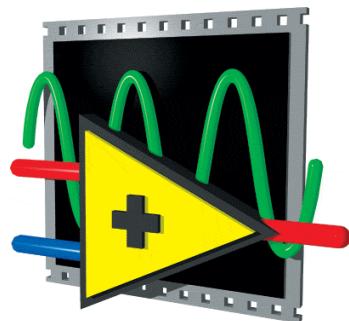


Du contrôle d'instrument à la mesure avec LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench)

Instrumentation - M1 AOC
Mesure Physique - M1 PF

Physique Expérimentale et
Instrumentation - M1 ATS



1. Généralités sur les mesures physiques et l'instrumentation
2. La chaîne d'acquisition
3. Pilotage d'instruments et carte multifonctions
4. Présentation de LabVIEW et de ses fonctionnalités
5. Déroulement des TDs et TPs

Sandrine Bottinelli

Renaud Belmont, Pierre Cafarelli, Eric Dantras,
Laurène Jouve, Cédric Renaud, Alex Takacs, Natalie Webb

Retrouvez tous les documents du cours sur Moodle
ou sur <http://userpages.irap.omp.eu/~sbottinelli/M1.html>

Remerciements: Christophe Gatel

Généralités sur les mesures physiques et l'Instrumentation

Tout scientifique, dans le domaine de la recherche ou de la production est confronté en permanence au problème de la mesure, de sa transmission, de son traitement et de son interprétation.

- Milieu de la recherche : Instrumentation à but **exploratoire**
- Milieu industriel
 - Instrumentation pour **mettre au point et tester de nouveaux produits**
 - Instrumentation à but de **contrôle d'un processus industriel de fabrication**



Antenne Wi-Fi sous test en chambre anéchoïque : vérifier les qualités des antennes produites, établir leur diagramme de rayonnement.

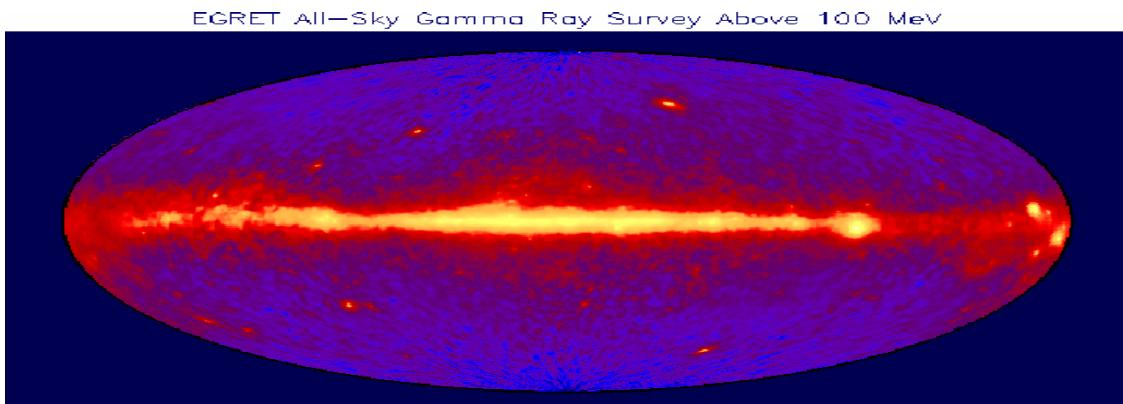


Supervision d'un atelier de fabrication de Gel-Coat : conduite de l'installation, gestion des formules à fabriquer, archivage des fabrications.

Omniprésence des capteurs et de la mesure

→ Des applications en recherche fondamentale...

Science de l'Univers



Carte du ciel au-dessus de 100 MeV:

- sources ponctuelles = étoiles à neutrons et galaxies actives
- émission diffuse = notre Galaxie



- Capteur doit pouvoir :
 - résister aux vibrations (lancement)
 - résister au vent solaire
 - distinguer les faux positifs
 - ...

Omniprésence des capteurs et de la mesure

→ ... aux applications industrielles

contrôle de processus

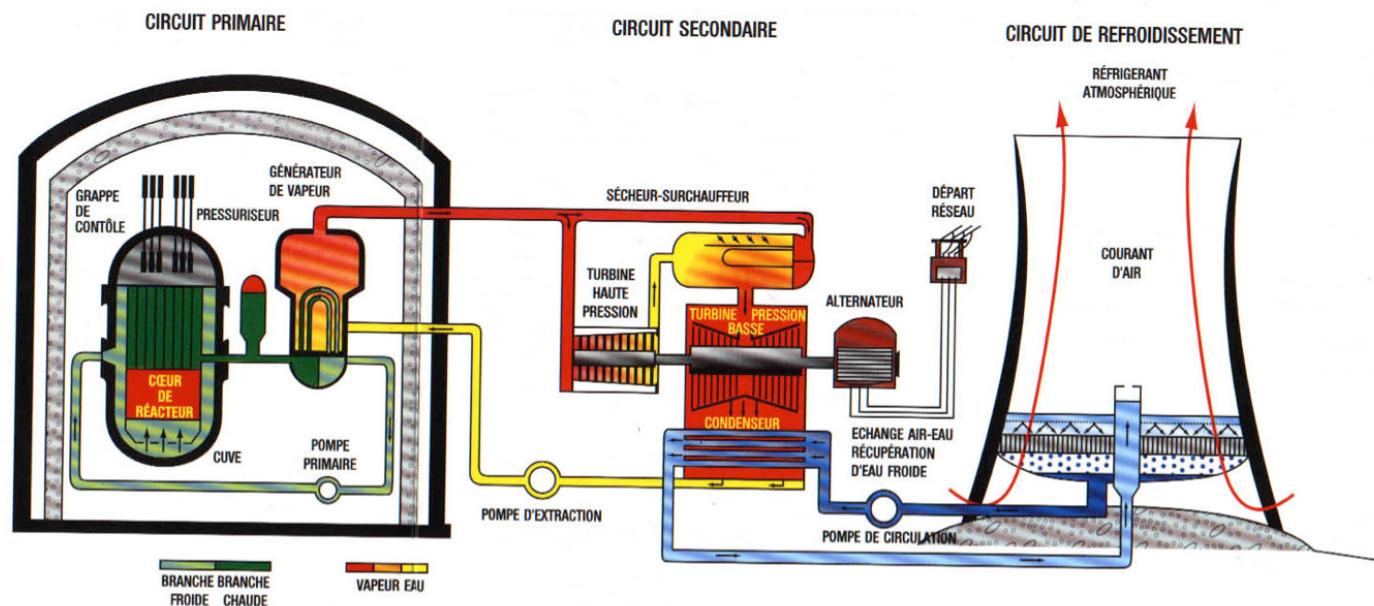
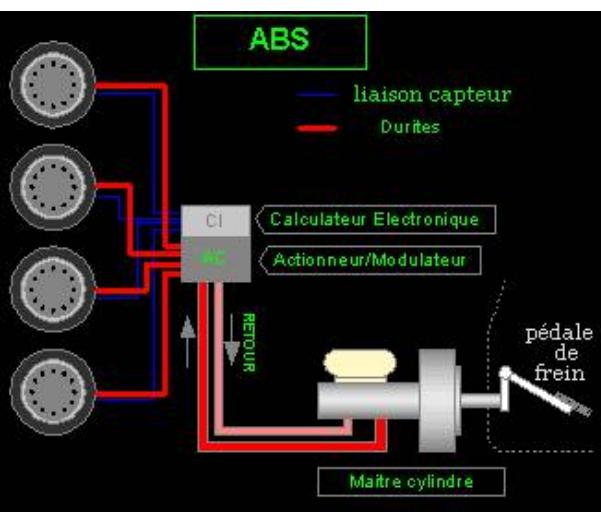
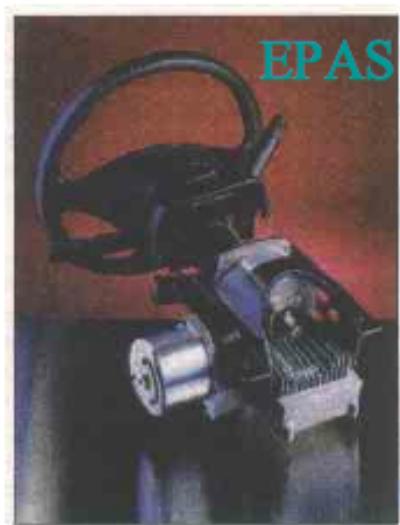
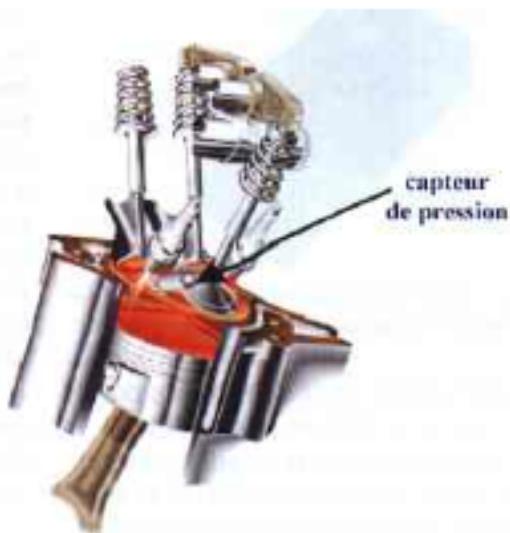


