

Bilan du CRCT

- décharges électriques de laboratoire

Etude terminée

- réseau de détection VLF

présentation du jour

- réseau de détection local

présentation Jean-Louis Didier

- Meso-NH

- collaboration Laboratoire d'Aérodynamique Toulouse

- programme HyMEx (PEACH)

- simulation GPS -

- GPS et activité orageuse

PQR

- Etude climatologique

collaboration Météo-France

Localisation foudre par détection TBF

Technique de la mesure du
"temps d'arrivée du groupe d'onde"
(Time Of Group Arrival - TOGA)

d'après un exposé de

Richard L Dowden

Emeritus Professor, University of Otago, New Zealand

CEO, Low Frequency Electro Magnetic Research Ltd

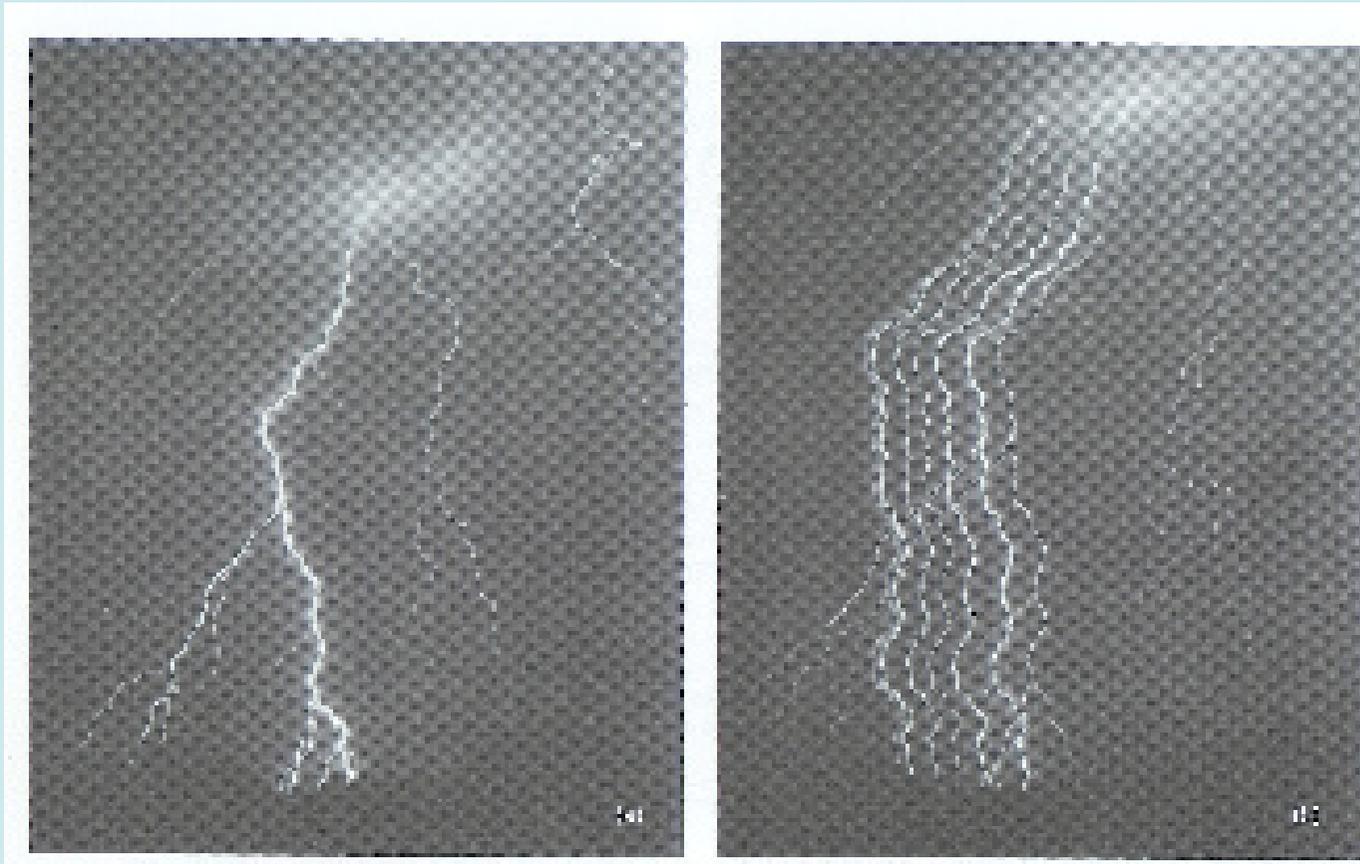
Coup de foudre sur un hôtel (Perth, WA)



Coup de foudre face au port de Papeete



Le même coup de foudre pris par:

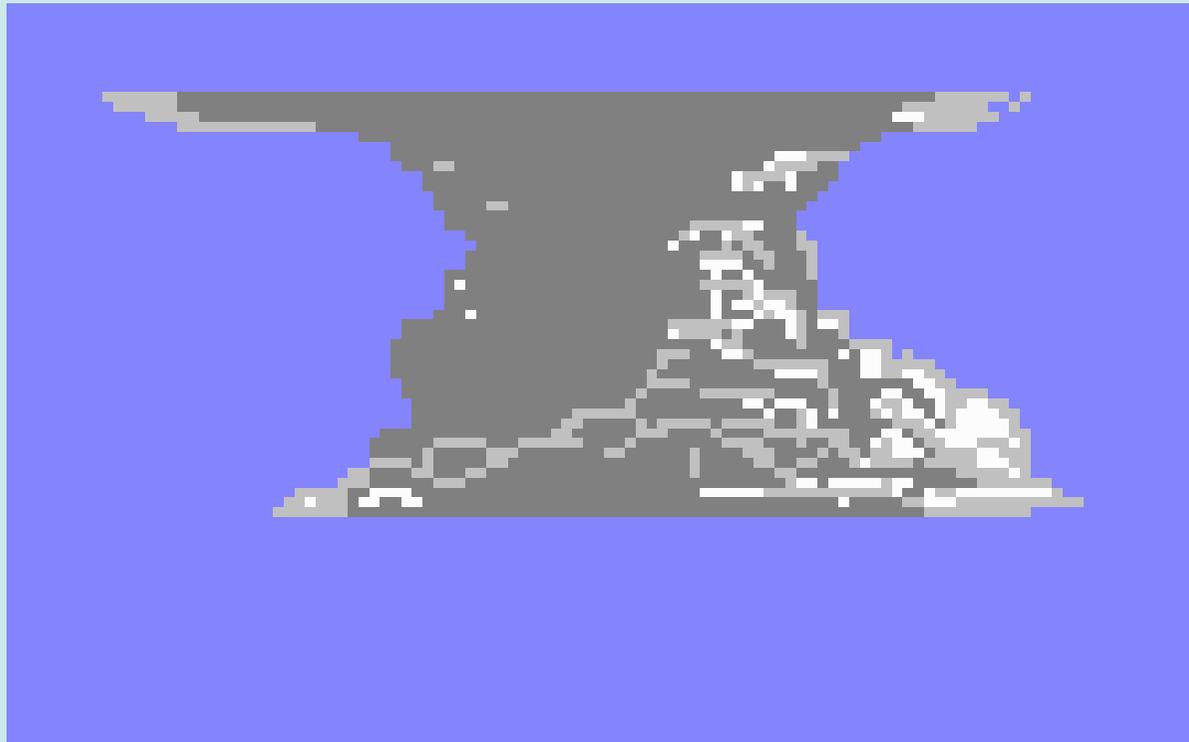


photographie fixe

caméra à balayage

[Rakov & Uman]

