

Variations de diamètres des arbres, un outil innovant pour caractériser la phénologie???

-

Un cas d'étude d'arbres en ville...

J. NGAO



T. AMEGLIO



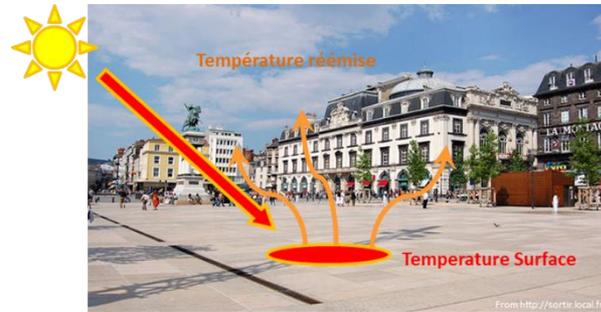
M. SAUDREAU



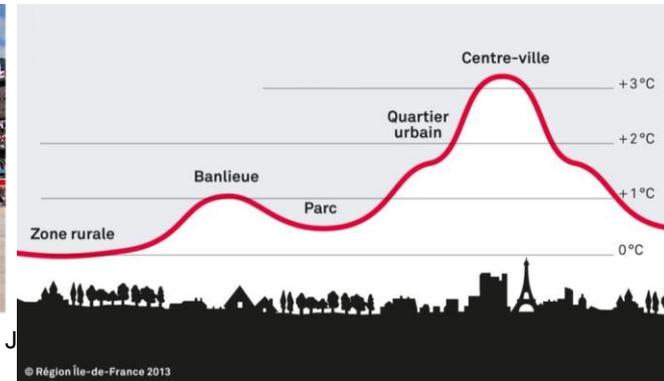
<https://www6.ara.inra.fr/piaf/Presentation/Equipes/MEA>

jerome.ngao@inra.fr

- ✓ Ilot de Chaleur Urbain (ICU) : Le bâti stocke l'énergie la journée et la restitue la nuit

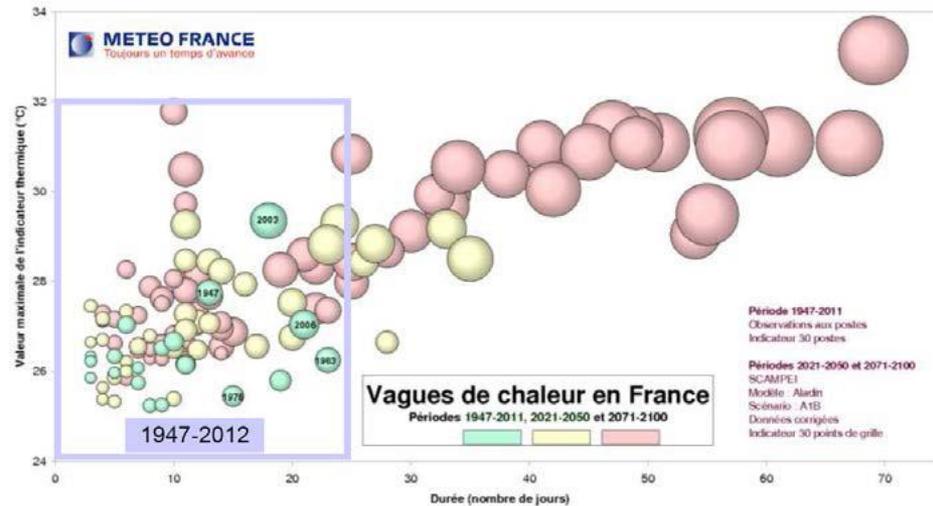


Clermont-Fd, Place de jaude – Photo Ngao J

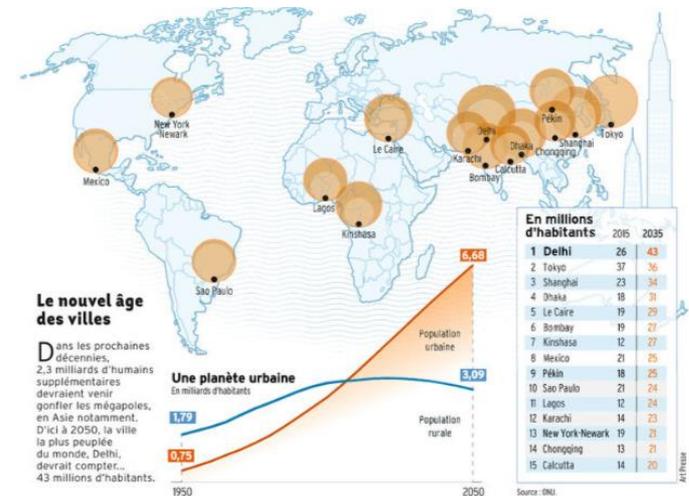


© Région Île-de-France 2013

- ✓ **Changement climatique:** Vagues de chaleur plus fréquentes



- ✓ En 2050, les 2/3 de la population mondiale vivra en ville

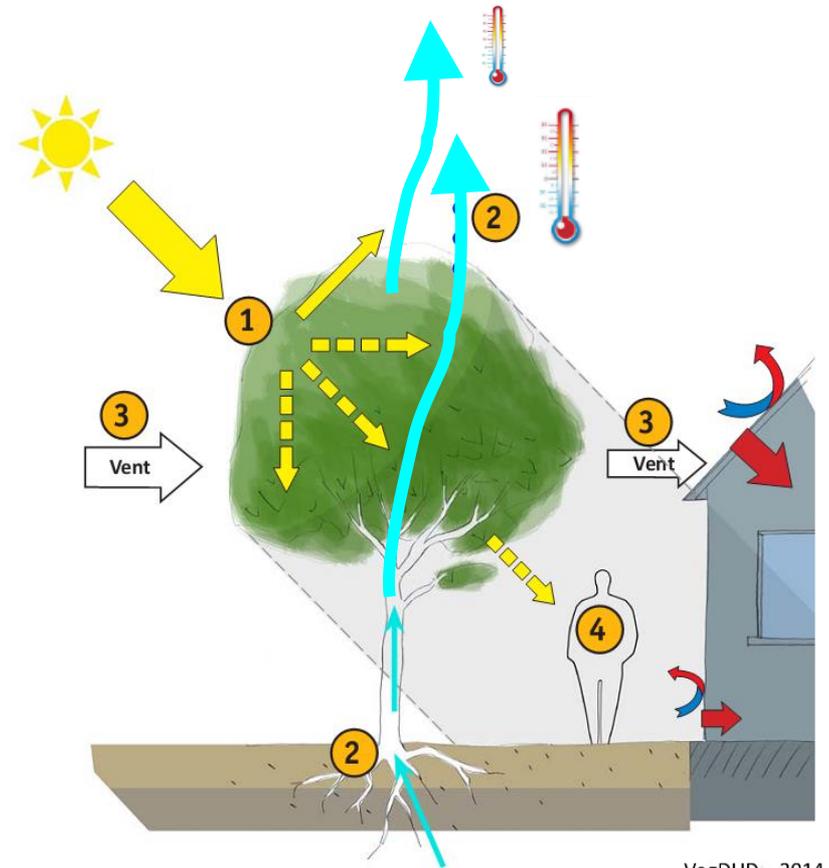


➔ Impacts sur la santé et activités humaines...

- Un enjeu majeur : Atténuer les Ilots de Chaleur Urbains
- Les arbres le font déjà!...

- **OMBRAGE**
- **RAFRAICHISSEMENT**

... Parmi d'autres services écosystémiques potentiels...

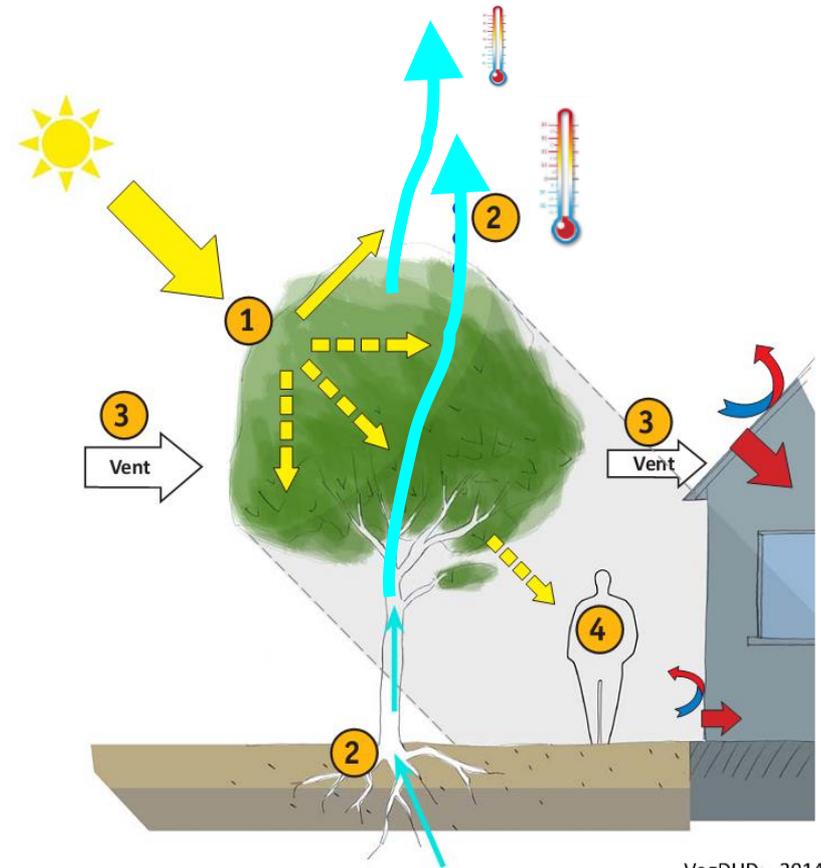


VegDUD – 2014

- Un enjeu majeur : Atténuer les Ilots de Chaleur Urbains
- Les arbres le font déjà!...

- **OMBRAGE**
- **RAFRAICHISSEMENT**

... Parmi d'autres services écosystémiques potentiels...



VegDUD – 2014

➤ Services attendus dépendant du (bon!!!) **fonctionnement de l'arbre**:

- Développement de la **Surface Foliaire**
- Croissance de la **Structure Ligneuse**

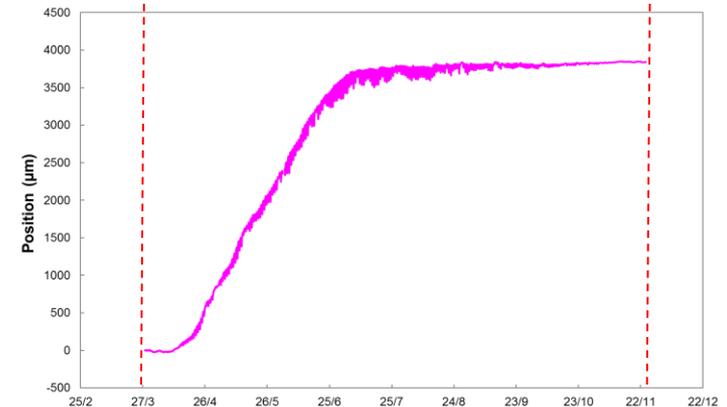
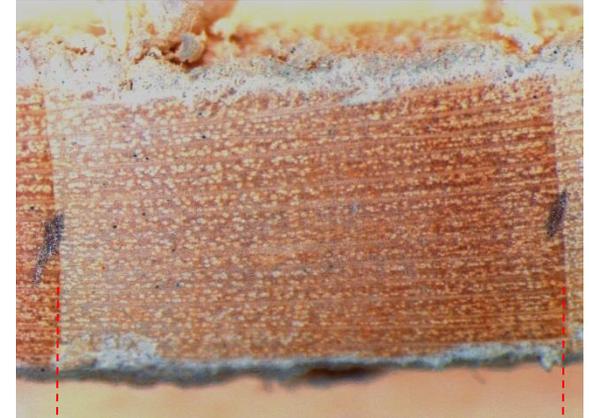
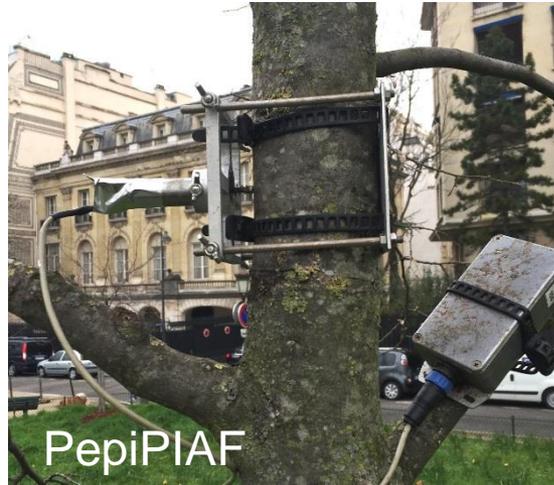
• Services Quantitatifs : dépendance à la temporalité des processus

➔ **Phénologie???**

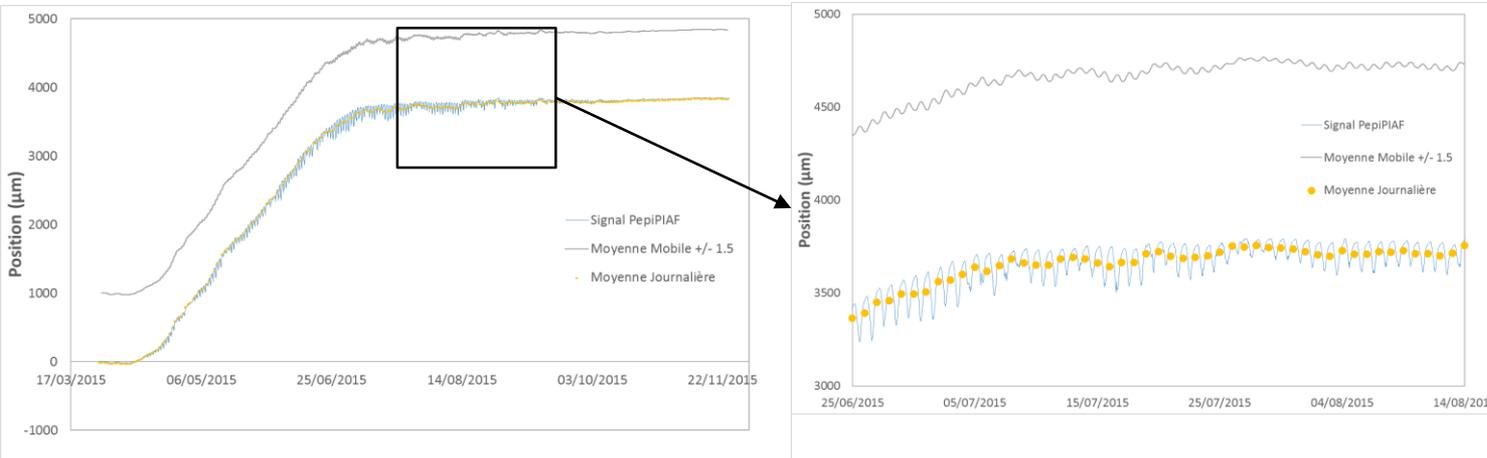
➤ Des Outils pour Gérer la Santé des Arbres en ville