Schéma de fonctionnement d'un Réacteur à Eau sous Pression (REP)



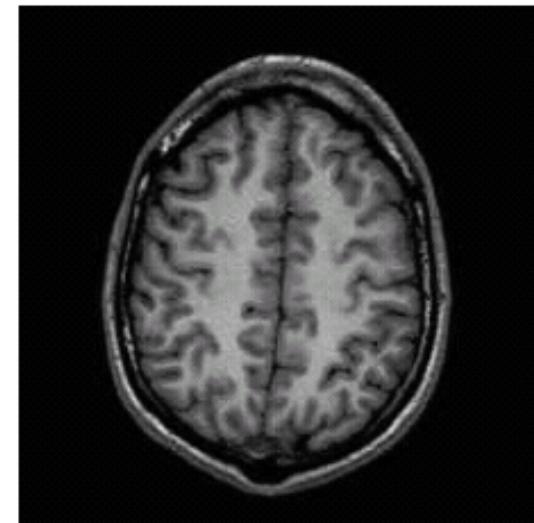
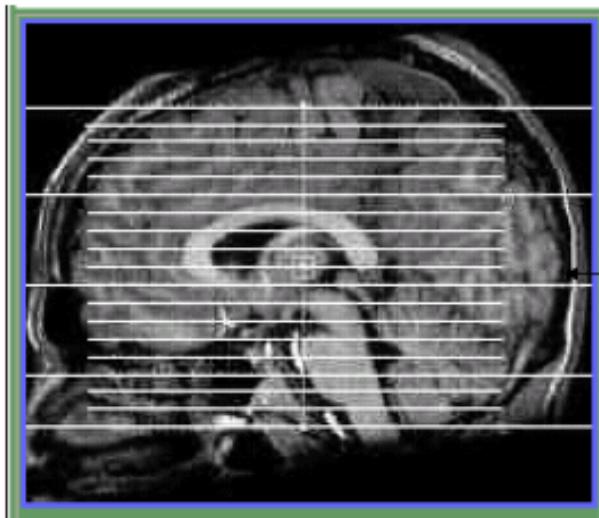
Omniprésence des capteurs et de la mesure