Différents types de décharges

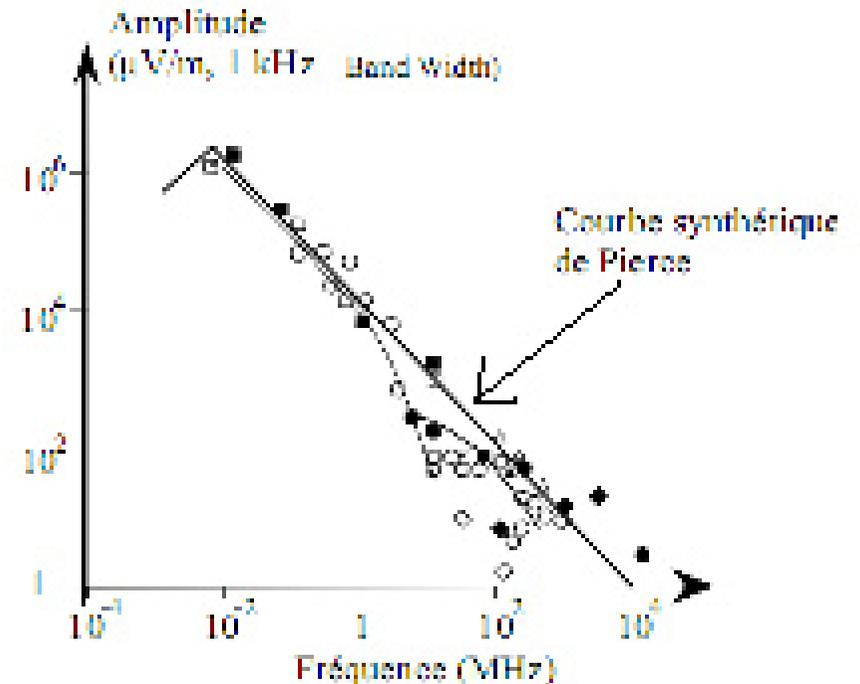


La décharge de foudre en chiffres

Paramètres électriques

- d.d.p nuage-sol ~ 60 - 100 MV
- Impulsion de courant :
 - Crête : 30 kA (5 – 200 kA)
 - Front < 1 μ s
 - Largeur ~ 100 μ s
- Charge : Q ~ 10 coulombs
- $C=Q/V \sim 0.1\mu\text{F}$
- $W = 0.5*Q^2/C \sim 1 \text{ GJ}$

Spectre du rayonnement global



Courbe de Pierce (1977)

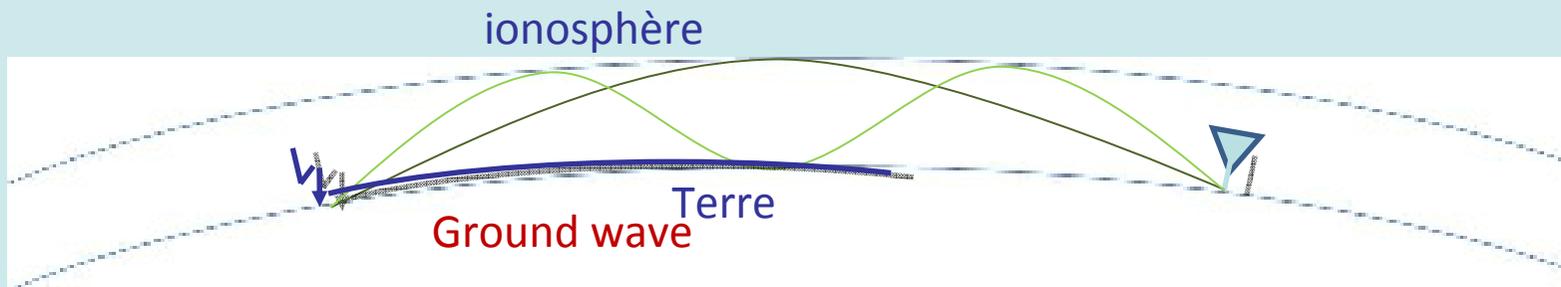
*mesures de rayonnement à différentes fréquences
en normalisant le niveau de signal en distance et en bande.*

Systeme de detection des ondes EM Très Basse Fréquence (3 – 30 kHz)

AVANTAGES

Correspond à l'énergie rayonnée maximale

Propagation des TBF sur de très longues distances dans le guide d'onde Terre-Ionosphère



Ondes TBF → "sfériques"

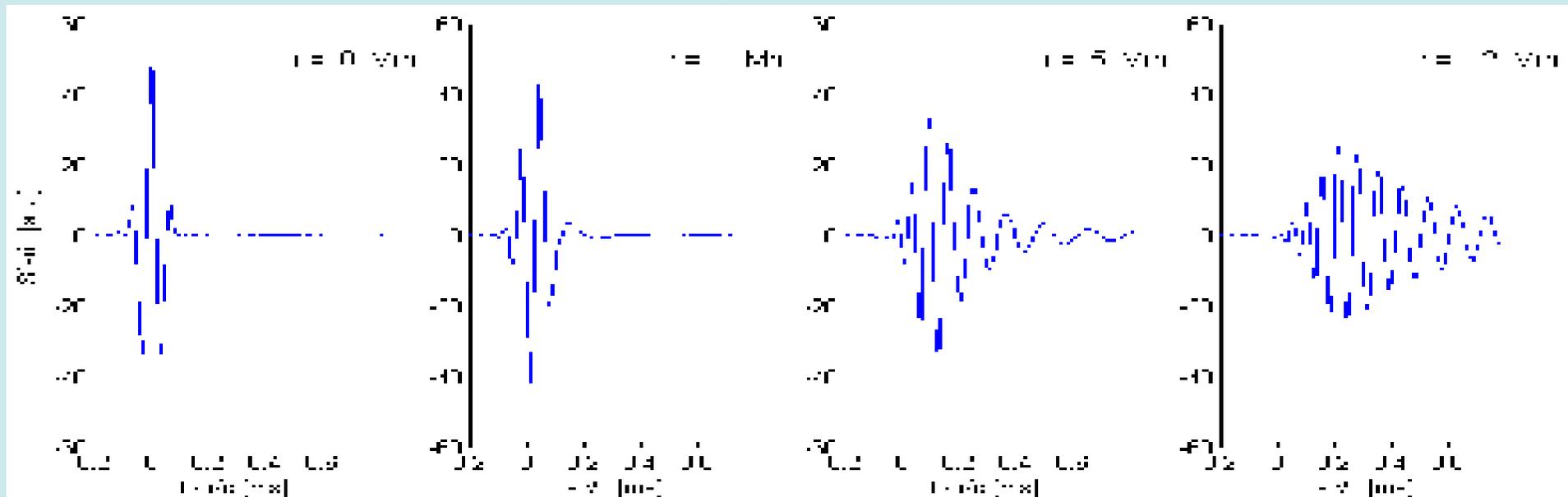
Systeme d'acquisition faible coût : acquisition par carte son

Localisation par temps d'arrivée : TOA

difficultés :

milieu dispersif → vitesse dépend de la fréquence → déformation du signal

$$k^2 = \frac{(\omega^2 - \omega_0^2)}{c^2}$$



Longueur de l'impulsion : $40-140 \mu\text{s} \rightarrow 1-2 \text{ ms}$

front de l'impulsion : quelques $100 \mu\text{s}$



Mesure du TOA très imprécise

définition du "TOGA"

A une distance r le champ rayonné peut s'exprimer de la façon suivante :