- Variations de Diamètres

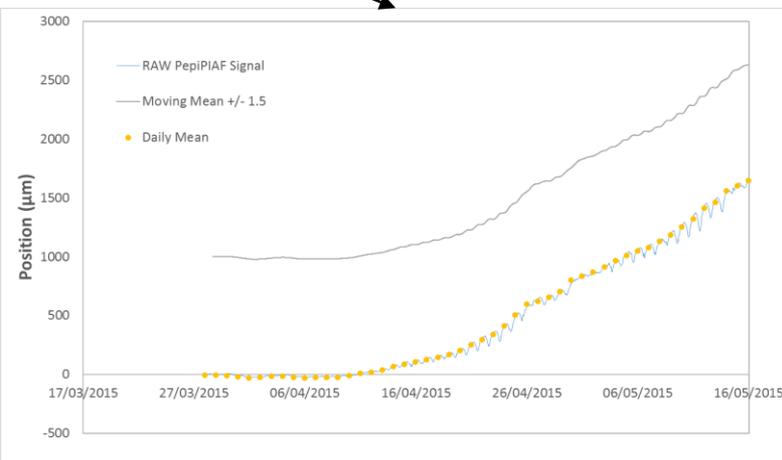
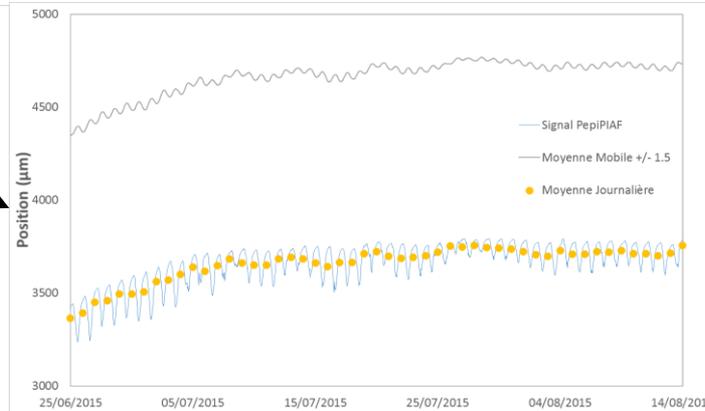
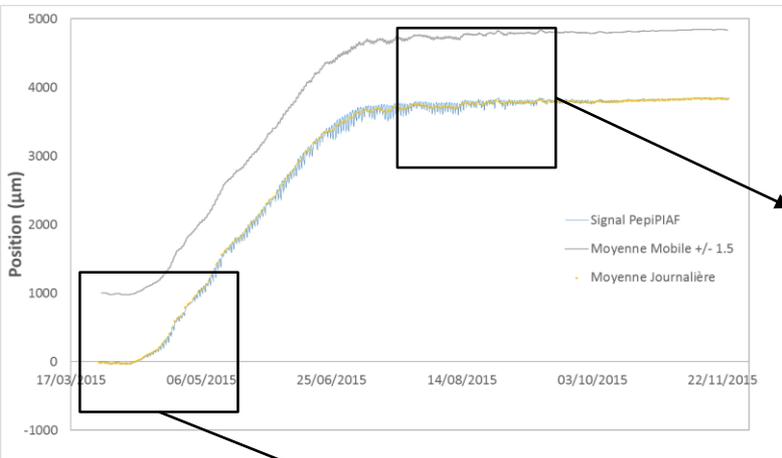
- ✓ Un intégrateur de processus:
 - ✓ **Croissance radiale**



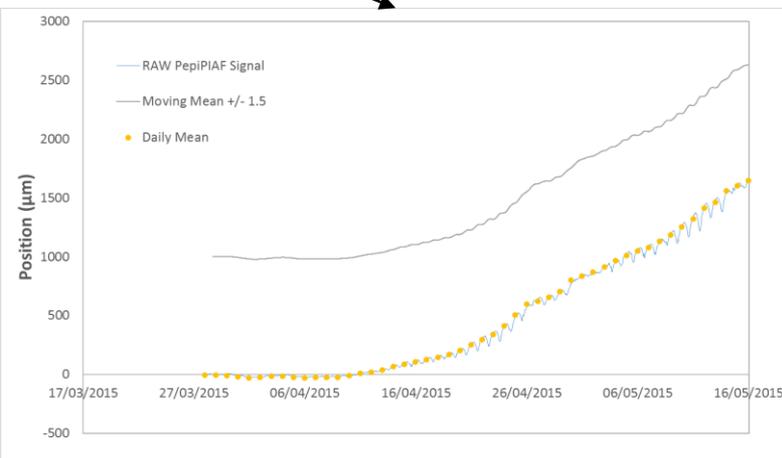
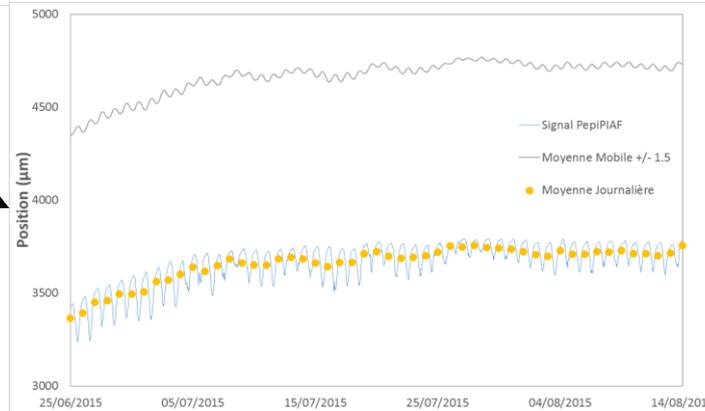
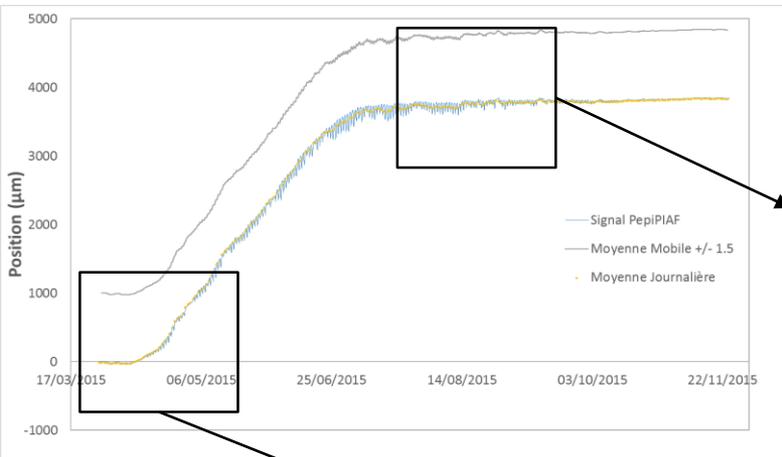
- Données temporelles (climatiques, physiologiques) sont souvent des données variant dans le temps



- Données temporelles (climatiques, physiologiques) sont souvent des données variant dans le temps



- Données temporelles (climatiques, physiologiques) sont souvent des données variant dans le temps

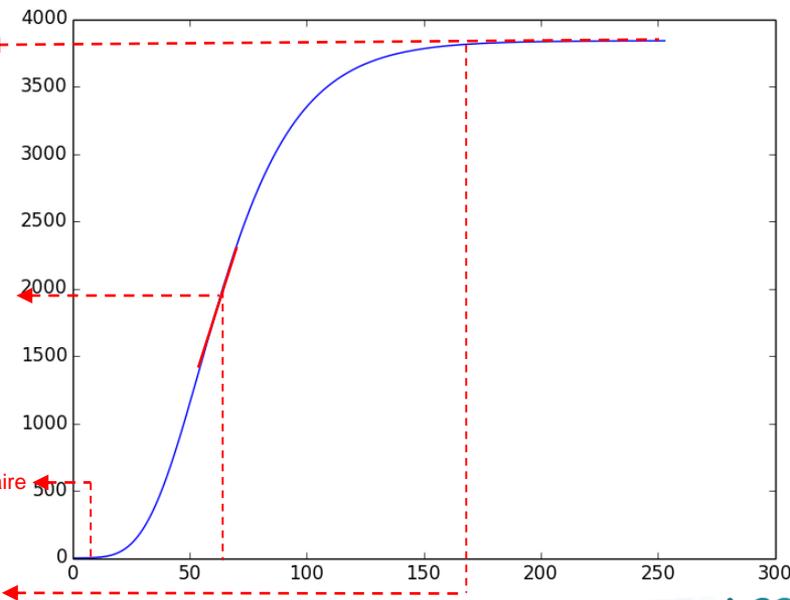


Croissance I^{aire} totale

Taux de croissance maximale (valeur + date)

Début de croissance I^{aire}

Fin de croissance I^{aire}

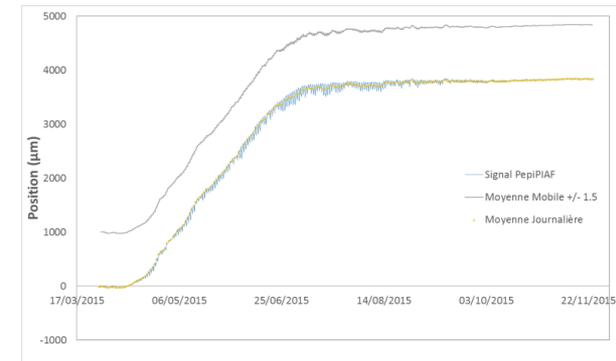
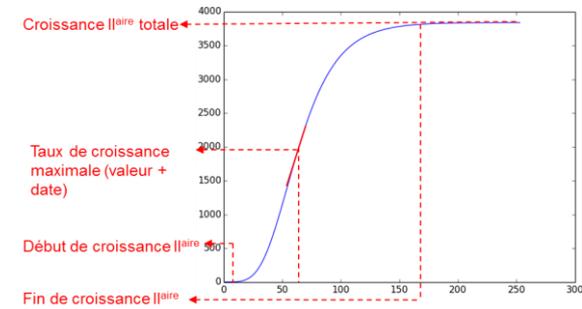


✓ Potentiellement beaucoup d'informations extractibles

- Quel niveau de confiance?
- Possibilité de traitements automatisés?

→ Comment traiter les variations temporelles?
(amplitudes, pas de temps caractéristique)

- ✓ Variation à long-terme : Moyenne
- ✓ Variation à court-terme: Fluctuation



✓ Potentiellement beaucoup d'informations extractibles

- Quel niveau de confiance?
- Possibilité de traitements automatisés?

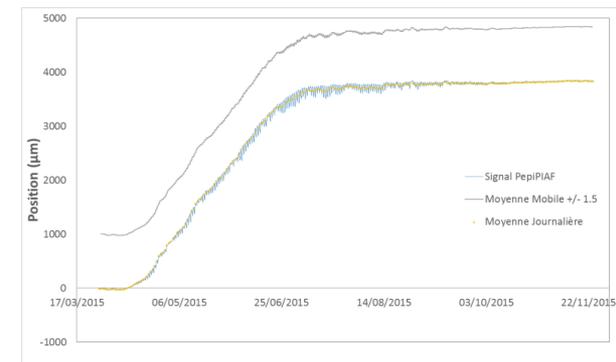
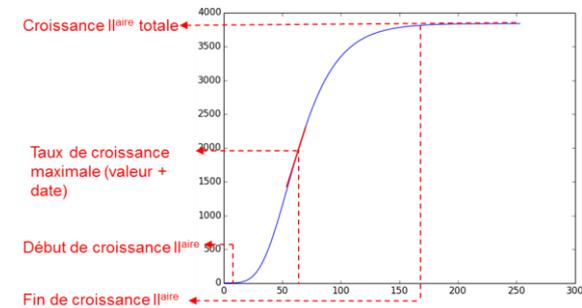
➔ Comment traiter les variations temporelles?
(amplitudes, pas de temps caractéristique)

- ✓ Variation à long-terme : Moyenne
- ✓ Variation à court-terme: Fluctuation

✓ Besoin de caractériser ces signaux:

1. Distinguer Moyenne Vs Fluctuations
2. Extraire des patrons, comme des événements périodiques

➔ Améliorer l'analyse et l'extraction des informations temporelles
➔ Décomposition du signal



L'analyse de Fourier - Bases

- Initialement développée pour analyser des fonctions périodiques, la théorie a été généralisée à des fonctions intégrables: « Toute fonction intégrable peut être décomposée en une somme de fonctions sinusoïdales » :

$$f(x) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left(a_n \cos \frac{n\pi x}{L} + b_n \sin \frac{n\pi x}{L} \right)$$

Rq: Propriété est souvent formulée à l'aide des nombres complexes:

$$f(x) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left(c_n \exp\left(i \frac{n\pi x}{L}\right) \right)$$

$$\exp\left(i \frac{n\pi x}{L}\right) = \cos\left(\frac{n\pi x}{L}\right) + i \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right) \text{ où } i^2 = -1$$



L'analyse de Fourier = trouver les coefficients a_i et b_i (ou c_i)

