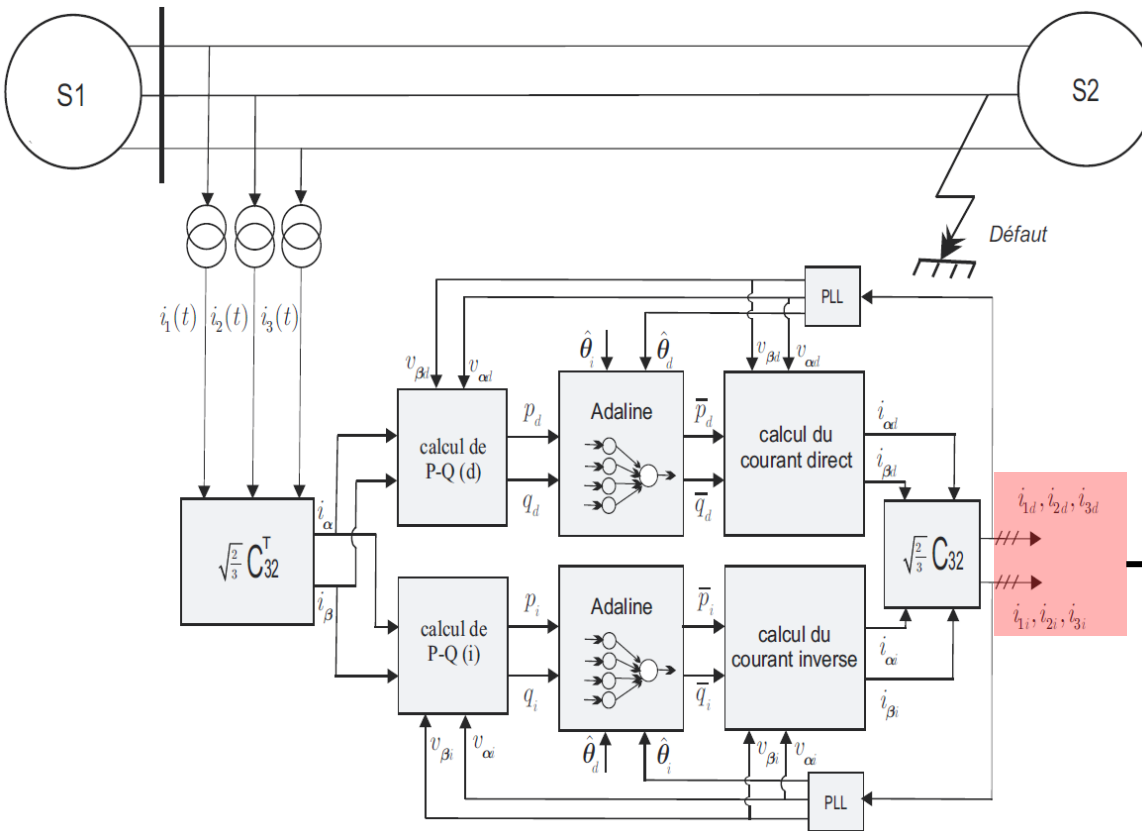
Détection dans le repère triphasé (méthode directe)

Le courant de défaut peut être modélisé par la somme de trois termes

$$i_{cc}(t) = \underbrace{I_{11} \cos(\omega t) + I_{12} \sin(\omega t)}_{i_f(t)} - \underbrace{\sum_{n=2, \dots, N} [I_{n1} \cos n(\omega t) + I_{n2} \sin n(\omega t)]}_{i_h(t)} + \underbrace{I \sin(\alpha - \varphi) e^{-\frac{R}{L}t}}_{i_{rr}(t)}$$

Identification des défauts sur les lignes HT

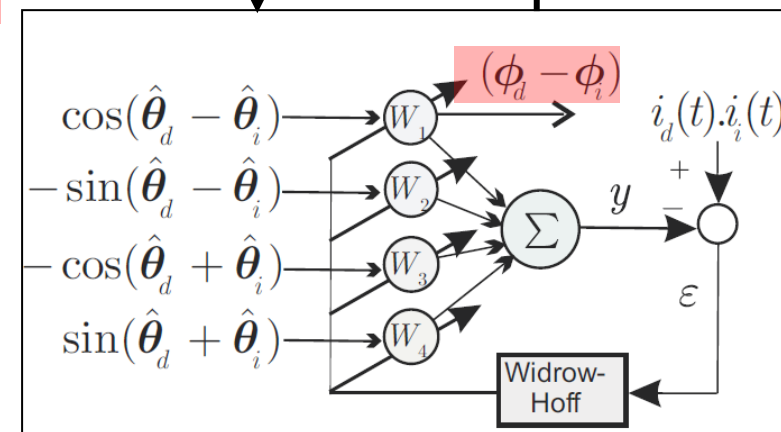
Détection dans le repère des puissances (Méthode PIRI modifiée)



Type de défaut	$Ang_a(^{\circ})$	$Ang_b(^{\circ})$	$Ang_c(^{\circ})$
Phase a-g	1.68	121.7	118.3
Phase b-g	118.3	1.68	121.7
Phase c-g	121.7	118.3	1.68
Phases a-b	59.96	60.04	179.9
Phases b-c	180	59.96	60.04
Phases a-c	60.04	179.9	59.96
Phases a-b-g	54.1	65.9	174.1
Phases b-c-g	174.1	54.1	65.9
Phases a-c-g	59.9	174.1	54.1

