



A la découverte du Traitement des signaux audio

METISS

Inria Rennes - Bretagne Atlantique

Les conférences scientifiques au Lycée Descartes

- *Imagerie médicale et neuronavigation* par Pierre Hellier
- *Le respect de la vie privée dans la société de l'information* par Sébastien Gambs
- *C'est quoi, la bioinformatique ?* par Pierre Peterlongo

Vidéos disponibles sur videos.rennes.inria.fr/conf-Descartes/



Aujourd'hui : Traitement des signaux audio

?

C'est quoi le Traitement du Signal et à quoi ça sert ?

En quoi consiste la recherche en Traitement du Signal appliqué à l'audio ?

C'est quoi une fréquence, un sonogramme, un spectre ?

Comment les mathématiques permettent-elles d'analyser un son ?

Quel est le métier d'un ingénieur de recherche ?

Questions bonus :

Est-il possible de faire chanter juste n'importe qui ?

Quel est l'animal le plus bruyant, proportionnellement à sa taille ?

1

C'est quoi le traitement du signal ?

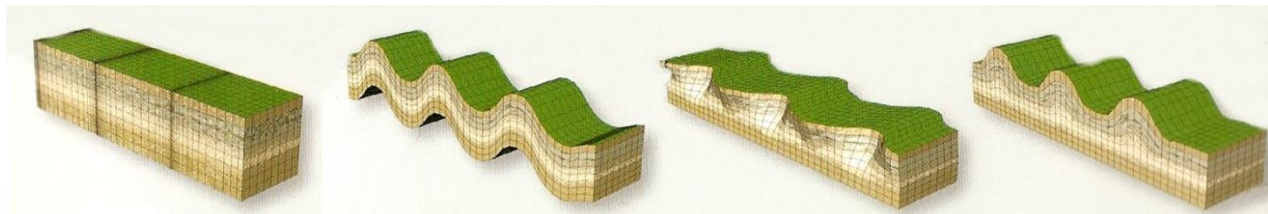
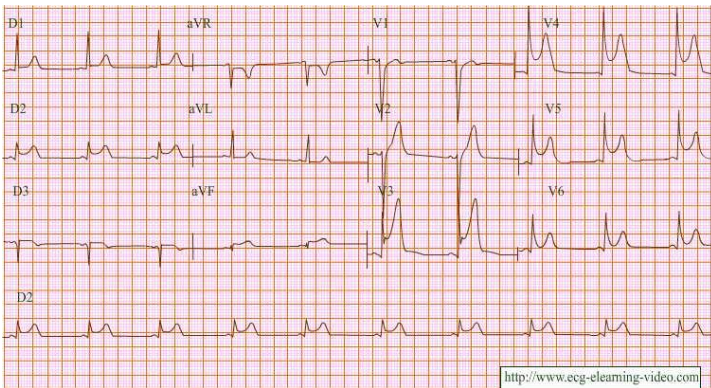
Introduction au traitement du signal

C'est quoi un signal ?

- « Le symbole mathématique d'une grandeur physique mesurable »

C'est-à-dire ?

- Une grandeur physique que l'on mesure



Introduction au traitement du signal



?