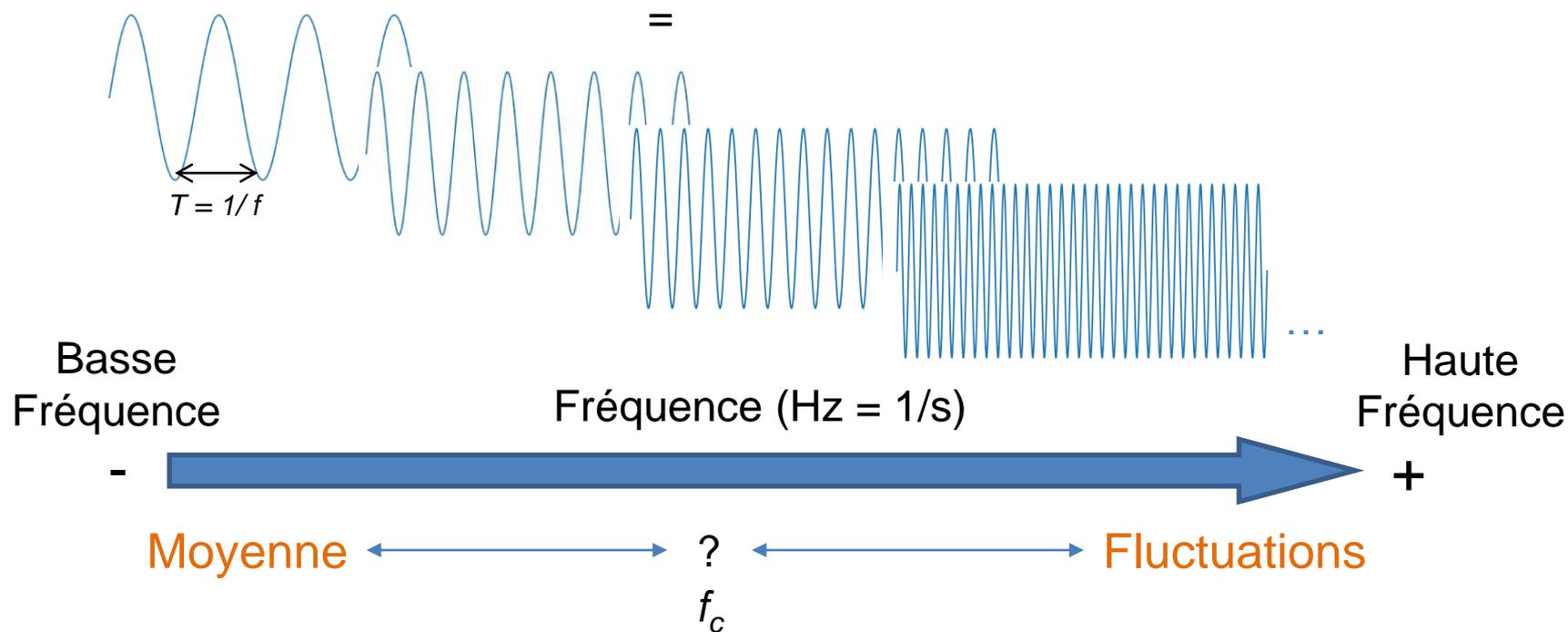
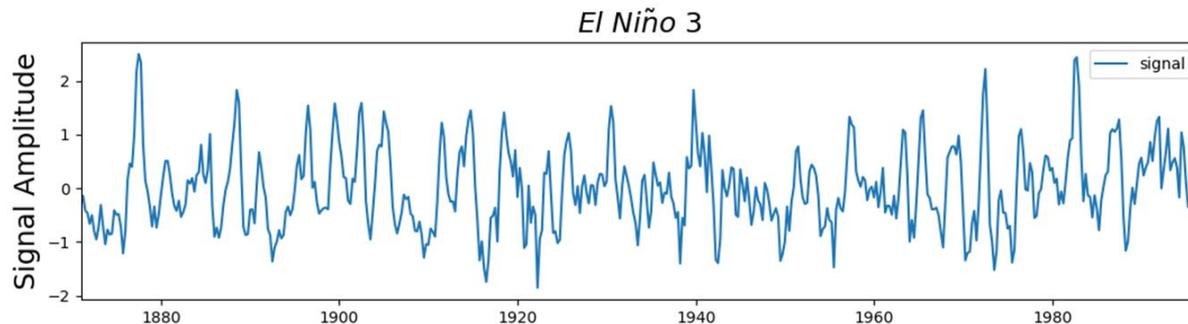


Joseph Fourier
1768 - 1830

L'analyse de Fourier - Bases

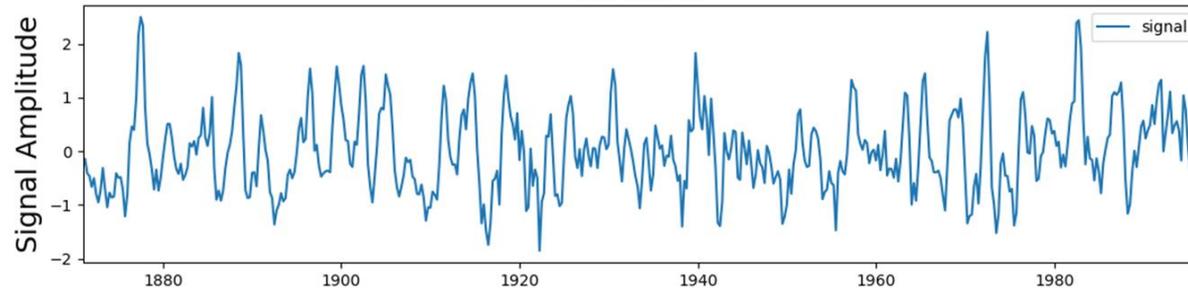


Joseph Fourier
1768 - 1830



L'analyse de Fourier – En pratique : Transformée

El Niño 3

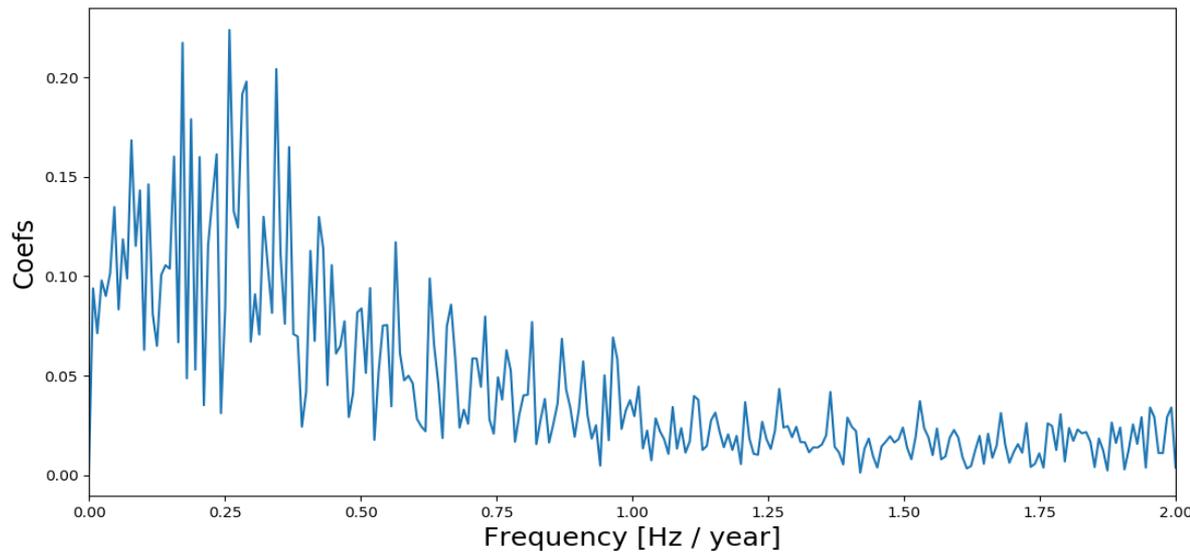


Domaine
Temporel



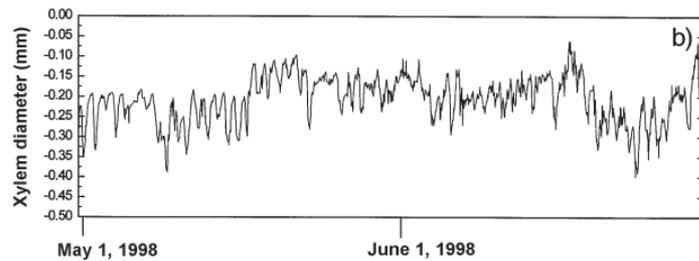
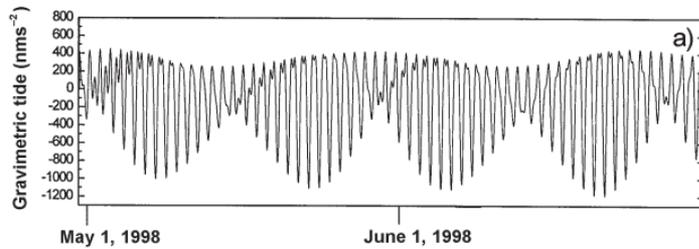
Domaine
Fréquentiel
(Espace de Fourier)

Transformée de Fourier



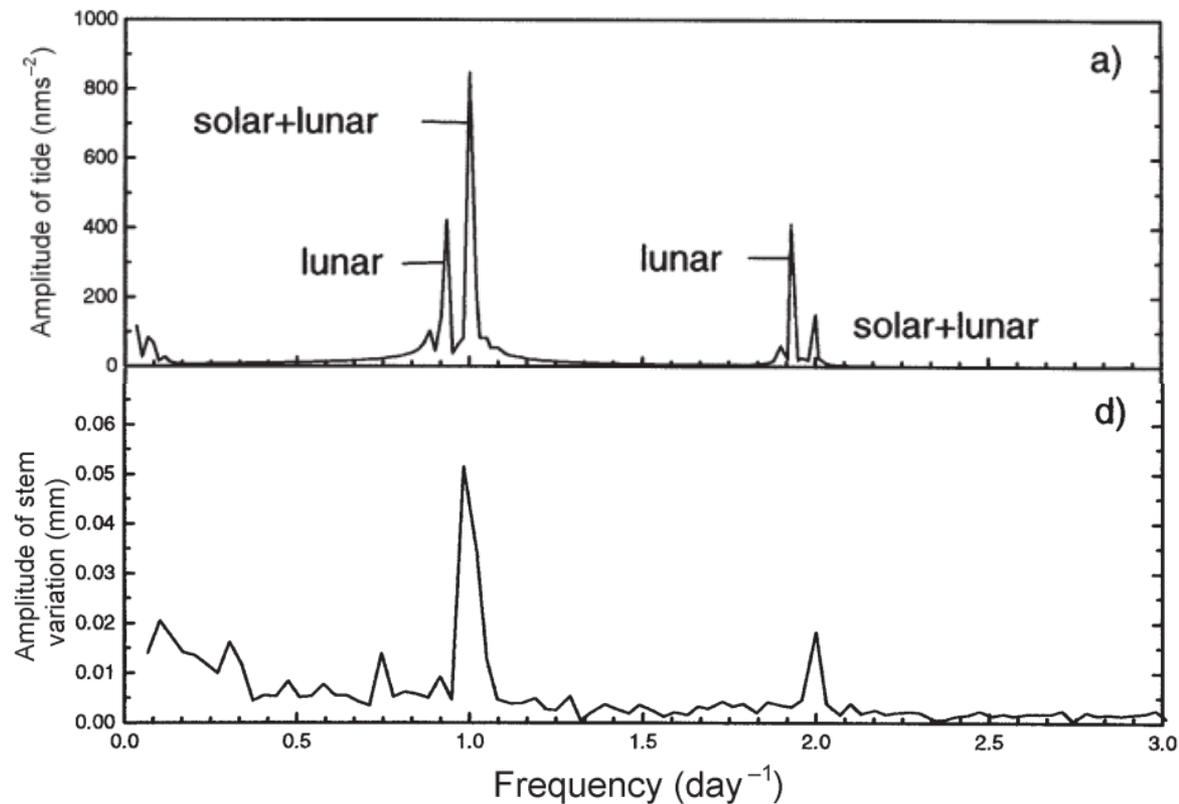
$$f(x) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left(a_n \cos \frac{n\pi x}{L} + b_n \sin \frac{n\pi x}{L} \right)$$

L'analyse de Fourier – En pratique : Transformée



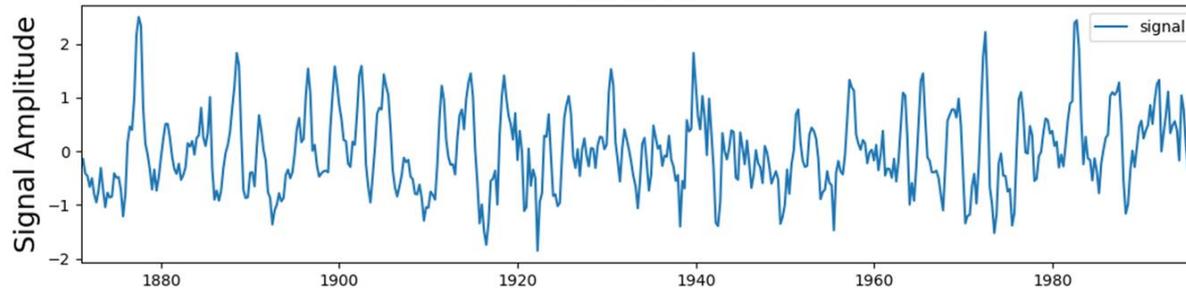
FFT

Vesala et al, 2000



L'analyse de Fourier – En pratique : Filtre

El Niño 3

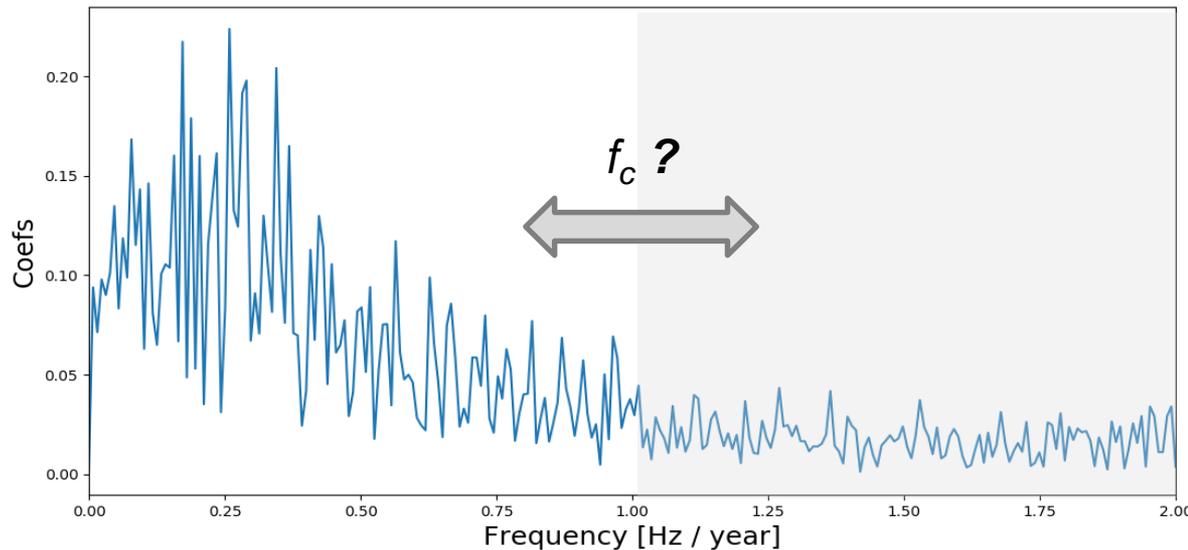


Domaine
Temporel



Domaine
Fréquentiel
(Espace de Fourier)

