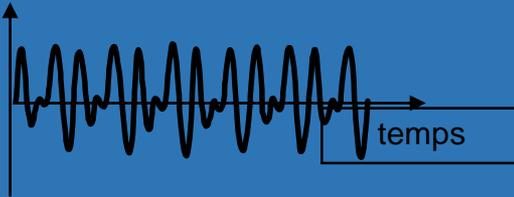
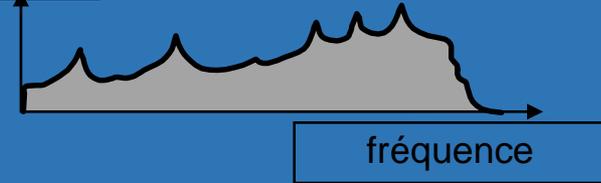


amplitude



amplitude



## Cours de Traitement du Signal 1 :

# Signaux Déterministes (1/2) ... et pas seulement!

Serge Dos Santos

Maître de Conférences HDR à l'INSA Centre Val de Loire

Membre Permanent de *[l'Académie Internationale de Contrôle Non Destructif](#)*

[UMR 1253 « Imagerie et Cerveau », iBrain, Inserm](#)

INSA CVL, 3 rue de la Chocolaterie CS 23410

F-41034 BLOIS cedex, France

[serge.dossantos@insa-cvl.fr](mailto:serge.dossantos@insa-cvl.fr)



## Cet enseignement comprend

- 8 heures de cours "signaux déterministes"
- 10h20 heures de TD "signaux déterministes"  
dont 4 sous Matlab
- 4 heures de TP (salle D01)
- "mesures temporelles et spectrales des signaux"

- Intervenants :

- Serge Dos Santos : cours, TD, TP, (resp) C16 [serge.dossantos@insa-cvl.fr](mailto:serge.dossantos@insa-cvl.fr)
- Clément Gilavert, société Digby (37) : TD, TP, [c.gilavert@digby-sense.com](mailto:c.gilavert@digby-sense.com)



# TS1 : évaluation

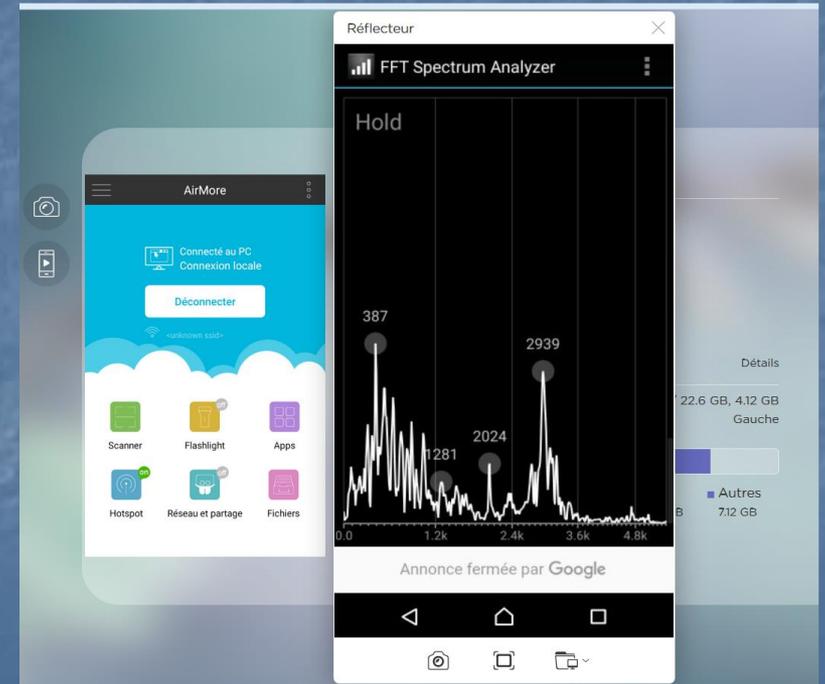
- Compte-rendus des TD : ramassés à la fin de la séance. Les groupes seront constitués d'au plus 3 élèves. Sur les 5 TD, 1 sera noté, affecté d'un coefficient 2 (sur 21) pour le calcul de la note finale de l'EP.
- Projets tutorés et APP (apprentissage par problèmes et par projets) en petits groupes de 3 ou de 5 : les groupes prépareront un dossier (4 pages) et un poster en format A1 présentant l'application du traitement du signal, de l'image ou de l'information dans une discipline de leur choix (génie des systèmes, électrique, mécanique, productique, physique, économie, médecine, biotechnologies et sciences du numérique). Ce dossier devra obligatoirement contenir une notion présentée dans le cours de TS (Spectre, FFT, mesure, bruit, signaux déterministes et/ou aléatoires, etc.). Ce travail sera noté et affecté d'un coefficient 3 (sur 21) pour le calcul de la note finale de l'EP.
- Compte-rendus du TP : ramassés à la fin de la séance, notés et affectés d'un coefficient 3 (sur 21) pour le calcul de la note finale de l'EP.
- L'examen final (2 heures) : affecté d'un coefficient 13 (sur 21) pour le calcul de la note finale de l'EP. Les documents autorisés seront : Feuille A4 recto verso avec notes personnelles, formules et résultats (photocopies formellement interdites).
- Supports de cours
- [http://www.univ-tours.fr/m-dos-santos-serge-204687.kjsp?RH=ACCUEIL\\_FR](http://www.univ-tours.fr/m-dos-santos-serge-204687.kjsp?RH=ACCUEIL_FR)
- [https://celene.insa-cvl.fr/pluginfile.php/18564/mod\\_resource/content/5/cours\\_TS\\_2019\\_GSI\\_INSACVL.pdf](https://celene.insa-cvl.fr/pluginfile.php/18564/mod_resource/content/5/cours_TS_2019_GSI_INSACVL.pdf)
  - Lien des fichiers à télécharger :

<https://filesender.renater.fr/?s=download&token=4b78492d-8ff5-c9a6-1cd9-53d46ae801d8>