→ ... aux applications grand public



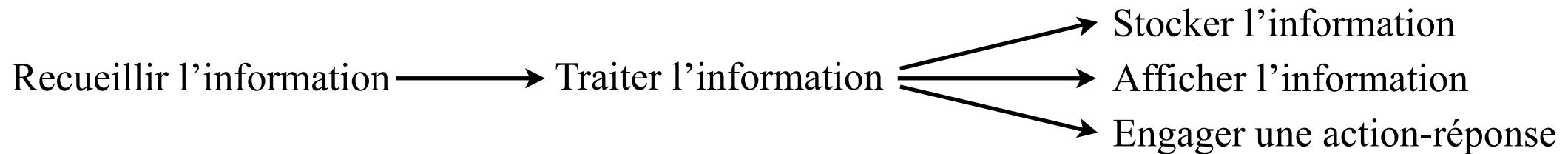
Automobile

*Imagerie médicale,
IRM*

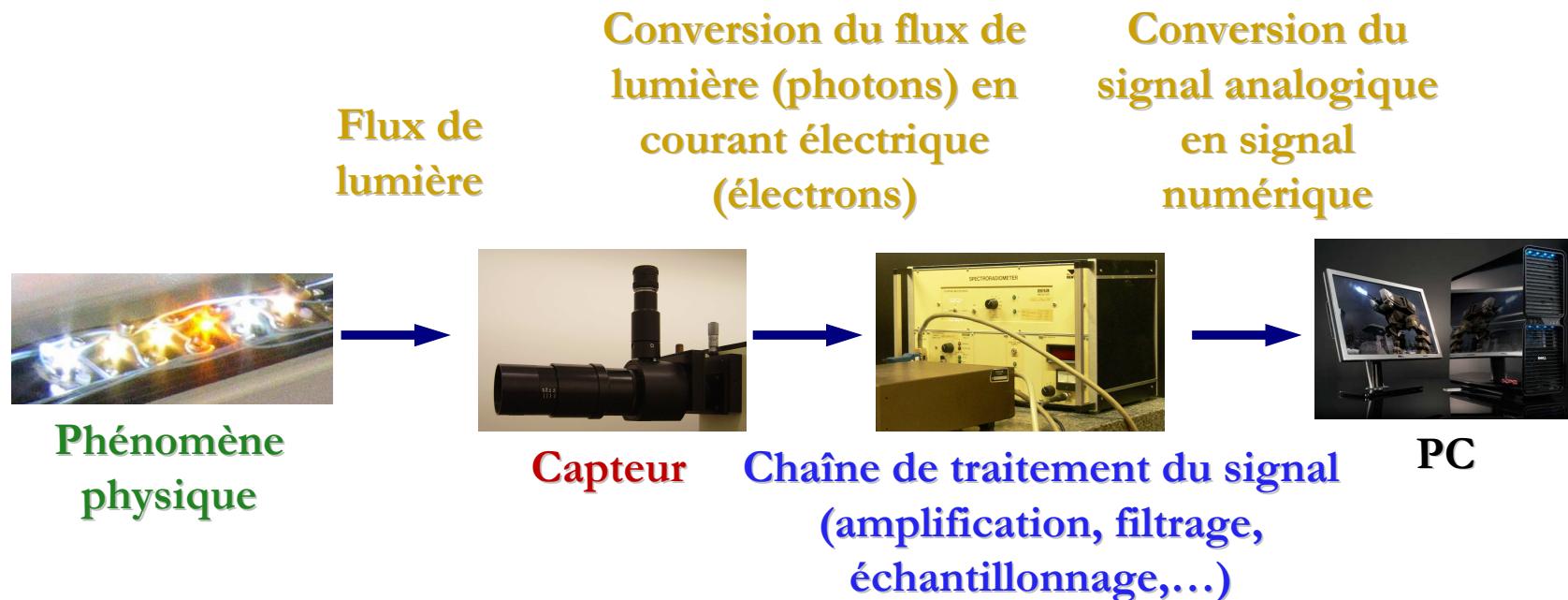


Capteurs et Mesures : chaîne d'acquisition

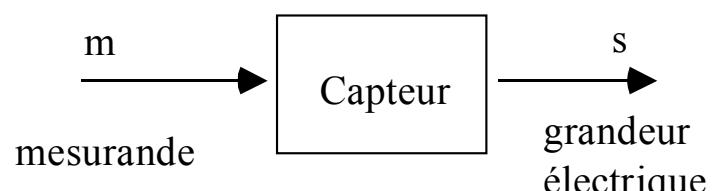
- Pour toute mesure, il faut :



- C'est la chaîne d'acquisition :



Capteurs et Mesures : chaîne d'acquisition



Capteur: conversion d'une grandeur physique, le *mesurande* (= température, pression, intensité lumineuse, concentration chimique, champ magnétique, ...), en un signal (généralement de nature électrique) mesurable par un système d'acquisition de données.

Deux catégories de capteurs :

- **Capteurs actifs:** Ils se comportent comme des générateurs. Ils sont vus comme étant des générateurs de charge, de tension, ou de courant dont la valeur est directement reliée au mesurande (photodiode, photomultiplicateur, ...)
- **Capteurs passifs:** Ils se comportent comme des impédances. Ils sont vus comme étant des résistances, inductances ou capacités dont la valeur est directement reliée au mesurande (thermistance, jauge de contrainte, ...)

Exemple de capteurs



Mesurande	Capteur
Température	Thermocouple
	Capteur de température résistif (RTD)
	Thermistances
Flux de lumière	Photodiode
	Photomultiplicateur
Son	Microphone
	Jauge de contrainte
Force et pression	Transducteurs piézoélectriques
Position et déplacements	Potentiomètres
	Codeurs optiques
Fluide	Débitmètre à turbine / électromagnétique



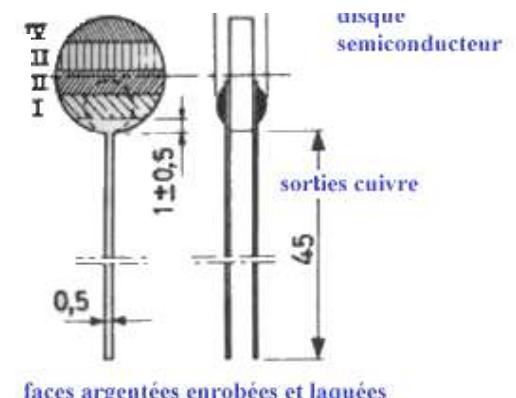
Mesurande : Grandeur particulière soumise à mesure.

Mesurage : Ensemble d'opérations ayant pour but de déterminer une valeur d'une grandeur.

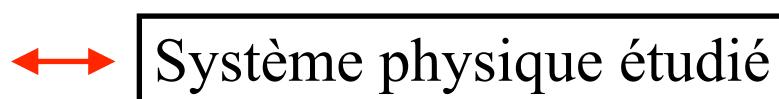


Capteurs et Mesures : chaîne d'acquisition

Exemple de capteur: thermistance (mesure d'une température) ; chaîne d'acquisition d'un thermomètre numérique



Mesurande M :
température T



Thermistance
 $R_{th}(T) = R_0 e^{\beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)}$



Tension $V(M)$
 $= V(T) = R_{th}(T) \times I$



Calcul de T



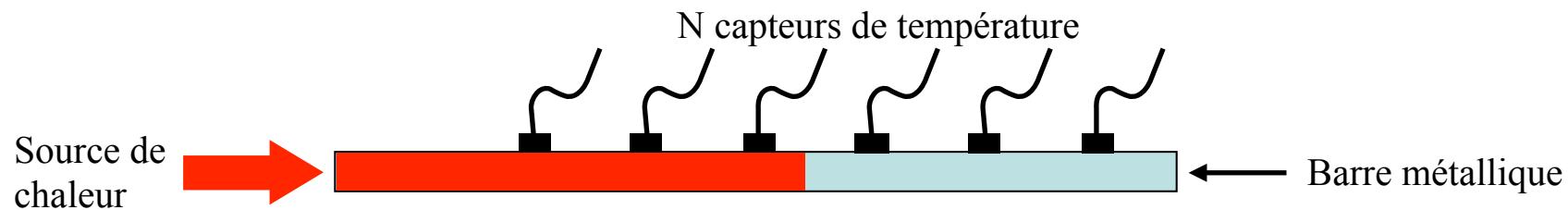
Mesurande M



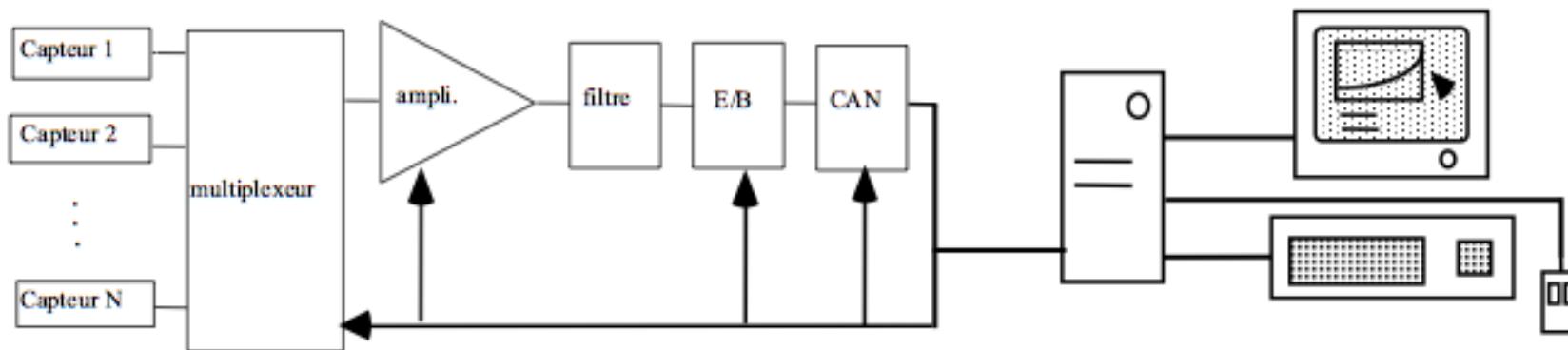
- ▶ Principes physiques des capteurs
- ▶ Conditionnement des capteurs : obtenir un signal variant de façon connue en fonction de M
- ▶ Filtrage
- ▶ Amplification
- ▶ Echantillonnage/Blockage
- ▶ Conversion Analogique Numérique
- ▶ Extraction de l'information : conversion du signal en grandeur physique