Transformée de Fourier

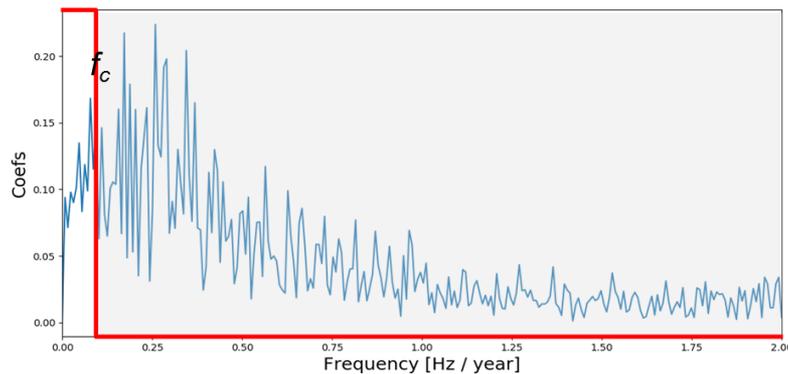
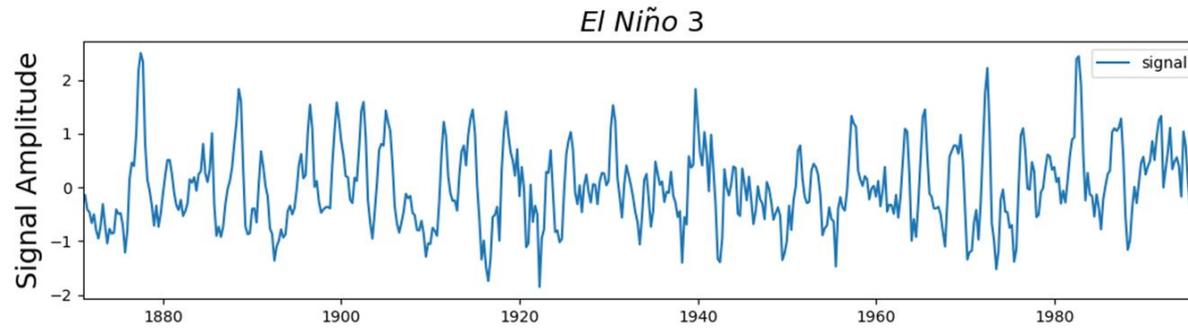


Moyenne

Fluctuations

Choix de la fréquence de coupure f_c ?

L'analyse de Fourier – En pratique : Filtre



Moyenne

Fluctuations

Exemple de filtre où les périodes supérieures à 10 ans sont conservées c.a.d les fréquences inférieures à 0.1 an^{-1} :

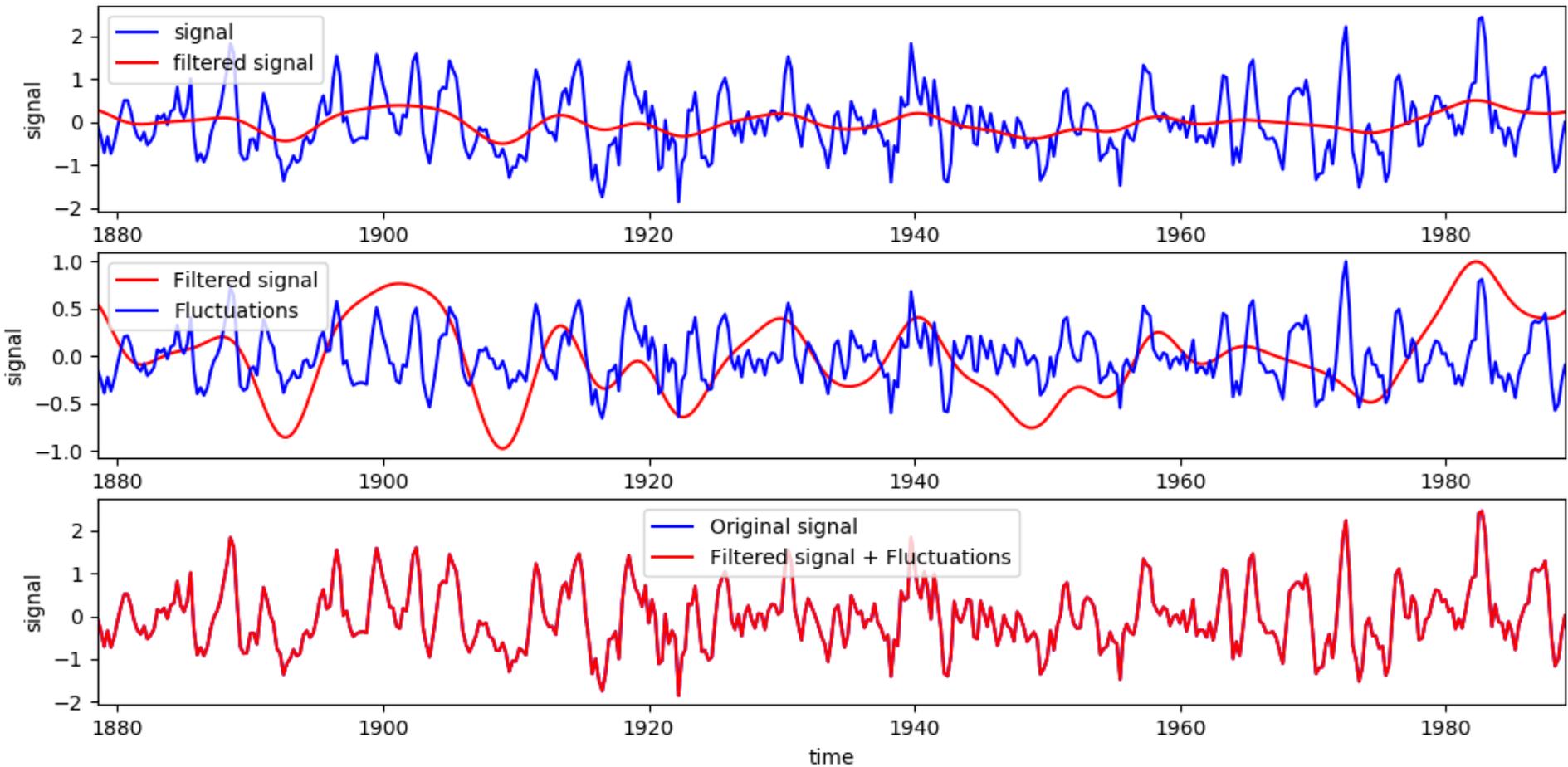
$$f_c \sim 0.1 \text{ an}^{-1} \quad (\text{rappel } f = 1/T)$$

L'analyse de Fourier – En pratique : Filtre

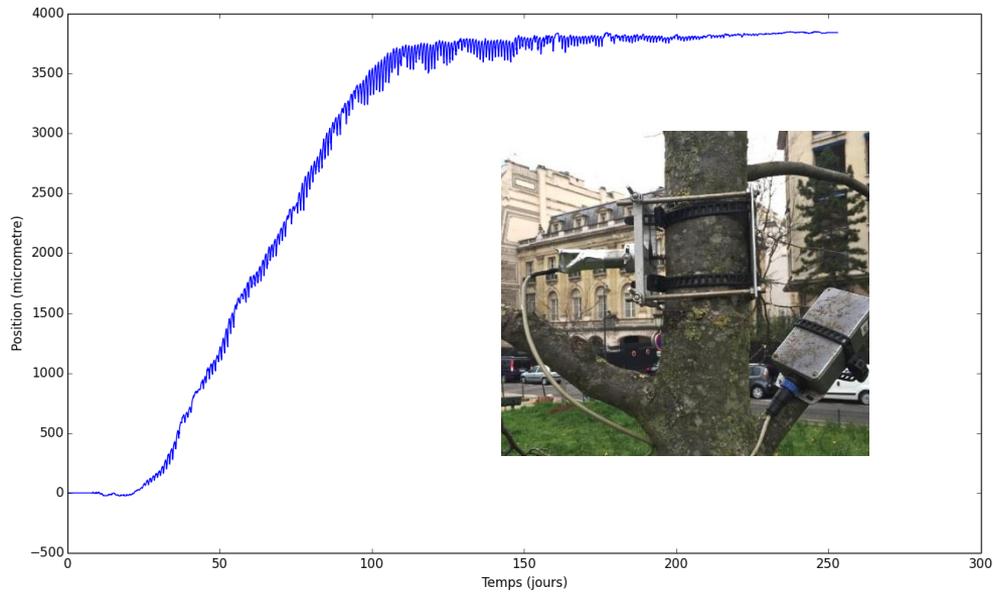


El Niño 3

Low-pass filter 10.0 year - FIR type



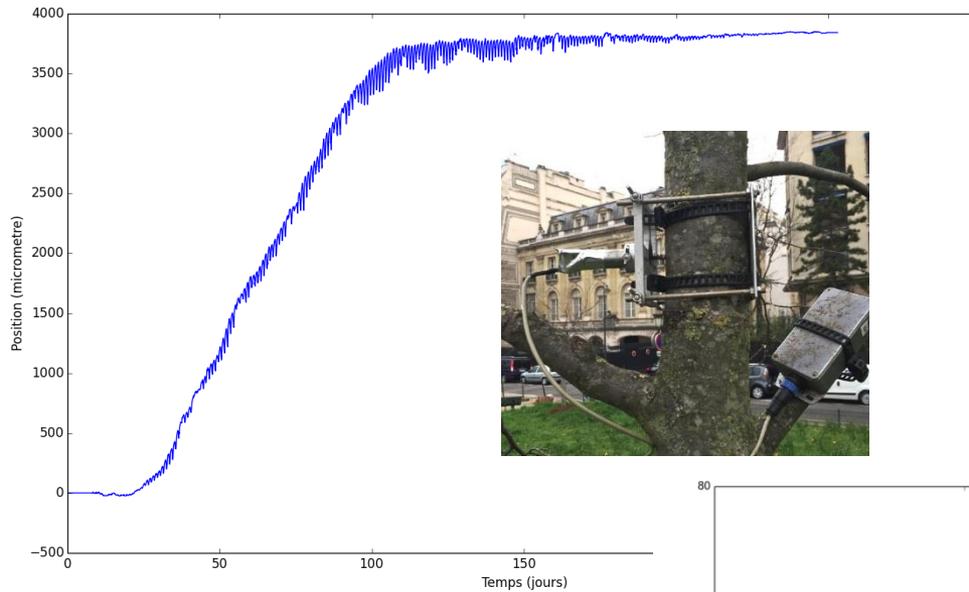
L'analyse de Fourier – En pratique : Filtre



- 1 mesure toutes les 30 min
- 28/03/2015 => 24/11/2015
- 0 valeurs manquantes

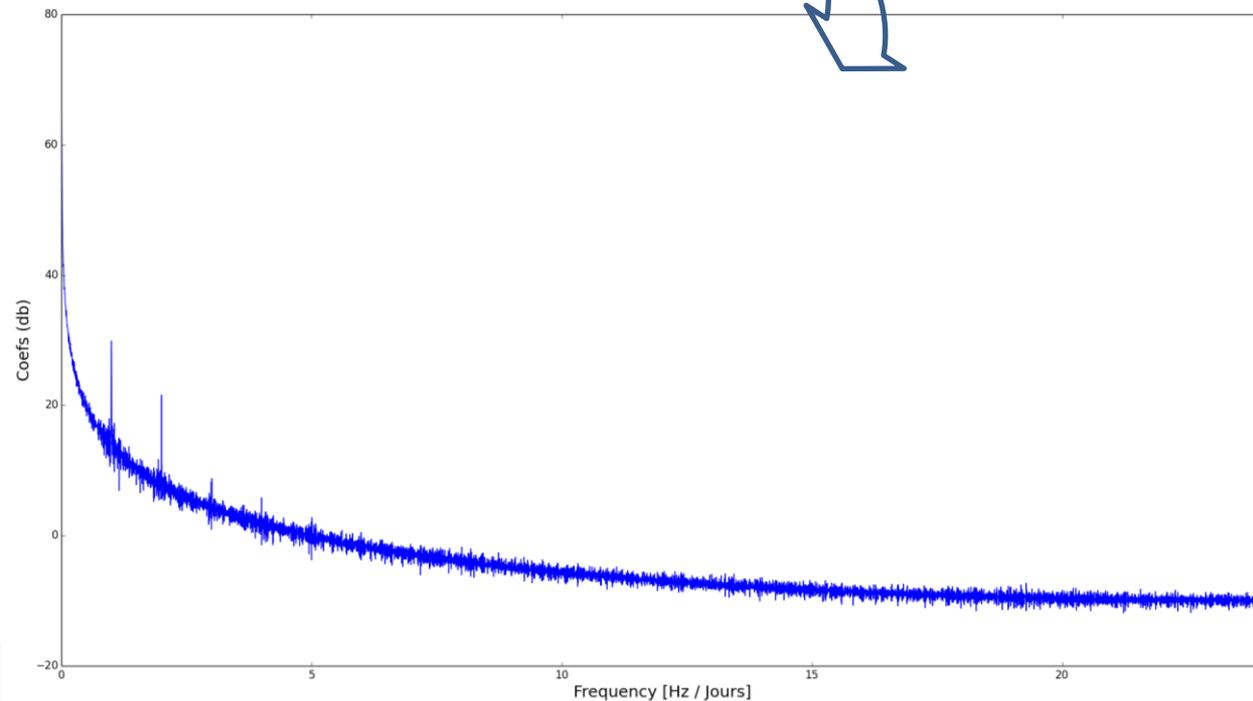
L'analyse de Fourier – En pratique : Filtre