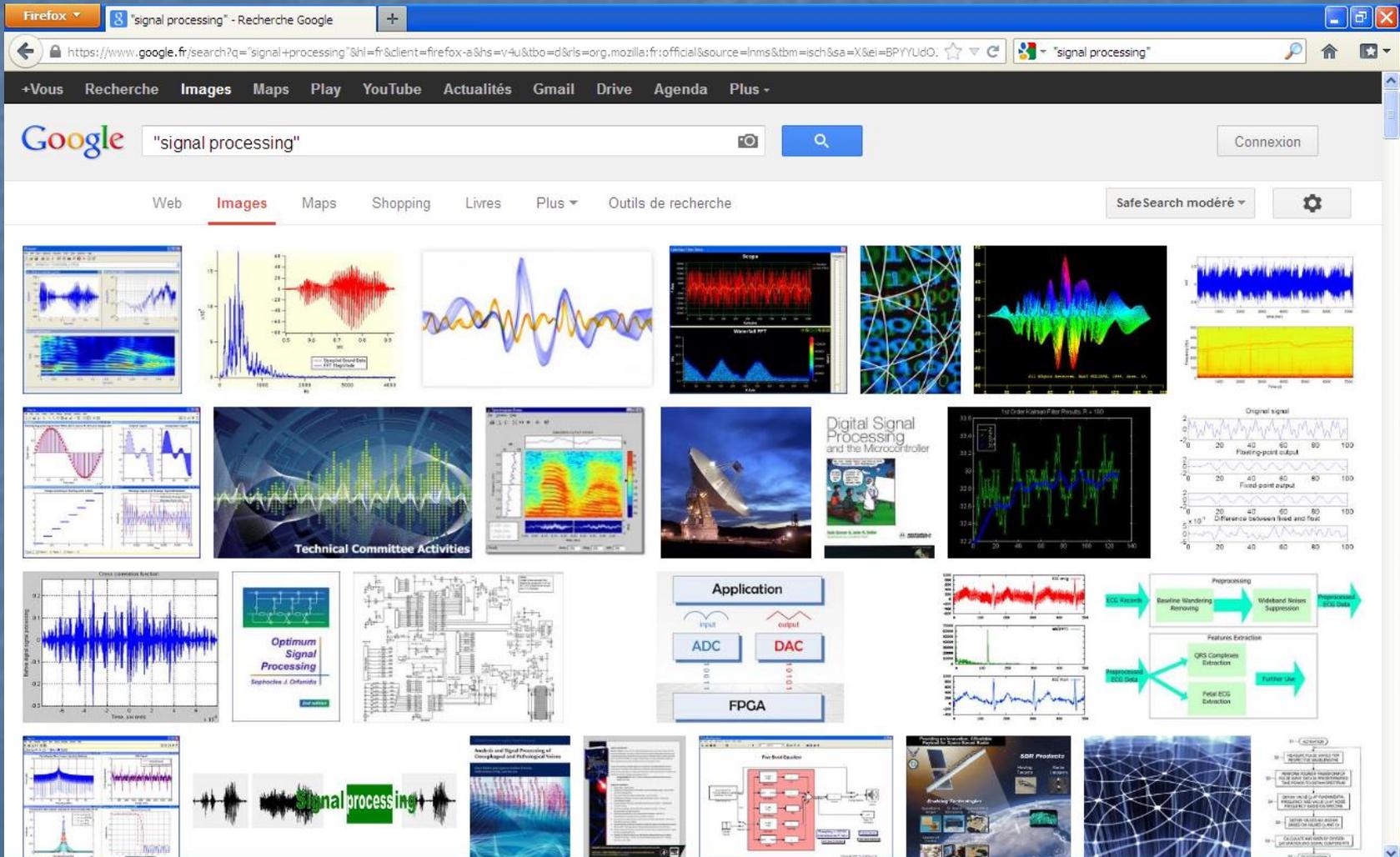


# Prologue

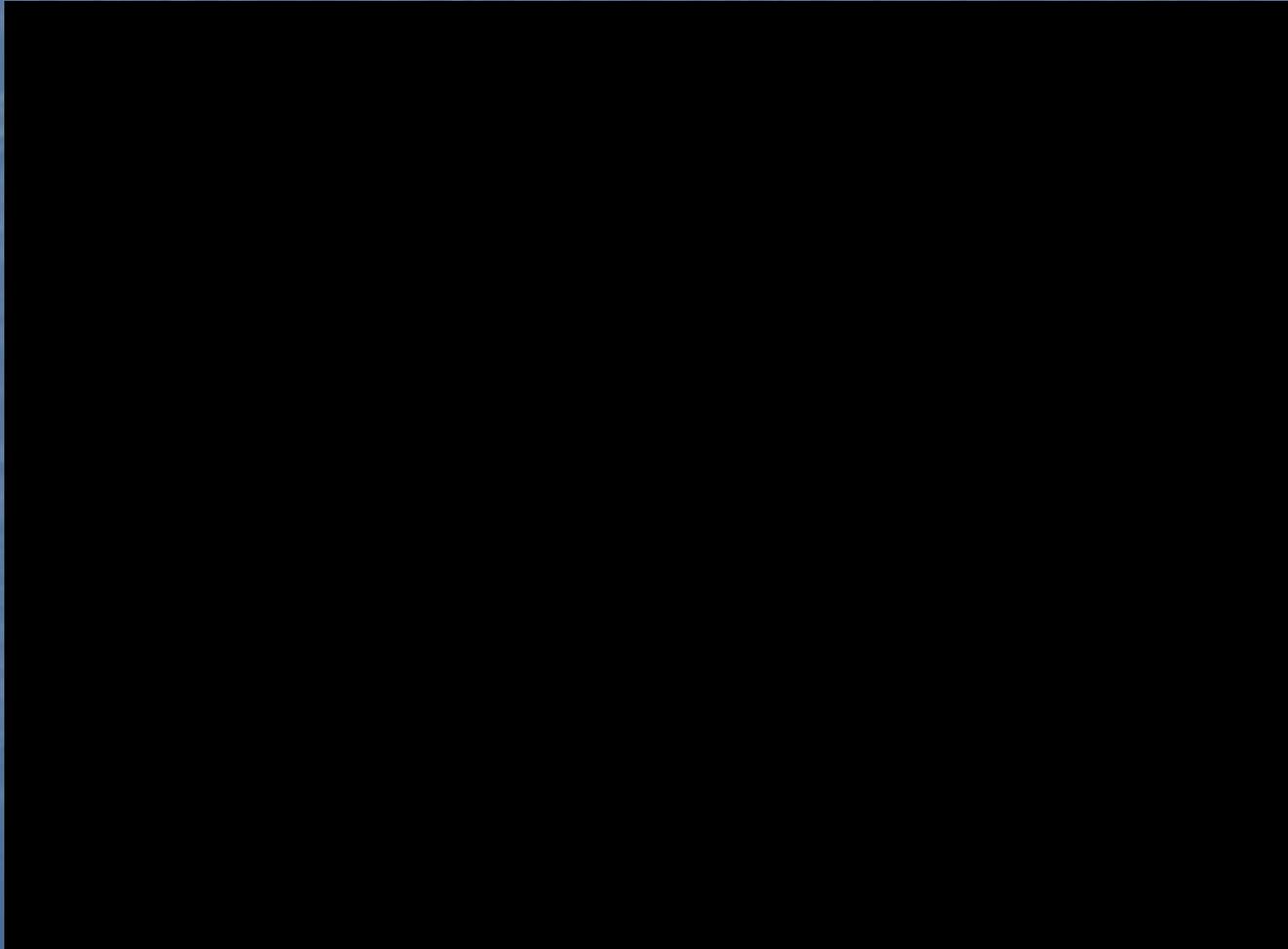
## Pourquoi le Traitement du Signal ?



<https://www.google.fr/search?q=%22signal+processing%22>



# Pour l'industrie et l'avancement des techniques



# Analyse Fréquentielle: le concept

## Horaires de trains

**Temps**  
(Quand?)

·  
·  
·

06:10  
06:30  
06:50  
07:10  
07:30  
07:50  
08:10

·  
·  
·



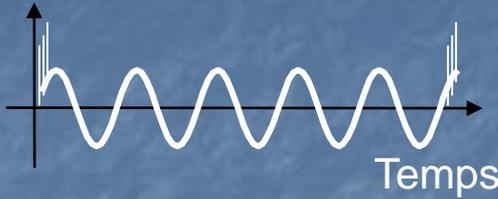
**Fréquence**

(Tous les combien de temps?)

Trois fois par heure à  
partir de l'heure passée  
de 10 minutes

# Types de Signaux

Sinusoïde

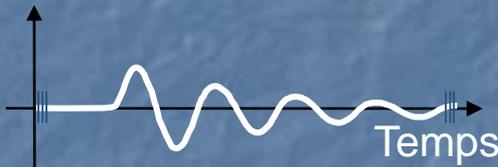


Durée Infinie  
étendue spectrale limitée

Signal  
carré



Transitoire



Impulsion  
idéale



Durée limitée  
étendue spectrale infinie



Baron Fourier.  
(Auxerre, 1768 - Paris, 1830)

<https://www.youtube.com/watch?v=spUNpyF58BY>

<https://www.youtube.com/watch?v=sJ7j81Nqw6g>

**2018 : année Fourier !**

Charles-Edouard LEMORT, *rapport de stage 4ème année ENIVL*,  
Université de Valencia, 2010-2011

ENIVL de Loire  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

Stage Laboratoire 4ème Année

Vitesse de propagation d'ondes dans une orange par étude ultrasonique

Elève ingénieur :  
Charles-Edouard LEMORT

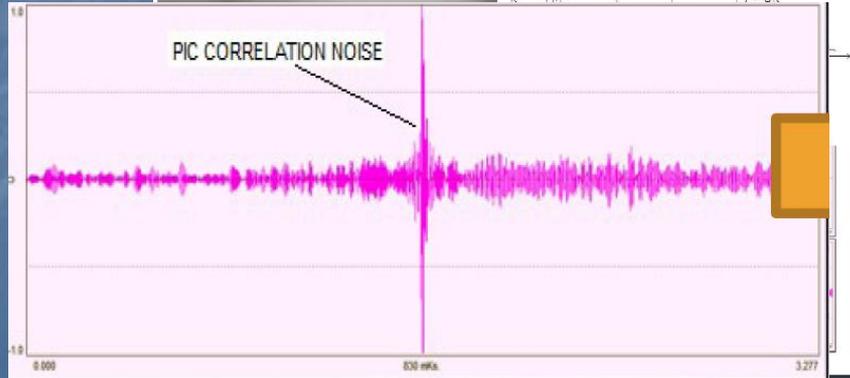
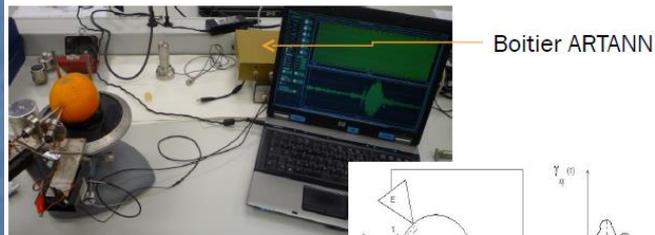
Matthieu Lasseaux, *rapport de stage 4ème année*  
*Challenge Texas Instrument : Analog Design Contest*  
ENIVL, Université de Tallinn, 2010-2011

ENIVL de Loire  
TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Matthieu Lasseaux

Stockage et traitement de données électrocardiographiques

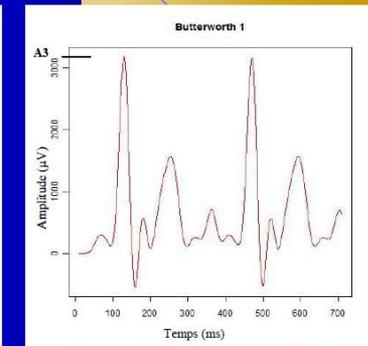
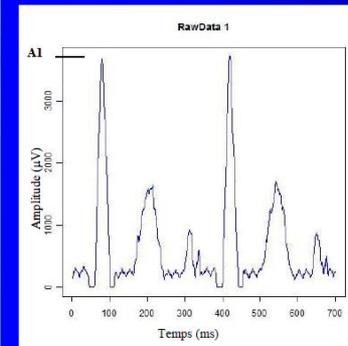
## SYSTEME ARTANN: METHODE



TEXAS INSTRUMENTS  
Analog Design Contest  
Bring ideas to life and get noticed.