- Complète (tous les défauts)
- Adaptative

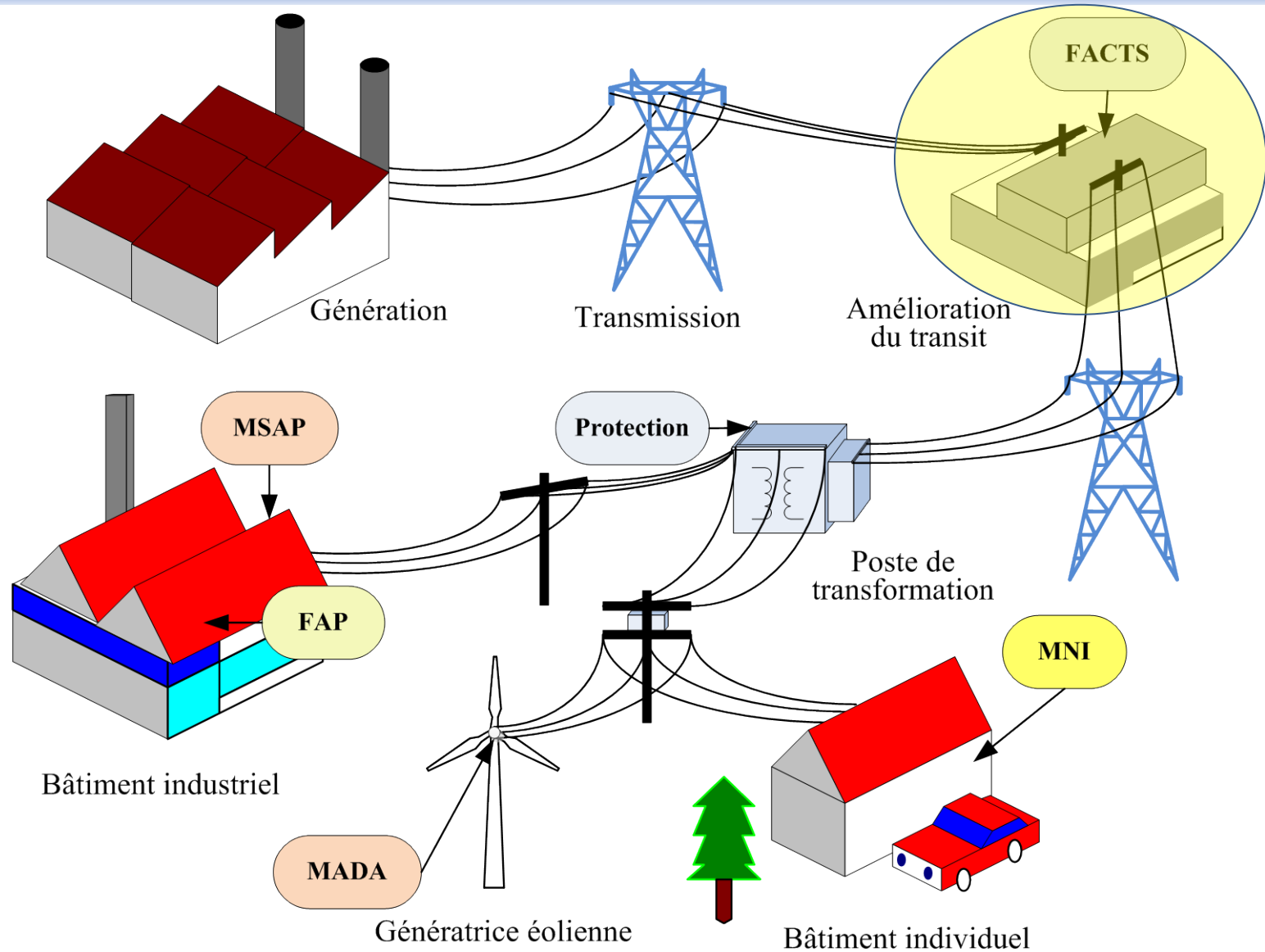
- Coûteuse



Estimation des angles de phase

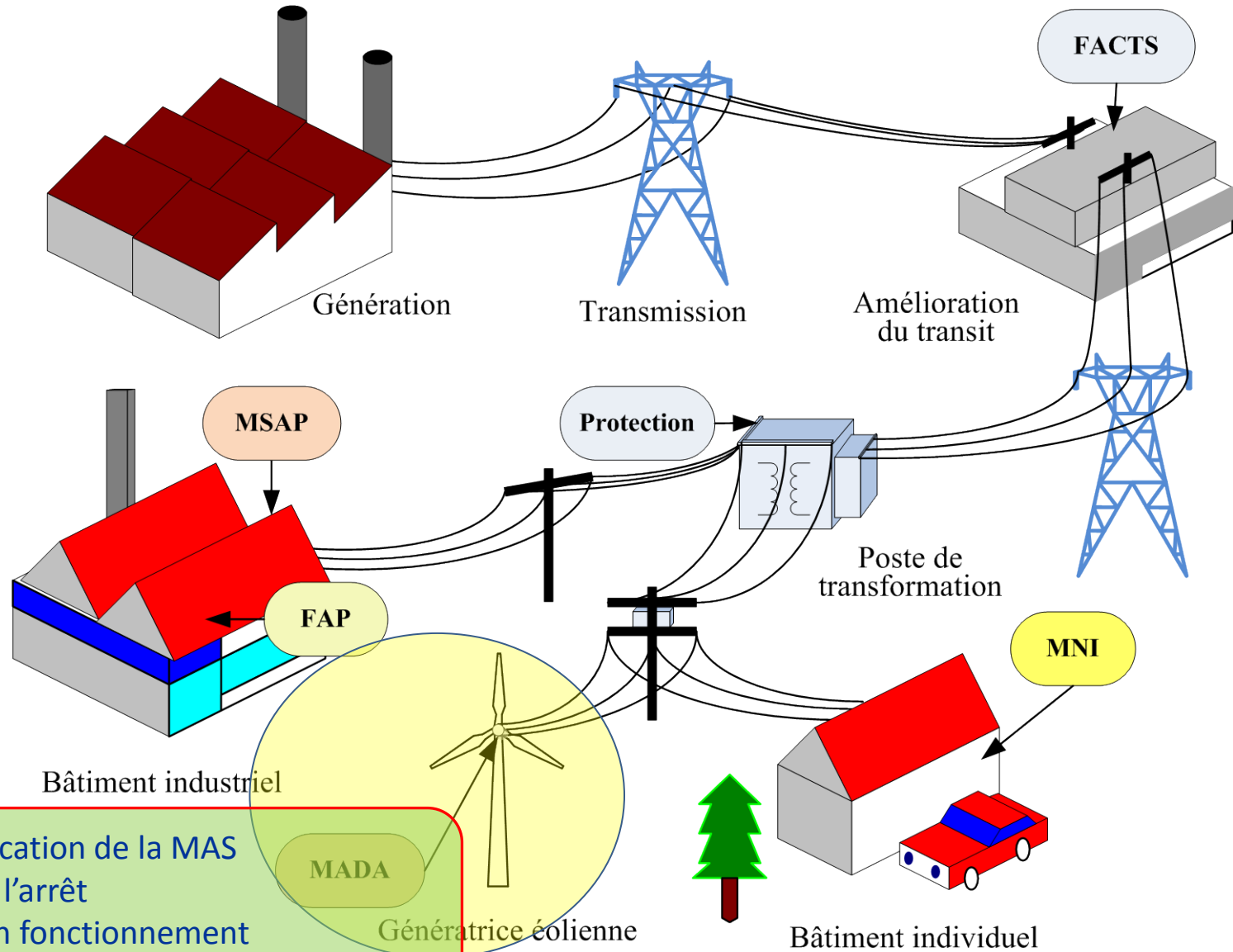
Analyse des signaux stationnaires (Variations électriques)

Les variations pour l'identification et la commande des systèmes électriques



Analyse des signaux stationnaires (Variations électriques)

Les variations pour l'identification et la commande des systèmes électriques



- Identification de la MAS
 - A l'arrêt
 - En fonctionnement
- Synchronisation avec le réseau

Identification et commande de la machine asynchrone

L'Adaline pour l'identification des paramètres mécaniques de la MAS

Deux méthodes d'identification :

1. Equation mécanique

$$\Omega(k) = A_0 T_{em}(k-1) + B_0 \Omega(k-1)$$

$$\begin{cases} f = \frac{1-w_1}{w_2} \\ J = -f \frac{T_e}{\ln w_1} \end{cases}$$

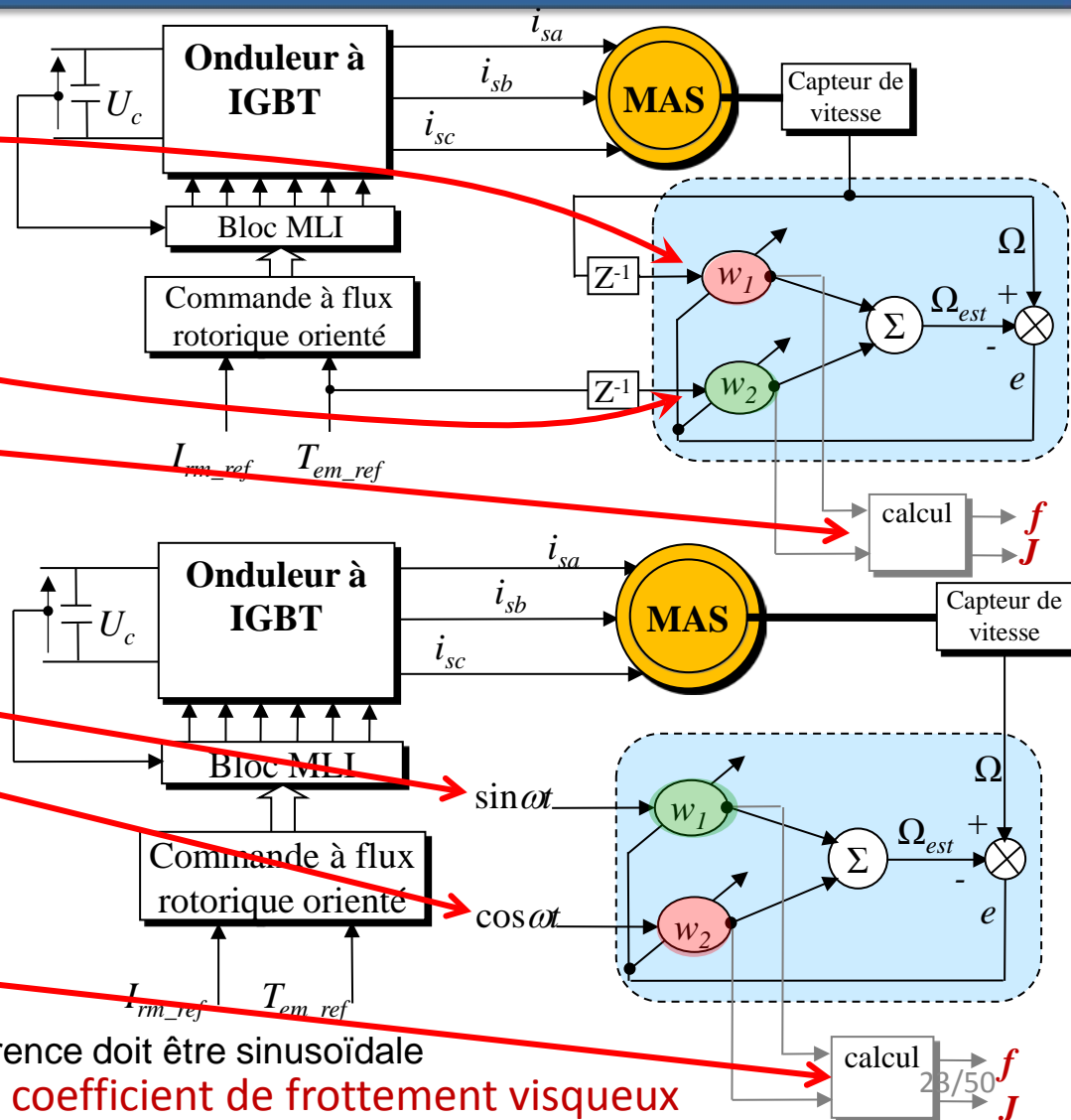
2. Expression de la réponse harmonique de la vitesse mécanique

$$\Omega(t) = A_1 \cos \omega t + B_1 \sin \omega t$$

$$\begin{cases} f = \frac{w_1 T_{em \max}}{w_2 \sqrt{w_1^2 + w_2^2}} \\ J = -f \frac{w_2}{w_1 \omega} \end{cases}$$

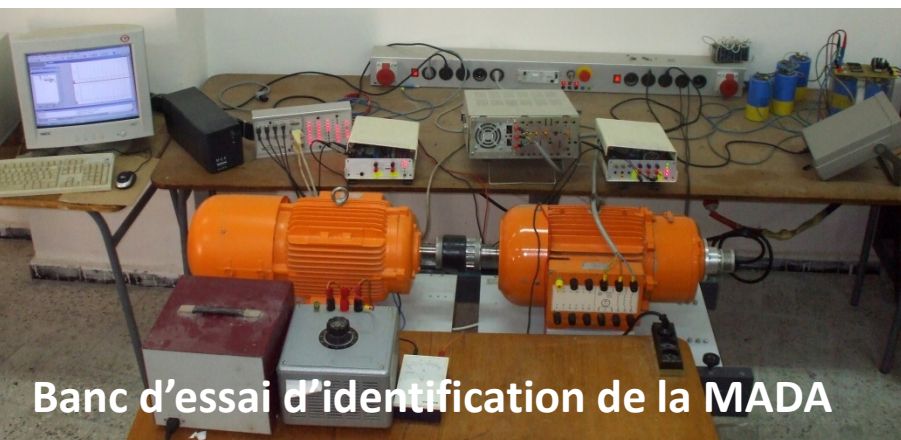
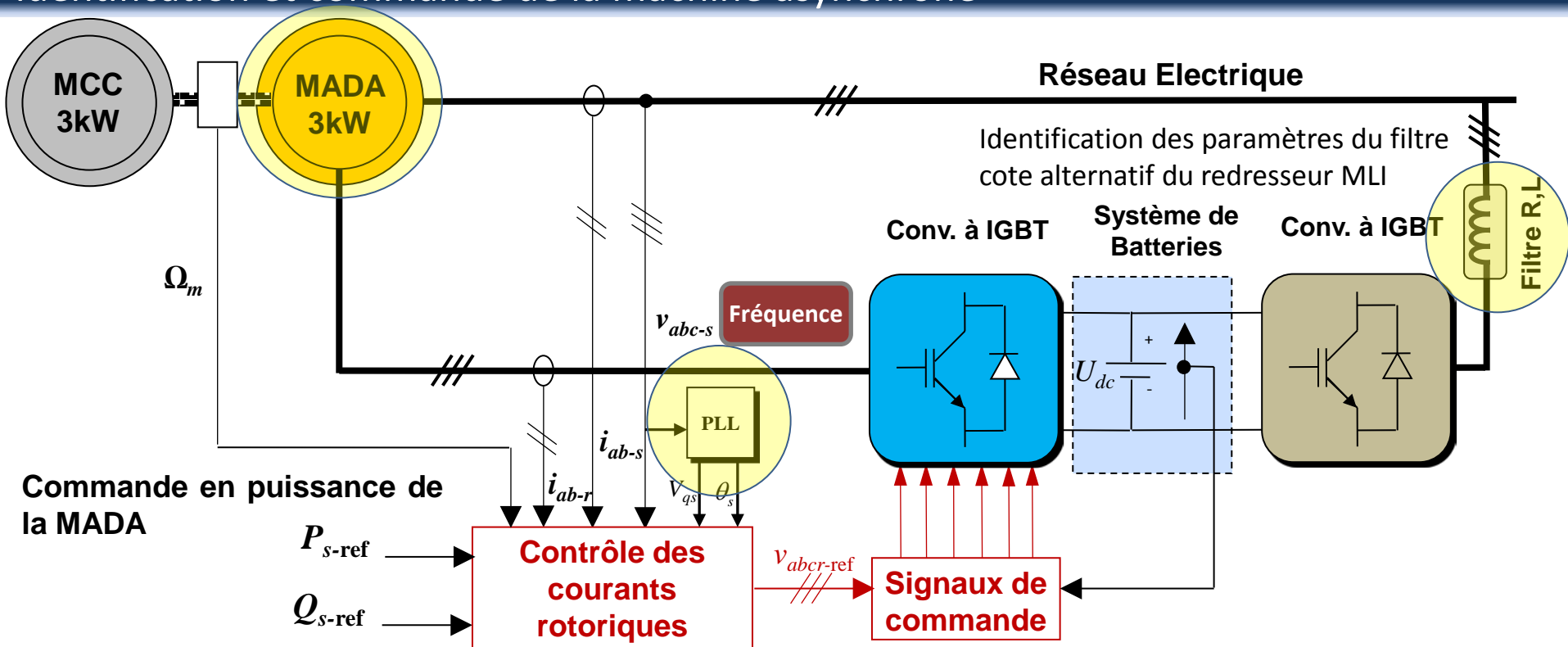
le couple de référence doit être sinusoïdale