Introduction au traitement du signal



→ 65 ms d'un morceau de musique



Introduction au traitement du signal

Le son est une onde mécanique

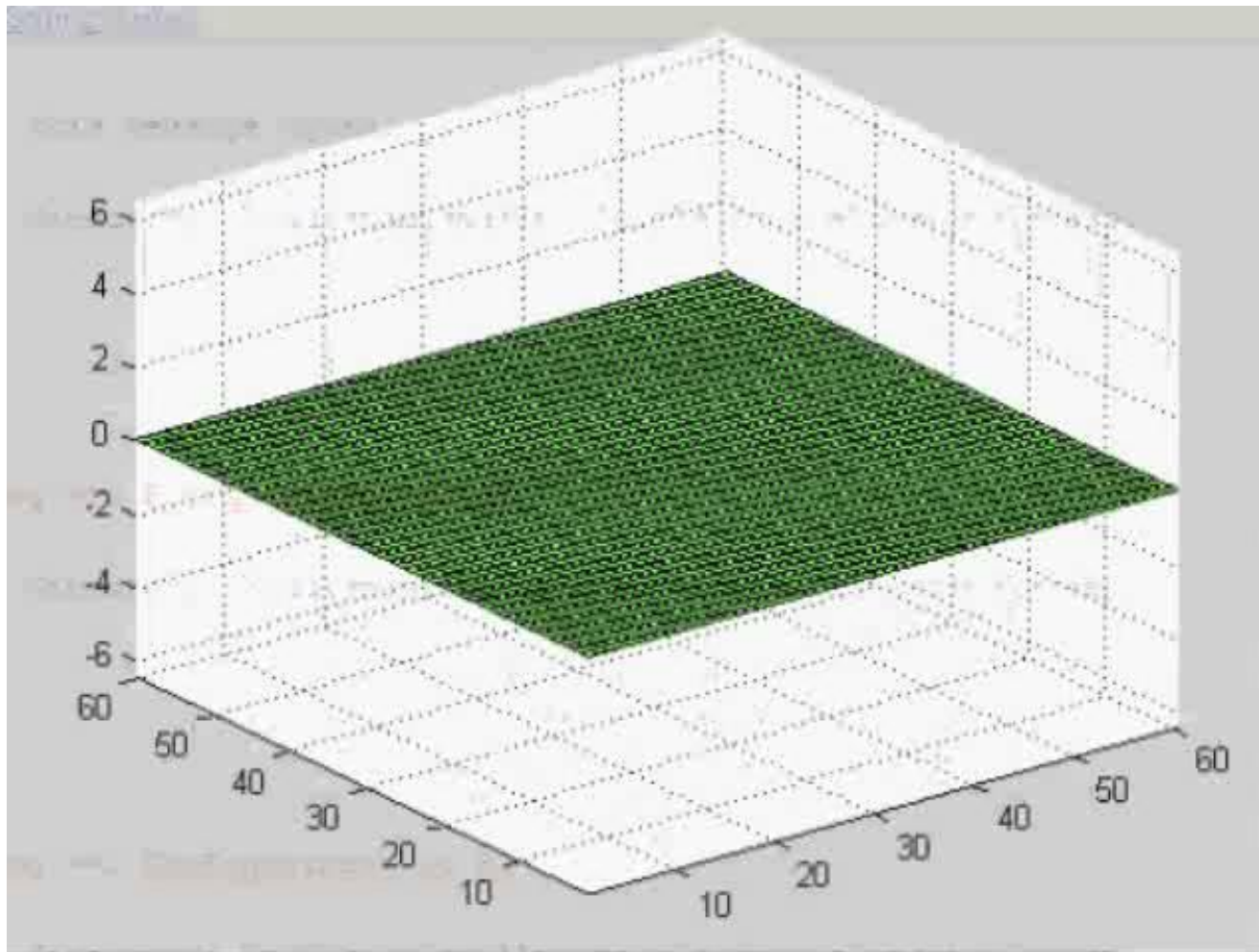
C'est-à-dire ?

- Une vibration qui se propage dans un milieu

Le son voyage à
320m/s dans l'air

Mais encore ?

- Exemple : quand je vous parle...



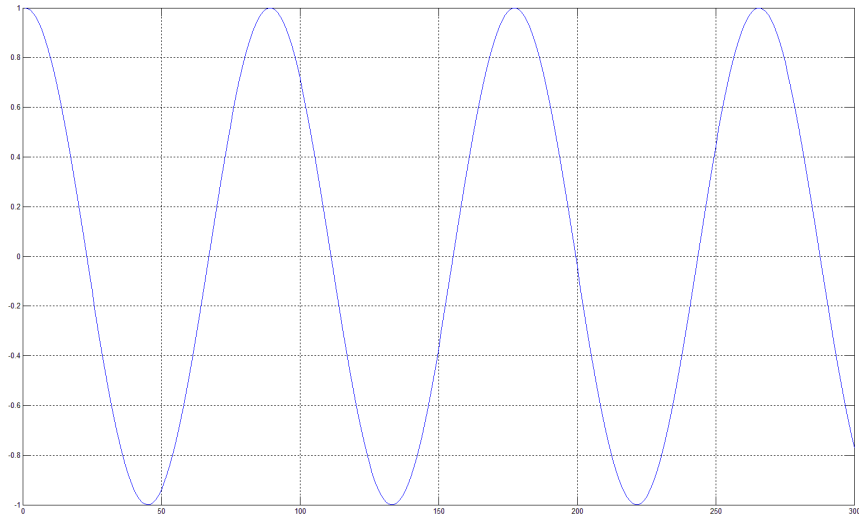
Prenons un cas simple !