## Traitement des données

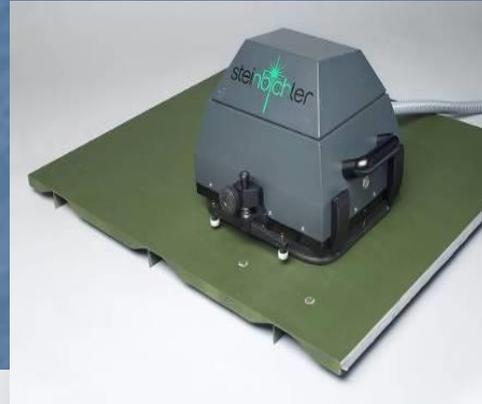
- Filtre de ButterWorth (ordre 8)  $f_c = 40$  Hz



# Le Traitement du Signal : l'outil du Contrôle Non Destructif (CND)



**Phased array UT**



**Shearography**



**RapidScan roller probe**



**Thermography**

( Sources : [Academia NDT International](#) )

# Les enjeux du CND (2015)

## VIE DE LA PROFESSION

ONZE PÔLES DE COMPÉTITIVITÉ SE COORDONNENT AUTOUR DE L'INDUSTRIE DU FUTUR

RÉDIGÉ PAR JACQUES MAROUANI - MERCREDI, 13 MAI 2015 09:52

Taille de police ● ● ● Imprimer E-mail



Solution de collage et enrobage pour l'électronique



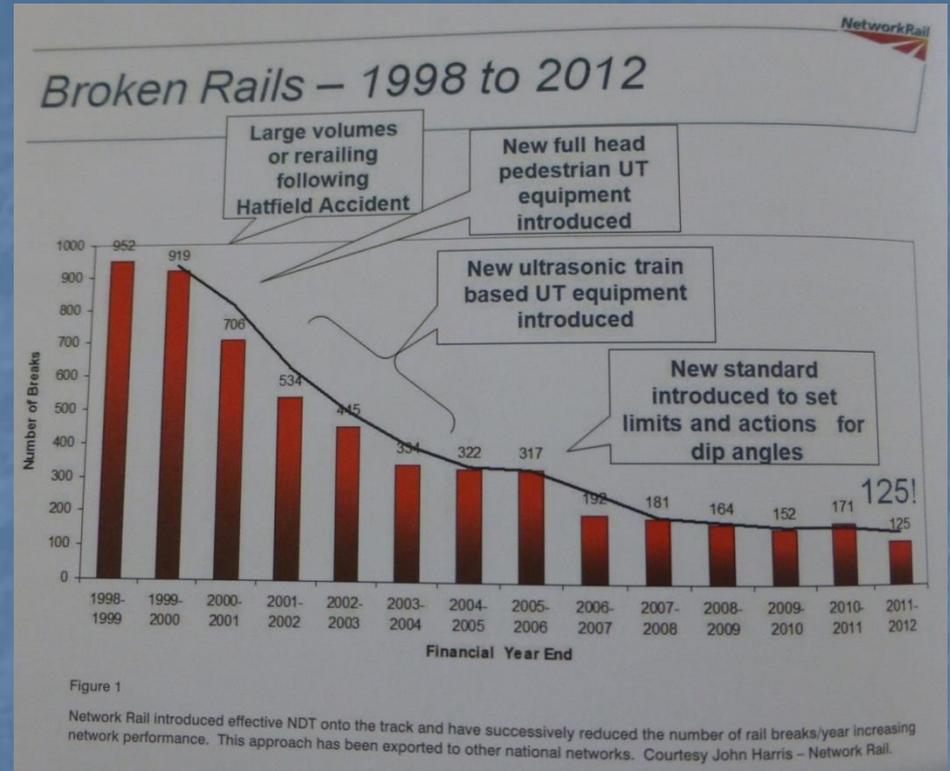
Ces onze pôles ont travaillé sur des dispositifs portant sur des grands défis technologiques que l'industrie devra relever dans les prochaines années : impression 3D, contrôle non destructif, réalité augmentée, robotique collaborative, internet des objets et réseaux de capteurs

<http://www.electroniques.biz/index.php/economie/vie-de-la-profession/item/54148-onze-poles-de-competitivite-se-coordonnent-autour-de-l-industrie-du-futur>

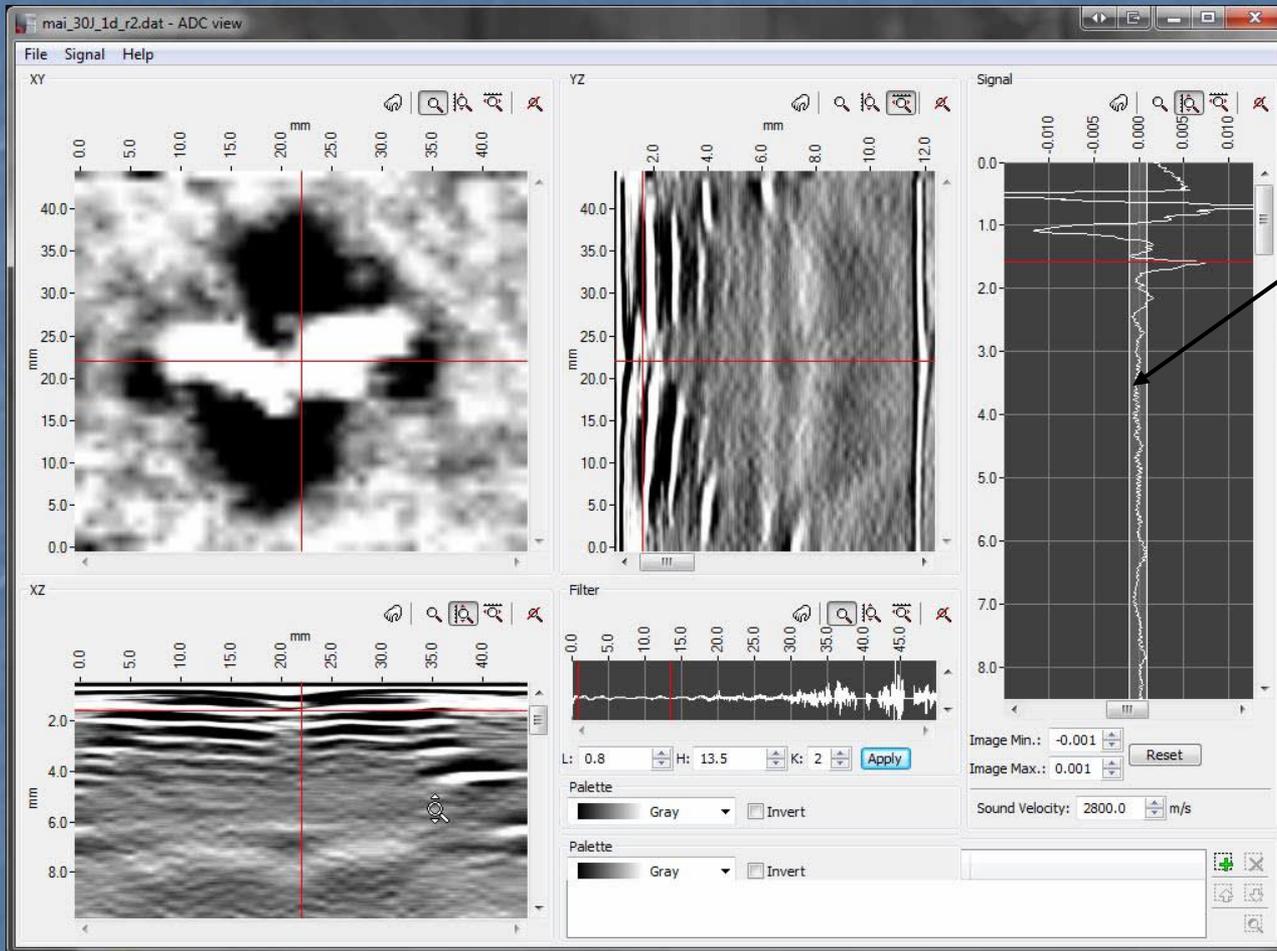
... et à Blois : ITCS, APPA00, etc.

... les projets : commission Denis Papin (JCE) , on en parle ici

<https://rcf.fr/actualite/jce-10-fev>



## Imagerie Ultrasonore et CND (animations codées)



Signal

Logiciels de  
Traitement du  
Signal

Impact sur un composite CFRP

## Pourquoi une théorie du signal ?

- Gérer les discontinuités des signaux
- On « travaille » avec des signaux présentant des caractéristiques « infinies »
- Energie et puissance de tous les signaux
- La fréquence est une grandeur physique très intuitive
- Comment définir la fréquence d'un signal non périodique
  - Théories mathématiques indispensables à l'analyse et au traitement du signal
  - **DISTRIBUTIONS ET STATISTIQUES**
- Théorie des signaux échantillonnés
  - application à l'analyse des signaux numériques
  - convertisseurs, GSM, DSP, analyse par FFT

## Avantages du traitement du signal: représentations

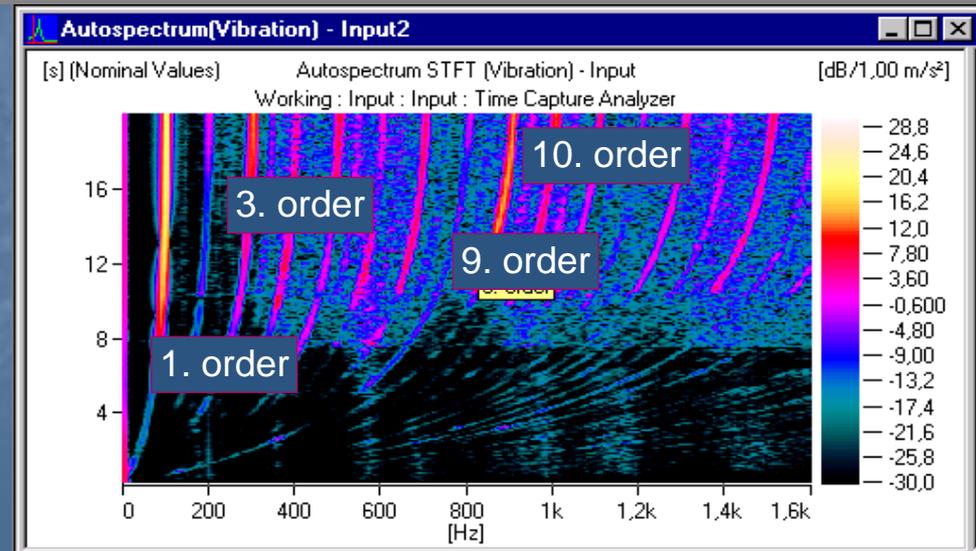
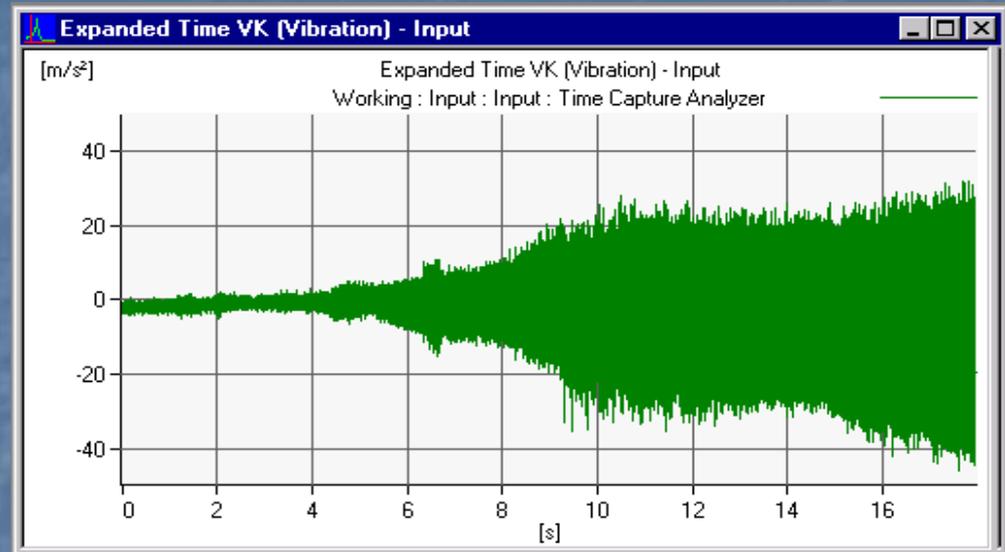
- utilisation de l'analyse de Fourier
- connaissance de la relation temps-fréquence
- interpretation de l'analyse de Fourier
  - spectre en fréquence très riche
  - variation de la fréquence
  - Richesse du spectre des notes de musique
  - Mélodie dans un accompagnement large spectre
- excitation de toutes les fréquences !!!!