J : moment d'inertie f : coefficient de frottement visqueux



Analyse des signaux stationnaires (Variations électriques)

Identification et commande de la machine asynchrone



Identification des caractéristiques contenues dans les signaux

Signaux stationnaires

Adaline

Variation électriques

Fréquence

Harmoniques

Déséquilibre

Signaux non-stationnaires

Transformée en S

Evènements électriques

Transitoires

Changement
niveau

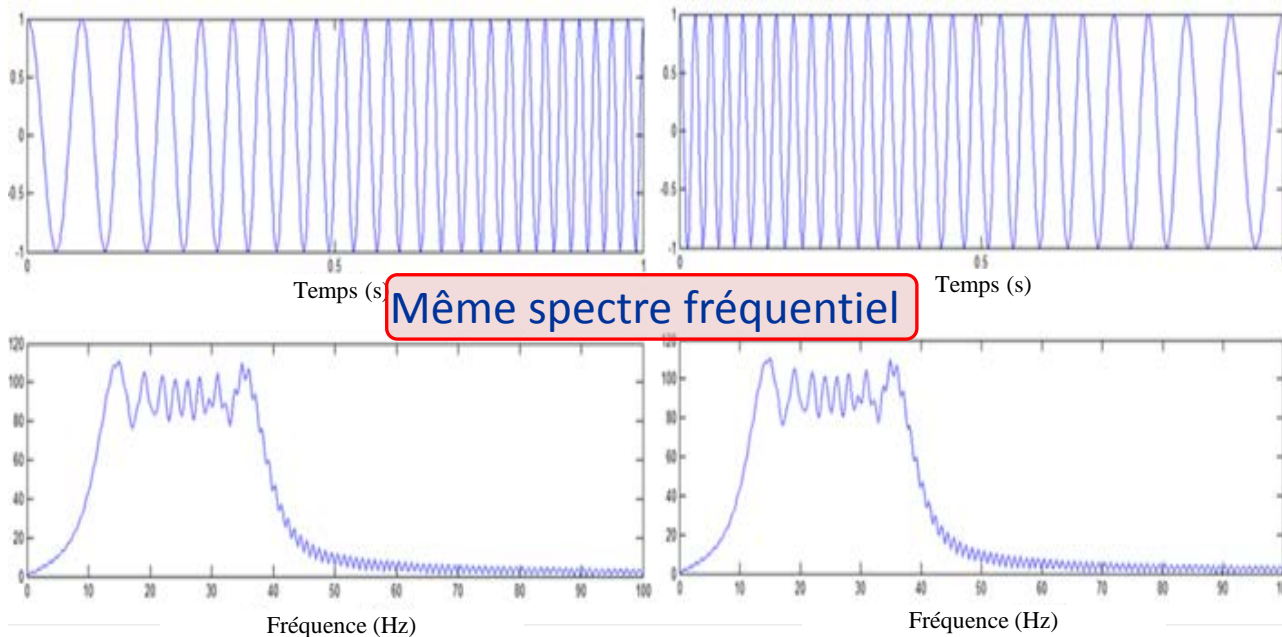
Évènements
biologiques

ECG

Les méthodes temps-fréquence

Limitation de la Transformée de Fourier

Chirps lineaires (modulation linéaire de fréquence) :



La TF intègre toutes les composantes fréquentielles contenues dans le signal, mais sans aucune information sur la localisation dans le temps

Limitation de l'Adaline

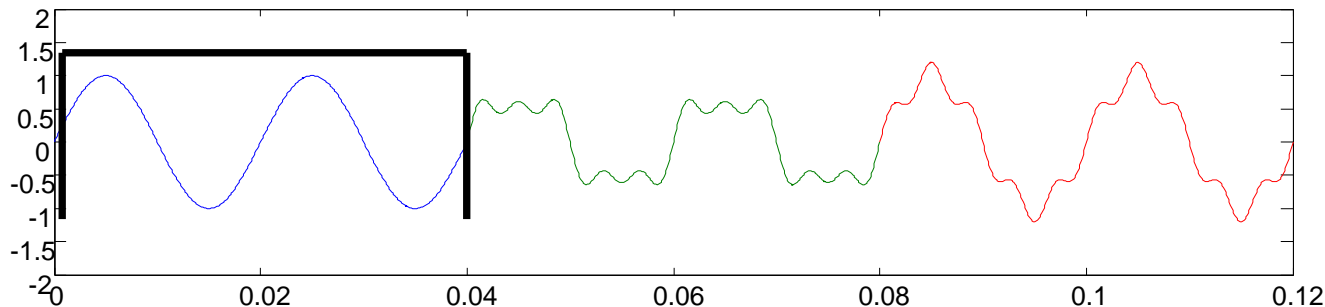
- Nécessité des connaissances *a priori* sur le signal
- Moins efficace pour des signaux non-périodiques

Les méthodes temps-fréquence

Transformée de Fourier à Court Terme (TFCT)

- Rajout d'une fenêtre glissante à la TF.
- Hypothèse de stationnarité locale sur la durée de la fenêtre.

$$STFT_x(t, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(\tau) e^{j2\pi f\tau} e^{-2j\pi f t} d\tau$$



- Résolution temps-fréquence fixe en raison de la taille fixe de la fenêtre d'analyse.
- Compromis à trouver entre la résolution temporelle et la résolution fréquentielle.

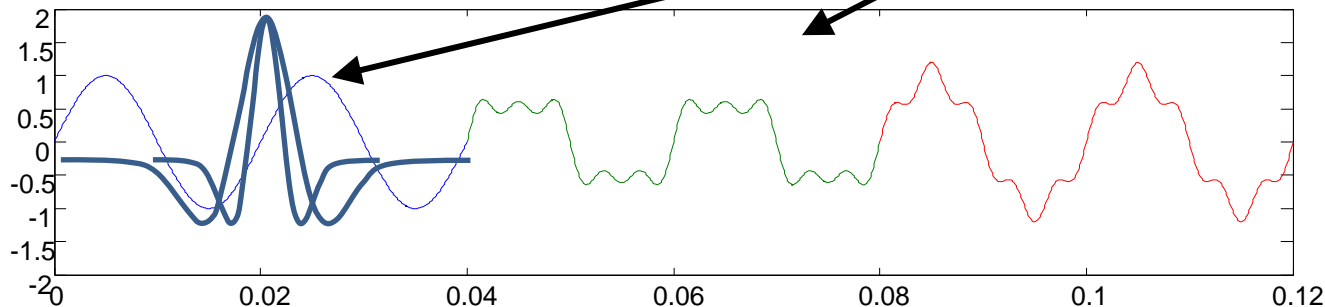
Les méthodes temps-fréquence

Transformée en Ondelettes (TO)

- Elle peut être vue comme une extension de la TFCT.
- Elle possède une fenêtre d'analyse variable, appelée ondelette.

$$W(\tau, a) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \Phi_{\tau,a}^*(t) dt \quad \text{avec} \quad \Phi_{\tau,a}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \Phi\left(\frac{t-\tau}{a}\right)$$

facteur de translation
facteur d'échelle



- Non conservation de l'information de phase (temps-échelle).
- Faible résolution dans les hautes fréquences.
- Sensibilité au bruit.

Les méthodes temps-fréquence

Transformée de Stockwell (Transformée en S)

- Elle peut être vue comme une TFCT à fenêtre d'analyse variable ou comme une TO avec une information de phase.
- Analyse multi-résolution.
- La fenêtre varie en fonction de la fréquence.

La transformée de Stockwell avec une fenêtre Gaussienne :

$$S_x(\tau, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) w(t - \tau, f) e^{-2\pi j f t} dt$$

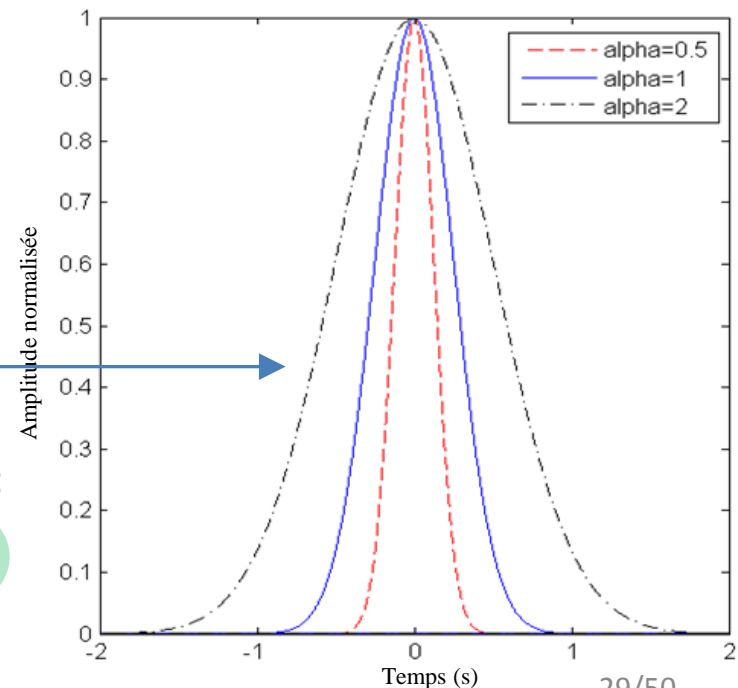
La fenêtre Gaussienne :

$$w(t, f) = \frac{1}{\sigma(f)\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2\sigma(f)^2}}$$

Coefficient de dispersion :

$$\sigma(f) = \frac{\alpha}{|f|}$$

La transformée en S peut souffrir d'une mauvaise concentration de l'énergie dans les hautes fréquences



Les méthodes temps-fréquence

Amélioration de la concentration de l'énergie de la Transformée en S

- La fenêtre d'analyse ne doit recouvrir que la durée exacte de chaque fréquence.
- La fenêtre doit, en plus de f , évoluer en fonction de la nature du signal.