Capteurs et Mesures : chaîne d'acquisition

Mesure de la propagation de la chaleur à travers un matériau



Aspects « Multi Voies »

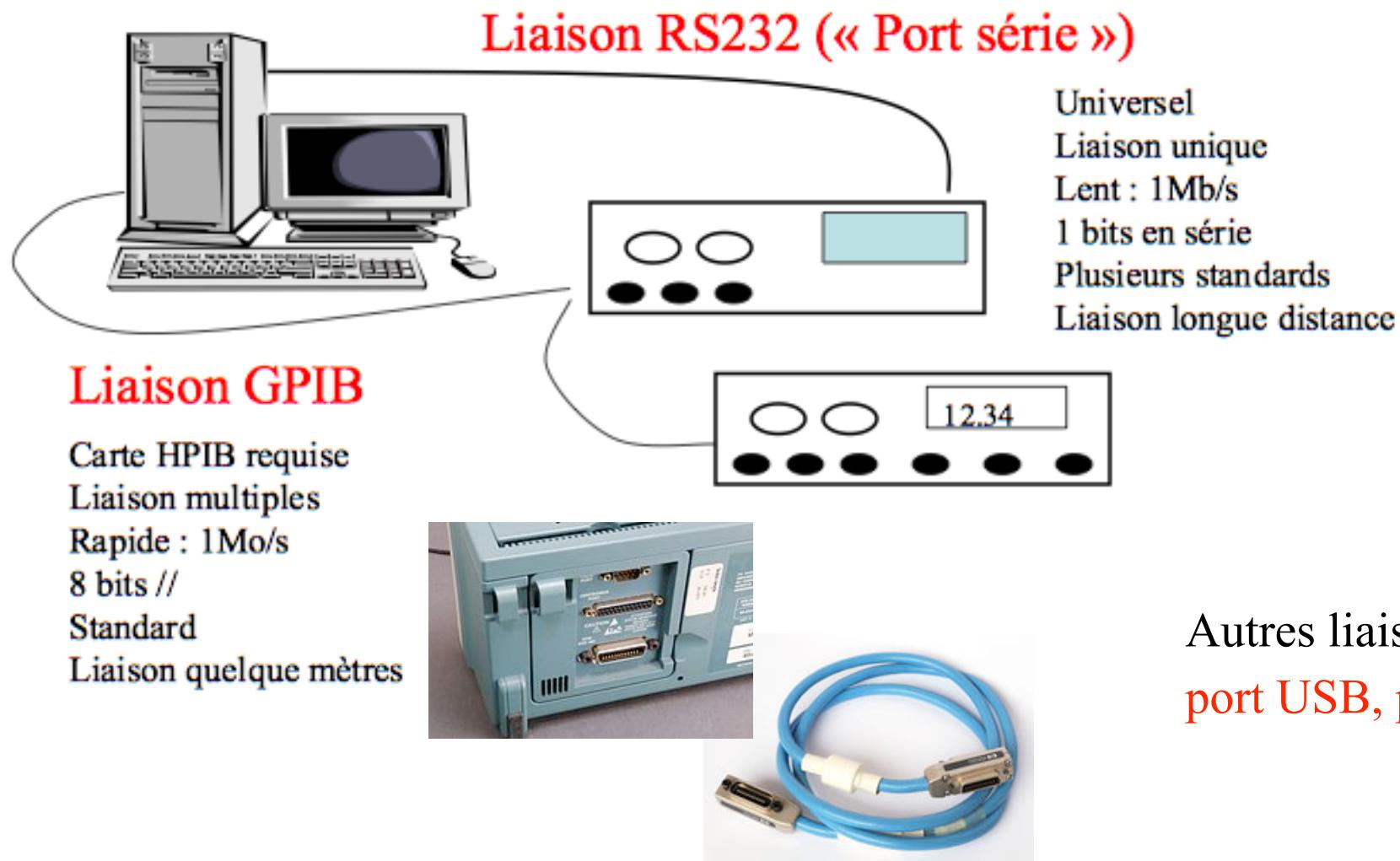


Choix de la voie → Choix du gain
de l'ampli programmable → Numérisation → Stockage mémoire PC/disque
sur n bits → Affichage valeur sur écran

Organigramme simplifié des tâches du programme de pilotage.

Mesures : contrôle/pilotage d'instruments

- Appareils modernes de laboratoire (oscilloscope numérique, générateur, analyseur de spectre, etc) sont **programmables**.



Mesures : cartes multifonctions

- Carte multifonction = carte électronique connectée sur / reliée à la carte-mère d'un PC
- Fonctions:
 - acquisition de tensions à une fréquence d'échantillonnage fixée
 - génération de signaux analogiques de forme arbitraire
 - [génération/acquisition de signaux numériques]



Mesures : cartes multifonctions

Nous utiliserons une carte NI USB-6361 dont les **caractéristiques pour l'acquisition analogique** sont:

- 8 voies BNC (AI0, AI1,..., AI7 ; AI = Analog Input)
ex: voie 0 : + → ACH0 ; - → AIGND
- Fréquence d'échantillonnage maximale:
 - avec une seule voie : 2 MHz (2×10⁶ échantillons par seconde)
 - avec 2 voies ou plus : 1 MHz

Il existe une relation simple entre fréquence d'échantillonnage, nombre de points acquis et durée du signal

- si $f_{ech} = 1 \text{ MHz}$ et que l'on fait l'acquisition de 1000 points, quelle est la durée du signal?
- si $f_{ech} = 100 \text{ kHz}$ et que l'on souhaite faire l'acquisition d'un signal d'une durée de 10 ms, combien faut-il d'échantillons?
- Mode “relaxé” (non synchronisé) ou mode “déclenché”

Mesures : cartes multifonctions

(suite des **caractéristiques pour l'acquisition analogique** de la carte NI USB-6361):

- CAN 16 bits

Etendue de mesure (sans amplification) : -10V à +10V

⇒ Résolution du codeur :