Exemple de signal audio simple : une sinusoïde (son pur) à $F=500$ Hz



$$s(t) = \cos(2\pi F t)$$

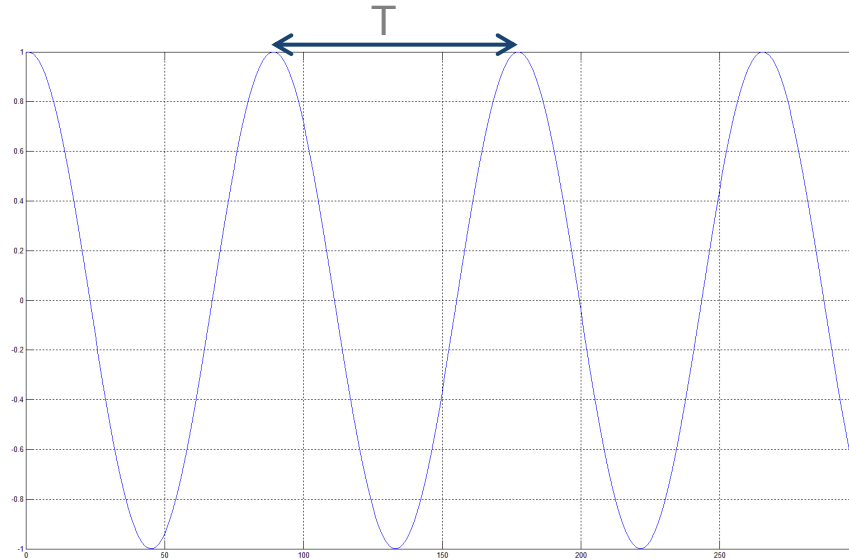
Mais ça, qu'est que ça représente physiquement ? 



Introduction au traitement du signal

C'est quoi une fréquence ?

- « Le nombre de fois qu'un phénomène périodique se reproduit par unité de temps »
- L'inverse de la période $f = 1/T$



Introduction au traitement du signal

Et concrètement ?

- Pour un son, la fréquence est liée à la hauteur (grave ou aigue) perçue par nos oreilles.

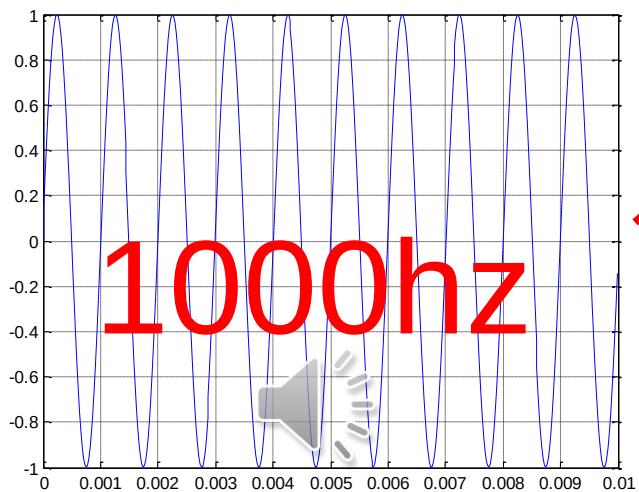
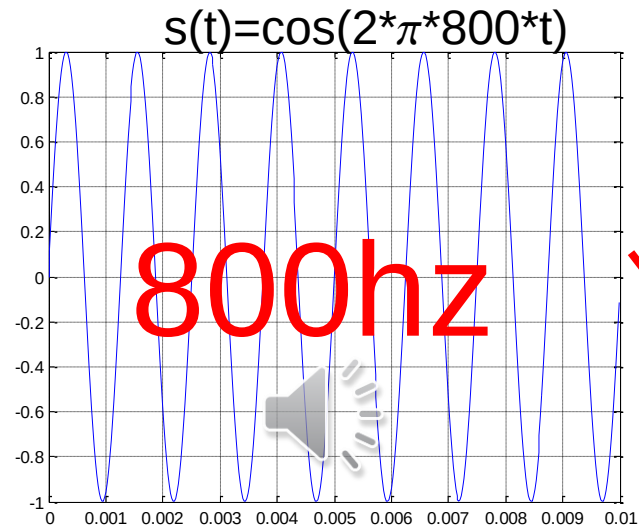
Il n'y aurait pas une représentation plus lisible de la fréquence ?