Nouveau coefficient de dispersion :

$$\sigma(f) = \frac{mf^p + k}{|f||f|}$$

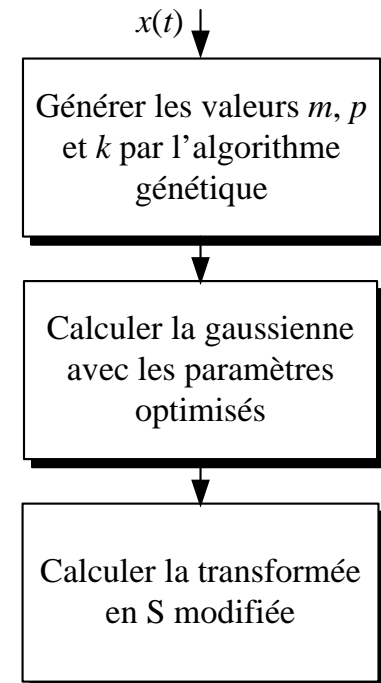
On obtient ainsi la fenêtre Gaussienne modifiée :

$$w(\tau - t, f, \gamma) = \frac{|f|}{(mf^p + k)\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-(t-\tau)^2 f^2}{2(mf^p + k)^2}}$$

La nouvelle fenêtre est plus flexible et a une meilleure résolution progressive

Optimisation des paramètres par l'Adaline

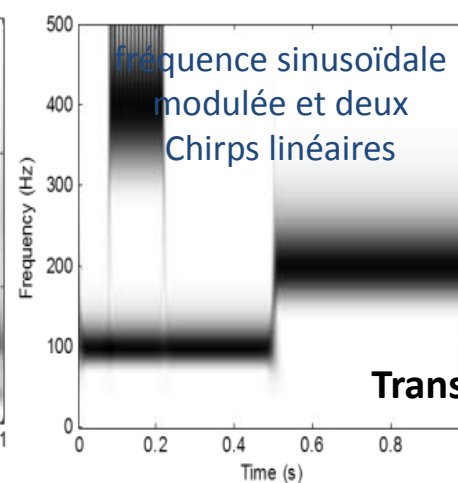
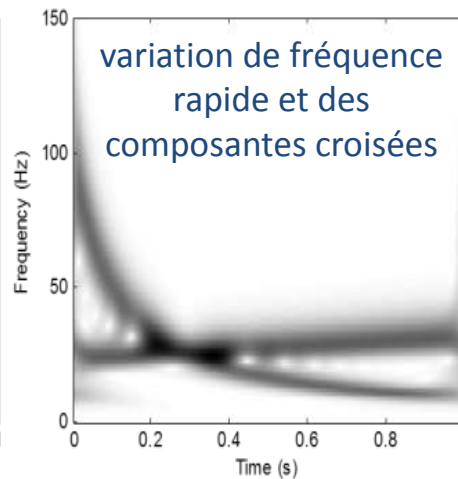
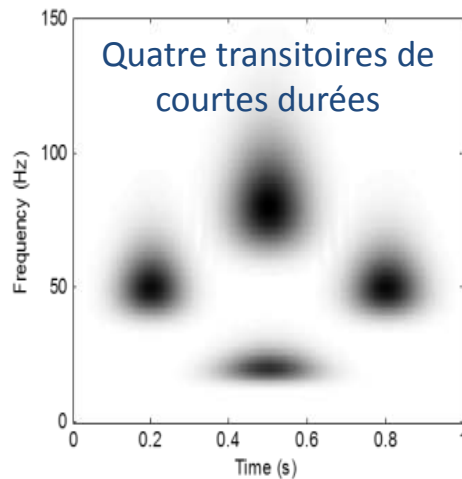
Optimisation des paramètres



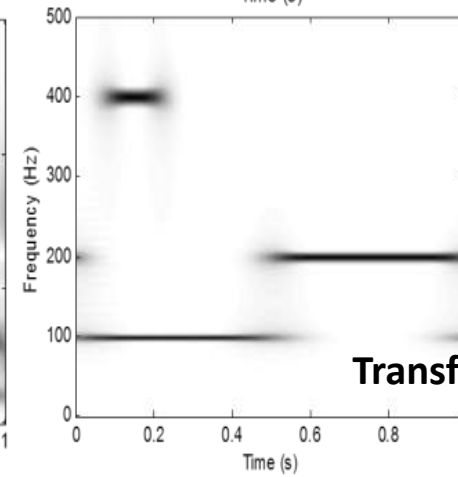
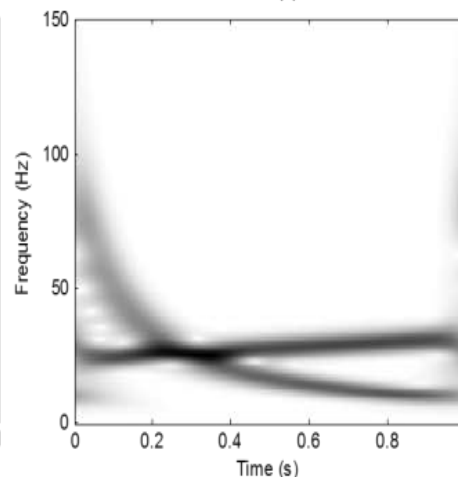
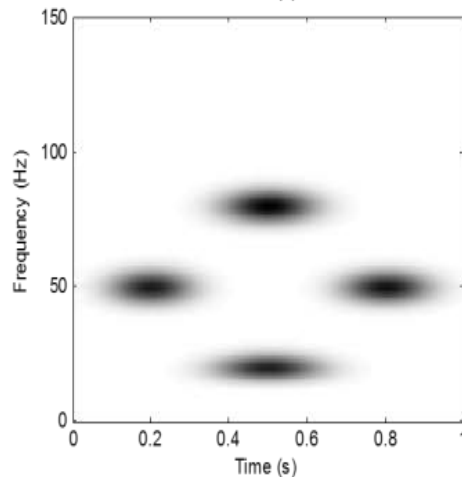
Les méthodes temps-fréquence

Amélioration de la concentration de l'énergie de la Transformée en S

Représentation temps-fréquence de trois signaux analytiques :