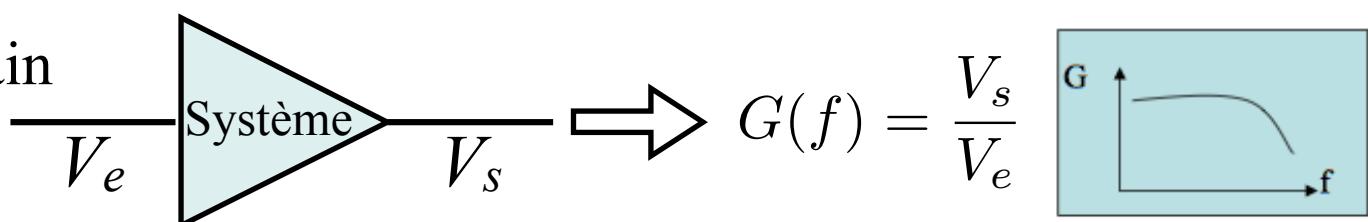
$$q = \frac{E}{2^n} = \frac{20}{2^{16}} = 3.2 \times 10^{-4} \text{ V}$$

- Gain programmable :

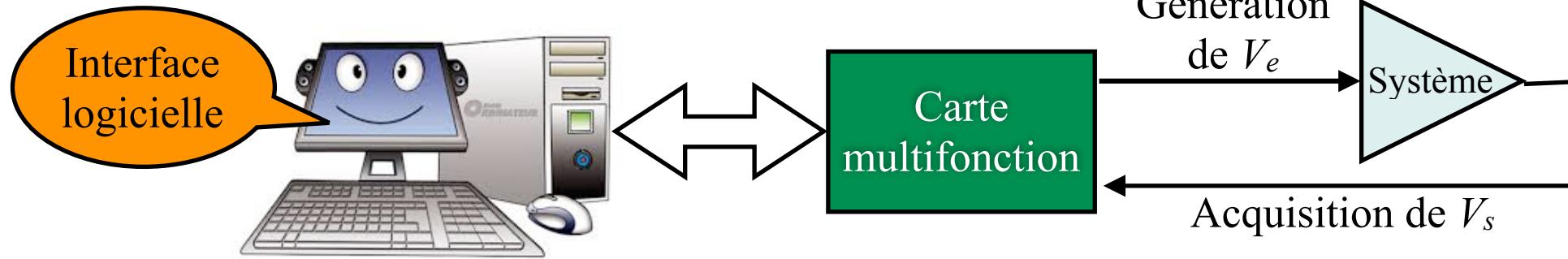
Gain	Etendue de mesure	Résolution du codage
1	[-10V,+10V]	320 μ V
2	[-5V,+5V]	160 μ V
5	[-2V,+2V]	64 μ V
10	[-1V,+1V]	32 μ V
20	[-0.5V,+0.5V]	16 μ V
50	[-0.2V,+0.2V]	6.4 μ V
100	[-0.1V,+0.1V]	3.2 μ V

Mesures : pilotage ou carte?

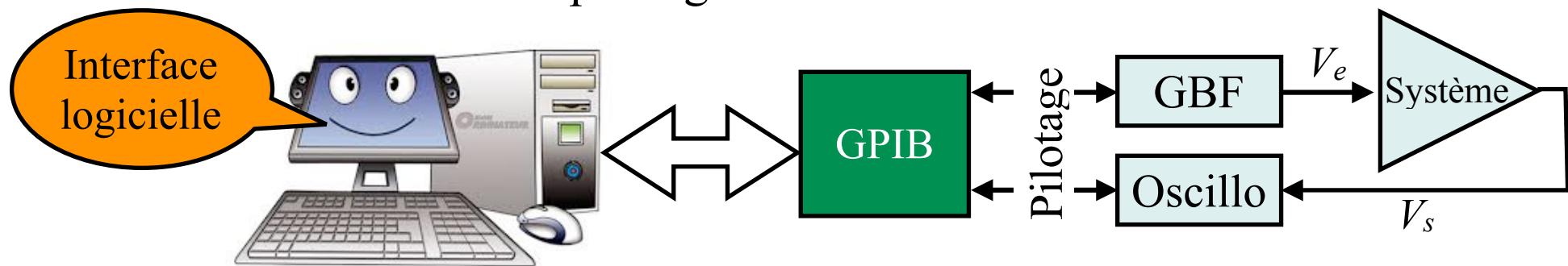
- Exemple : mesure de gain d'un amplificateur