- Si : un sonogramme!

Construisons un sonogramme...

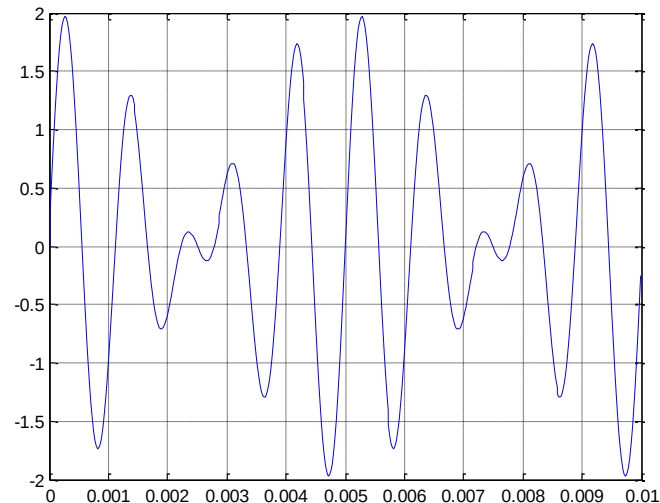
Introduction au traitement du signal

Et pour un son avec deux fréquences ?



$$s(t) = \cos(2\pi \cdot 1000 \cdot t)$$

+



$$s(t) = \cos(2\pi \cdot 800 \cdot t) + \cos(2\pi \cdot 1000 \cdot t)$$

Introduction au traitement du signal

Et jusqu'à quelles fréquences entendons nous (=bande passante de l'oreille)?

- En théorie : de 20Hz à 20 000Hz

Et les animaux ?

<i>Animal</i>	<i>Fréquence minimale – Fréquence maximale (Hz)</i>
Chiens	67-45,000
Chats	45-64,000
Vaches	23-35,000
Chevaux	55-33,500
Moutons	100-30,000
Lapins	360-42,000
Rats	200-76,000
Souris	1,000-91,000
Ratons laveurs	100-40,000
Chauves souris	2,000-110,000
Eléphants	16-12,000
Poissons rouges	20-3,000
Thons	50-1,100
Crapeaux	100-3,000
Poulets	125-2,000

➤ Un petit test ?

Introduction au traitement du signal

Et pour un son plus complexe ?



- une composition de sons purs, **donc plein de fréquences différentes**
- Exemple de la voix chantée...et de morceaux de musique

Introduction au traitement du signal

Ok, mais c'est quoi le traitement du signal ?...

Introduction au traitement du signal

L'utilisation de ces outils et beaucoup d'autres pour résoudre des problèmes !

Traiter = utiliser ces outils mathématiques pour :

- Analyser (reconnaître des mots dans un enregistrement de parole)
- Localiser (localiser des poissons avec un sonar)
- *Débruiter* (enlever un bruit parasite, exemple : anti-vuvuzela)
- Compresser/coder (pour réduire la place de stockage, exemple le MP3)
- Modifier (ajouter un effet sur une guitare électrique)
- Rendre plus robuste (exemple : pour les transmissions de téléphones portables)
- Synthétiser (recréer avec un ordinateur le son d'un instrument à vent)
- ...

Le traitement du signal trouve des applications partout autour de nous !

Introduction au traitement du signal

Petit zoom sur les outils mathématiques que vous voyez en série scientifique et qui sont utilisés en traitement du signal:

- Les nombres complexes
- Statistiques
- Probabilités
- Suites
- ...