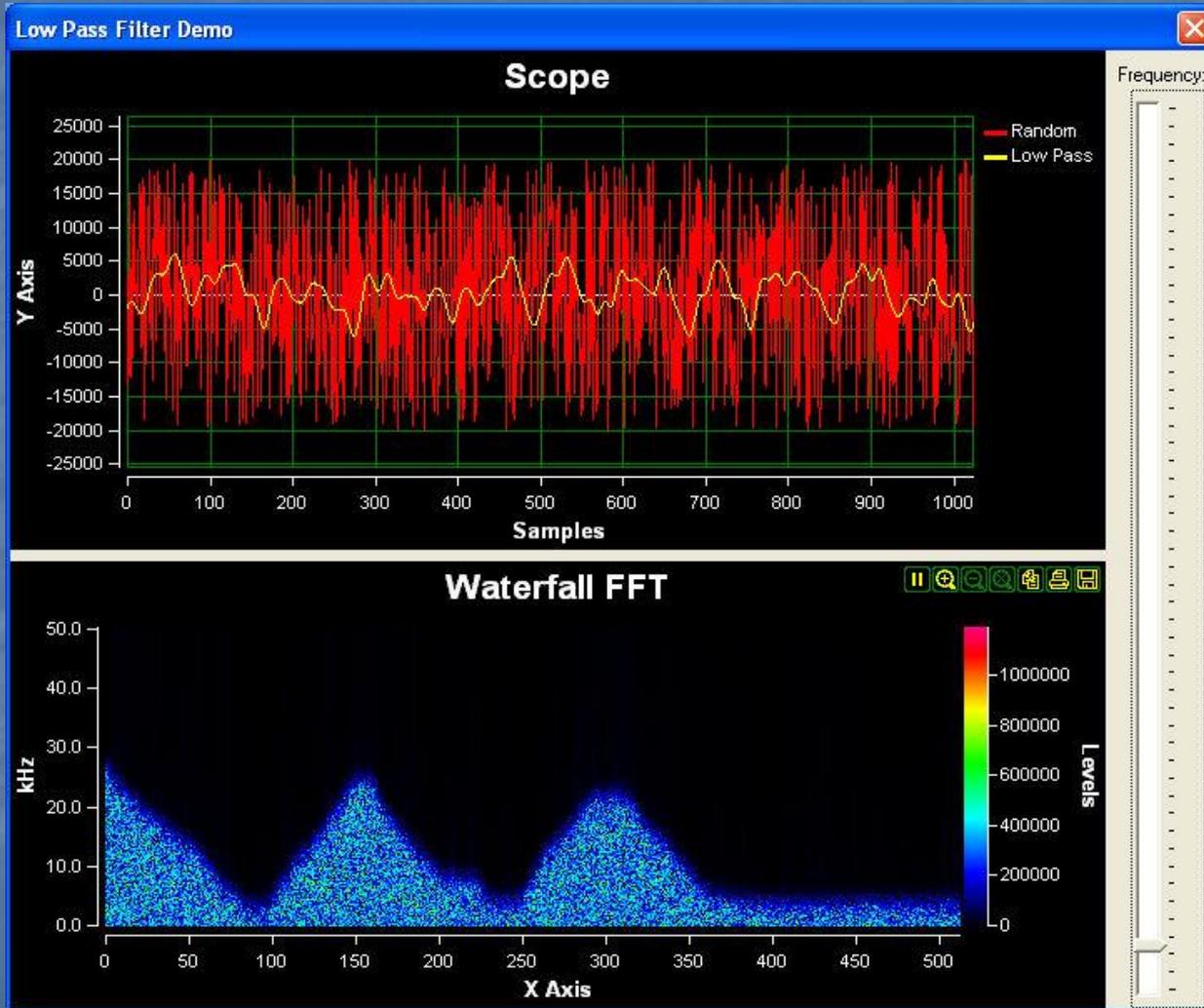
# Exemple d 'application : rotation d 'un moteur

- Enregistrement du signal tachométrique et du signal à analyser
- Sélectionner la partie de signal à analyser
- Faire une analyse de Transformée de Fourier à court terme (STFT)
  - Pour avoir une vue d'ensemble et une inspection

*Exemple:  
Montée en régime d'un moteur électrique avec ordres 1, 3, 9 et 10 dominants*

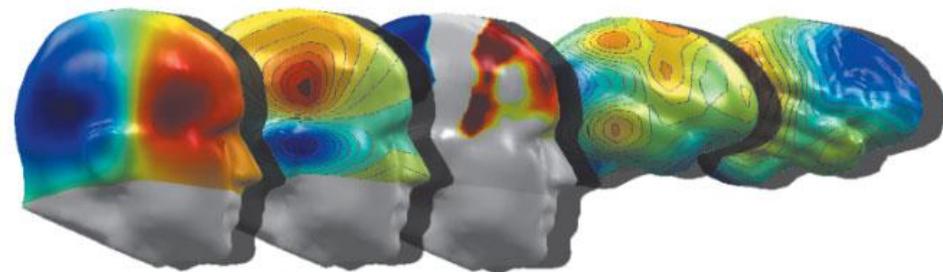
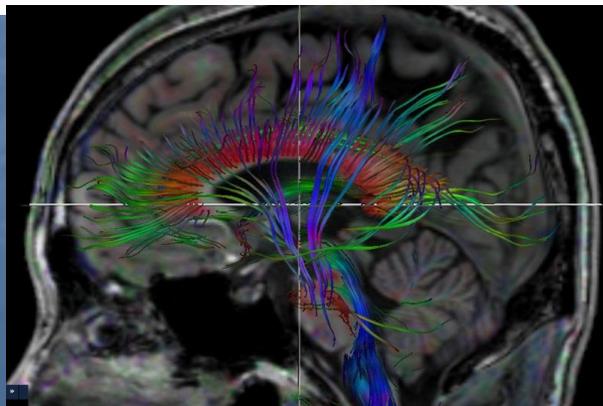
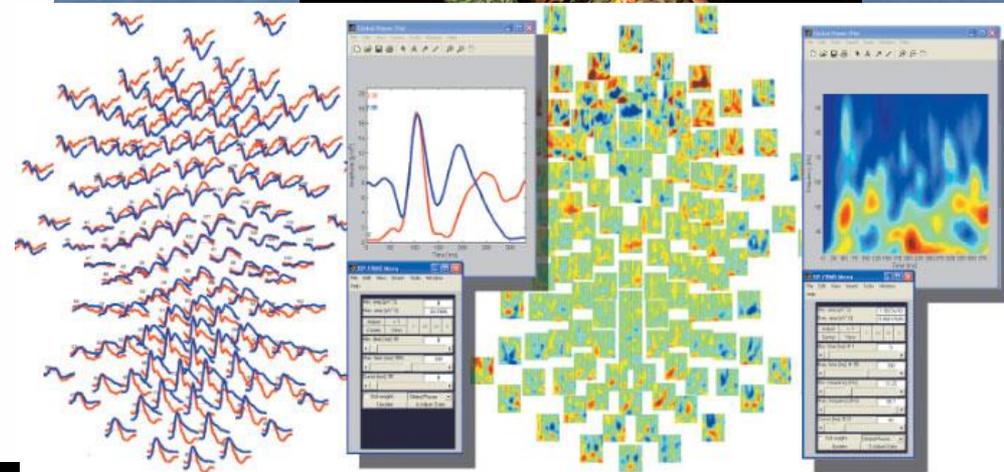
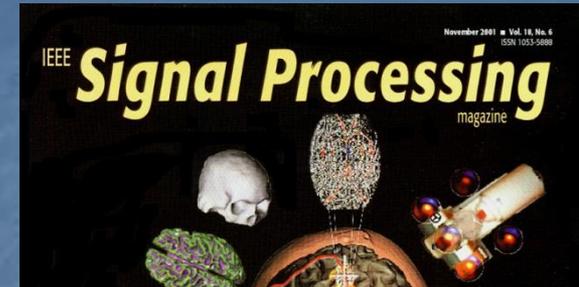
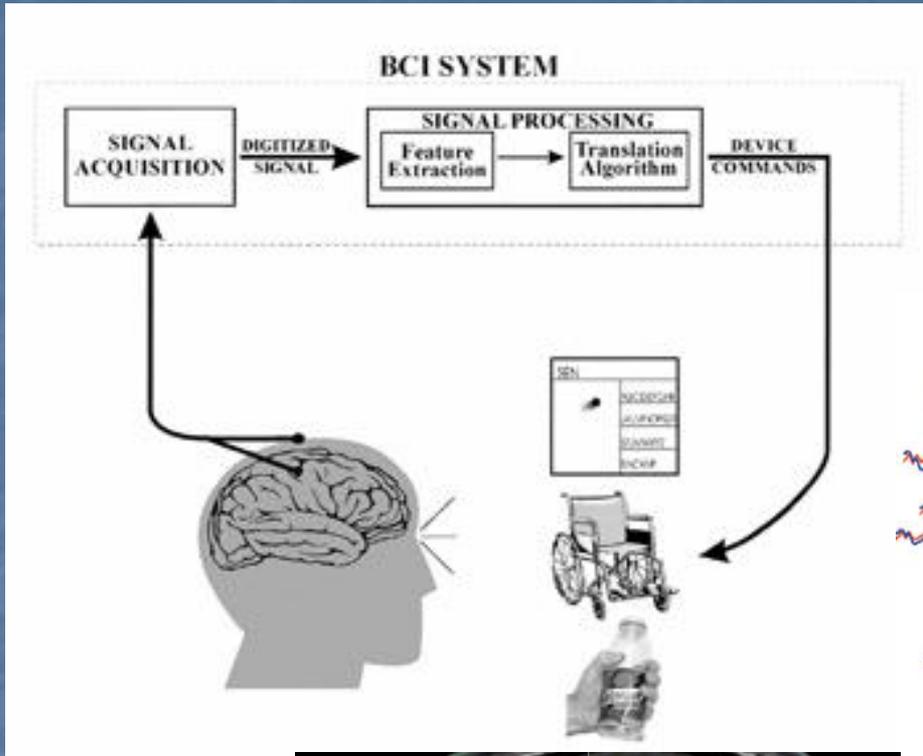