- Solution 1 : en utilisant une carte multifonction

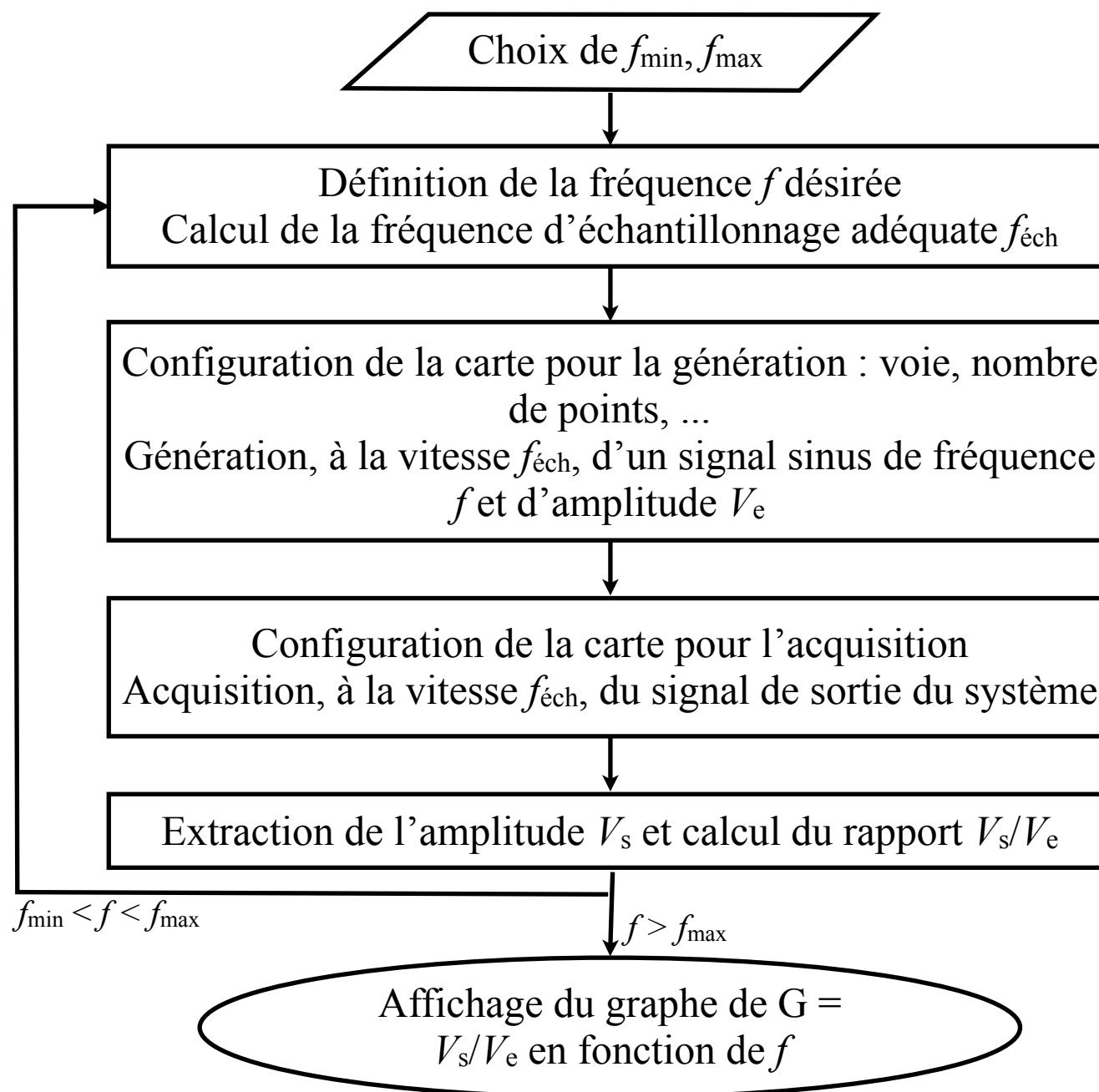


- Solution 2 : en utilisant le pilotage d'instruments



N.B. : on peut combiner les techniques, par ex. générateur piloté et carte multifonction pour la mesure.

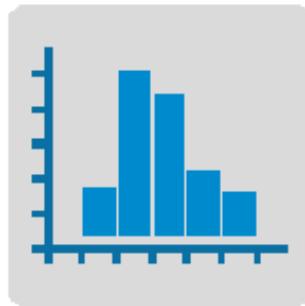
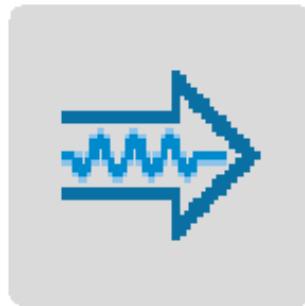
- Dans tous les cas, il est utile de réaliser l'**organigramme** (= algorithme simplifié) du programme. Par exemple, pour la solution avec la carte multifonctions:



Interface logicielle : LabVIEW

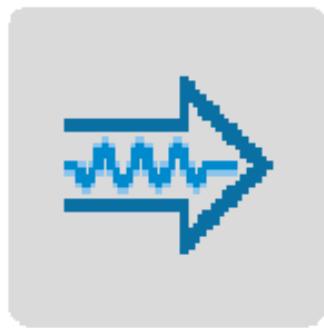
LabVIEW (**L**aboratory **V**irtual **I**nstrument **E**ngineering **W**orkbench) est un environnement de développement graphique qui permet de créer des applications modulaires (VI, sous-VI) et extensibles pour la conception d'application, le contrôle et le test.

LabVIEW est un outils d'acquisition, d'analyse et de présentation de données.



Crédit: Nicolas POUSSET

Acquisition avec LabVIEW



LabVIEW permet l'acquisition de données par l'intermédiaire de diverses connectiques :

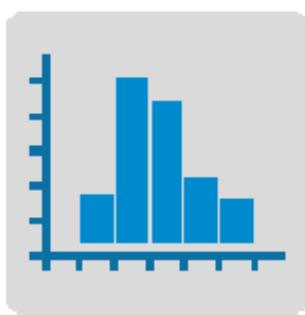
- PCI (Peripheral Component Interconnect)
- CompactFlash
- LAN (Local Area Network)
- PXI (PCI eXtensions for Instrumentation)
- PCMCIA (Personal Computer Memory Card International Association)
- Wi-Fi (IEEE 802.11 b/g/n) (Wireless Fidelity)
- Bluetooth
- IrDA (Infrared Data Association)
- USB (Universal Serial Bus)
- GPIB (IEEE 488) (General Purpose Interface Bus)
- Firewire (IEEE 1394)
- Ethernet
- Série (RS 232, RS 449, RS 422, RS 423, RS 485)
- VXI (VME eXtensions for Instrumentation)

IEEE : Institute of Electrical and Electronics Engineers



Crédit: Nicolas POUSSET

Analyse avec LabVIEW



LabVIEW inclut des outils pour l'analyse des données :

- Traitement du signal : Convolution, analyse spectrale, transformées de Fourier,...
- Traitement d'images : Masque, détection de contours, profils, manipulations de pixels,...
- Mathématiques : Interpolation, statistiques (moyennes, écart-type,...), équations différentielles,...

Présentation avec LabVIEW



LabVIEW inclut des outils d'aide à la présentation (communication) des données :

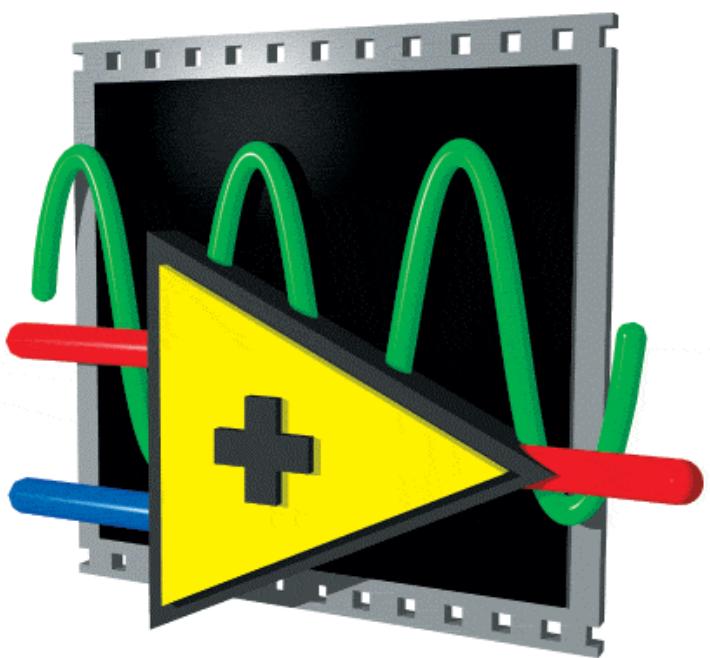
- Graphiques, tableaux, images, génération de rapport,...
- Par l'intermédiaire d'Internet : outils de publication web, serveur datasocket, TCP/IP, envoie d'alertes par email,...

Interface logicielle : LabVIEW

- Largement utilisé dans l'industrie et la recherche
- Interface évoluée ; compilation d'exécutable
- Programme portable : Windows, Mac OS, Unix
- Dédié à l'Instrumentation :
 - intègre les protocoles de communication : GPIB, RS-232, USB, ...
 - accès direct aux cartes multifonctions
 - drivers des instruments fournis
 - large bibliothèque d'instruments virtuels (VI) : programmes qui simulent des instruments de mesure (générateur, oscilloscope, analyseur de spectre, ...)
- ⇒ développement rapide de contrôle d'instruments et d'acquisition de données
- Limitations:
 - problème de lisibilité → utiliser la hiérarchie des VI
 - difficile d'intégrer des algorithmes complexes → liaison avec Matlab



Quelques étapes



- 1983 : démarrage
- 1986 : LabVIEW 1.0 pour Macintosh
- 1993 : multi-plateforme (LabVIEW 3.0)
- 1997 : ajout d'outils pour les professionnels, améliorations du débogage (4.0)
- 1999 : temps réel
- 2000 : applications internet (6i)
- 2002 : fonctionnement en réseau (6.1)
- 2007 : outils de développement multicoeurs (8.5)

Les programmes LabVIEW

- Appelés VI (Virtual Instrument) : on parle d'instruments virtuels car leur apparence et leur fonctionnement sont semblables à ceux d'instruments réels, tels que les oscilloscope et les multimètres.
- Sont composés de 2 éléments essentiels : la face-avant et le diagramme.