- 1 mesure toutes les 30 min
- 28/03/2015 => 24/11/2015
- 0 valeurs manquantes

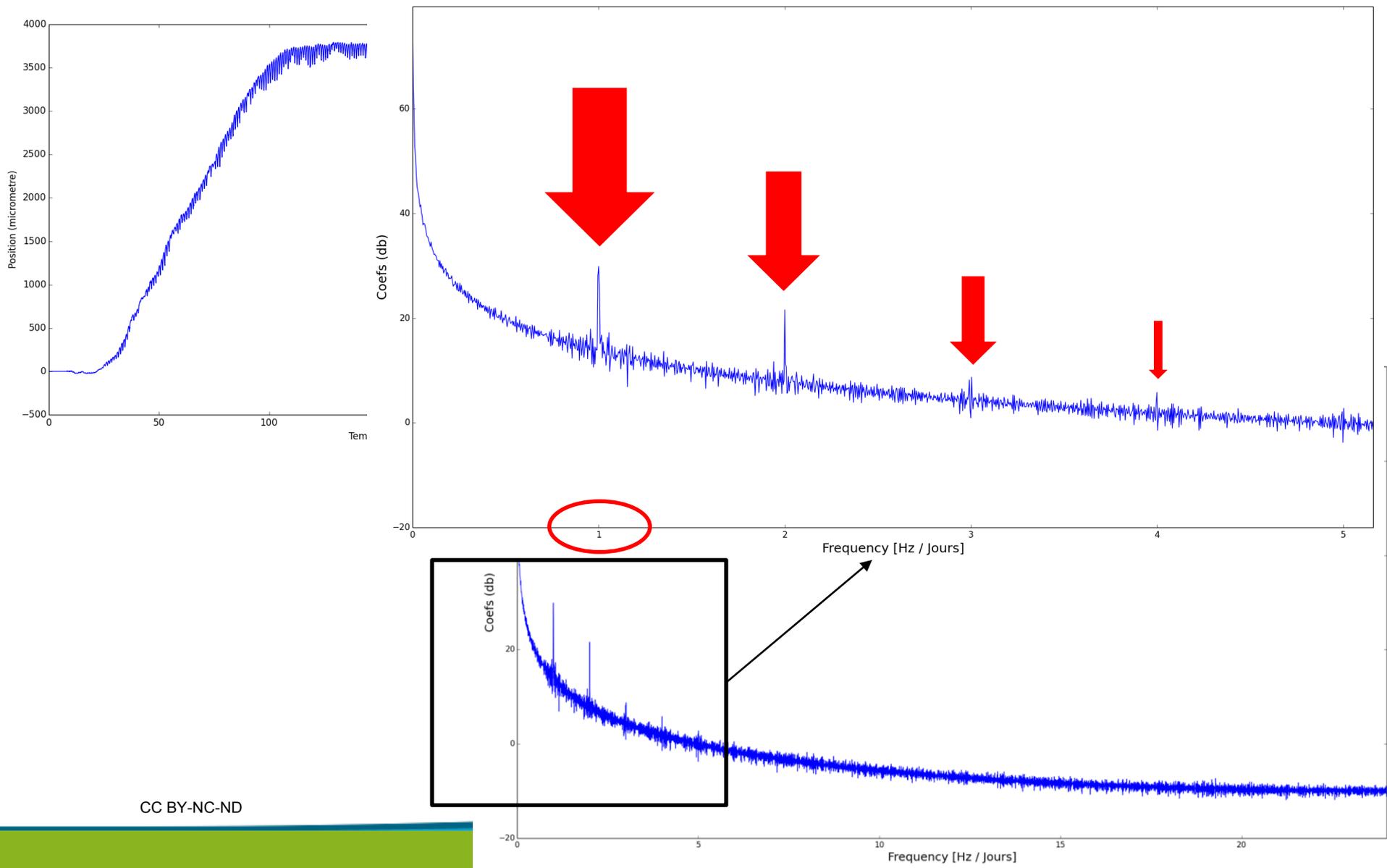


Transformée de Fourier

$$f_C = 36h$$

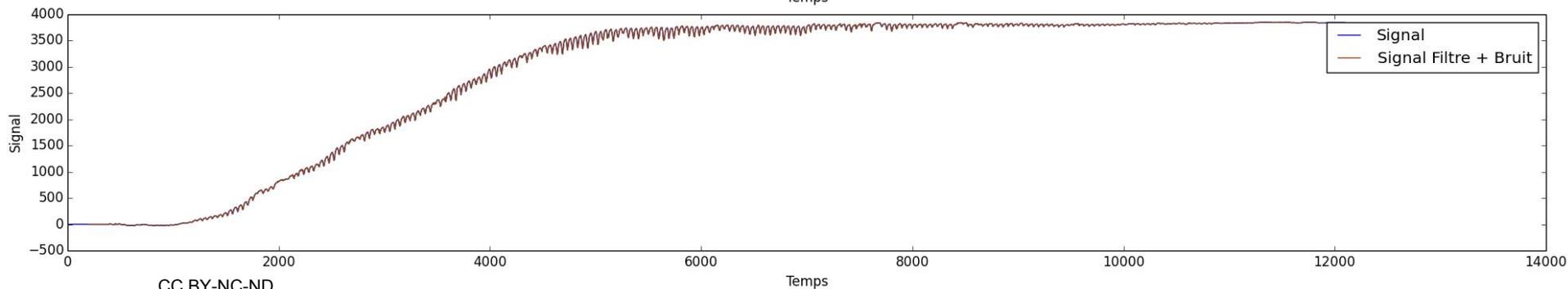
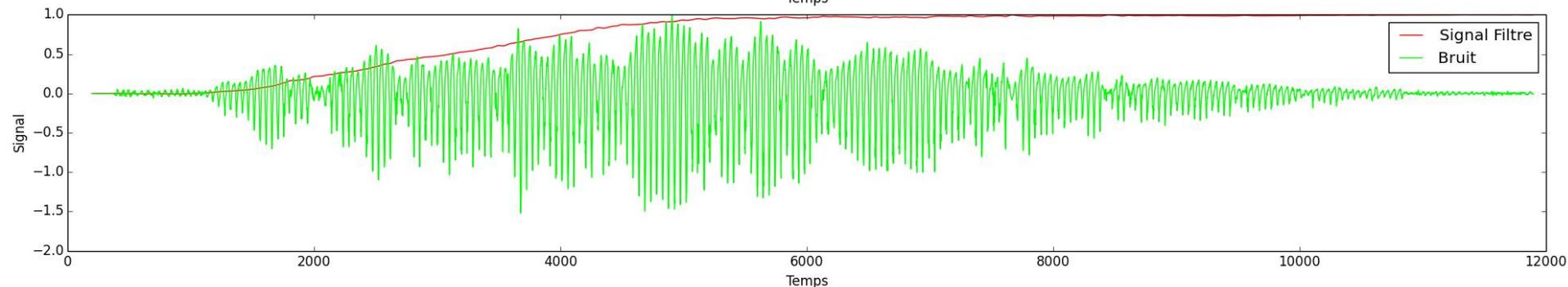
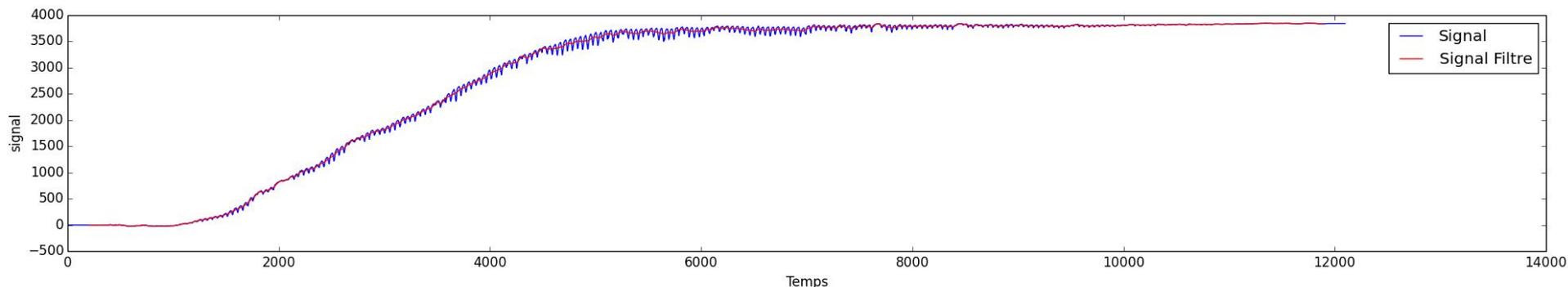


L'analyse de Fourier – En pratique : Filtre

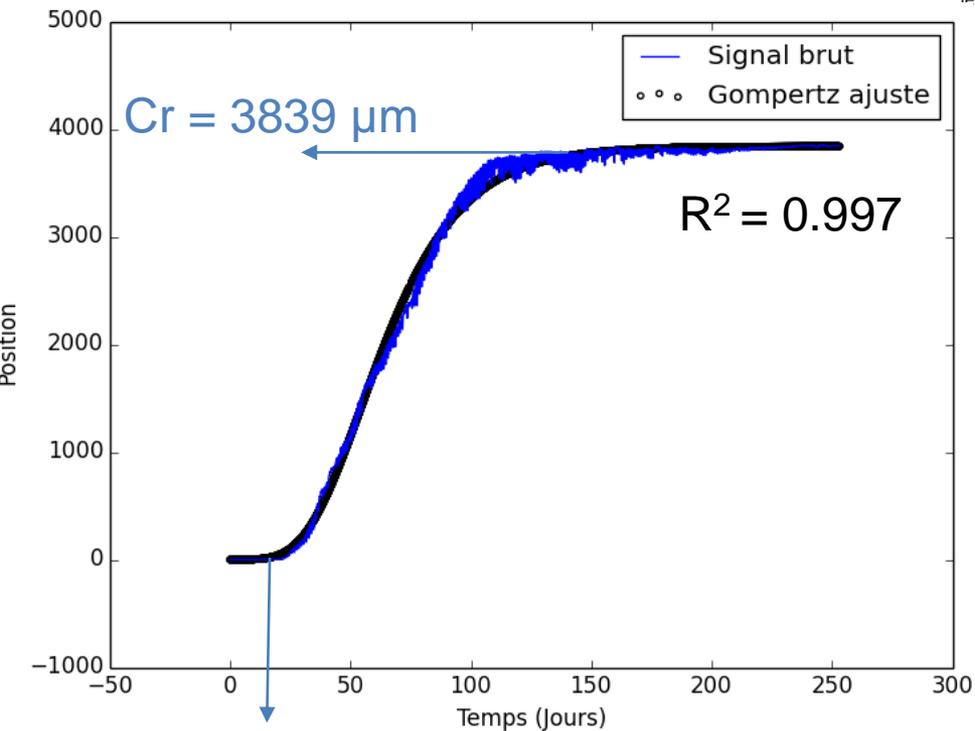
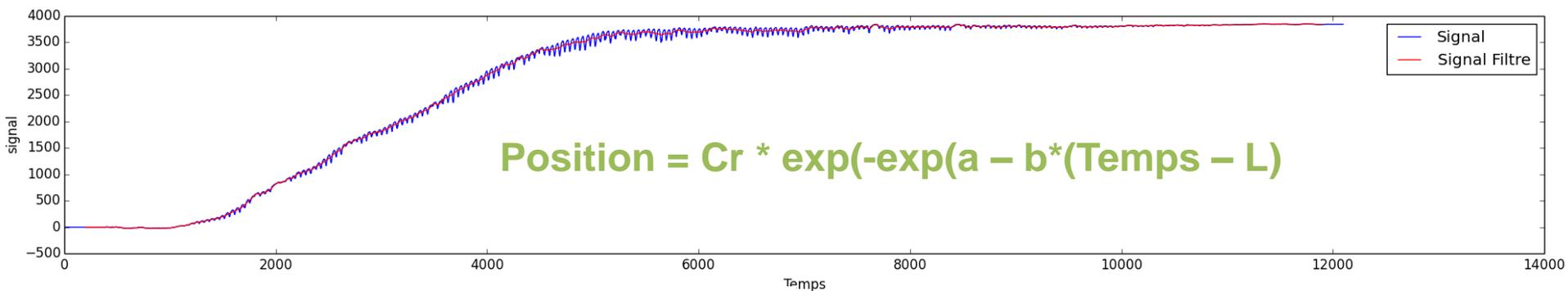


L'analyse de Fourier – En pratique : Filtre

- Reconstruction des signaux (moyenne et fluctuation/bruit) par la transformée inverse