$$E(r, t, \omega) = \sum A(\omega) \cos(\Phi(\omega))$$

$$\Phi(\omega) = \omega t - k(\omega)r + \phi_0$$

$$\frac{d\Phi}{d\omega} = t - r \frac{dk}{d\omega} = t - \frac{r}{v_g(\omega)}$$

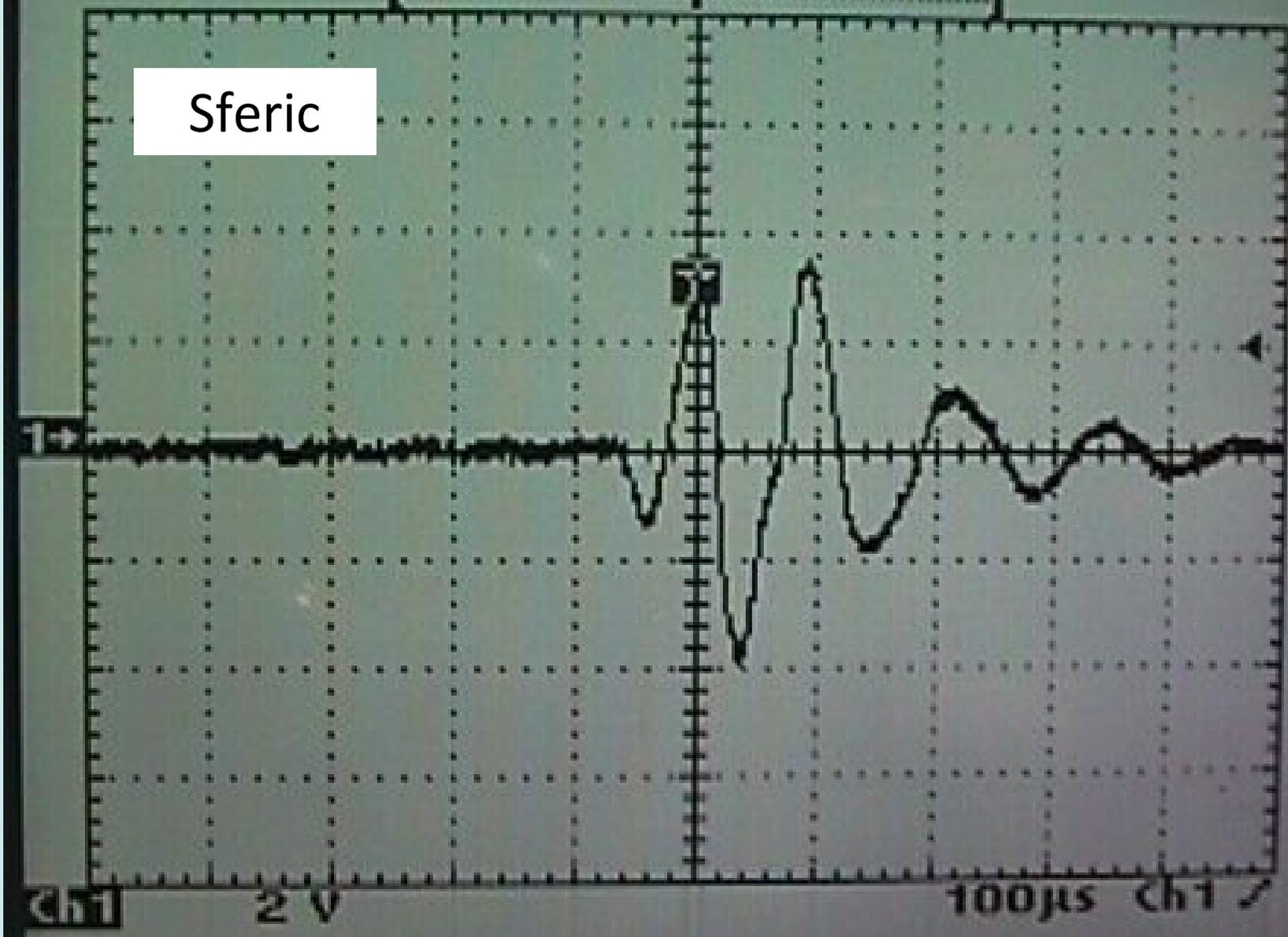
Si $\Phi(\omega)$ est mesuré à t^0 :

$$t_g(\omega) = \frac{r}{v_g} = t_0 - \frac{d\Phi}{d\omega}$$

TOGA = l'instant t^g tel que $d\Phi/dt = 0$

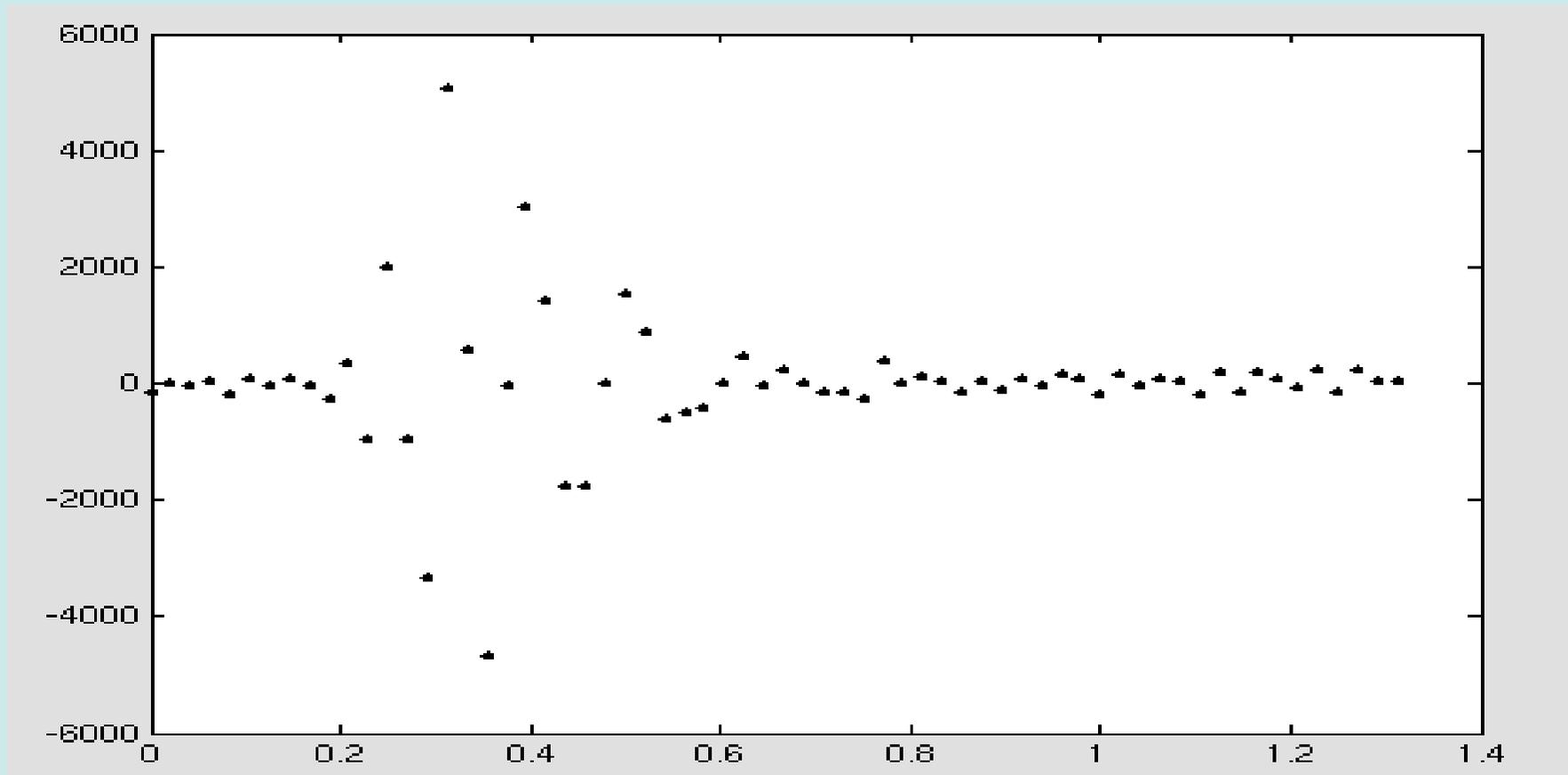
Tek Run: 2.5MS/s Sample TFI0? 0.