Face-avant = interface utilisateur : on y trouve tous les éléments interactifs du VI:

- contrôles/commandes = entrées
- indicateurs = sorties

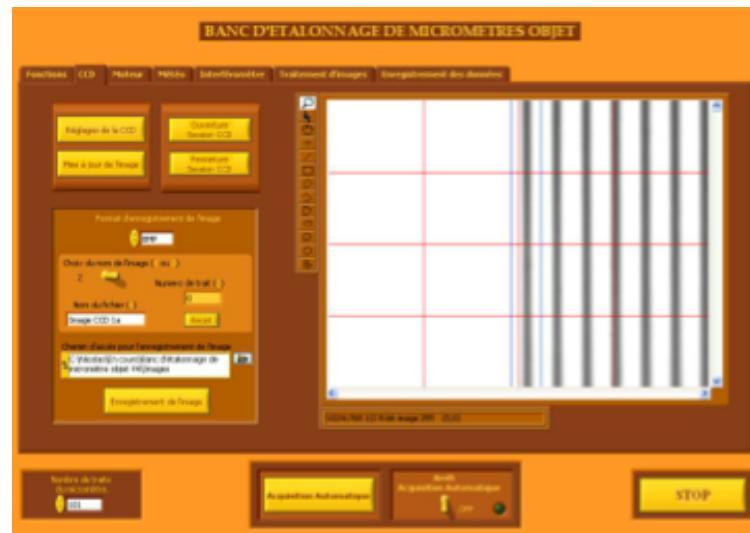
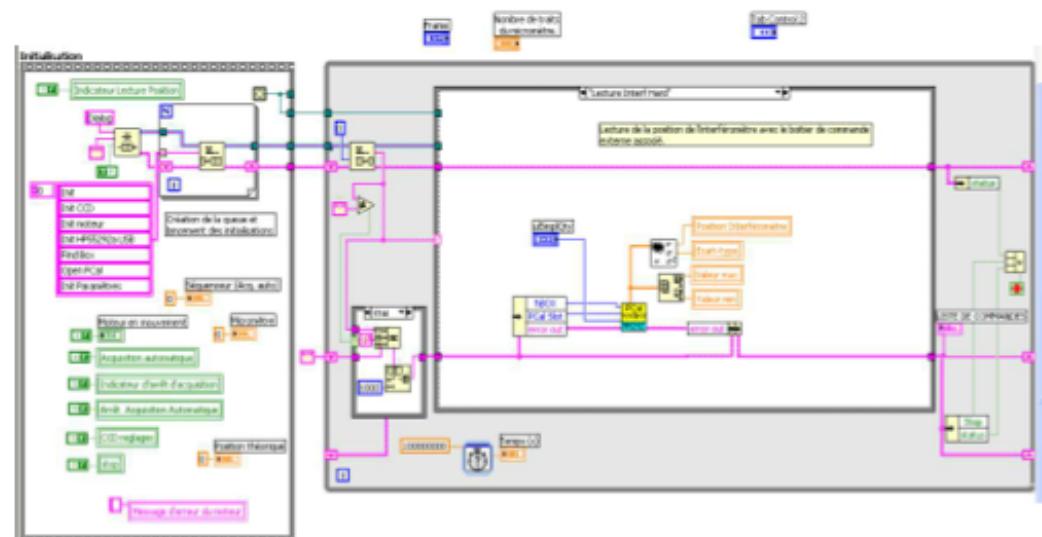
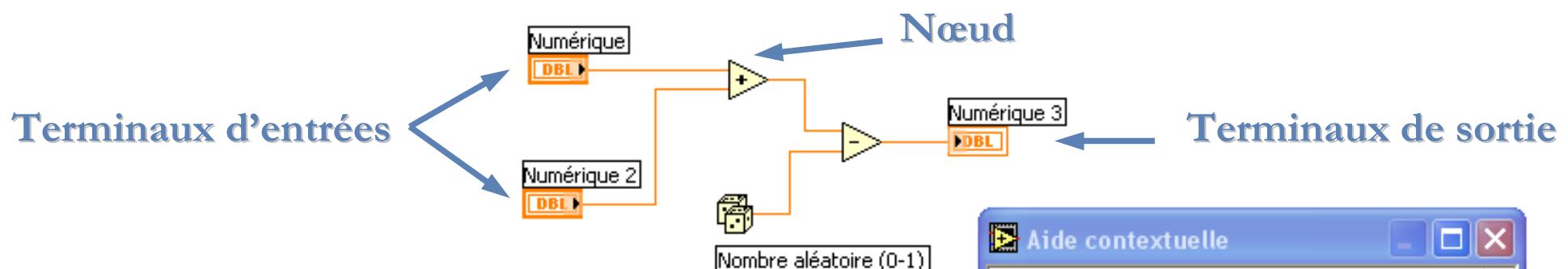


Diagramme = fenêtre de programmation et d'affichage du code source:

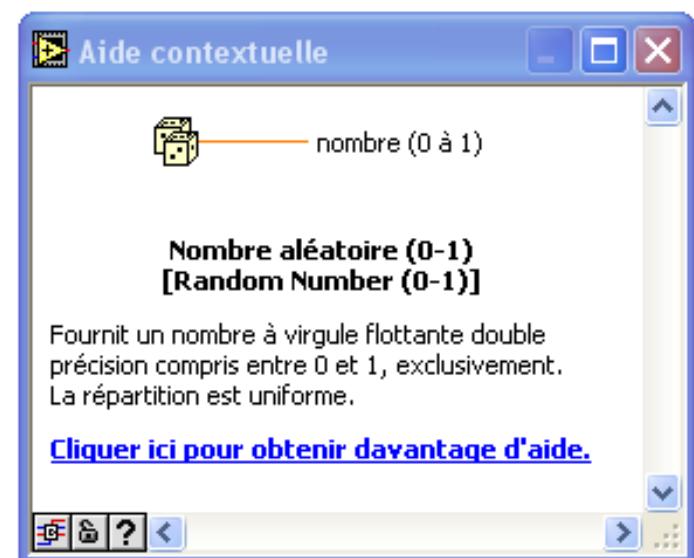
- solidaire de la face-avant
- commandes et indicateurs connectés