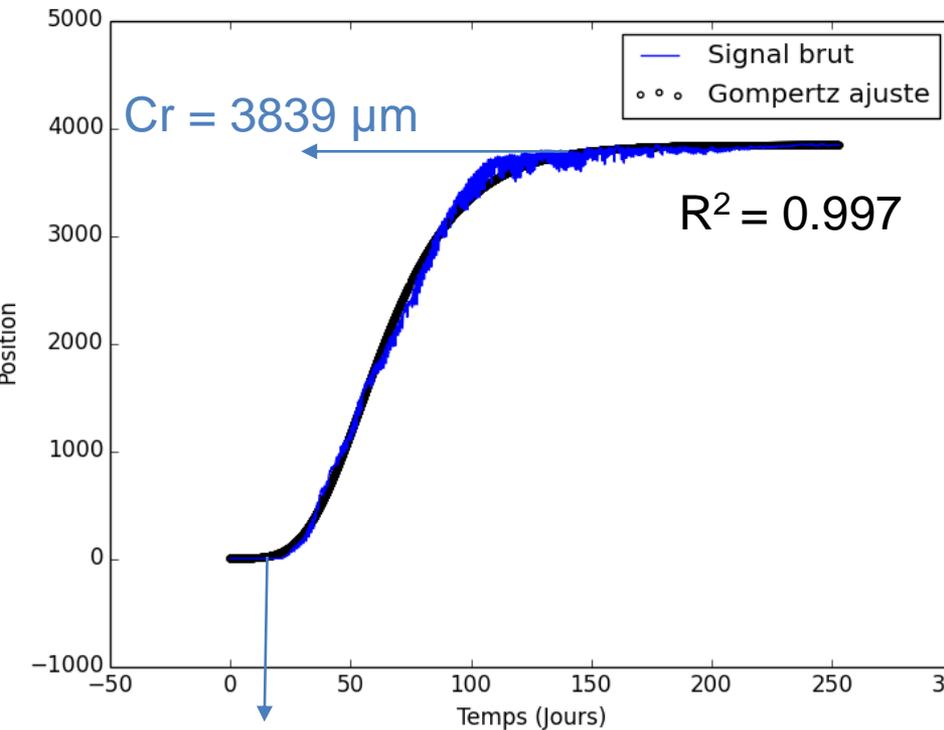
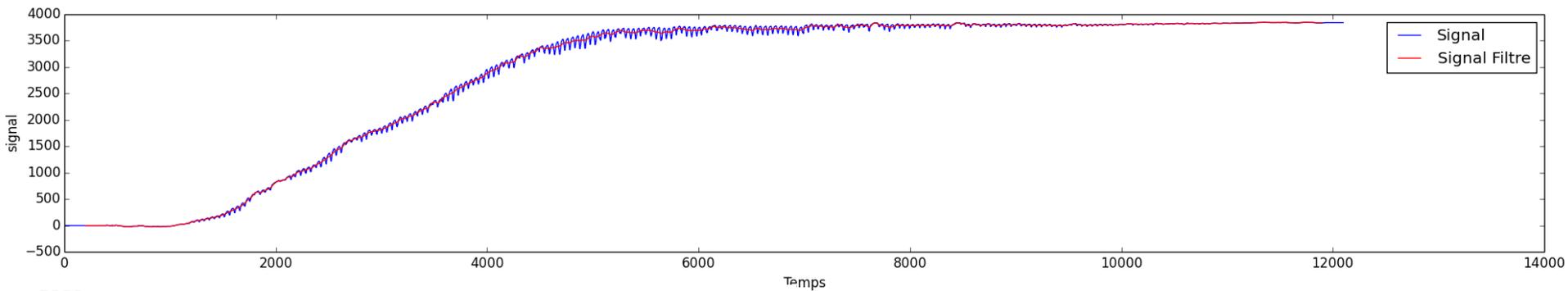
L'analyse de Fourier – En pratique : Filtre



$L = 11.2 \text{ j}$

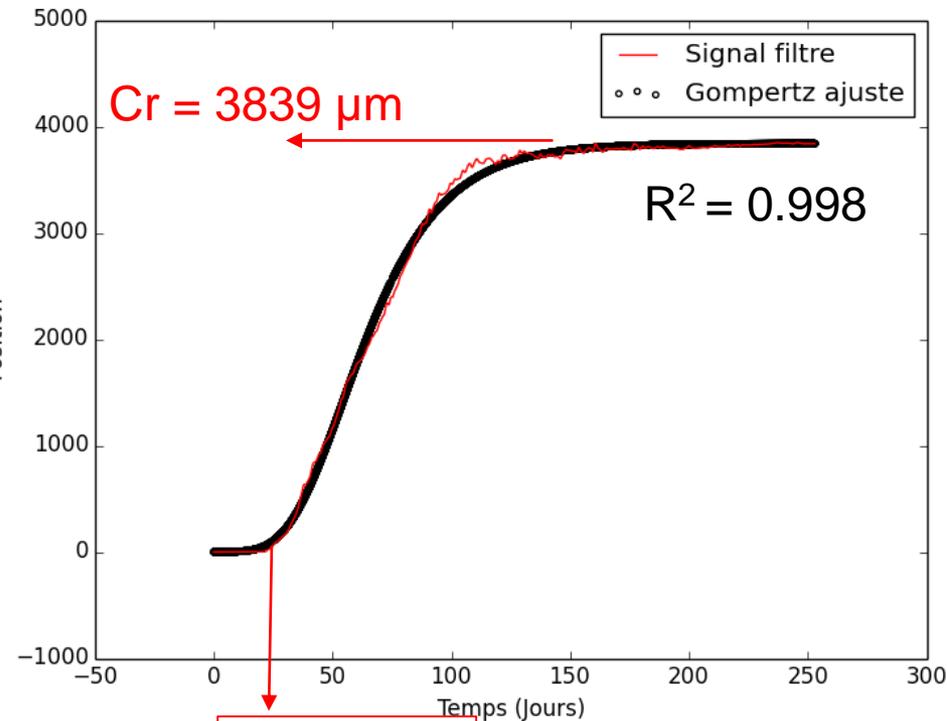
CC BY-NC-ND

L'analyse de Fourier – En pratique : Filtre



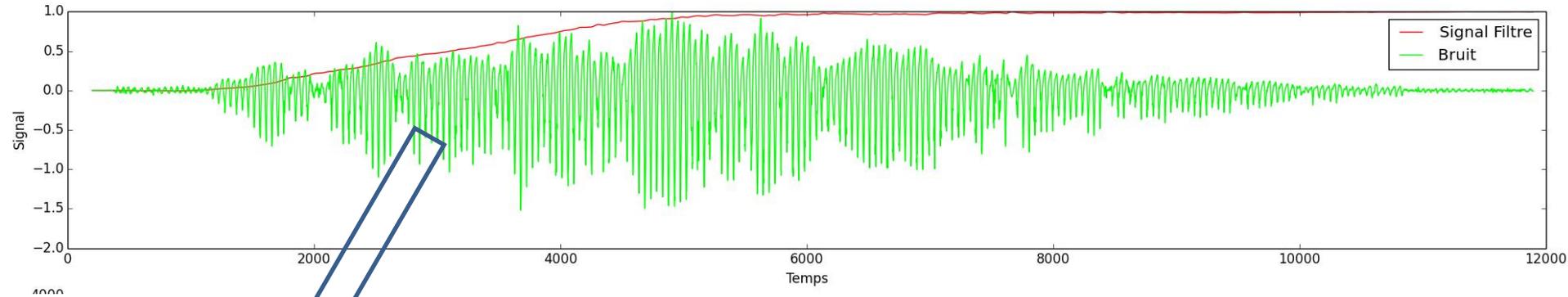
$L = 11.2 j$

CC BY-NC-ND

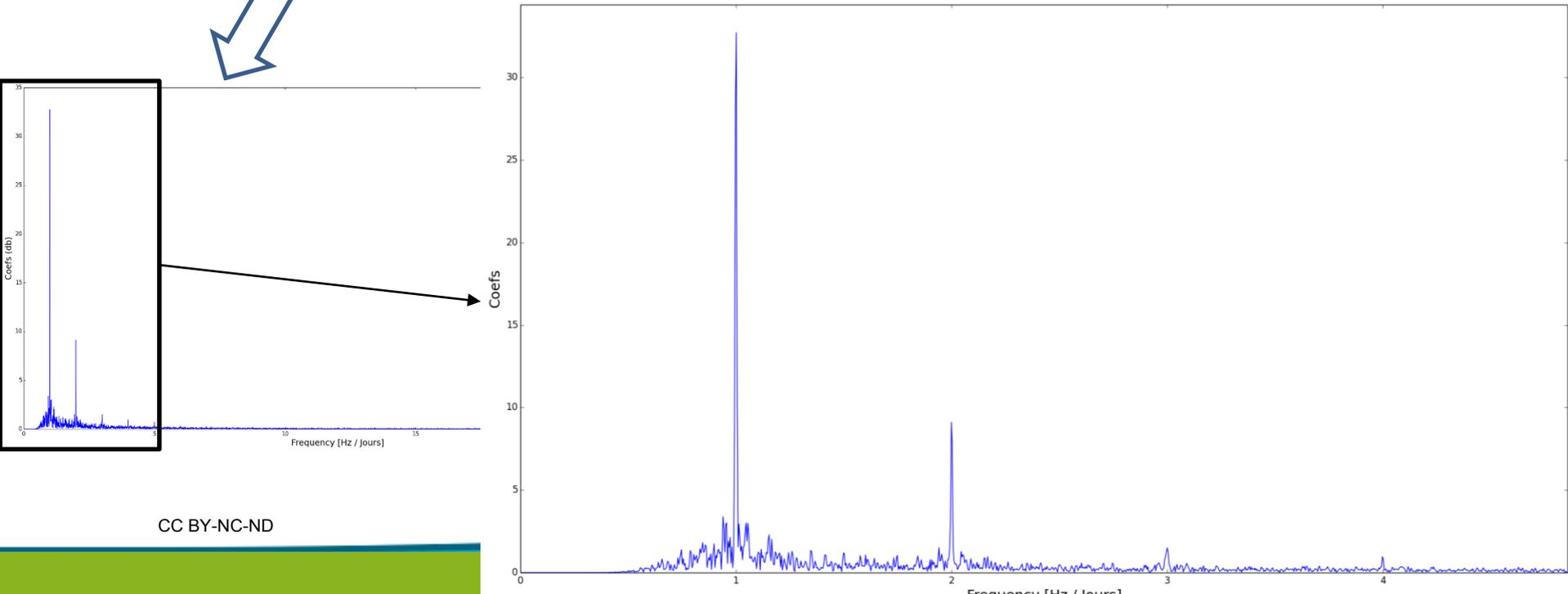


$L = 22.3 j$

L'analyse de Fourier – En pratique : Filtre



Transformée de Fourier



Des Outils pour Gérer la Santé des Arbres en ville

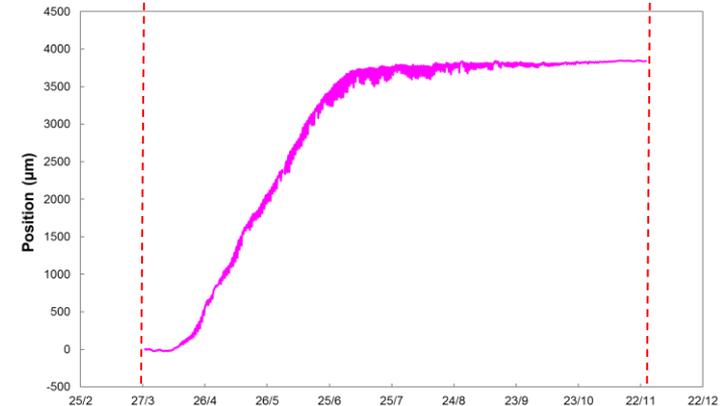
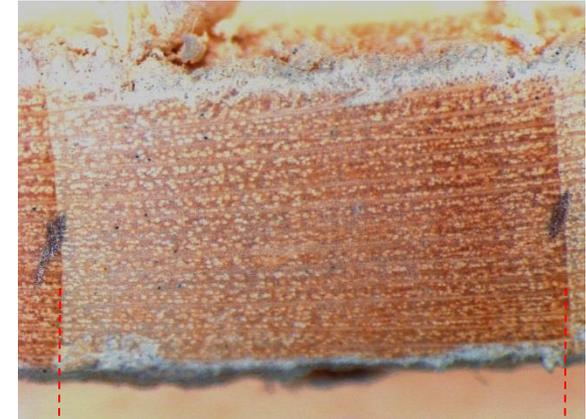
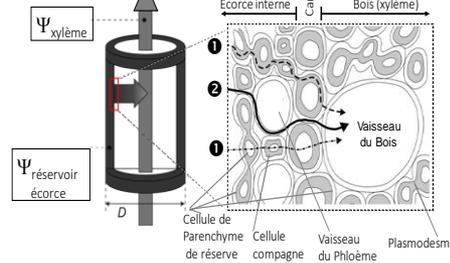
- Variations de Diamètres



- Un intégrateur de processus:
 - Croissance radiale
 - Flux hydrique

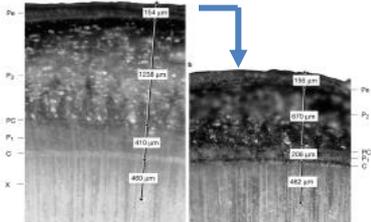


Flux d'eau transpiré

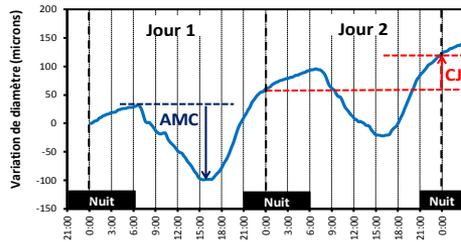


- 1 Voie Intra-cellulaire (symplaste) ou trans-cellulaire
- 2 Voie extérieure aux cellules (apoplasme)

AMC



Zweifel et al. 2000

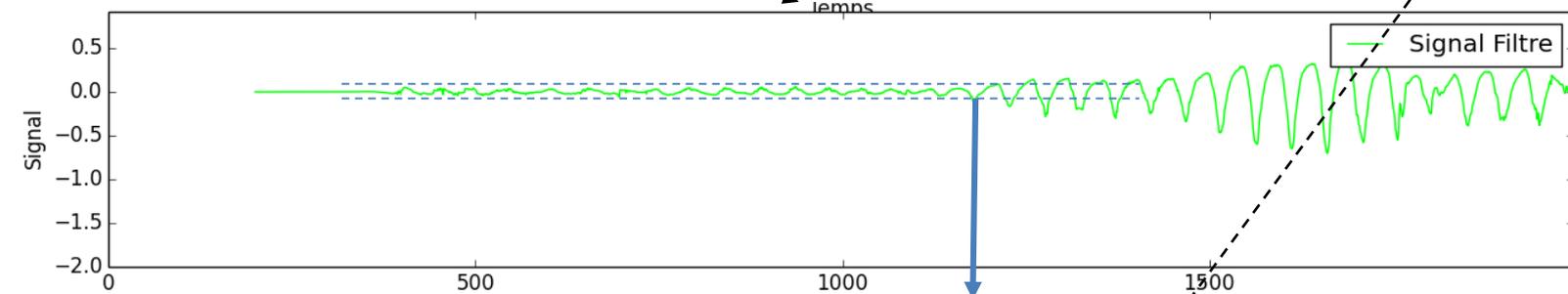
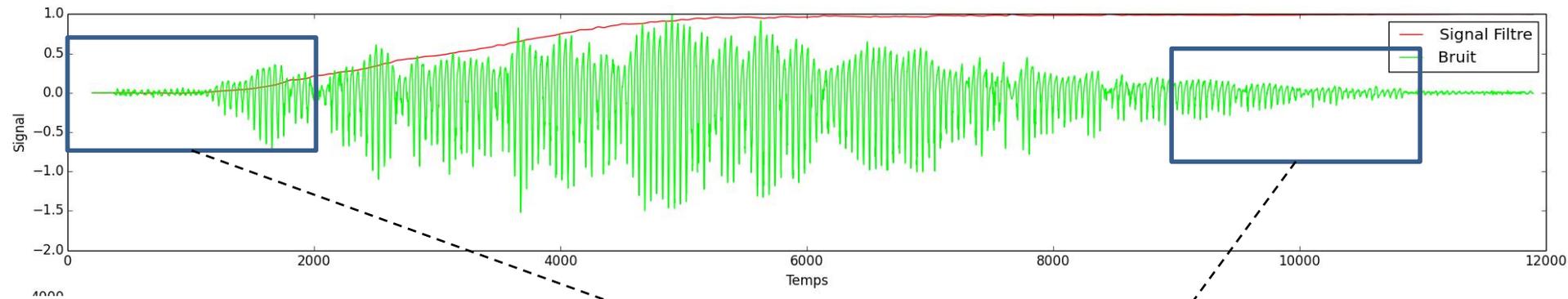