Le traitement du signal est souvent confronté à des signaux aléatoires (qui ne prennent pas des valeurs qu'on peut prédire).

Aujourd'hui le traitement du signal utilise massivement l'informatique

$$f(x) = \frac{1}{C_\psi} \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty W_f(s, a) \psi_{s,a}(x) \frac{da ds}{s}$$

$$Q = \sum_{\ell} \left(|h(\lambda_{\ell})|^2 + \sum_{j=1}^J |g(t_j \lambda_{\ell})|^2 \right) |\hat{f}(\ell)|^2 = \sum_{\ell} G(\lambda_{\ell}) |\hat{f}(\lambda_{\ell})|^2$$

$$\phi(X_{t_k}^{t_k+m_k}, X_{\theta}^{\theta+m_k}) = \sum_{p=0}^{m_k-1} 1 - \delta(x_{t_k+p}, x_{\theta+p})$$

$$\left\| r^{(i)} \right\|_2^2 \leq \left(1 + \frac{K(1-\mu_1(K-1))}{(1-\mu_1(K-1)-\mu_1(K))^2} \right) \|s - \Phi_{opt} x_{opt}\|_2^2 \quad \tau_n^* = \arg \min_{\tau_n \in \Gamma} \sum_{t,f} \frac{1}{v^b(t,f)} \mathcal{M}(t,f,\boldsymbol{\tau},\theta')$$

$$|W_f(t,n) - \tilde{W}_f(t,n)| = \left| \sum_{\ell} g(t\lambda_{\ell}) \hat{f}(\ell) \chi_{\ell}(n) - \sum_{\ell} p(\lambda_{\ell}) \hat{f}(\ell) \chi_{\ell}(n) \right| \quad \text{FNR} = 10 \log_{10} \frac{\sum_n \|\mathbf{x}_n\|^2}{\sum_n \|\mathbf{x}_n - \mathbf{y}_n\|^2}$$

$$\hat{\mathbf{x}}_S := \mathbf{D}\hat{\mathbf{z}}; \quad \hat{\mathbf{z}} := \arg \min_{\mathbf{z}} \|\mathbf{z}\|_{\tau} \text{ subject to } \mathbf{y} = \mathbf{M}\mathbf{D}\mathbf{z}$$

$$|f|_{\mathcal{A}_q^s(\Phi)} := \left(\sum_{k \geq 1} [k^s \sigma_k(f, \Phi)]^q k^{-1} \right)^{1/q} \asymp \left(\sum_{j \geq 0} \left[2^{js} \sigma_{2^j}(f, \Phi) \right]^q \right)^{1/q}$$

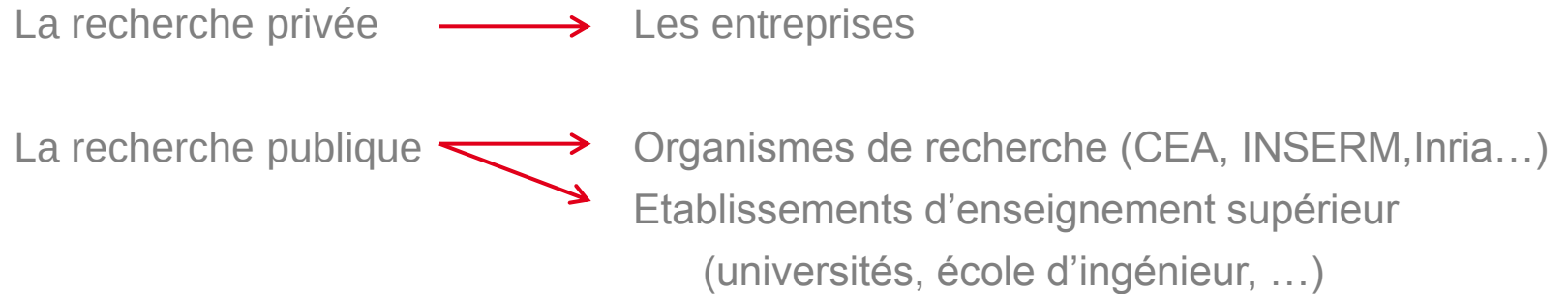
Formules mathématiques extraites de publications de l'équipe METISS sur l'année 2011