Sferic

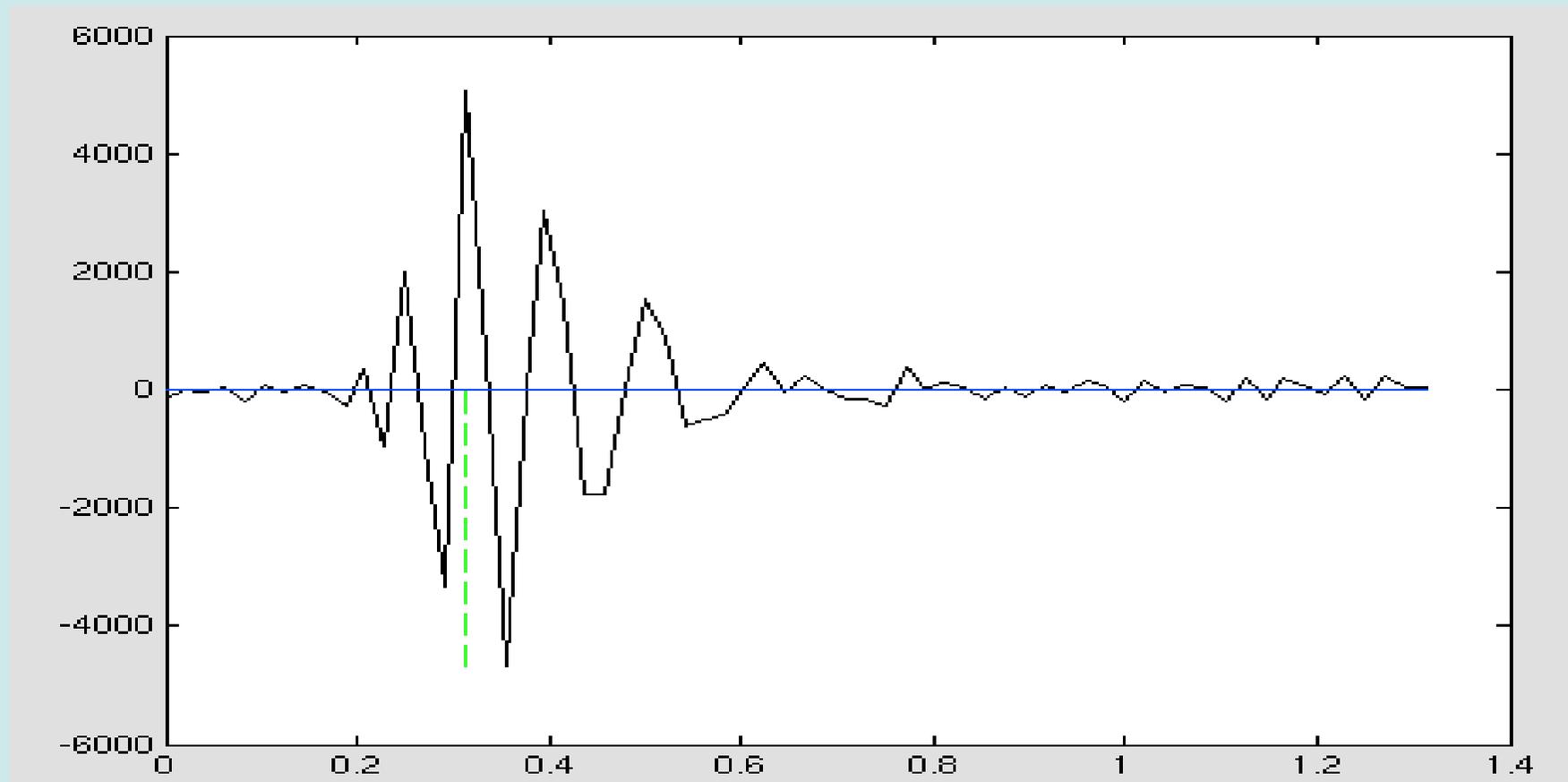


2 V 100µs Ch1

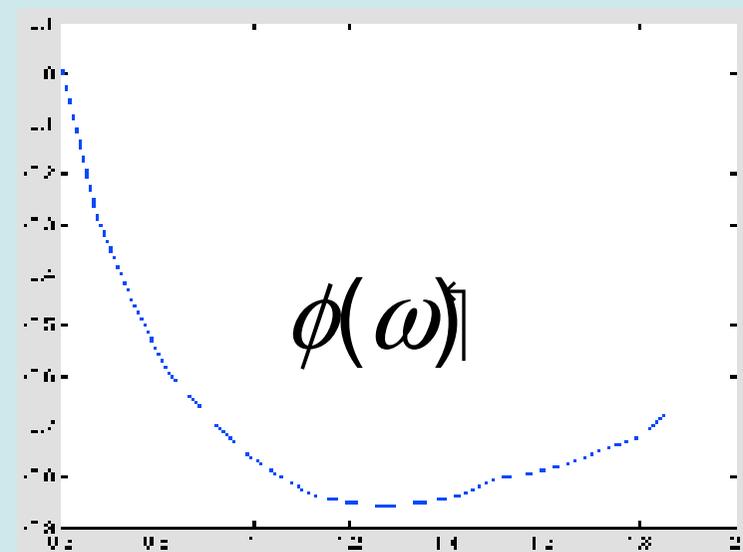
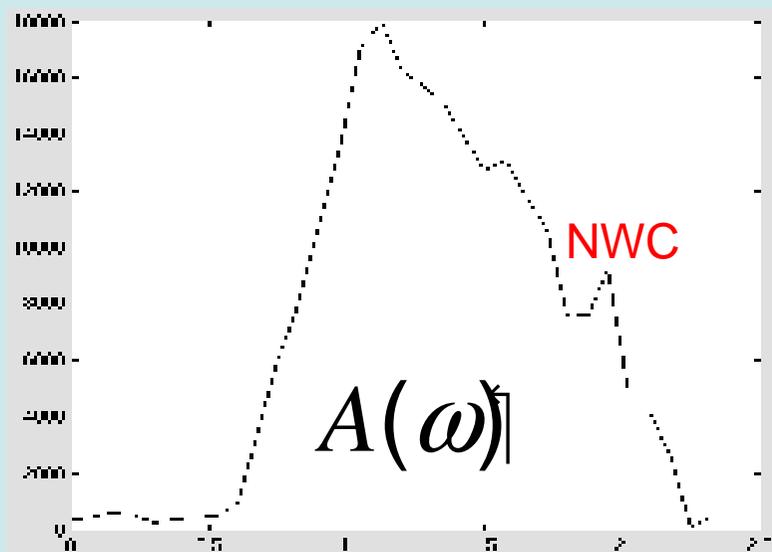
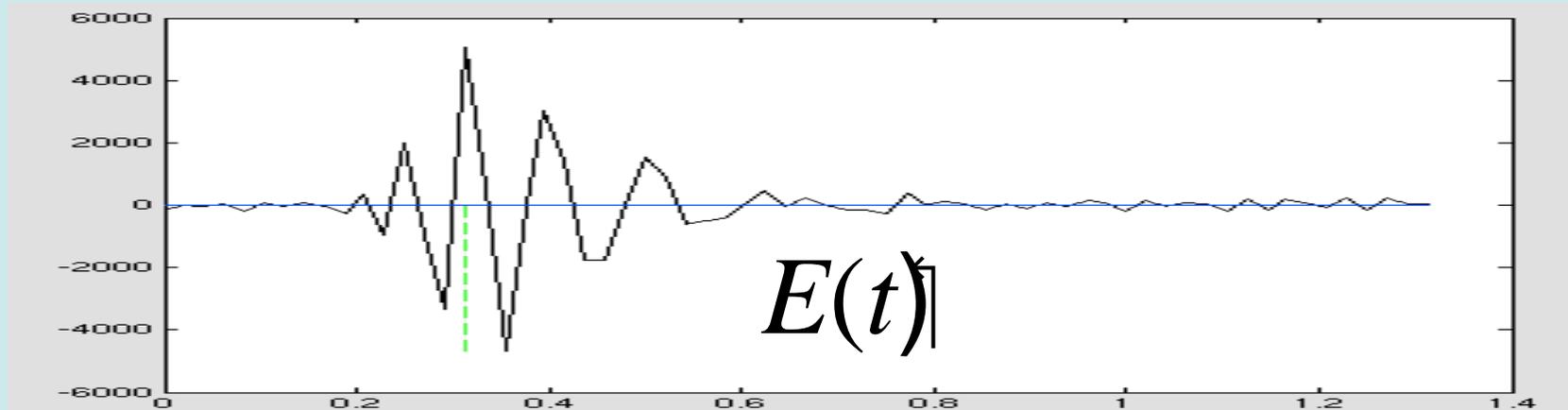
Échantillonnage d'un sferic