AMC : Amplitude maximale de contraction
 ≈ niveau de contrainte hydrique

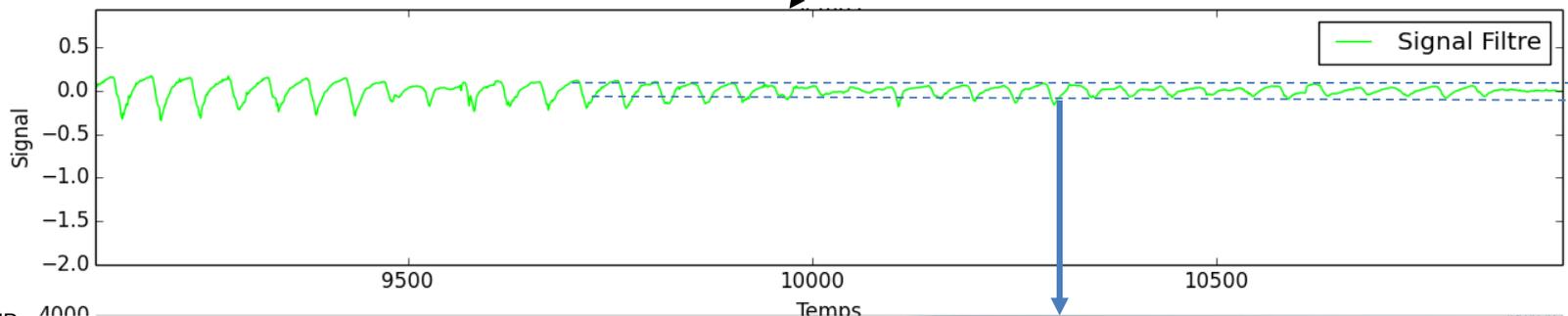
CI : Croissance journalière
 ≈ activité de photosynthèse

- Fort lien avec le développement foliaire
- Indicateurs temporelles du LAI

L'analyse de Fourier – En pratique : Filtre



Débourrement « fonctionnel »



Sénescence « fonctionnelle »

L'analyse de Fourier – En pratique : Filtre

Débourrement « fonctionnel »

Sénescence « fonctionnelle »

- A déterminer de façon plus systématique
- A valider avec mesures de flux de sève
- ➔ Corrélations entre spectres LVDT / Flux de sèves
- ➔ Utilisations d'autres méthodes (décomposition en ondelettes)

FFT :

+++ Choix de la fréquence de coupure

+++ Intuitif

- - - Signaux longs en temps i.e. échantillonnage important

- Bibliothèques disponibles sous Python, etc...
- Dans la pratique:
 - FFT -> filtrage (suivant signaux)
 - Ondelettes -> filtrage et corrélations temporelles

FFT :

+++ Choix de la fréquence de coupure

+++ Intuitif

--- Signaux longs en temps i.e. échantillonnage important

- Bibliothèques disponibles sous Python, etc...
- Dans la pratique:
 - FFT -> filtrage (suivant signaux)
 - Ondelettes -> filtrage et corrélations temporelles

LVDT :

+++ Non-invasif

+++ Traitement automatisable

+ - Intégrateur de processus (à détricoter)

--- Variabilité spatiale (intra-inter-individu)

- Explorations du cycle annuel (polycyclisme, événements gélive)
- Co-variation(s) avec facteurs environnementaux

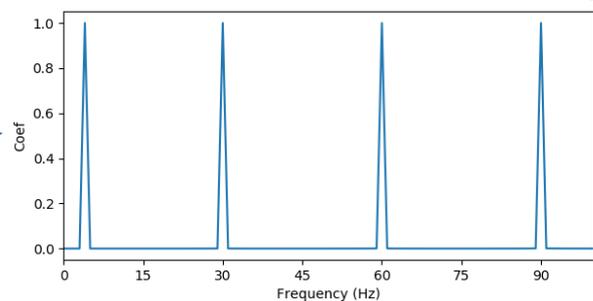
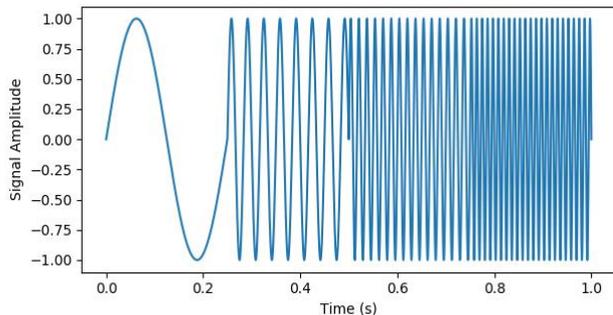
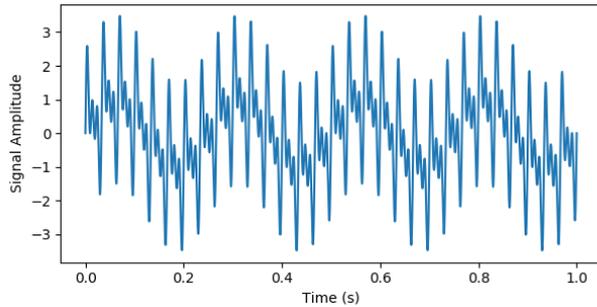
MERCI DE VOTRE ATTENTION!

L'analyse de Fourier – Des limites

Séries temporelles composées de 4 fréquences: 4, 30, 60, 90 Hz



Joseph Fourier
1768 - 1830



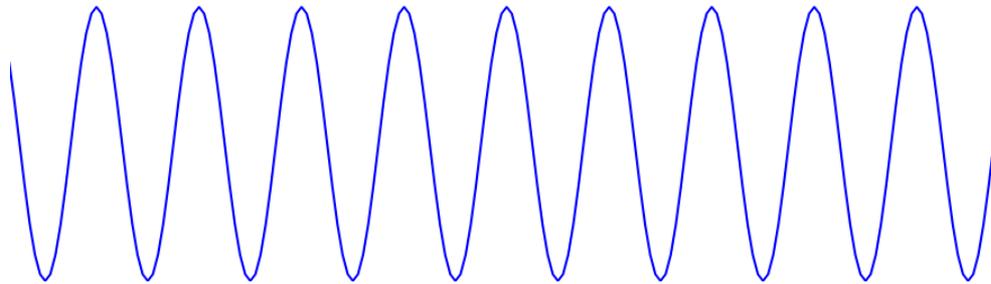
Impossible de distinguer les 2 séries dans le domaine fréquentiel

- L'analyse de Fourier nous renseigne sur les fréquences présentes mais **ne nous renseigne pas sur l'occurrence de ces fréquences dans le temps.**
- Solution a été d'utiliser des fonctions de base « compactes » au lieu de fonction de base sinusoïdales à support « infini ».

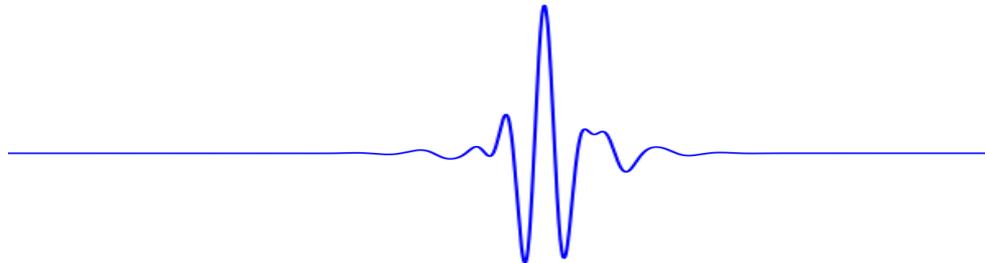
Analyse en ondelettes - Bases

Globalement la théorie est la même que l'analyse de Fourier mais les fonctions de base utilisées pour la décomposition du signal sont différentes

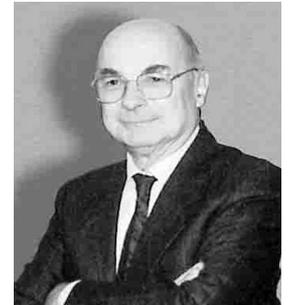
Fonction de base – Analyse Fourier



Fonction de base – Analyse Ondelettes



Alfred Haar
1885 - 1933



Jean Morlet
1931 - 2000



Alex. J. Grossmann
1930 - 2019

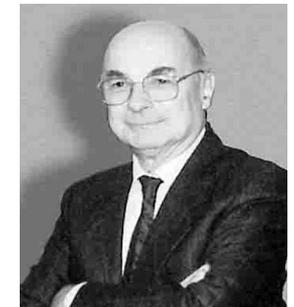
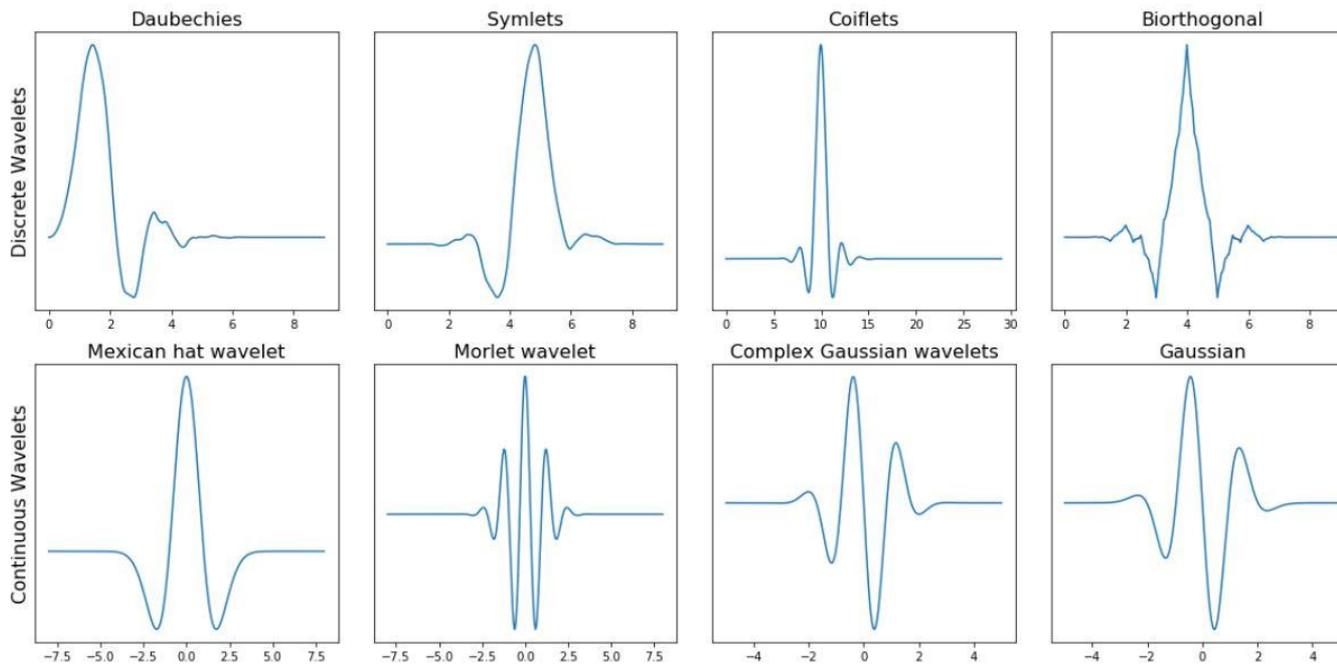
Analyse en ondelettes - Bases

Globalement la théorie est la même que l'analyse de Fourier mais les fonctions de base utilisées pour la décomposition du signal sont différentes



Alfred Haar
1885 - 1933

Fonction de base – Analyse Ondelettes



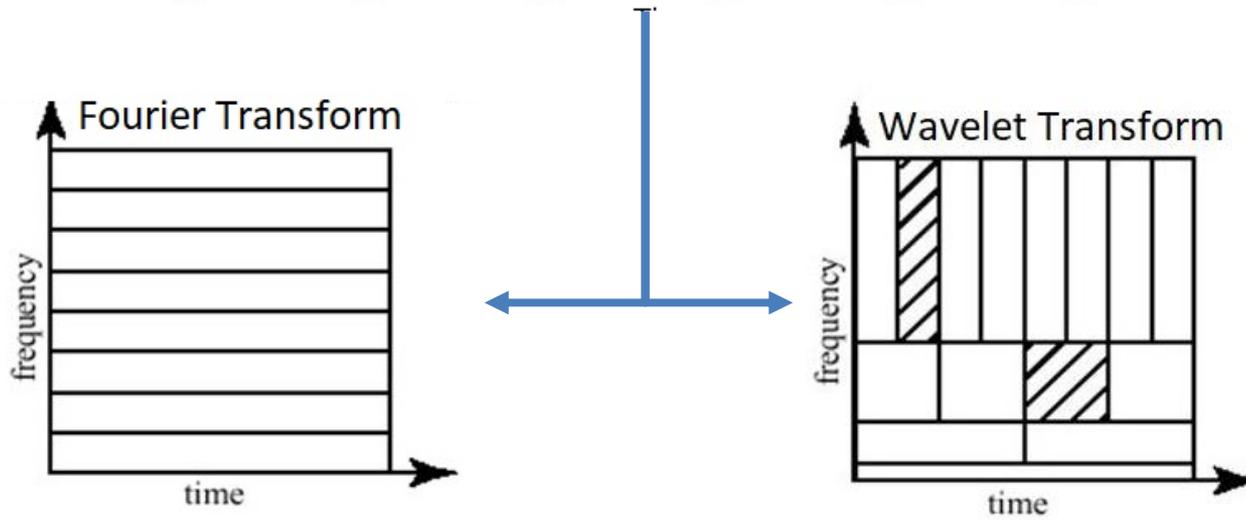
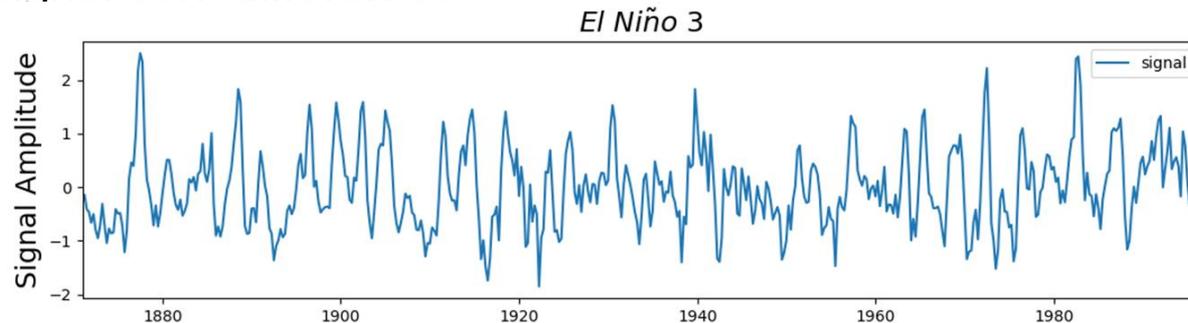
Jean Morlet
1931 - 2000