2

La recherche en traitement du signal audio

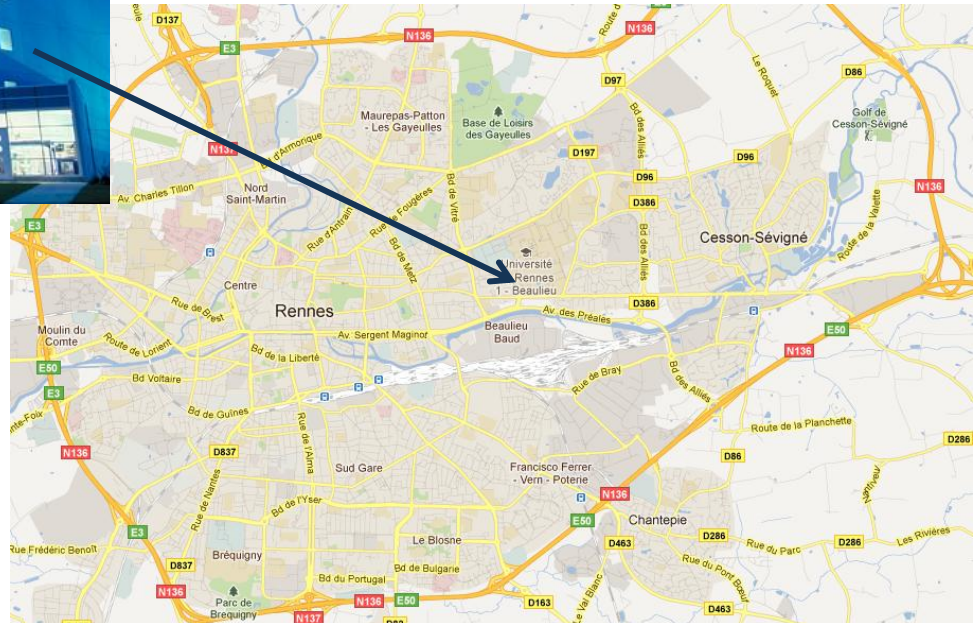
Ça marche comment la recherche en France ?

La recherche en France



388 300 personnes travaillent dans ce secteur dont 229 100 chercheurs (doctorants, post-doctorants, ingénieurs,...).

Inria Rennes



Un centre de recherche à Rennes :

- + de 600 personnes
- De nombreux thèmes de recherche

Inria ?

Bio-informatique

Sécurité

Imagerie médicale

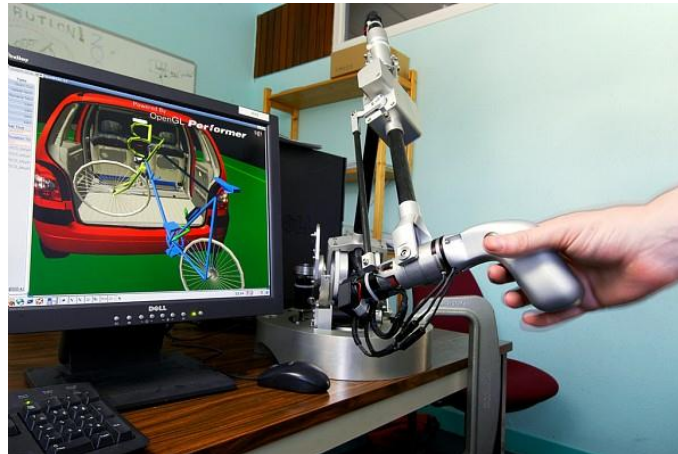
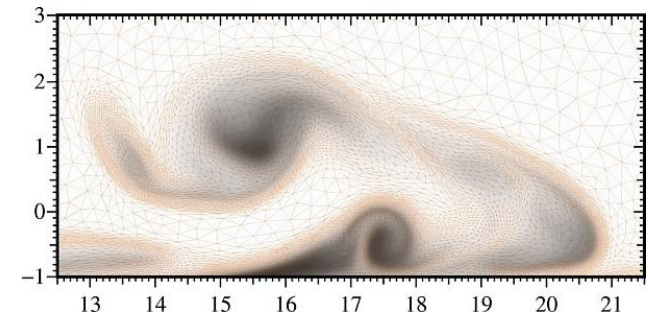
Robotique

Réalité virtuelle

Sciences de l'informatique

Traitement du signal (audio, vidéo, parole)

...