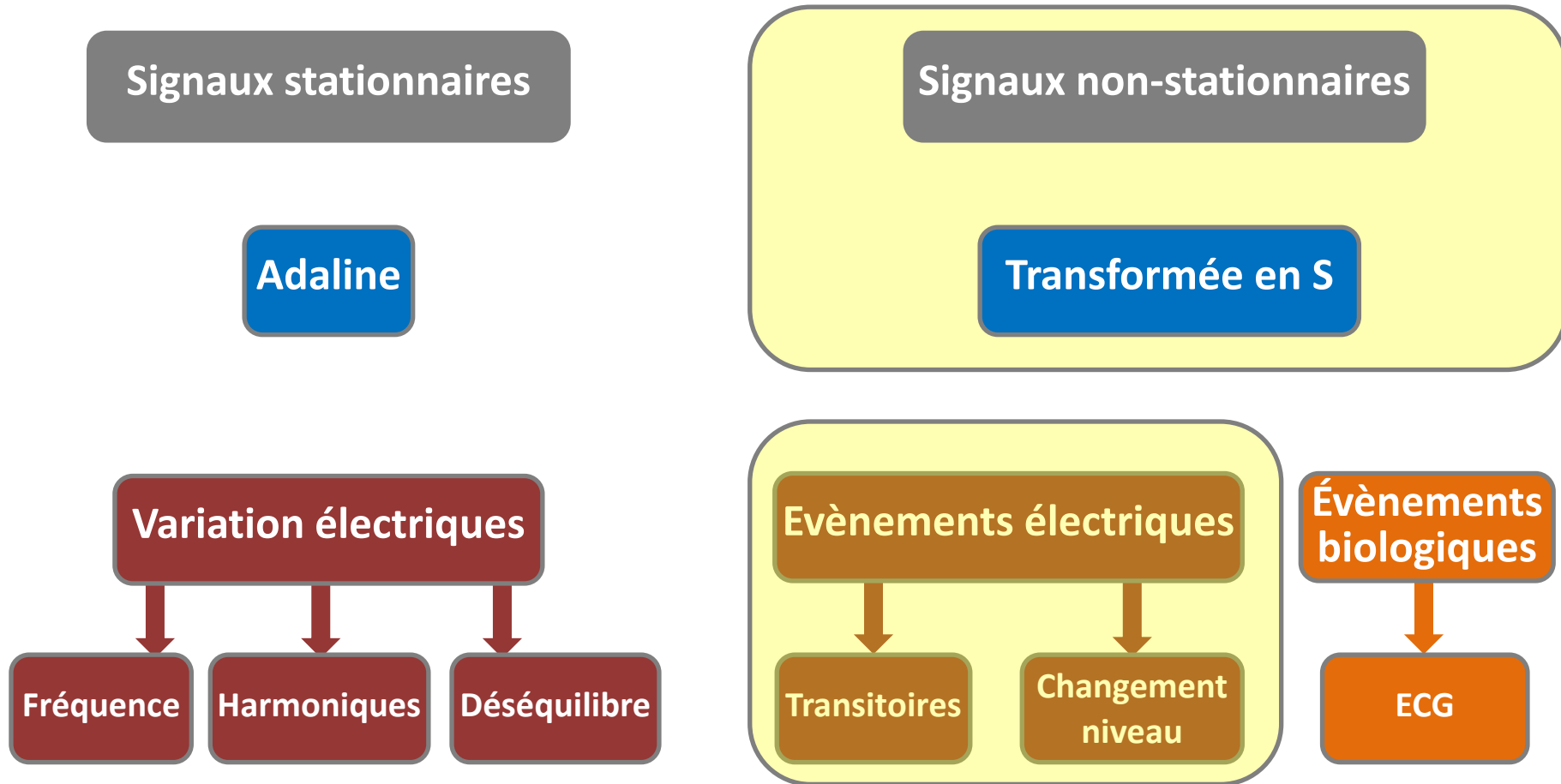


Transformée en S classique



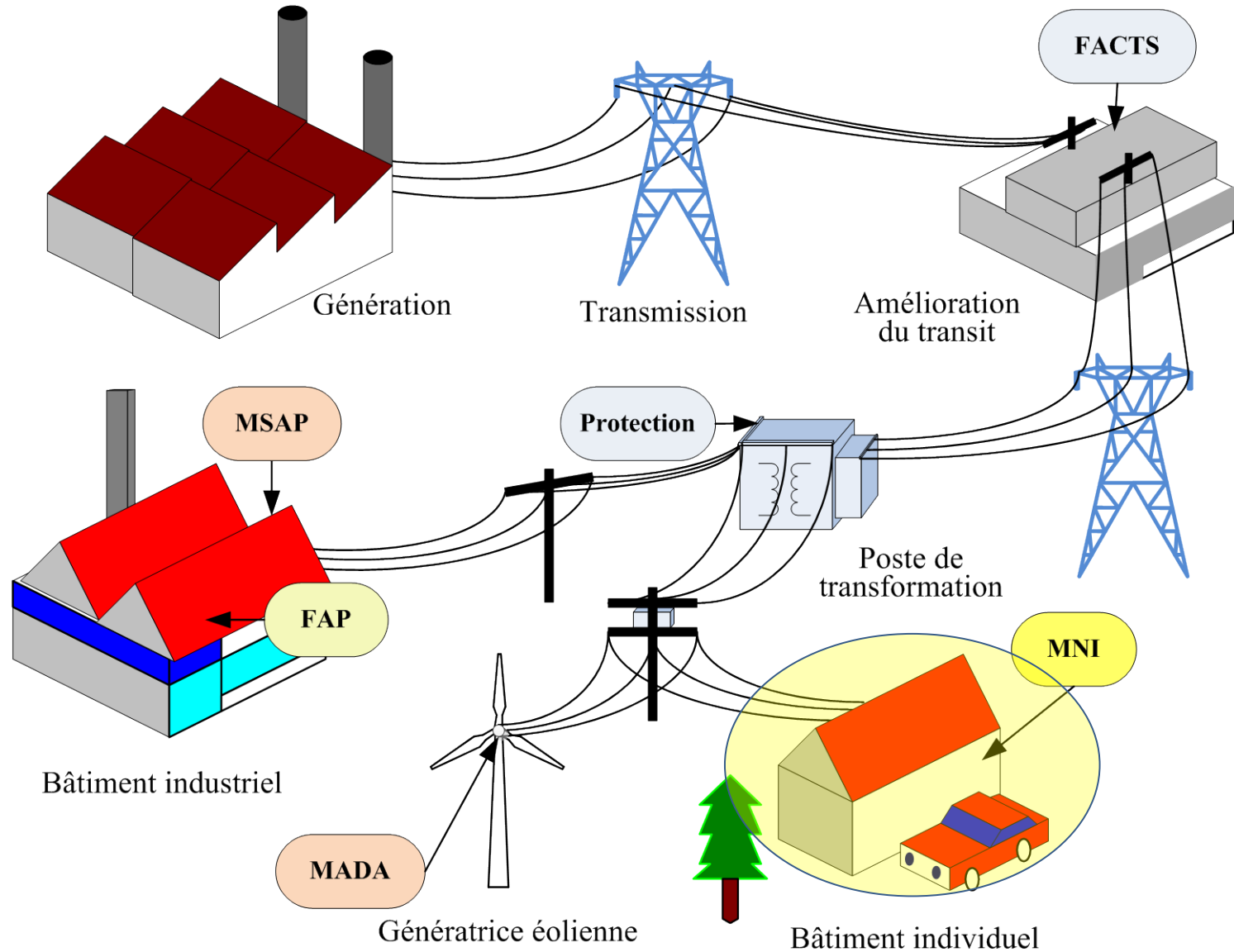
Transformée en S modifiée

Identification des caractéristiques contenues dans les signaux



Analyse des signaux stationnaires (Variations électriques)

Les variations pour l'identification et la commande des systèmes électriques

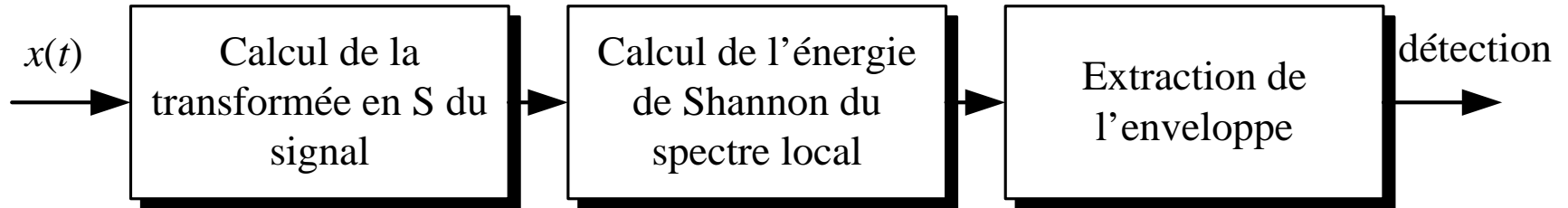


Détection des changements de niveaux (contours)

La Transformée en S combinée à l'énergie de Shannon

- La Transformée en S calcule le spectre local du signal.
- L'ESS (Énergie de Shannon de la transformée en S) extrait l'enveloppe du signal

La stratégie adoptée pour l'identification des changements d'amplitude et de fréquence :



Analyse des signaux non-stationnaires (événements électriques)

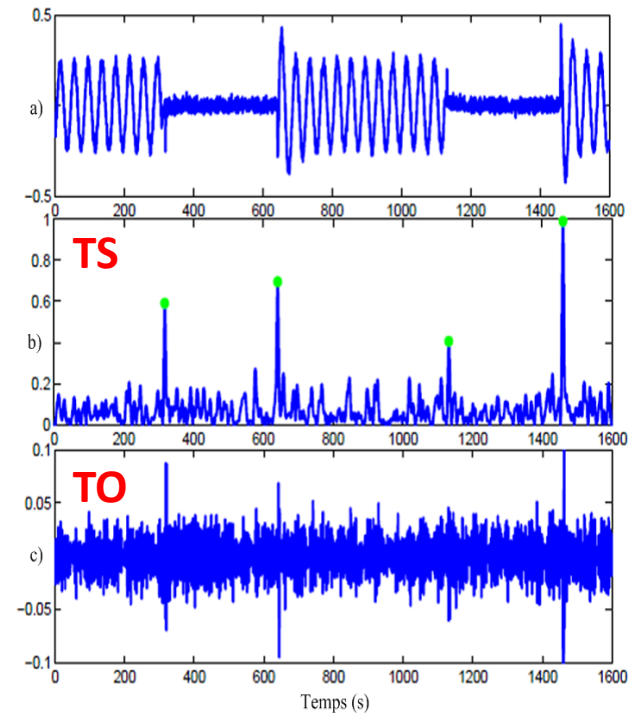
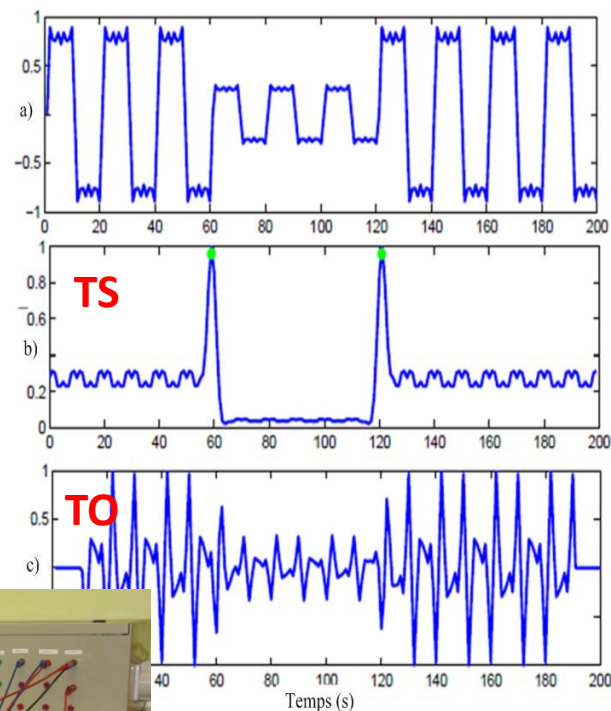
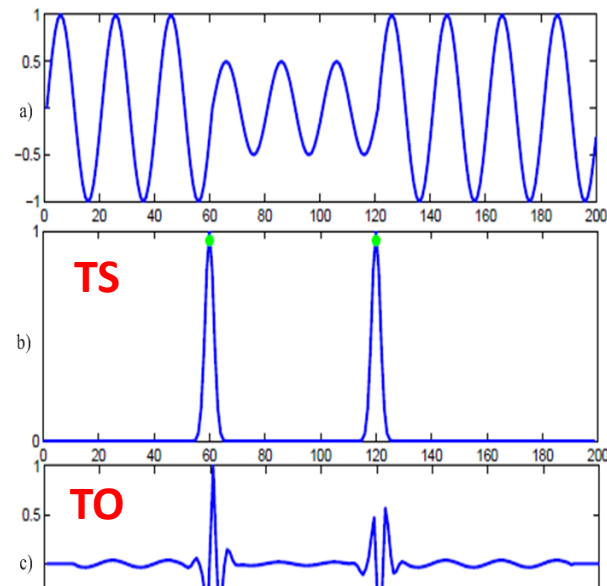
Détection des changements de niveaux