## Diagramme «chute d'eau»

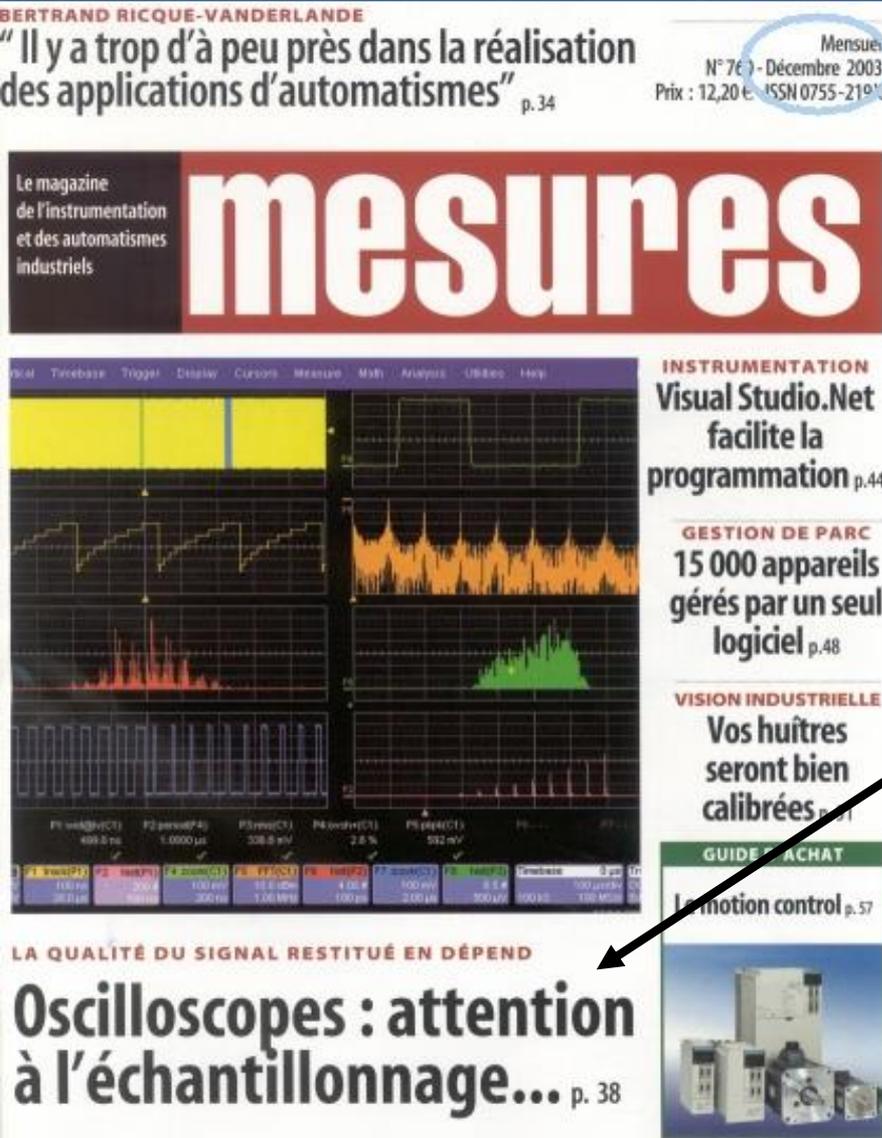


<http://www.rohde-schwarz.fr/>

# Traitement d'image : milieu médical



# Les problématiques du Traitement du Signal



Exemple :

Un des objectifs du  
cours  
de cette année !!!!!

Culture générale : pourquoi les éclairages au  
néon sont interdits dans les ateliers d'usinage ?

# Effet stroboscopique, aliasing et « Moiré »



<http://digital-photography.pl/tweaking-olympus-e-1-antialiasing-filter-replacement/>

Examen TS, E(N)IVL  
2005 & 2012 !

# Traitement du signal et cosmétique

INNOVATIONS BOOKLET 2017

PLET

*Skin aging finally detected.*

The INSA Centre-Val de Loire, reporting to Inserm unit U930 and in collaboration with the universities of Tours, Tallinn (Estonia) and Prague (Czech Republic), has implemented a protocol making it possible to transpose a new instrument extracting the multiscale properties of the skin's elasticity.

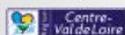
**CONTEXT** For many years, new procedures have made it possible to assess the condition of nonbiological materials and structures. These techniques, which have already been transposed to the human body to detect teeth and bone aging (significant in osteoporosis in particular), have never been used on the skin. The project's initiator, France's National Institute of Applied Sciences (INSA), has succeeded in updating the innovation, which has led to a world first, «TR-NEWS» instrumentation.

Cosmetic Valley certified project in 2013.  
Investment: k€ 498 in 3 years.

Partners:



Public funding:

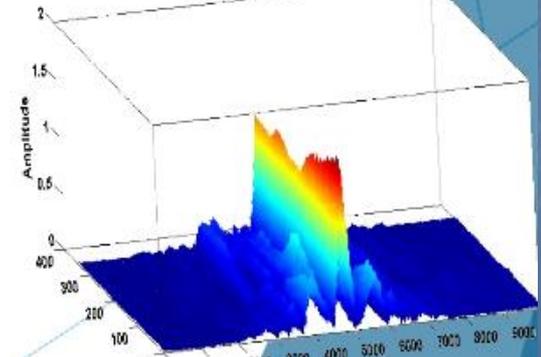
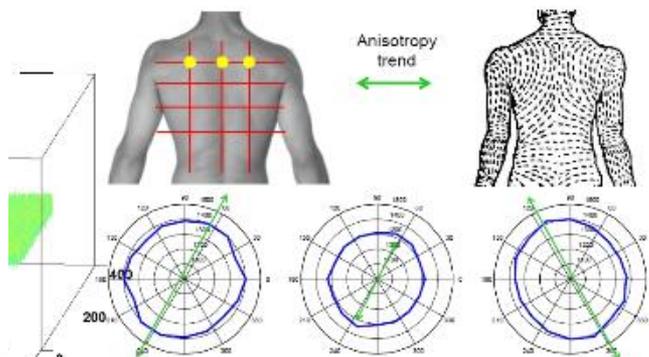
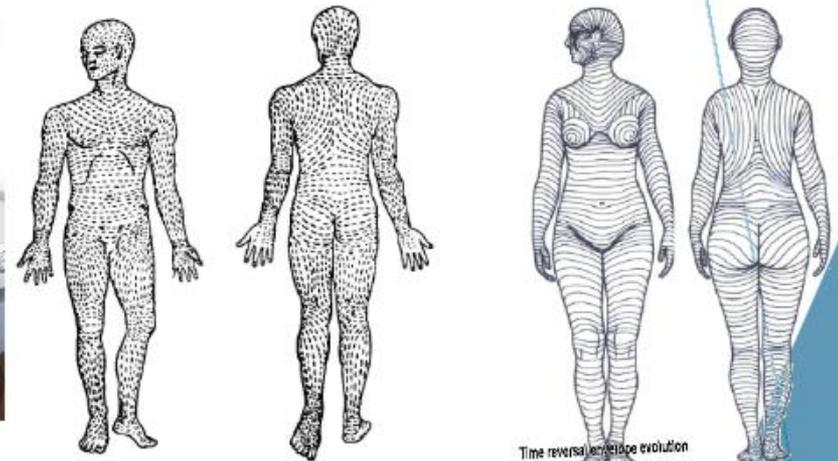


Reference:

- Skin hysteretic behavior using acousto-mechanical imaging and nonlinear time reversal signal processing.