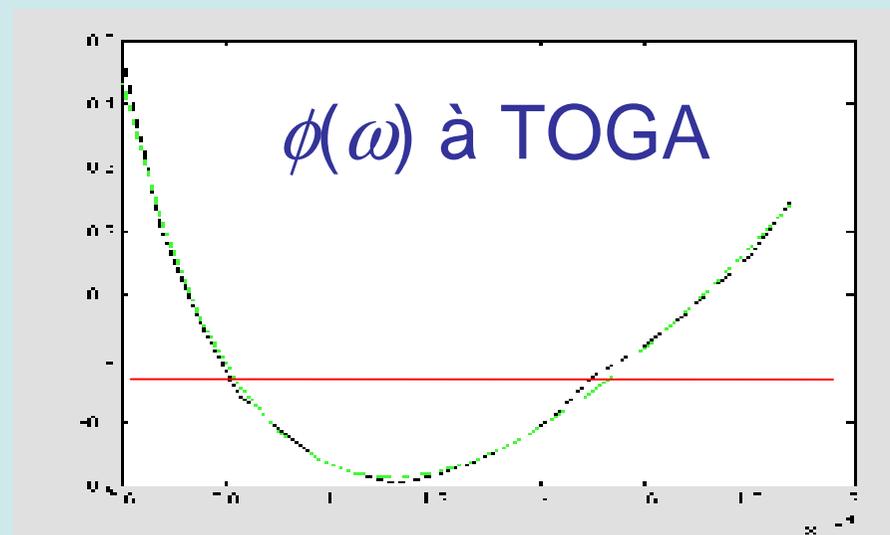
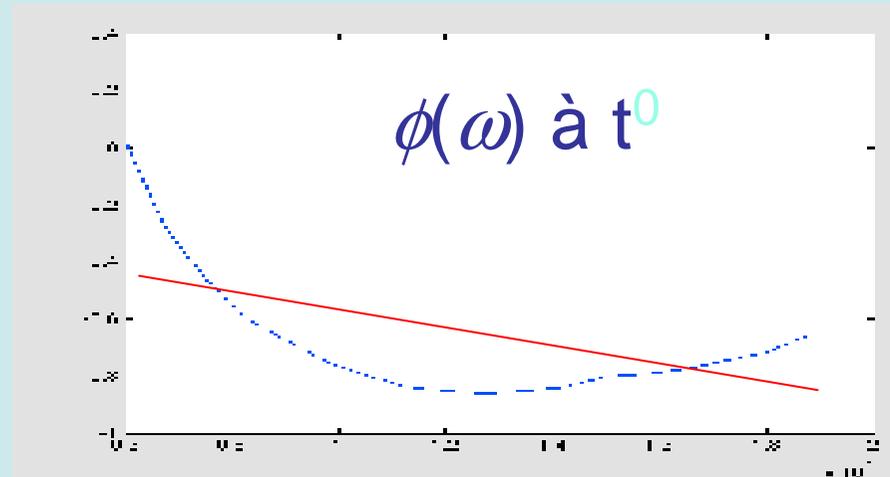
Reconstitution du même sferic



Analyse de Fourier du sferic

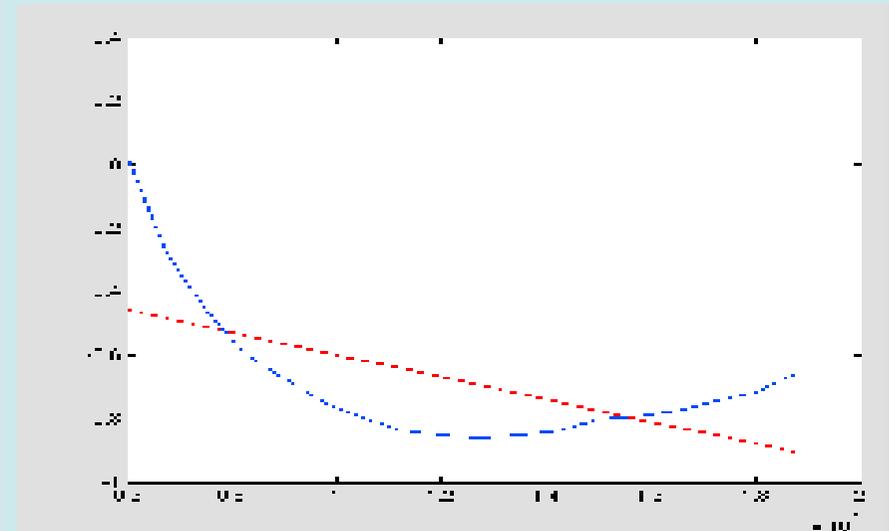
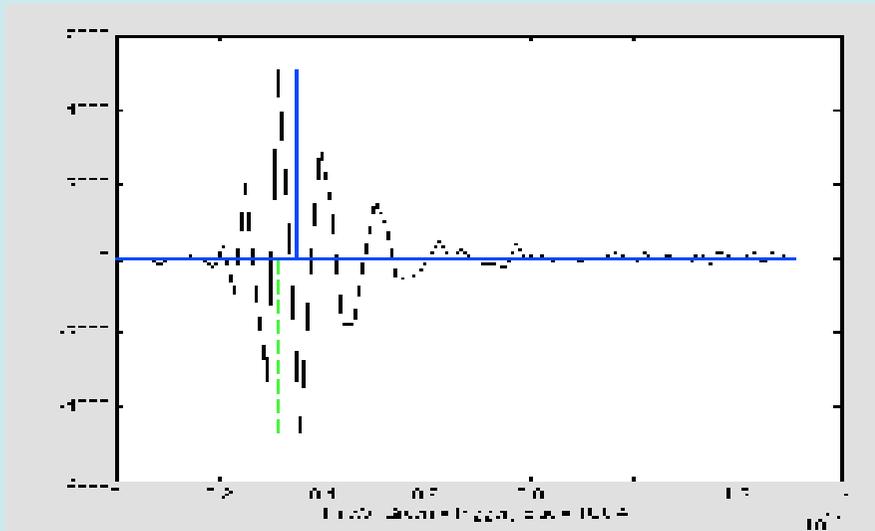


problème : $d\phi/d\omega$ dépend de ω



⇒ on définit le TOGA par :

TOGA=(instant du trigger) – (pente de la regression)



Sferic synthétique

EIGW : Guide d'onde plan \rightarrow équation de dispersion (mode TM):

$$E(r, t, \omega) = \sum A(\omega) \cos(\Phi(\omega))$$

$$k^2 = \frac{(\omega^2 - \omega_0^2)}{c^2}$$

ω_0 = fréquence de coupure du guide d'onde

$$v_p = \frac{\omega}{k} = c / \sqrt{1 - \omega_0^2 / \omega^2}$$

v_g = vitesse de phase

$$A(\omega) \cos[\omega(t - r/v_p)]$$

Harmoniques du sferic

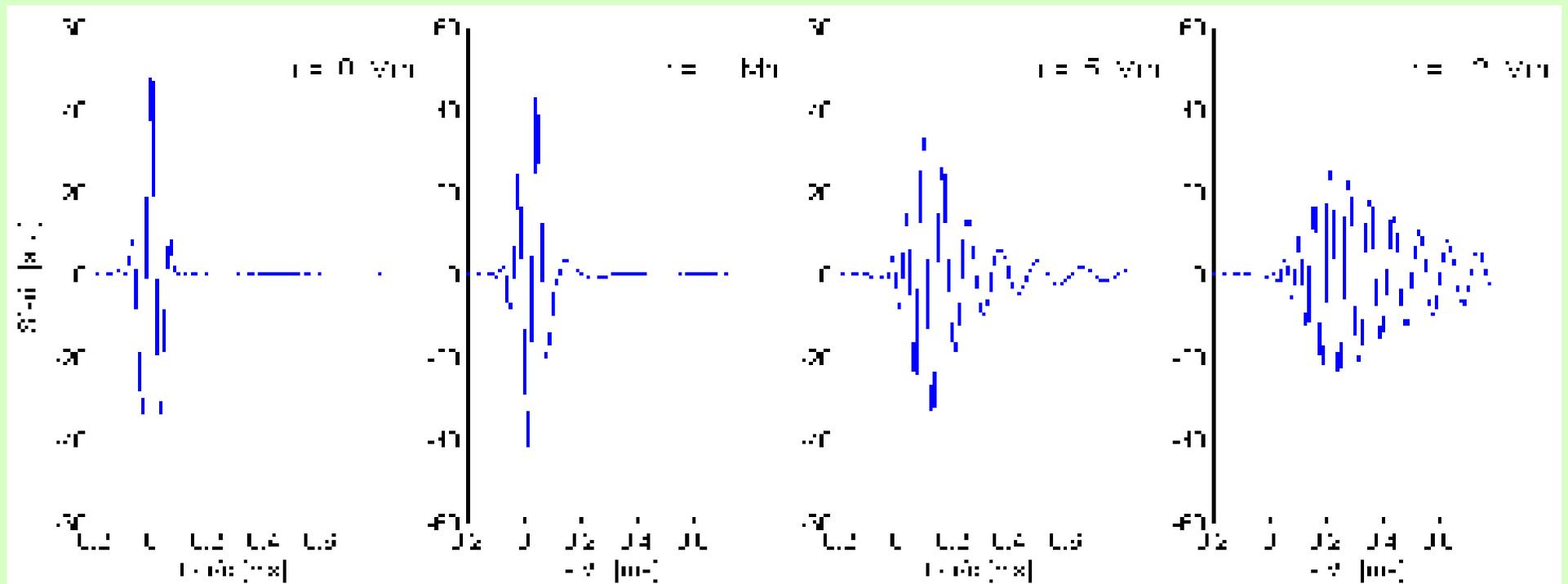
$$A(\omega) = \cos^2\left(\pi \frac{\omega - \omega_a}{2\omega_r}\right)$$