Comparaison de la transformée en S et de la TO

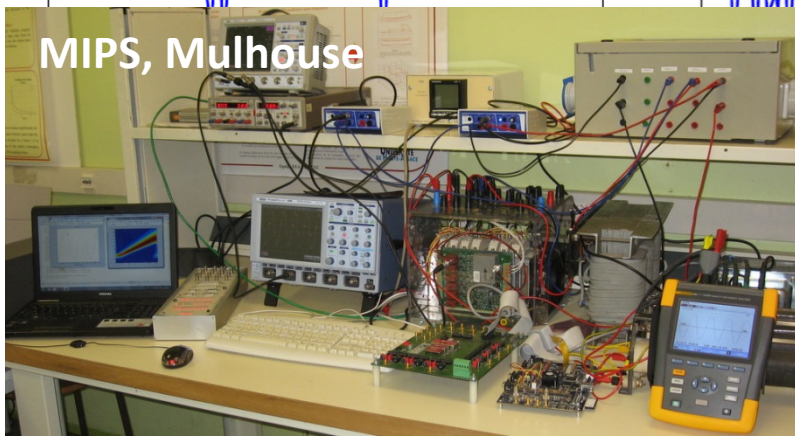
Tension sinusoïdal

Courant avec des harmoniques

Tension contenant du bruit



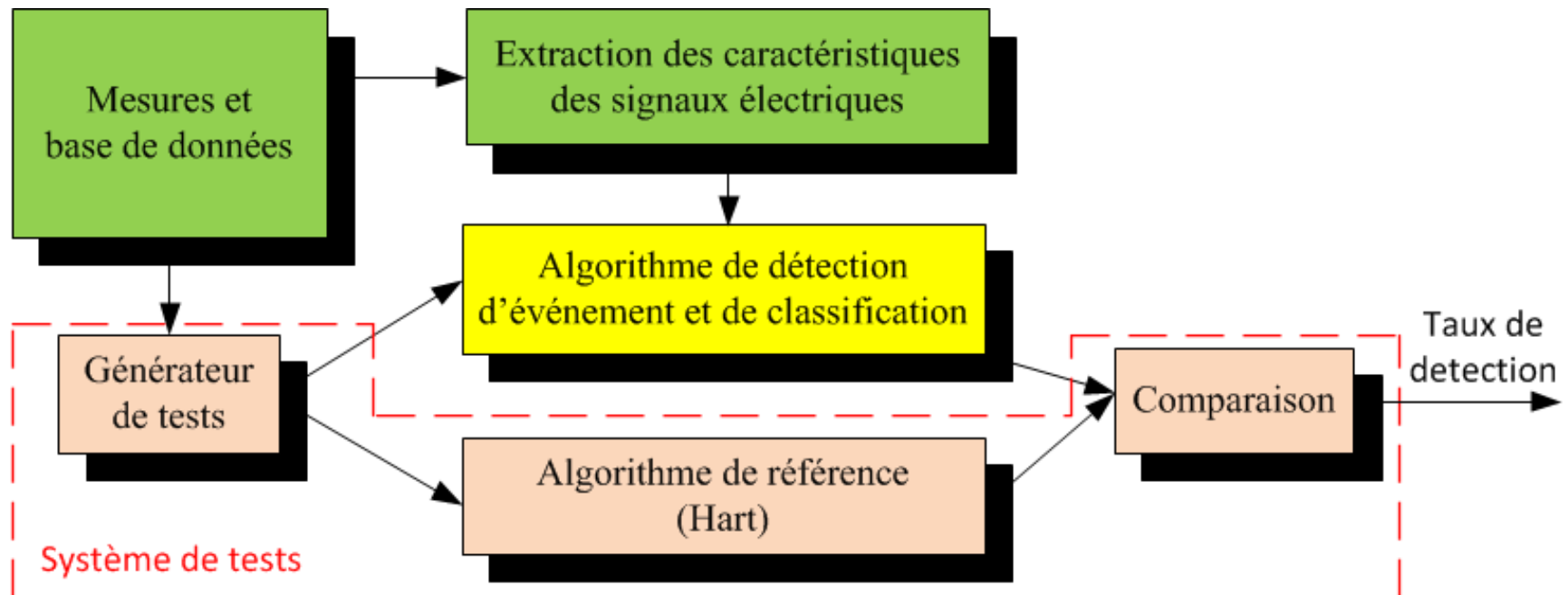
MIPS, Mulhouse



Identification non intrusive des appareils électriques

Procédure du système de détection et de classification des équipements

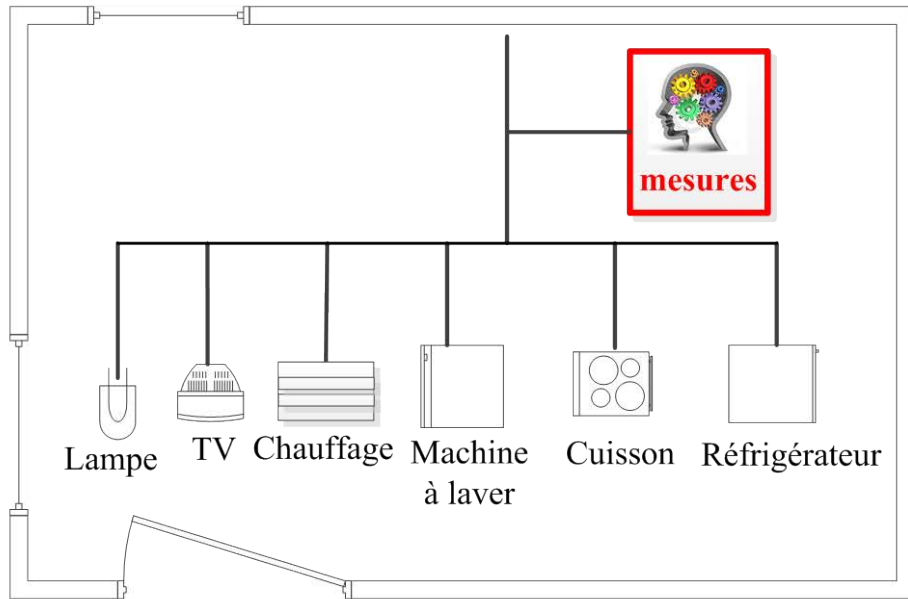
- Les algorithmes sont comparés en permanence avec l'approche de référence de Hart.



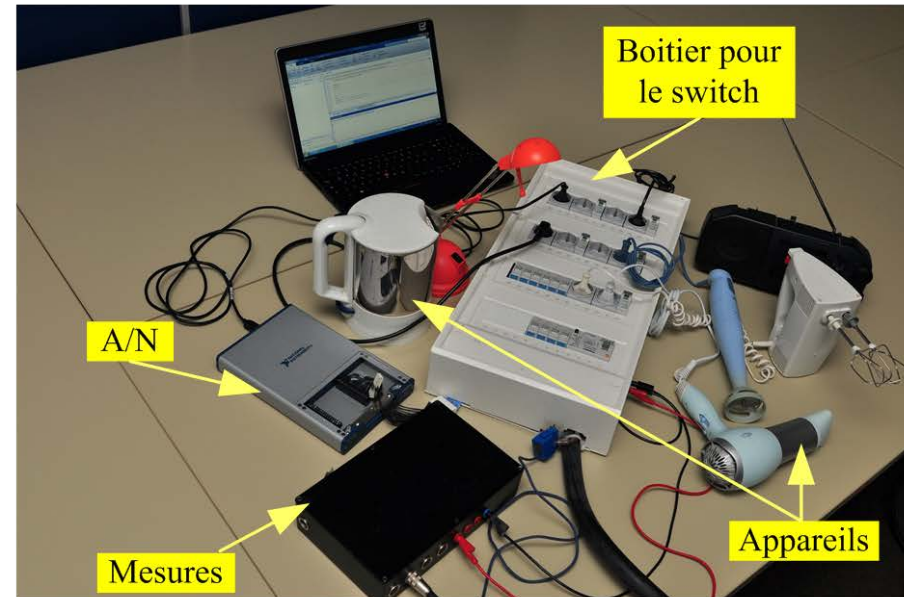
Analyse des signaux non-stationnaires (événements électriques)

Identification non intrusive des appareils électriques

Procédure du système de détection et de classification des équipements



Emplacement du système de mesures

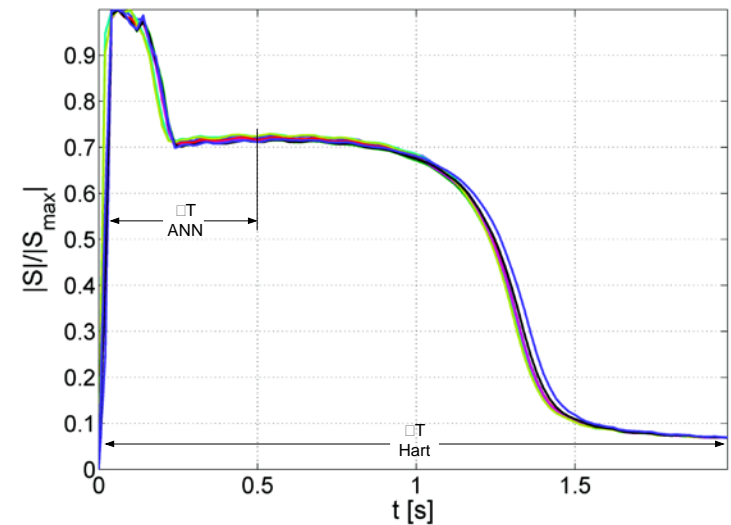
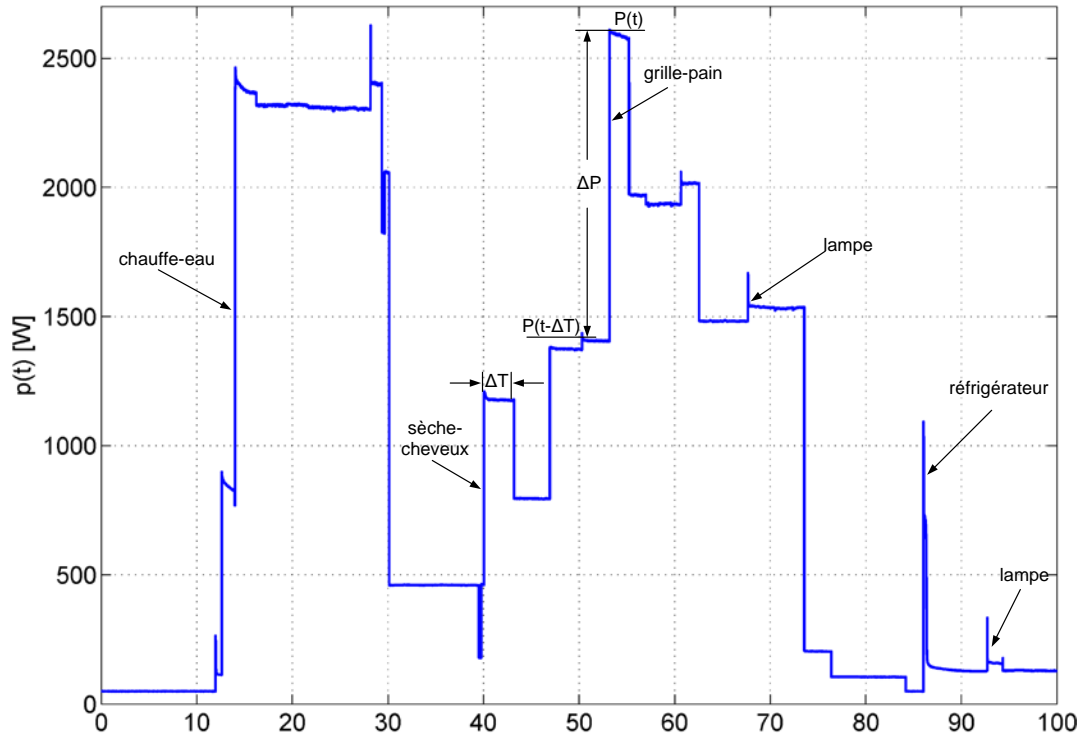