Alex. J. Grossmann
1930 - 2019

Analyse en ondelettes - Bases

Globalement la théorie est la même que l'analyse de Fourier mais les fonctions de base utilisées pour la décomposition du signal sont différentes



Alfred Haar
1885 - 1933

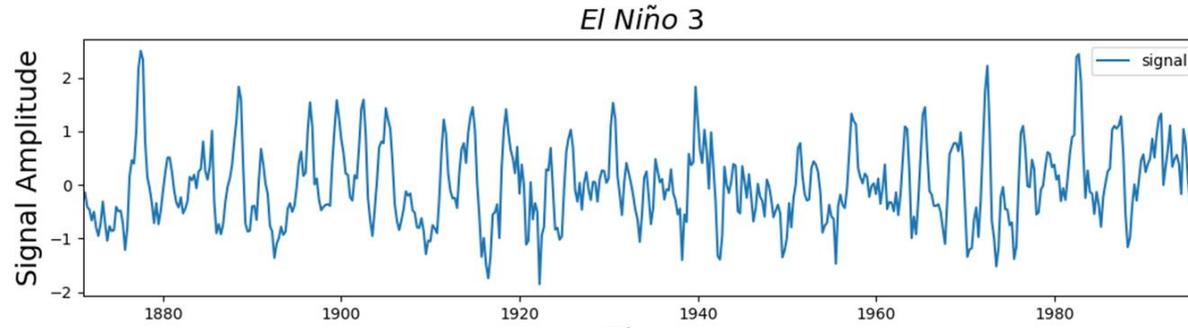


Jean Morlet
1931 - 2000



Alex. J. Grossmann
1930 - 2019

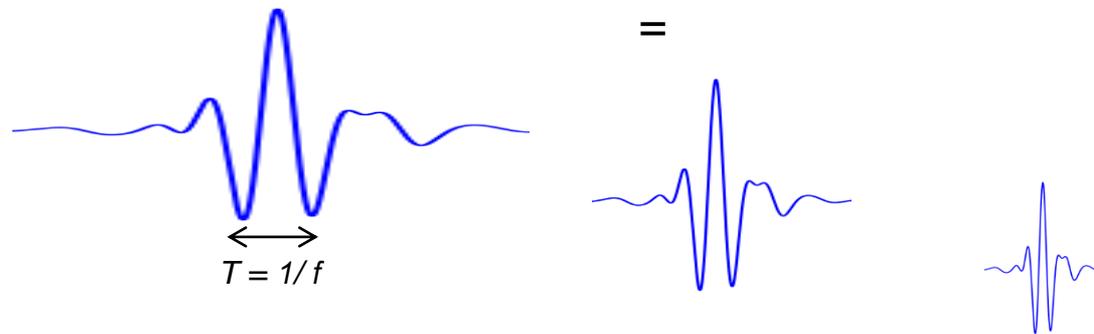
Analyse en ondelettes – En pratique



Alfred Haar
1885 - 1933



Jean Morlet
1931 - 2000



Basse
Fréquence

Fréquence (Hz = 1/s)

Haute
Fréquence

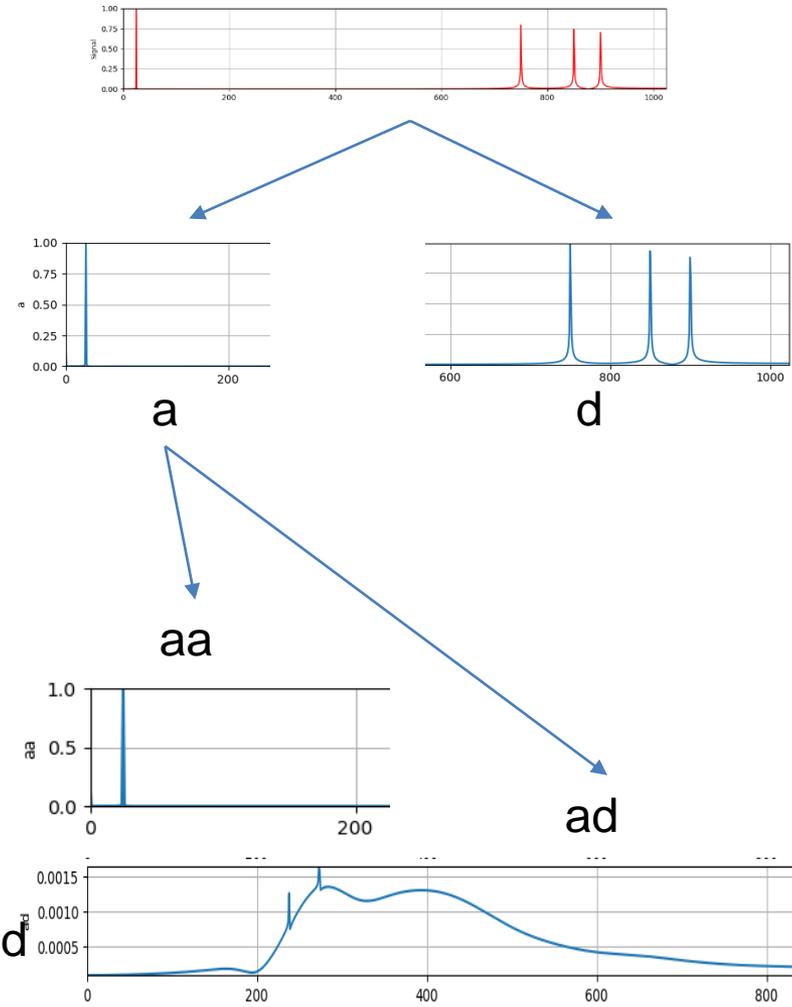
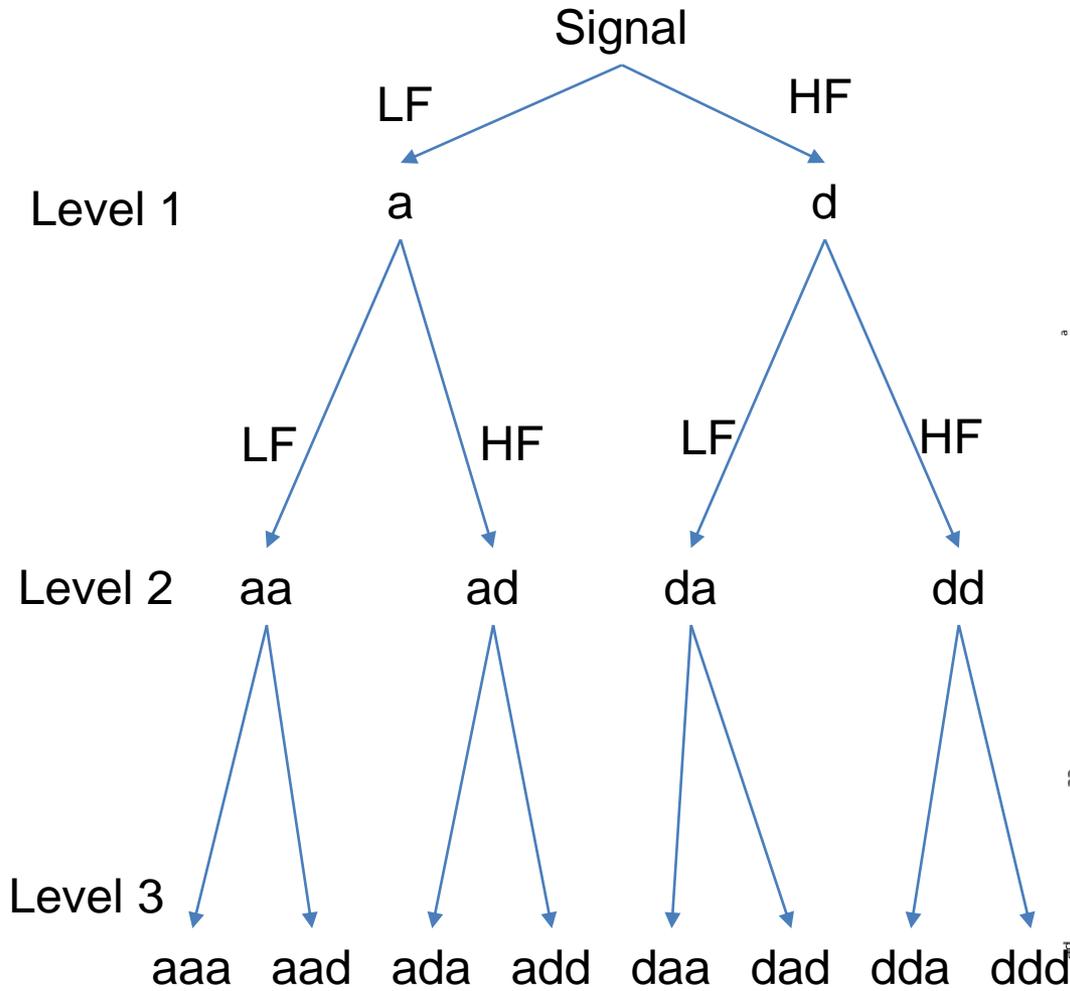


Moyenne

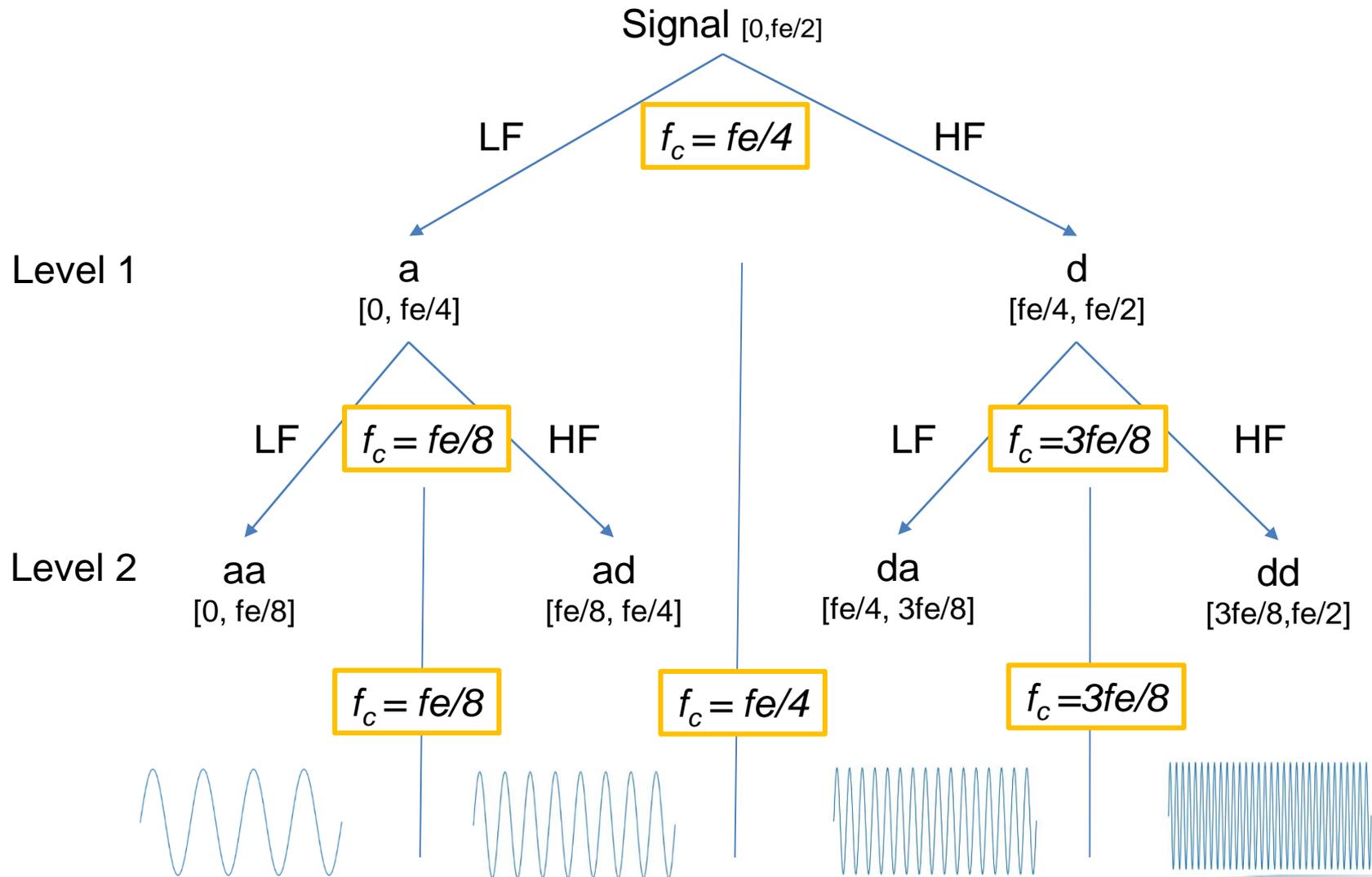
?

Fluctuations

Analyse en ondelettes – En pratique – DWT



Analyse en ondelettes – En pratique – DWT



Analyse en ondelettes – En pratique – DWT

Série temporelle décomposition + Scalogramme

Des Outils pour Gérer la Santé des Arbres en ville

Daudet et al. 2005