Cartographie par domaines

STIC pour les sciences de la
vie et de l'environnement

FLUMINANCE

SYMBIOSE

VISAGES

SERPICO

SAGE

Mathématiques appliquées,
calcul et simulation

I4S

IPSO

ASPI

Réseaux, systèmes et
services, calcul distribué

TRISKELL

DISTRIBCOM

ASCOLA

MYRIADS

DIONYSOS

KERDATA

ATLANMOD

ASAP

ACES

CIDRE

Algorithmique, programmation,
logiciels et architectures

CAIRN

ESPRESSO

ALF

CELTIQUE

TASC

S4

VERTECS

Perception, cognition,
interaction

DREAM

TEXMEX

SIROCCO

MIMETIC

VR4I

METISS

LAGADIC

La recherche en traitement du signal appliqué à l'audio

L'équipe METISS (Modélisation et Expérimentation pour le Traitement des Informations et des Signaux Sonores) regroupe 18 chercheurs.

Thèmes de recherche de l'équipe :

- Séparation de sources,
- Localisation et identification de sources,
- Reconnaissance du locuteur,
- Détection d'information (structure musicale, mots, syllabes) dans des enregistrements audio,
- Holographie acoustique,
- ...

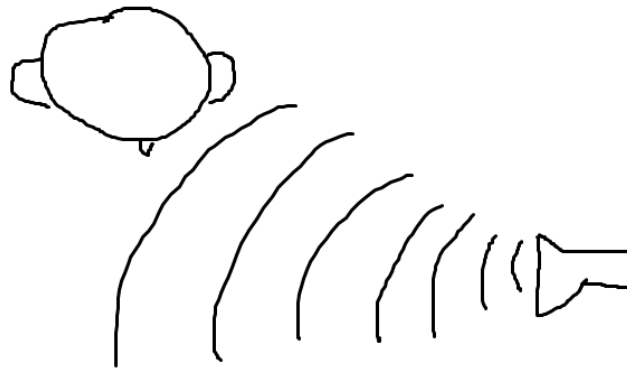
Et des travaux en partenariat avec des industriels (Technicolor, Audionamix, ...)

Un exemple de thème de recherche : la localisation de sources sonores

La localisation de sources comment ça marche ?

Principalement par deux mécanismes :

- Par différence d'amplitude
- Par différence de temps d'arrivées



Le défi : faire la même chose avec des microphones

3

Parcours d'un ingénieur

Parcours d'un ingénieur



- 2010-2011 Inria
- 2009 Stage aux Etats-Unis
- 2006-2009 Ecole d'ingénieur en Télécommunications
- 2004-2006 Classes préparatoires
- 2004 Bac S

Parcours d'un ingénieur

- Classes préparatoires : **deux ans** pour approfondir les matières scientifiques
- ↓
- Concours pour accéder à une école d'ingénieur
- ↓
- Ecole d'ingénieur : **trois ans** pour apprendre le métier d'ingénieur : Cours d'électronique (construction d'une radio), télécommunications, informatique (développement d'un site web), management de projet, traitement du signal, ... et trois stages.