Amplitude de l'harmonique

ω_a = fréquence du pic spectral ($\approx 10-12$ kHz)

ω_r = largeur du spectre à mi-hauteur ≈ 14 kHz

Sferic synthétique



Localiser les impacts foudre à partir des TOGAs

Il faudrait :

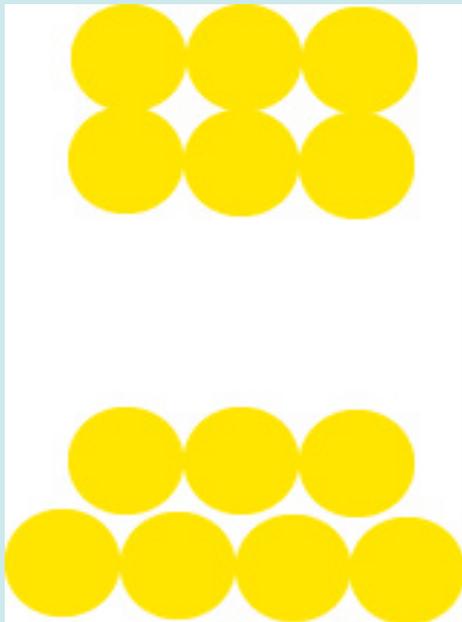
- grouper les TOGAs correspondant à un impact
- localiser par la méthode des hyperboles (TOA)
⇒ Trop difficile!

On fait l'inverse

- on fixe des points arbitraires tout autour du globe
- on calcule en chacun de ces points l'instant de l'impact s'il avait eu lieu à cet endroit

5744 “pins” à la surface de la terre

- Répartis sur 67 anneaux ($33 \times 2 + 1$)
- Ecart en Latitude des anneaux :
2.67° ou 300 km ou 1 ms
- Ecart constant sur chaque anneau de 300 km
- Distance max entre pin et foudre :
~ 200 km (~50% within 100 km)
- Les “pins” sont placés en quinconce
- Calcul des temps de propagation d'une Station vers chaque pin (GTT).

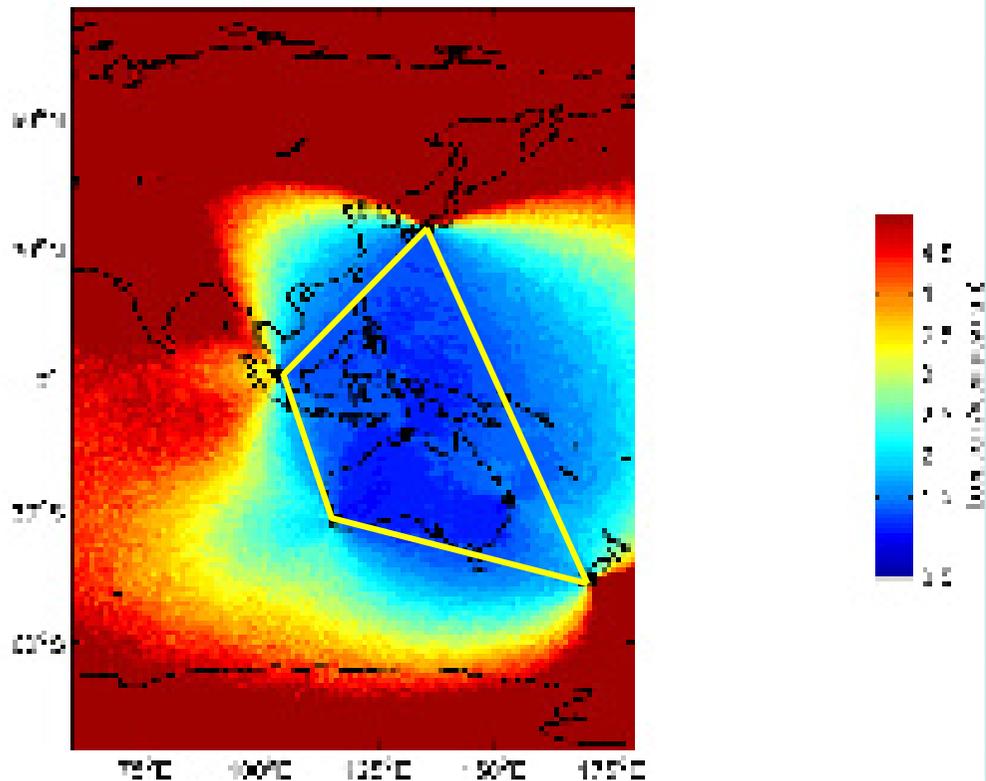


procédure

- Regrouper les TOGAs ds une fourchette de 50ms (15Mm)
- Si $n < 5$ stations \rightarrow élimination du 1^{er} \rightarrow jusqu'à $n > 4$.
- Pour chaque TOGA sélectionné, calculer :
$$T_m = \text{TOGA} - \text{GTT} \quad (\text{matrice})$$
- Calculer les résidus de tous les T_m en chaque pin
- Sélectionner le “meilleur” pin (résidus le plus faible)
- Vérifier qu'il est entouré de Stations
- Démarrer la “Down Hill Simplex Method”
- Conserver la localisation erreur < 10 km
- Reconstruire le groupe de TOGA suivant en tenant compte des TOGA éliminés précédemment