**Serge Dos Santos,**  
Researcher, INSA Centre-Val de Loire  
serge.dossantos@insa-cvl.fr

## e votre attention



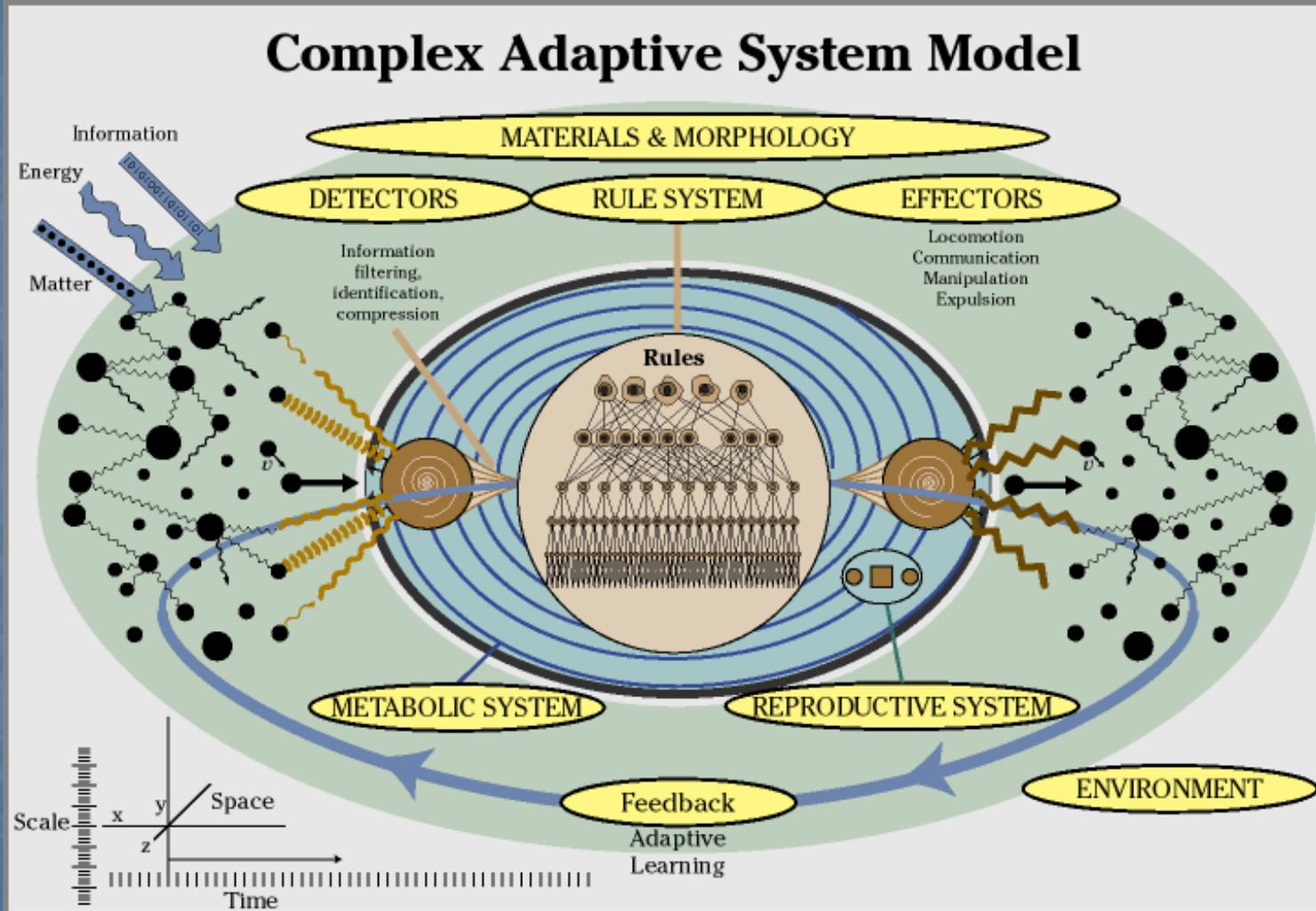
Recherche labellisée par la Cosmetic Valley, pôle de Compétitivité de la Région Centre, avril 2013

# Les outils (complexes) du Traitement du Signal...

Every particular  
problem needs a  
specific tool !!!



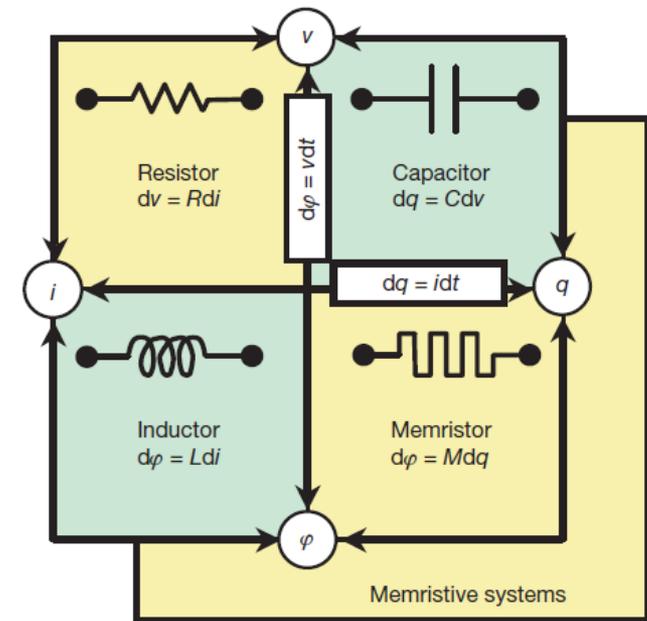
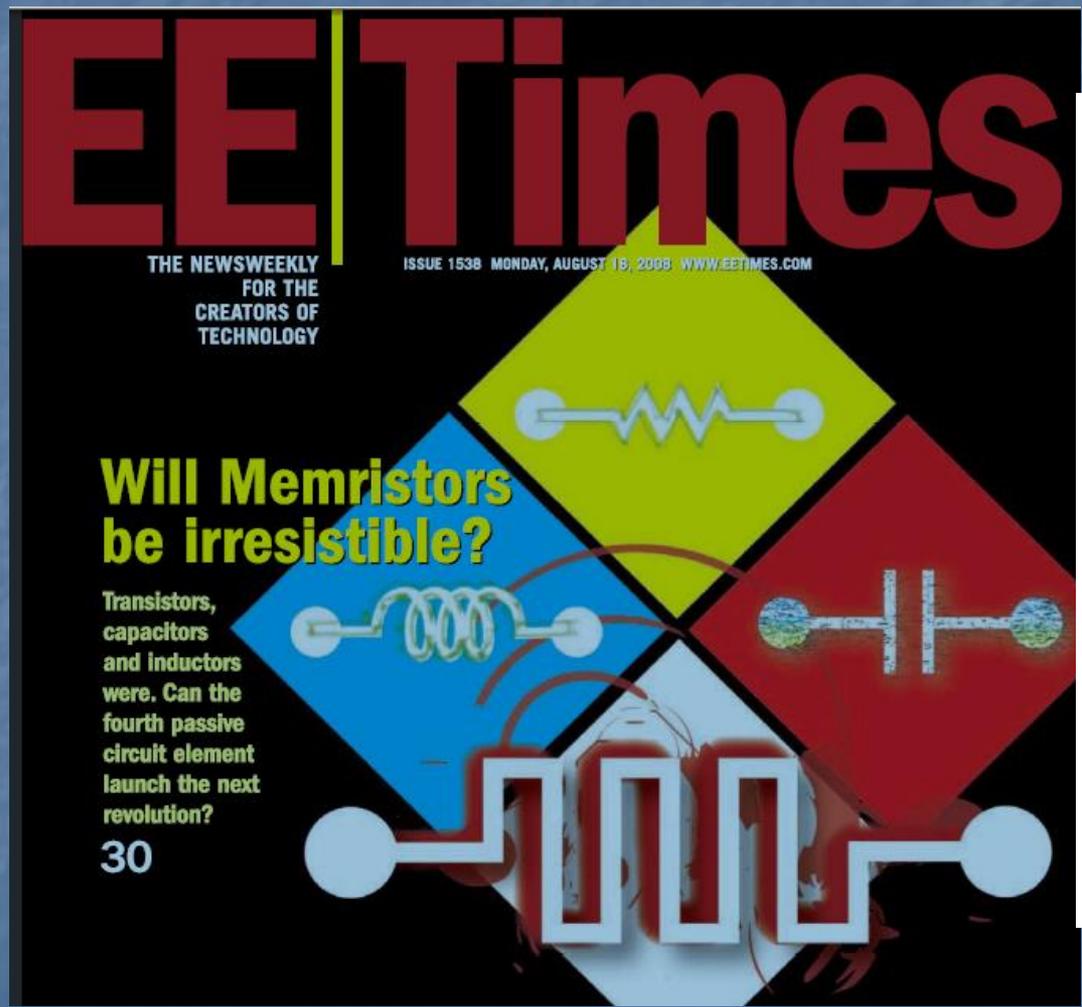
...dans le but de traiter les systèmes complexes



<http://integral-options.blogspot.fr/2012/06/what-im-reading-part-one-complex.html>

## ...et d'en trouver des innovations ...

- Exemple : le memristor

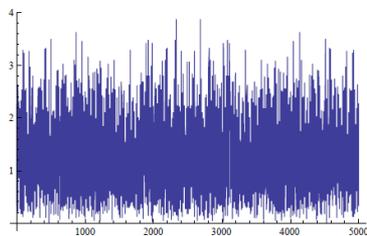


**Figure 1 | The four fundamental two-terminal circuit elements: resistor, capacitor, inductor and memristor.** Resistors and memristors are subsets of a more general class of dynamical devices, memristive systems. Note that  $R$ ,  $C$ ,  $L$  and  $M$  can be functions of the independent variable in their defining equations, yielding nonlinear elements. For example, a charge-controlled memristor is defined by a single-valued function  $M(q)$ .