Éléments du système de mesure
Université de Furtwangen

Analyse des signaux non-stationnaires (évènements électriques)

Identification non intrusive des appareils électriques

Approche Delta pour la puissance instantanée



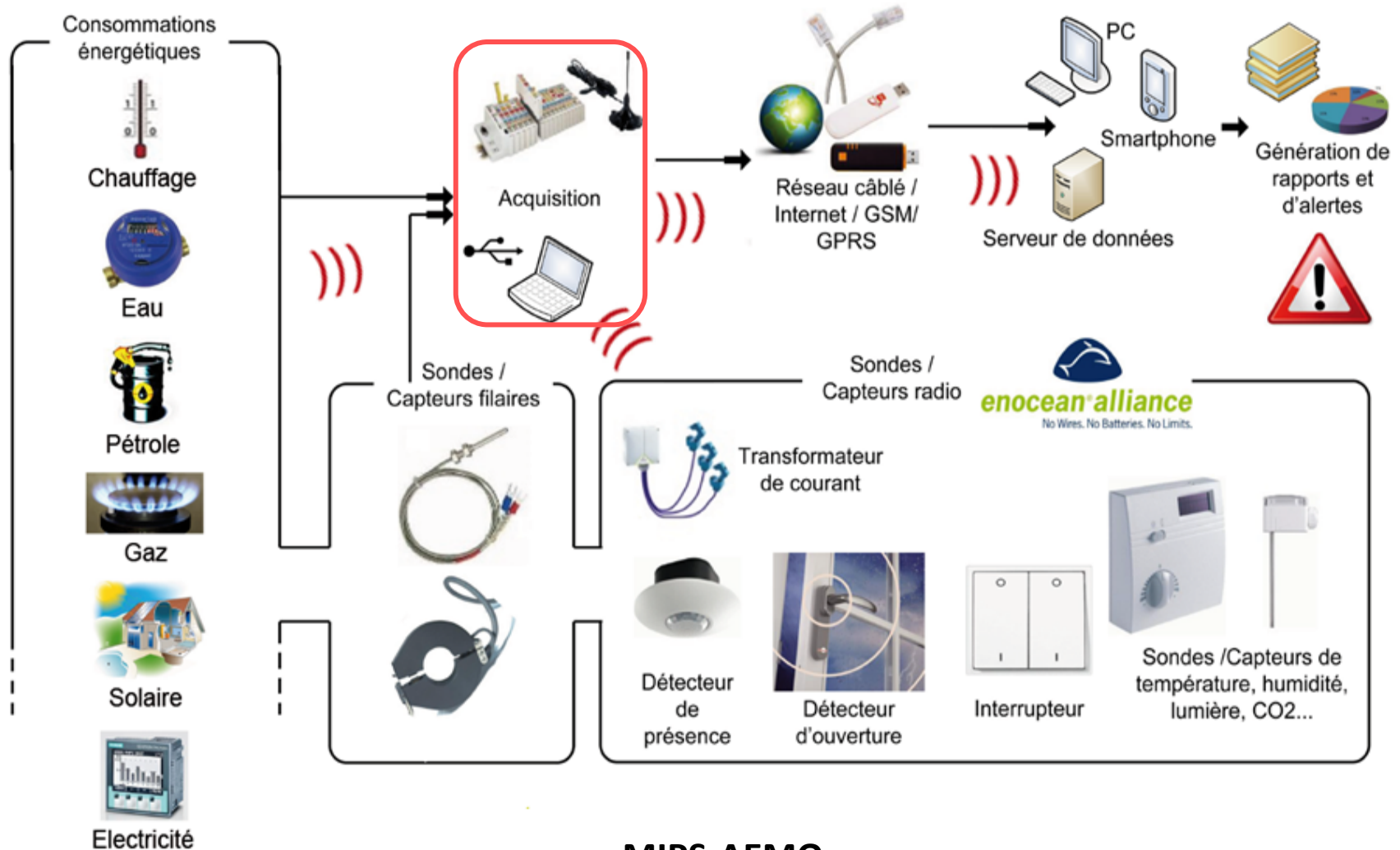
Évènement « mise en marche » du réfrigérateur. Comparaison Delta-RN et Hart

Cycles de mise en marche du réfrigérateur	Méthode de classification	
	Hart	réseau de neurones
1235	Vrais positifs	
	1080 (87,5%)	1162 (94,1%)
	Faux positifs	
	262	13

Analyse des signaux non-stationnaires (événements électriques)

Identification non intrusive des appareils électriques

Processus pour l'efficacité énergétique



Identification des caractéristiques contenues dans les signaux

Signaux stationnaires

Adaline

Variation électriques

Fréquence

Harmoniques

Déséquilibre

Signaux non-stationnaires

Transformée en S

Evènements électriques

Transitoires

**Changement
niveau**

**Évènements
biologiques**

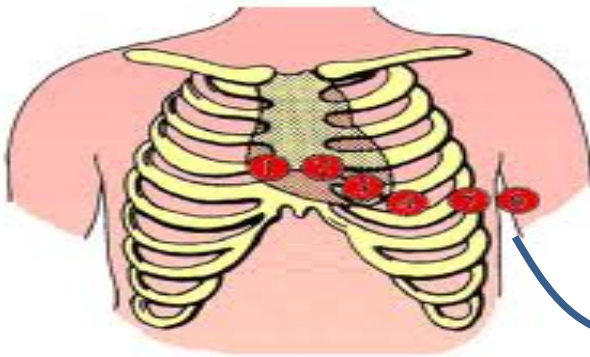
ECG

Analyse de l'ElectroCardioGramme (ECG)

Pourquoi les signaux ECG ?

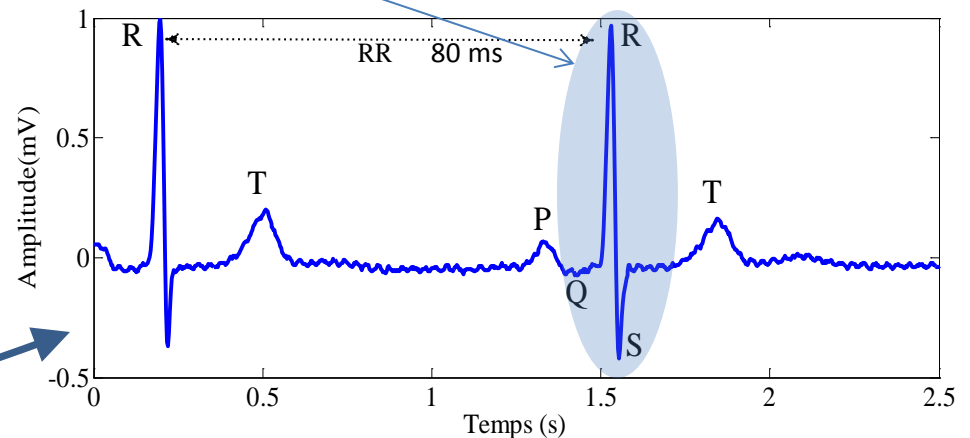
- Rapprochement de thématique au sein du MIPS.
- La détection du battement cardiaque est comparable à la détection de ruptures dans les signaux électriques.

L'activité électrique du cœur (ECG) est enregistrée par des électrodes placées à des endroits bien définis selon un système de dérivations.



Dérivations précordiales

L'ECG est une suite d'ondes répétitives : P, QRS et T. Le complexe QRS est couramment appelé: Battement cardiaque



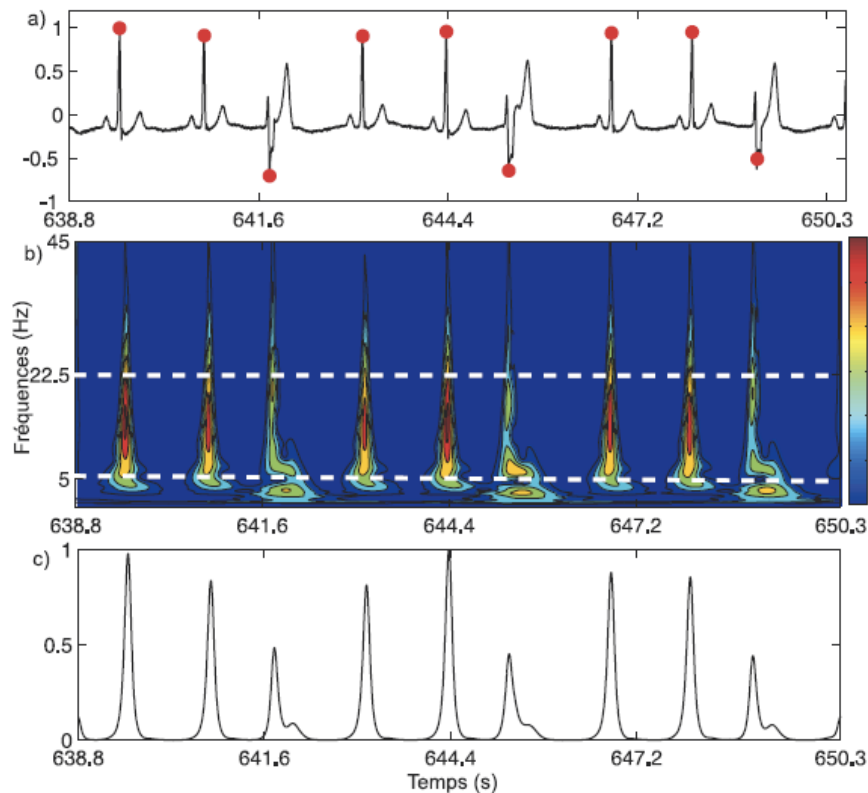
Allure d'un ECG normal

Analyse de l'ElectroCardioGramme (ECG)