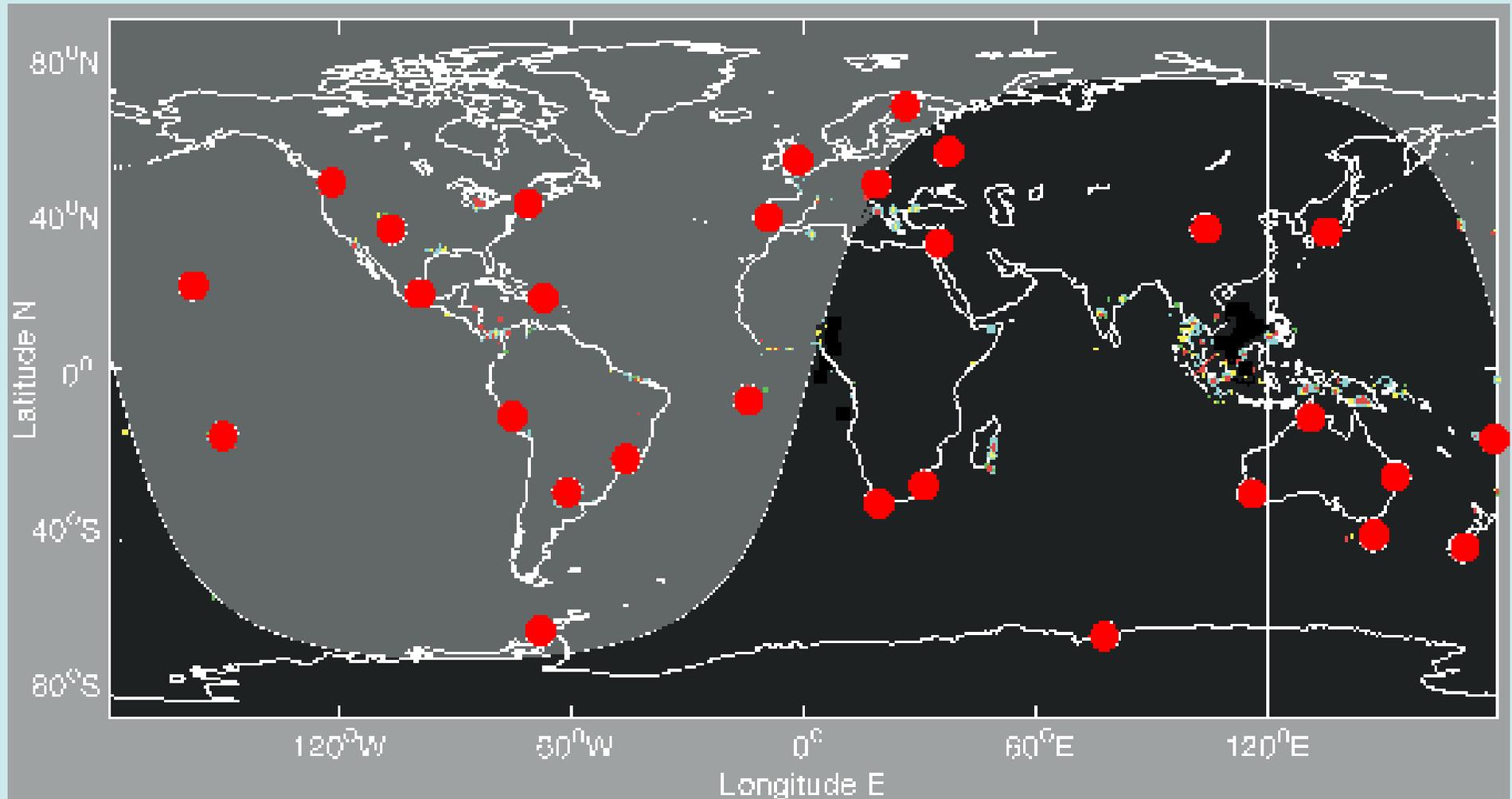
- o - o - o - o - o - o - o - o - o - o - o - o - o - o -

Distribution des erreurs en fonction de l'emplacement

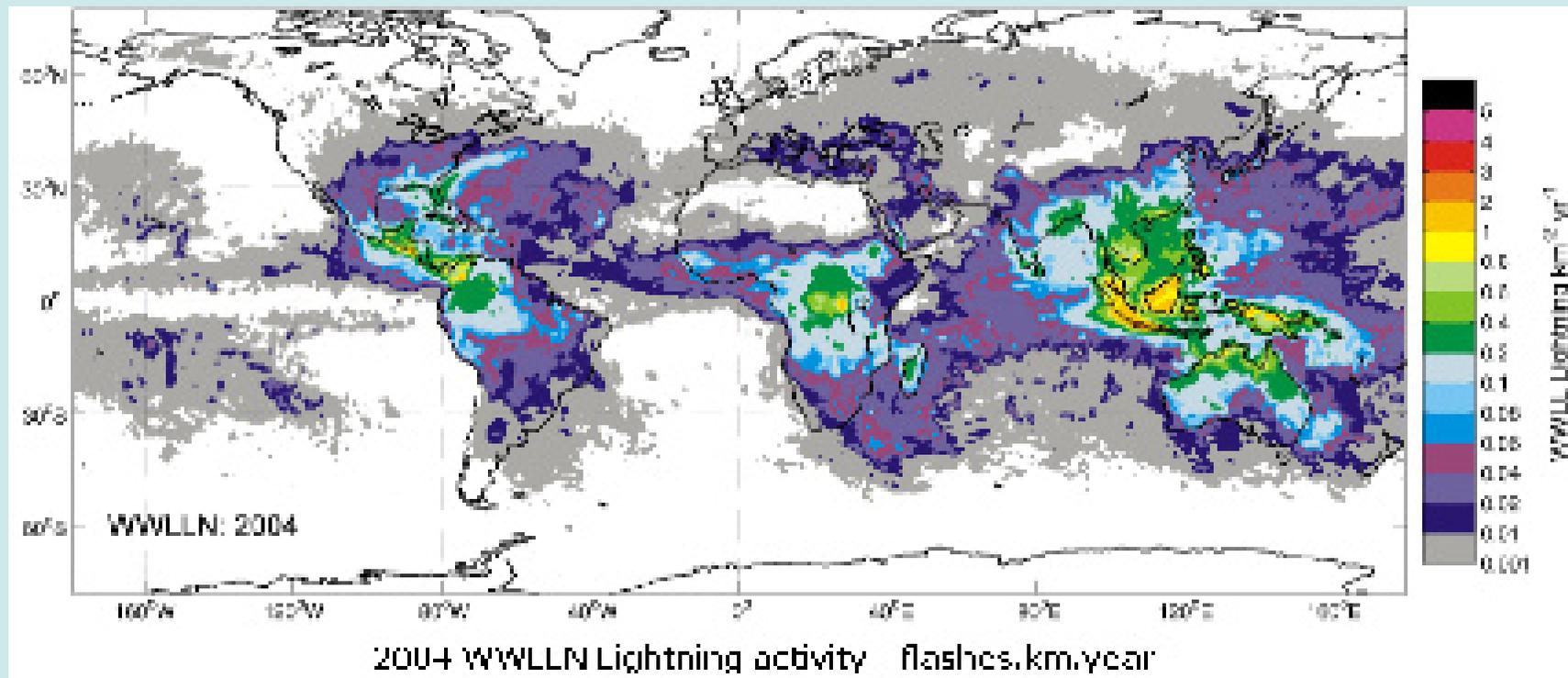


- 6 sites :
 - Osaka
 - Singapore
 - Darwin
 - Brisbane
 - Perth
 - Dunedin
- L'erreur est plus importantes pour les impacts situés à l'extérieur de la zone délimitée par les 6 sites