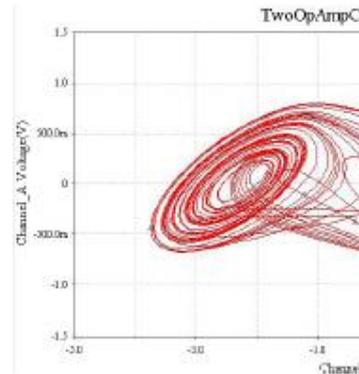
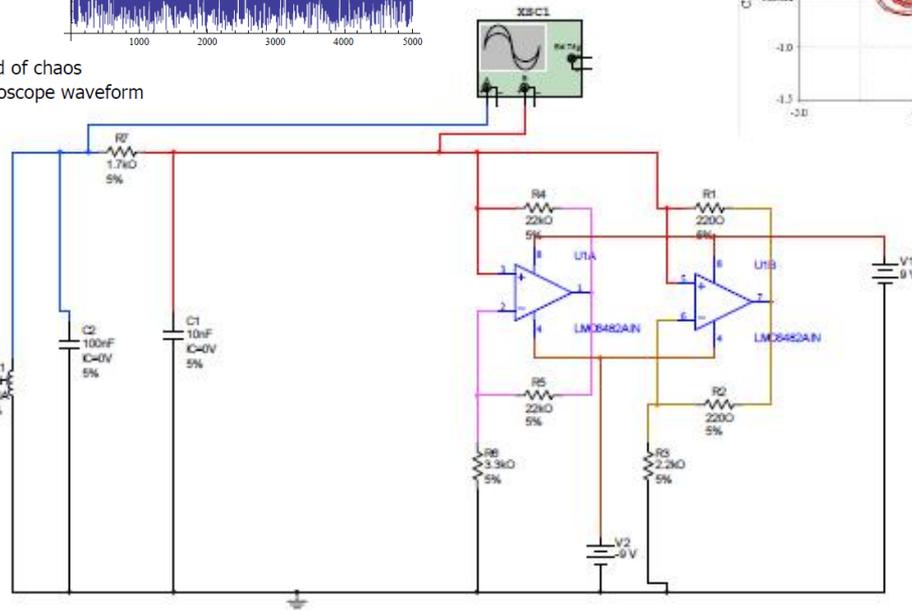
### Exemple : le memristor ( Leon O Chua, Berkeley University)

#### Chua's Circuit: MultiSim Circuit Simulation and Physical

Power Spectra of  $V_{C1}(t)$



Sound of chaos  
Oscilloscope waveform



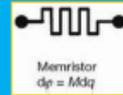
#### COVER STORY

##### Memristor milestones



#### 1971

Leon Chua (EE, University of California, Berkeley) publishes "Memristor — the Missing Circuit Element," (IEEE Transactions of Circuit Theory, Vol. 18, No. 5), but never builds one.



#### 1976

Leon Chua publishes "Memristive Devices and Systems" (Proceedings of the IEEE, Vol. 64, No. 2), but ultimately builds only an emulator.

#### 1980

Leon Chua publishes "Dynamic Nonlinear Networks: State of the Art" (IEEE Transactions on Circuits, Vol. 27, No. 11), which models all nonlinear circuit elements, including the memristor.

es will require at least five more years of research," Stewart said. HP Labs estimates that commercial applications are about a decade out.

#### The fundamentals

Technically, a memristor is a passive circuit element that relates flux to charge in the same way resistors relate voltage to current, capacitors relate voltage to charge and inductors relate flux to current. The fact that this fourth combination has been ignored in electronic-circuit theory was discovered by EE professor Leon Chua at the University of California, Berkeley, who wrote a seminal paper about the memristor in 1971.

"Memristors represent a fundamental change in electronic-circuit theory," said Sung-Mo Kang, chancellor of the Engineering School and an EE professor at the University of California at Merced. The most important items in electronics are the voltage, the current, the electrical charge and the flux linkage, he said. "If you consider those four variables as constitutive relations, then you get the equations that describe the resistor, inductor and capacitor."

But there is a fourth combination that everybody had overlooked, said Kang. "Chua's genius was realizing that combination defined a new passive-device type — the memristor," he said. "Chua's argument was mathematical, but what he was saying is that the memristor had just as much a fundamental right as resistors, inductors and capacitors."

Chua called his discovery a memristor because of its behavior: The device acts as a variable resistance that "remembers" how much current has flowed through it by changing the voltage across its terminals. Thus, it can serve as a memory element that can be flipped "on," with a current in one direction, and "off," with a current in the reverse direction.

"A resistor relates voltage to current and the memristor relates flux to charge," said

Notre Dame's Perod. "However, if you sum up flux over time, it becomes a voltage, and if you sum up charge over time it becomes a current. So a device that relates flux to charge, like the memristor, will over time relate voltage to current like a variable resistor that changes its value depending on how much, and in which direction, current has flowed through it."

For 35 years, only Chua and a handful of his former students taught fledgling engineers about the concept of a memristor. In lab classes, using resistors, inductors, capacitors and transistors, Chua had circuit boards built that emulated a memristor. He also wrote many papers providing detailed characterizations for EEs — effectively telling them how to recognize a memristor when they saw one.

Nevertheless, the idea remained an academic matter for 35 years, until HP chemist Stanley Williams (now a senior fellow) realized he had discovered an electronic circuit element that exhibited the behavior Chua described.

"The fingerprint by which EEs can recognize a memristive circuit element is by its voltage-current relationship," Chua said. He described that relationship as "a hysteresis loop that goes through the origin — what I call a pinched hysteresis loop."

Many such pinched hysteresis loops have cropped up in the literature on nanoelectronics over the past 15 years, said Chua, "but these devices have been incorrectly identified by the authors of these papers." It took Williams' multidisciplinary team of physicists, chemists, mathematicians and EEs at



#### 2005

Leon Chua receives IEEE Gustav Robert Kirchhoff Award, which recognizes him as the father of both nonlinear circuit theory and cellular neural networks.

#### 1995

HP Labs forms "Quantum Structures Research Initiative" led by chemist Stanley Williams to develop molecular-scale alternative to transistor-based switches.

#### 2002

Leon Chua publishes "Nonlinear Circuit Foundation for Nanodevices" (Proceedings of IEEE, Vol. 91, No. 11), which positions memristors within his nonlinear circuit theory.



- Exemple : le memristor



# U.S. Patents Claiming Memristor Application	Non-volatile Memory	Logic/ Computation	Neuromorphics
AMD	14	0	0
Axon Tech.	20	1	0
Energy Conversion Devices	28	5	2
Hewlett Packard	49	10	1
Micron Tech.	241	0	0
Samsung	18	0	0
Sharp	41	0	0
Unity Semi.	54	0	0

From : Blaise Mouttet,  
USA PATENT Office  
"The Business Landscape for Memristor Electronics,"  
June 1, 2009  
<http://knol.google.com/k/anonymous/the-business-landscape-for-memristor/23zgknsxn1chu/6#>

<http://knol.google.com/k/the-business-landscape-for-memristor-electronics#>

- <http://www.youtube.com/watch?v=rvA5r4LtVnc>
- <http://www.youtube.com/watch?v=mUZ2MhZ8SZU&feature=channel>
- <http://www.kuleuven-kortrijk.be/aeronews/conference-leon-o-chua>

L'Usine Nouvelle (Mai 2010)

<http://www.industrie.com/it/electronique/memristor-une-memoire-deux-fois-plus-dense-des-2013.9657>

## Le memristor : une révolution en cours

### Memristor

*Le chaînon manquant de l'informatique grand public*

Les suites de 0 et de 1, bientôt un lointain souvenir ? Avec le memristor, **Hugo Leroux** prédit l'avènement d'une nouvelle génération de transistors aux possibilités de calcul décuplées.

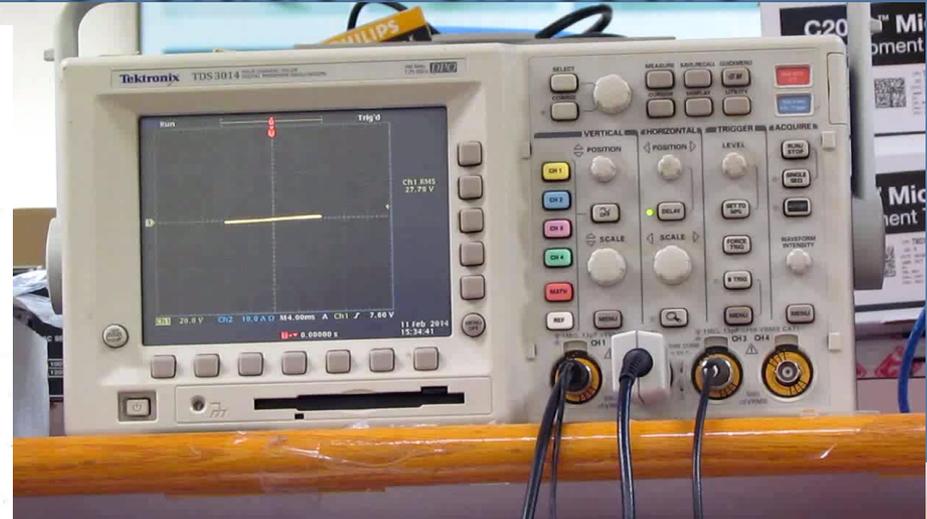
**C'**est le composant qui pourrait révolutionner l'informatique. IBM, Intel, Hewlett Packard, mais aussi le CNRS, le CEA... tous les laboratoires de recherche en électronique se sont lancés dans la course pour concevoir, fabriquer et assembler une

puce d'un nouveau genre – qui pourrait réinventer l'informatique, donnant accès à des capacités de calcul sans comparaison avec celles de nos ordinateurs actuels.