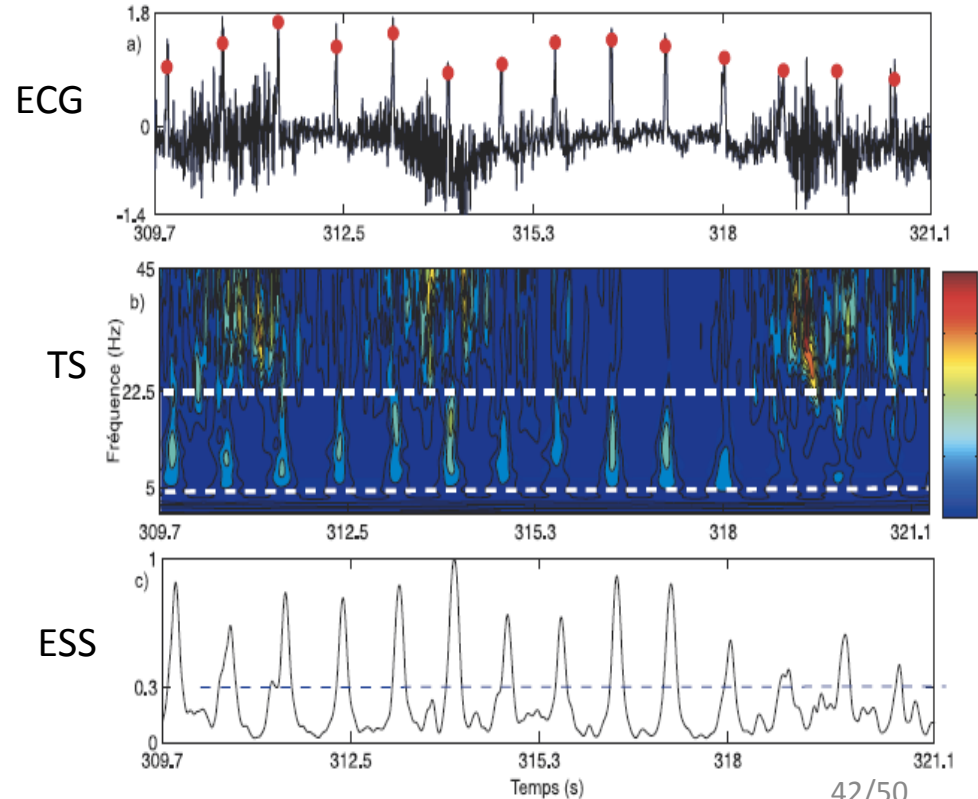
Détection des complexes QRS par la transformée en S

Validation sur la base de données d'arythmie « MIT-BIH »

- ECG d'un patient, contenant l'arythmie extrasystolique et de grandes ondes T.
- Les ondes P et T appartiennent à la bande de fréquence $[0 - 5]$ Hz (isoler QRS).



- ECG d'un patient, caractérisé par la présence de sévères bruits musculaires (difficile à détecter)
- Les artefacts musculaires sont décalés vers les hautes fréquences

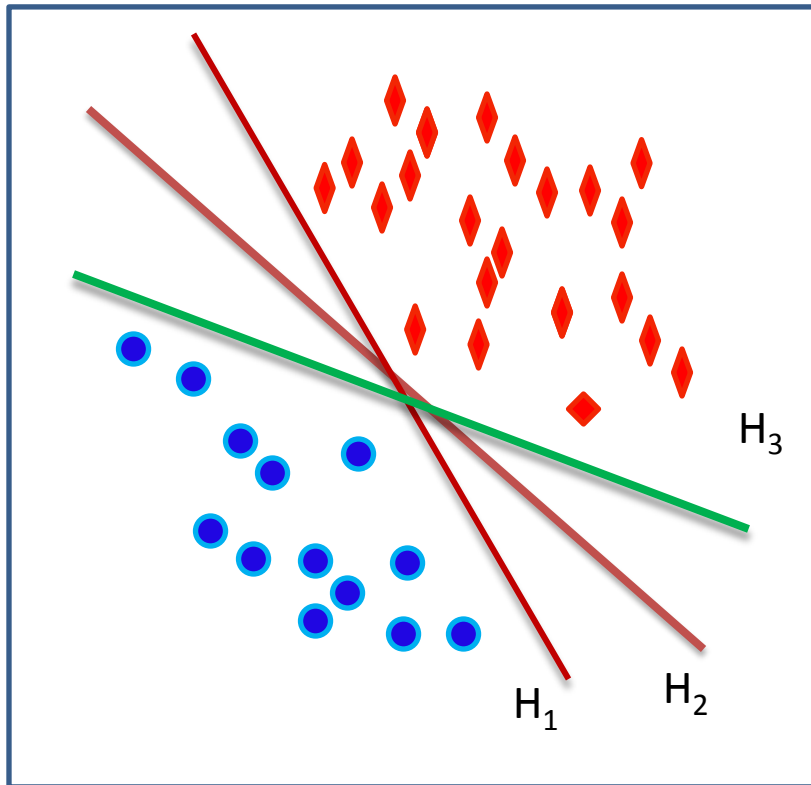


Analyse de l'ElectroCardioGramme (ECG)

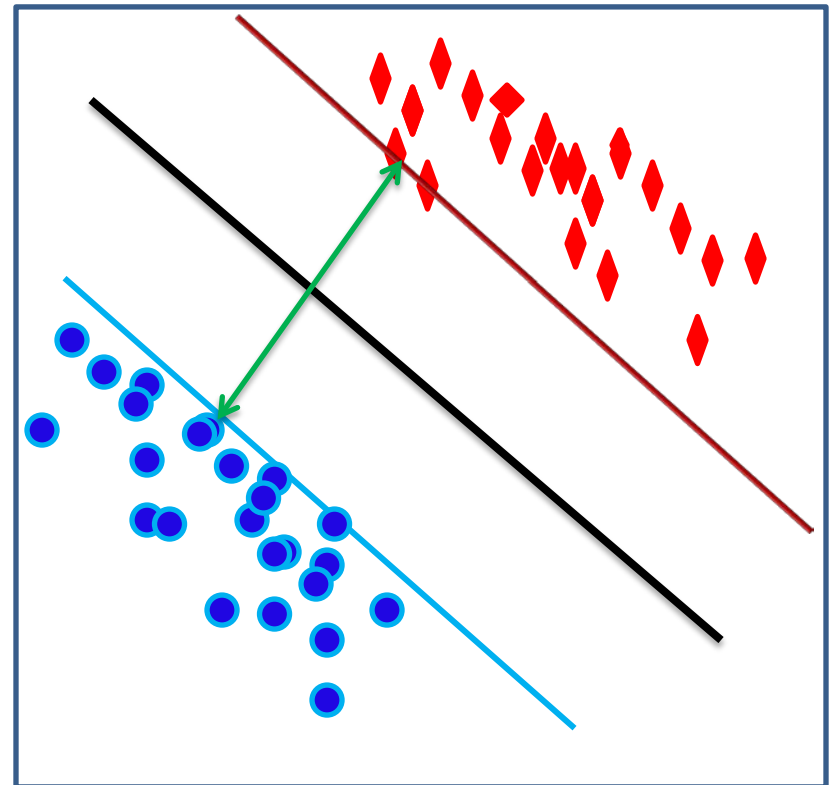
SVM pour la classificaion

illustration des objectifs du SVM :

Rechercher le **meilleur hyperplan**
Car il en existe une infinité.



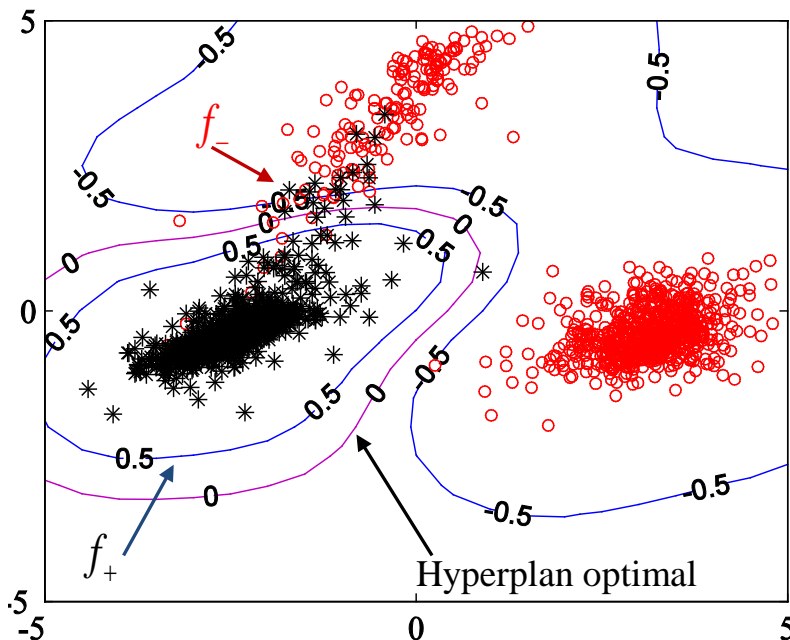
L'hyperplan optimal est celui pour lequel La marge serait maximale.



Analyse de l'ElectroCardioGramme (ECG)

SVM optimisé pour la classification

- Résout le problème des données non-linéairement séparables.
- Projette les données dans un espace augmenté.
- Classifie avec une option de rejet :
 - S'abstient de classer des exemples ambigus (ceux dont la probabilité d'appartenance à une classe est autour de 0.5).
 - Tient compte des coûts de la classification.

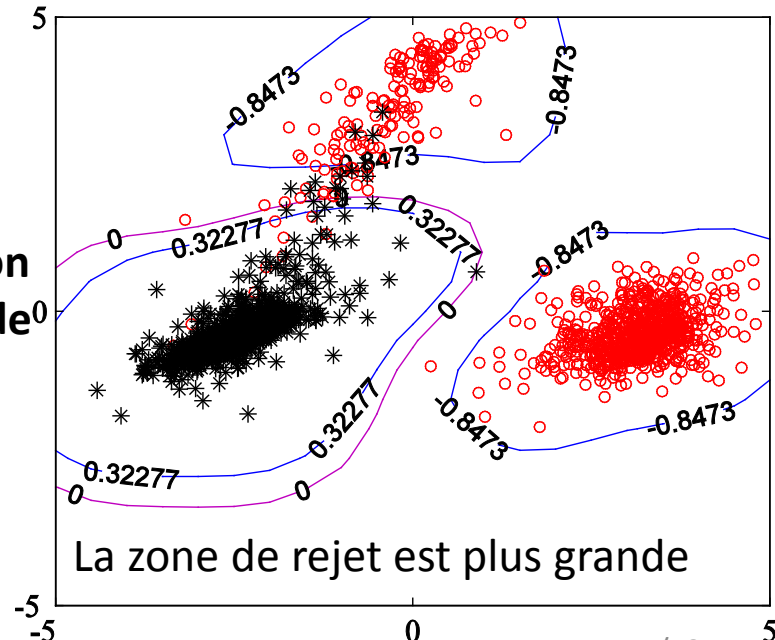


Classification sans coût

En pratique

$$f_- > f_+$$

Algorithme
d'optimisation
avec option de
rejet



Classification avec coût

Conclusion

- La mesures et l'analyse dans les Smart Grids restent un domaine vaste et très ouvert.
- Le déploiement des smart grids pour les systèmes d'électricité a augmenté la recherche interdisciplinaire.
- Les techniques de contrôle-commande modernes ont un rôle très important à jouer.
- La démarche doit être pragmatique et adaptée aux évolutions techniques et économiques.
- Capteurs intelligents
- Autoconsommation

Merci pour votre attention