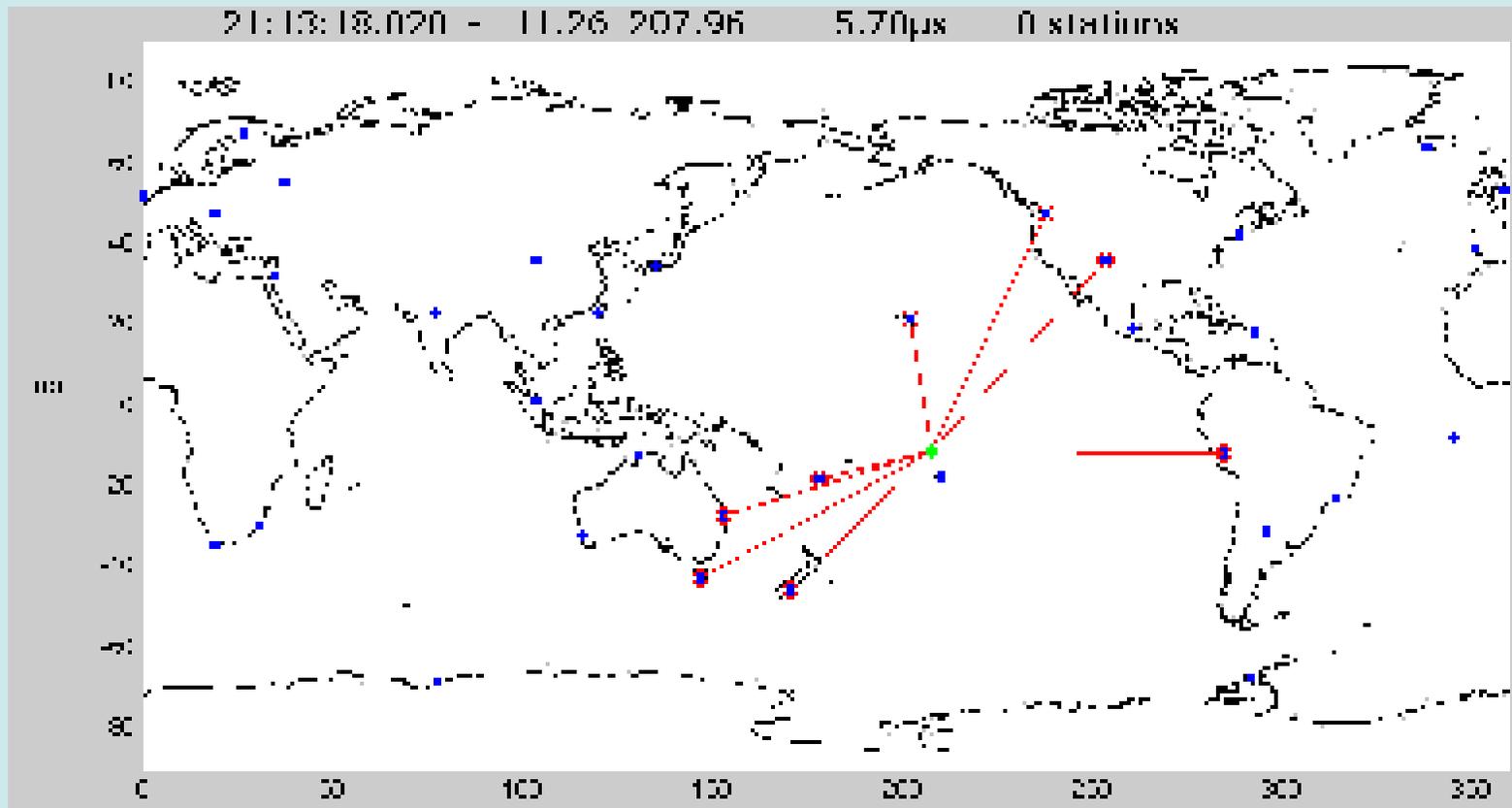
Distribution des stations WWLLN



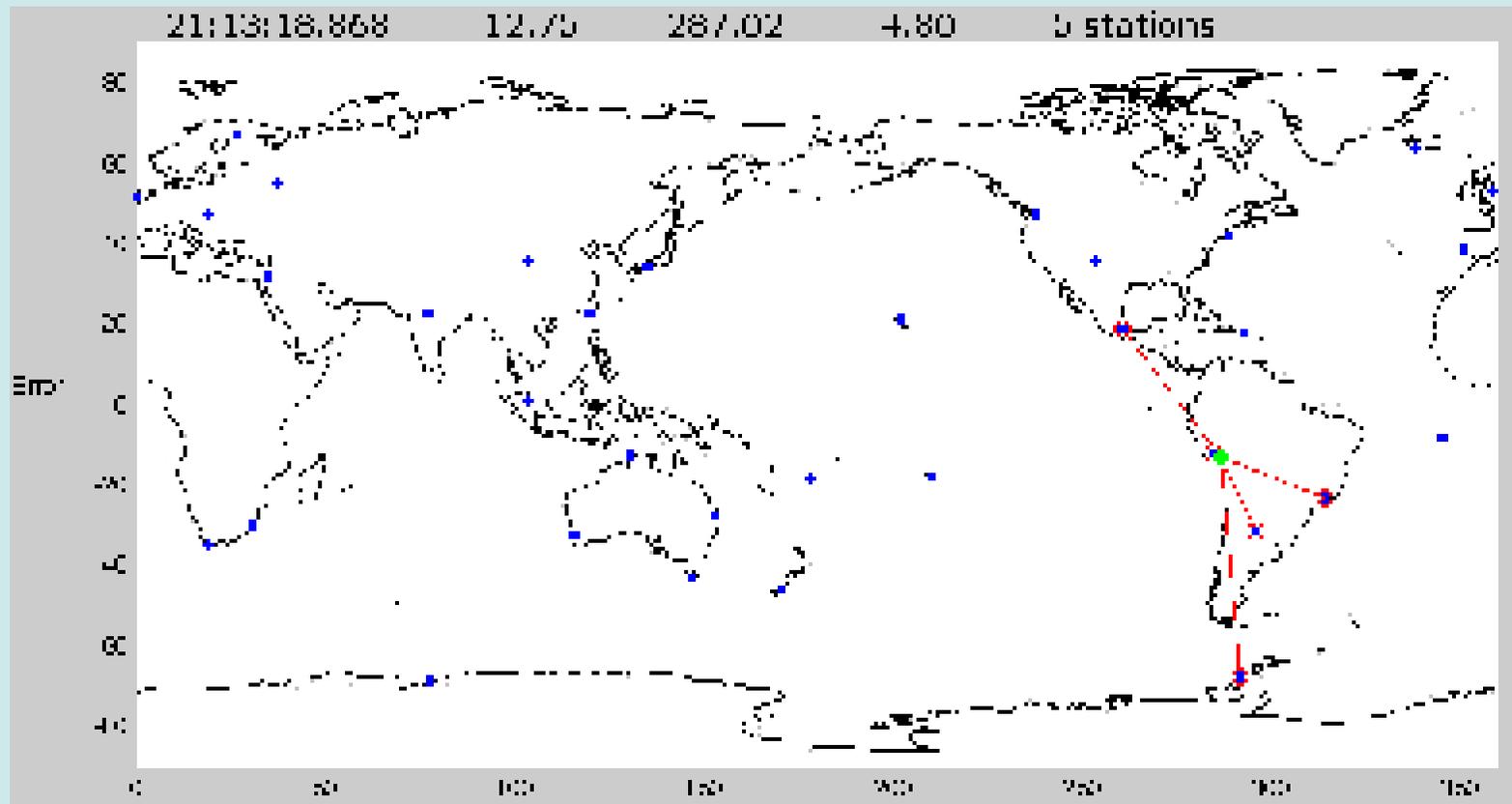
Activité orageuse globale par WWLLN en 2004



Etude au cas par cas



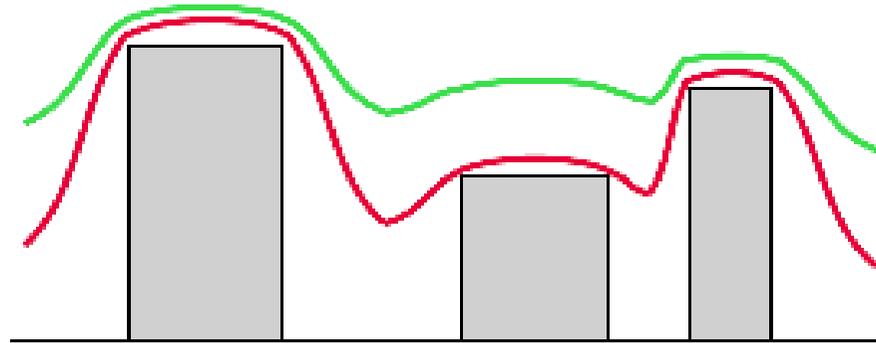
Etude au cas par cas



VLF = Very Long Waves!

- VLF = 3-30 kHz, so $\lambda = 100-10$ km.
- Max spectral density at 10 kHz or 30 km
- For distances $< \lambda/2\pi \sim 5$ km at 10 kHz, induction field dominates near Xt or Rx.
- E/H is very strongly dependent on the environment near (< 5 km) the receiver.
- In forests and canyons, $E/H \sim 0$.
- On top of tall towers, $E/H \gg Z_0$

Siting the VLF antenna



- E shielding is produced by induced charge.
- H shielding is produced by induced current.
- At VLF, buildings, etc, are equipotential surfaces.
- Red and green equipotential surfaces indicate good and bad antenna sites.

Calibrating the VLF antenna

- Electric field at the VLF antenna is very strongly dependent (orders of magnitude) on the site.
- Not so the magnetic field, H , (only x2 in extremes), so measure or calculate H and get $E = Z_0 H$.
- However, a large 10 kHz voltage nearby can be used to check for changes.

WWLLN antennas



Osaka



Home



Cordoba



Durban

More WWLLN antennas



Casey, Antarctica



CESS
(Thiruvananthapuram)



Sodankylä



Yatutsk, Siberia