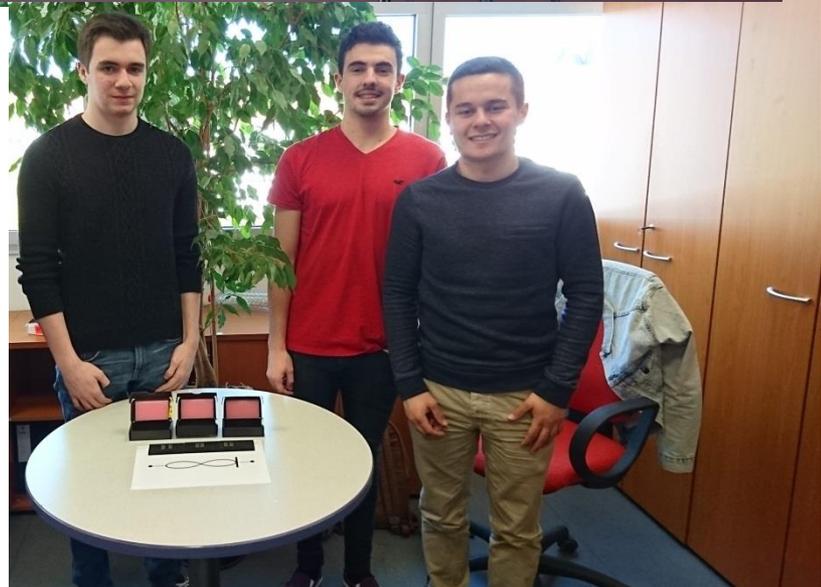
Le premier prototype a été mis au point il y a dix ans, un peu par hasard, par les chercheurs de Hewlett-Packard. Alors qu'ils planchent sur de nouvelles technologies de mémoire à base d'oxydes de titane, ils remarquent que la migration progressive de l'oxygène au sein du matériau, causée par les impulsions électriques, modifie sa résistivité... et que cette valeur persiste lorsque l'on interrompt le courant. Ils font alors le rapprochement entre

ce comportement original et un vieux concept, imaginé en 1971 par le mathématicien Léon Chua, de l'université de Berkeley. Pour le théoricien, il manquait un composant fondamental de l'électronique, un composant qui aurait la faculté d'ajuster sa résistance aux impulsions électriques : le memristor. *"L'idée est de parvenir, en jouant sur les propriétés de matériaux exotiques, à un composant analogique qui n'adopte plus une résistance de 1 ou 0 – comme les transistors traditionnels qui ne sont que des interrupteurs on/off miniatures – mais toute une série de valeurs intermédiaires laissant passer plus ou moins le courant. Par exemple, un memristor pourrait passer d'une résistance de 0,12 à 0,63 en fonction du signal d'entrée"*, explique Vincent Derycke, qui travaille sur le sujet au CEA.

Le memristor se présente comme un hybride, à mi-chemin entre un transistor – ce composant de base qui effectue tous les calculs dans



4m Inc  
22B Stacy Rd  
Fe, NM, 87505  
505-988-7016  
web: knowm.org



difficultés to our multiple tiers.

#### Contexte

L'industrie de l'électronique arrive à la croisée des chemins. **Les big data** imposent des puissances de calcul toujours plus grandes, et les ordinateurs classiques sont à la peine : **la loi de Moore**, qui prédit empiriquement le doublement de la miniaturisation des circuits tous les 18 mois, se heurte à des limites physiques.

IBM

# Vulgarisation

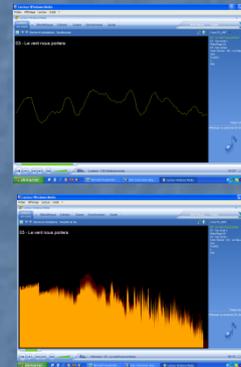
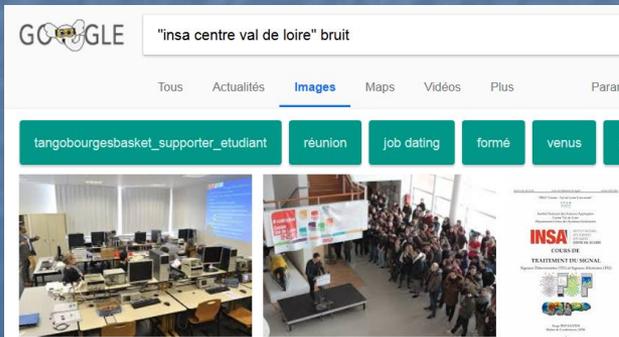
- Rencontres Jeunes Chercheurs 2013



[Rencontres Jeunes Chercheurs, IUT, Blois, samedi 23 mars 2013](#)

# Conclusion

- Nécessité de décrire les signaux...
  - déterministes et aléatoires
- ... issus des systèmes...
  - invariants
  - linéaires
- ... avec le même formalisme :
  - la représentation temporelle
  - la représentation spectrale



INSA CVL 3A et 4A      Cours de Traitement du Signal      Année 2017-2018

COMUE "Centre - Val de Loire"



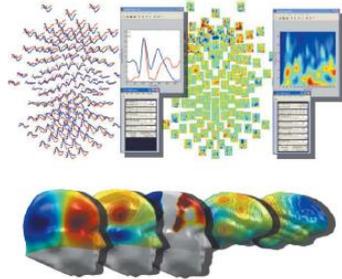
www.regioncentre-valde Loire.fr

Institut National des Sciences Appliquées  
Centre Val de Loire - Blois - Bourges  
Département Génie des Systèmes Industriels

**INSA** INSTITUT NATIONAL  
DES SCIENCES  
APPLIQUÉES  
CENTRE VAL DE LOIRE

**COURS DE  
TRAITEMENT DU SIGNAL**

Signaux Déterministes (TS1) et Signaux Aléatoires (TS2)

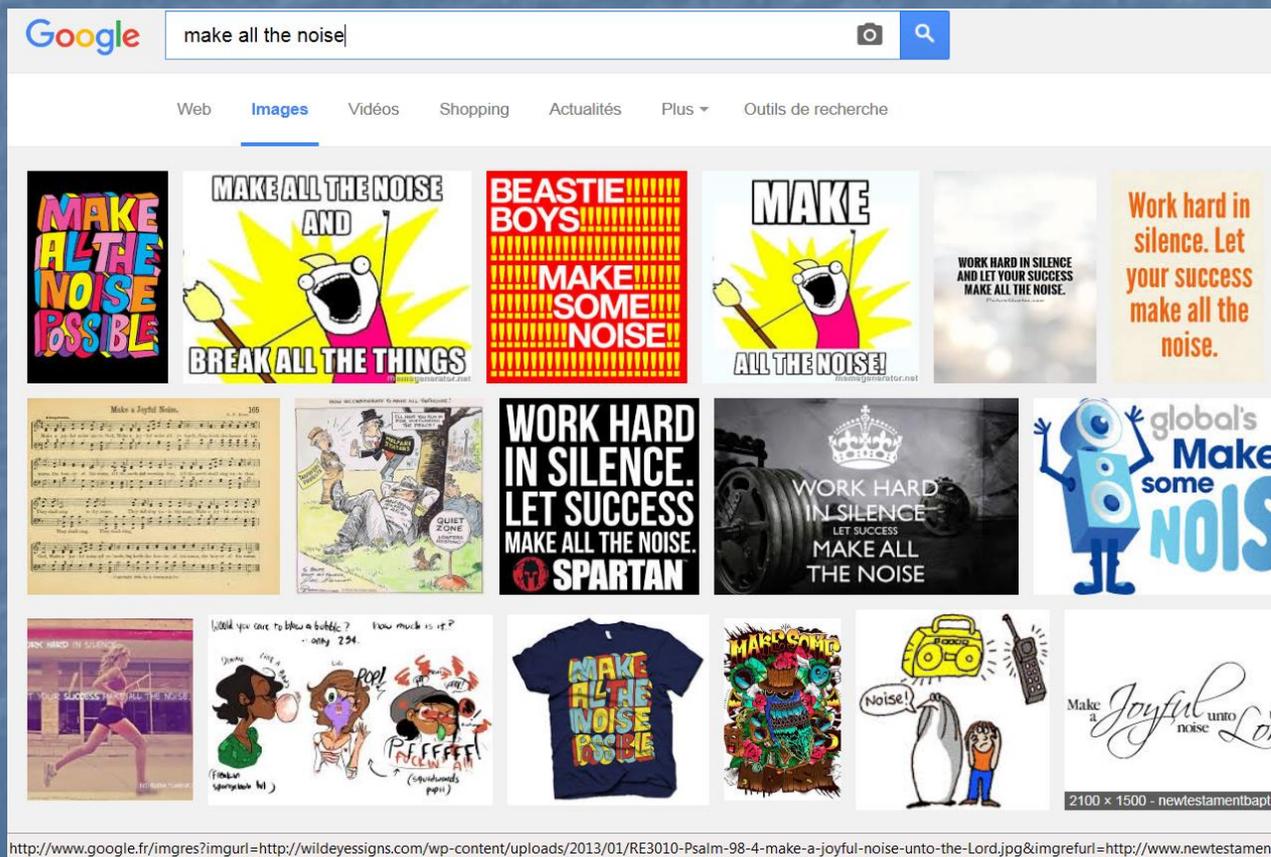


Serge DOS SANTOS  
Maître de Conférences, HDR

<https://camillearbonnier.files.wordpress.com/2013/02/slides.pdf>

[https://celene.insa-cvl.fr/pluginfile.php/12945/mod\\_resource/content/4/cours\\_TS\\_2018\\_GSI\\_INSACVL.pdf](https://celene.insa-cvl.fr/pluginfile.php/12945/mod_resource/content/4/cours_TS_2018_GSI_INSACVL.pdf)

Cette année, je vous propose de faire du bruit ;-)



<http://www.google.fr/imgres?imgurl=http://wildeyessigns.com/wp-content/uploads/2013/01/RE3010-Psalm-98-4-make-a-joyful-noise-onto-the-Lord.jpg&imgrefurl=http://www.newtestament>



<https://filesender.renater.fr/?s=download&token=4b78492d-8ff5-c9a6-1cd9-53d46ae801d8>