Parcours d'un ingénieur

Trois stages dans des laboratoires de recherche sur le son:

- 1^{ère} année : 1 mois à Paris pour réparer un synthétiseur vocal construit en 1967
- 2^{nde} année : 3 mois à Londres faire une étude sur le mixage automatique
- 3^{ème} année : 6 mois à Berkeley (Etats-Unis) pour travailler sur des instruments électroniques

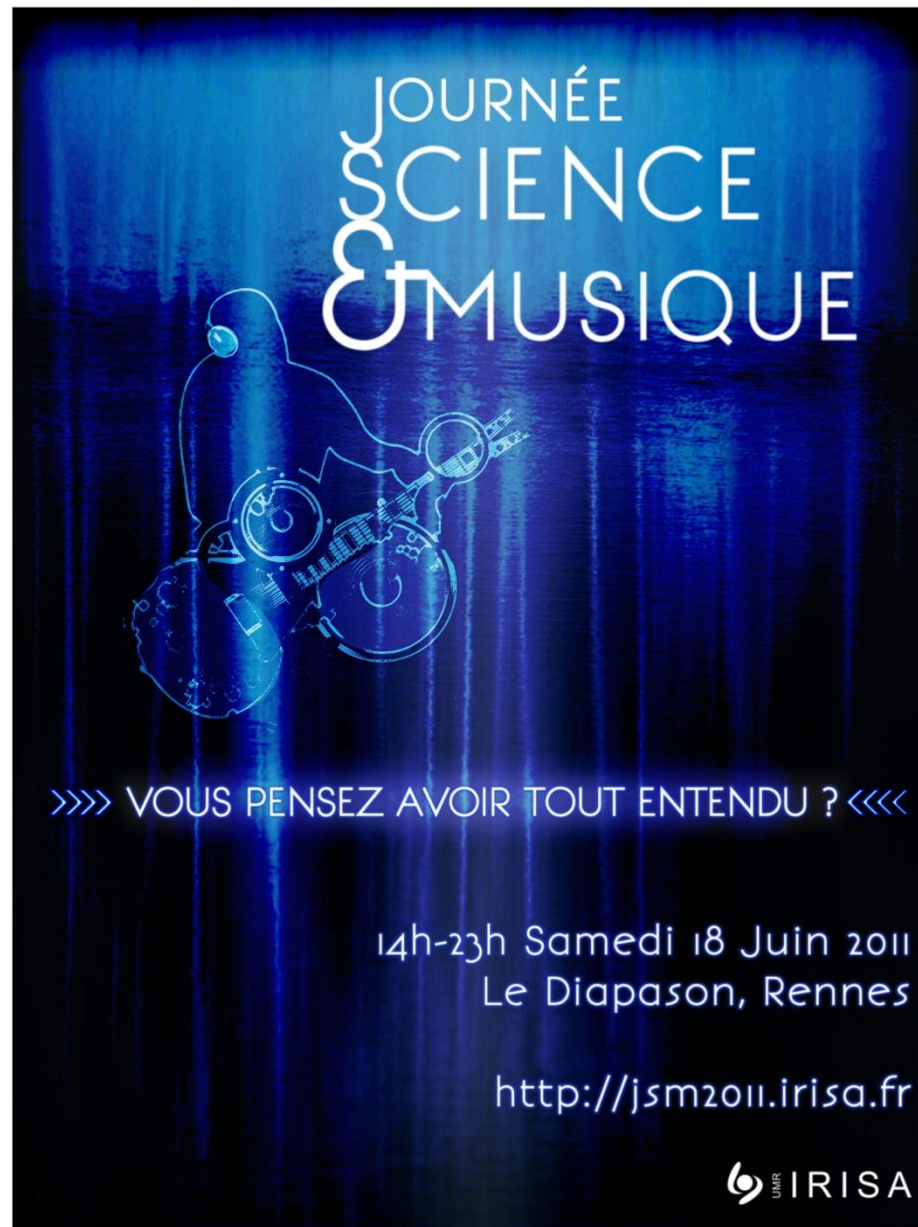


Icophone

Ingénieur à l'Inria

Ingénieur coordination de projets de recherche en traitement des signaux audio.

➡ La journée Science & Musique



Merci !

Des questions ?

Contactez-moi : jespiaud@irisa.fr



Lycée Descartes –Rennes
21 Novembre 2011

Réponses aux questions bonus



**1) Oui, il est possible de faire chanter
juste n'importe qui... en ayant recours
au traitement du signal**



2) 

2) La micronecte pygmée est l'animal le plus bruyant au monde par rapport à sa taille



La micronecte est une puce aquatique d'une taille de 2mm de longueur

Représentation de 1 seconde de chant de la micronecte