Programmation par flux de données



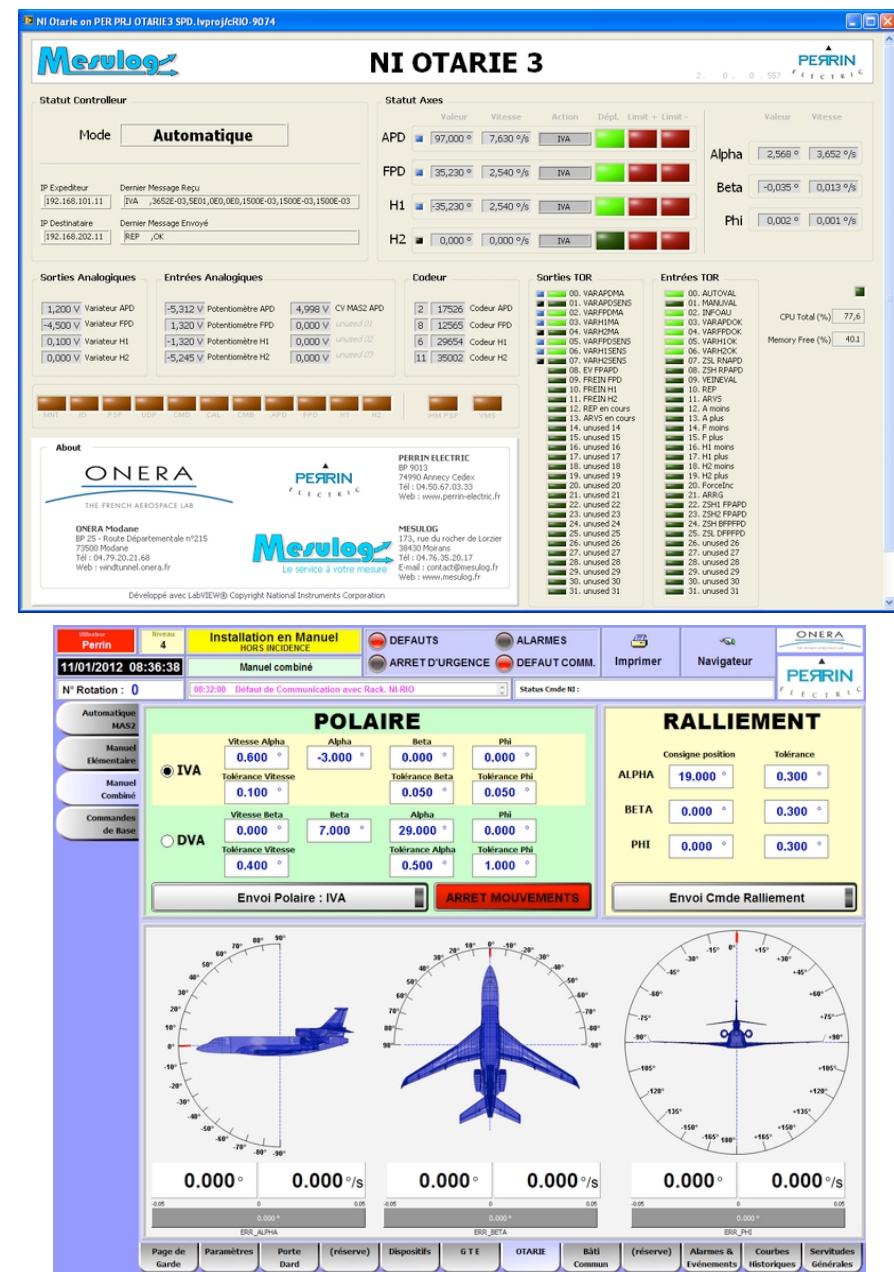
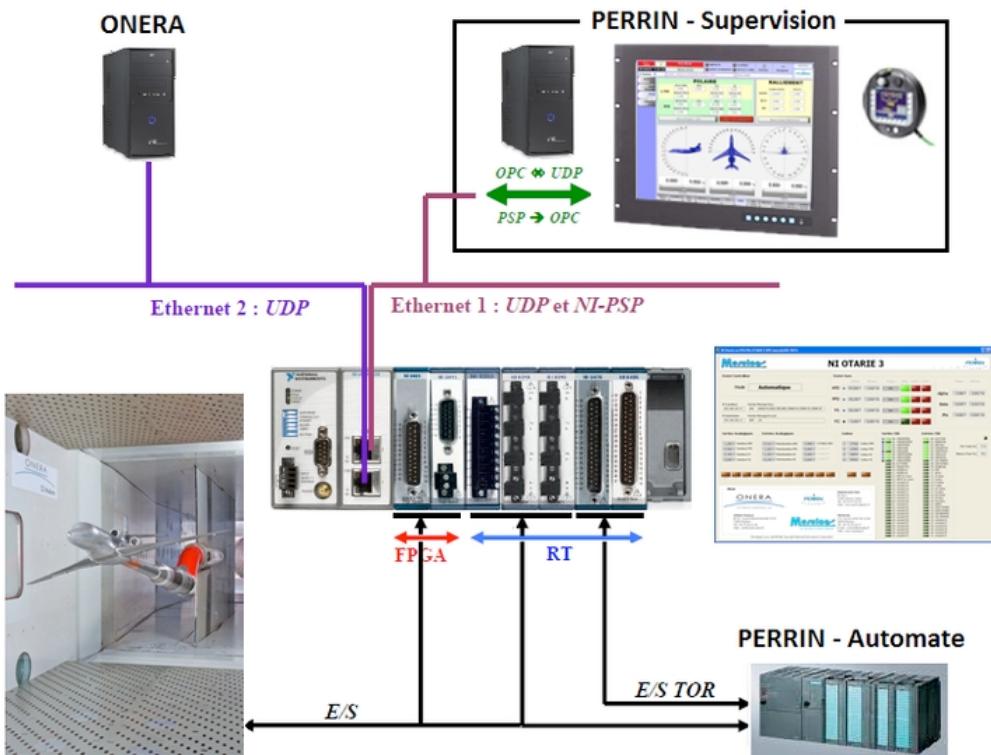
- L'exécution du diagramme dépend du flux de données. Il ne s'exécute pas nécessairement de gauche à droite.
- L'exécution du nœud se fait quand les données sont disponibles à tous les terminaux d'entrée.
- Puis les nœuds fournissent des données à tous les terminaux de sortie.
- La plupart des langages de programmation textuel (Visual Basic, C++, Java,...) utilisent des modèles de flux de commandes. C'est l'ordre séquentiel des éléments du programme qui détermine l'ordre d'exécution du programme.



Applications

<http://www.ni.com/case-studies/f/>

- Pilotage du positionnement d'une maquette avionique lors d'essais en soufflerie à l'ONERA
(<http://sine.ni.com/cs/app/doc/p/id/cs-15128>)

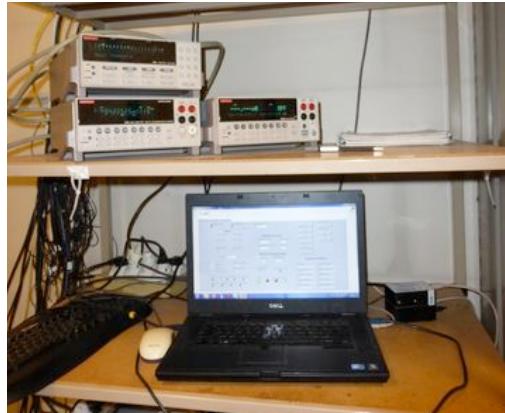


Applications

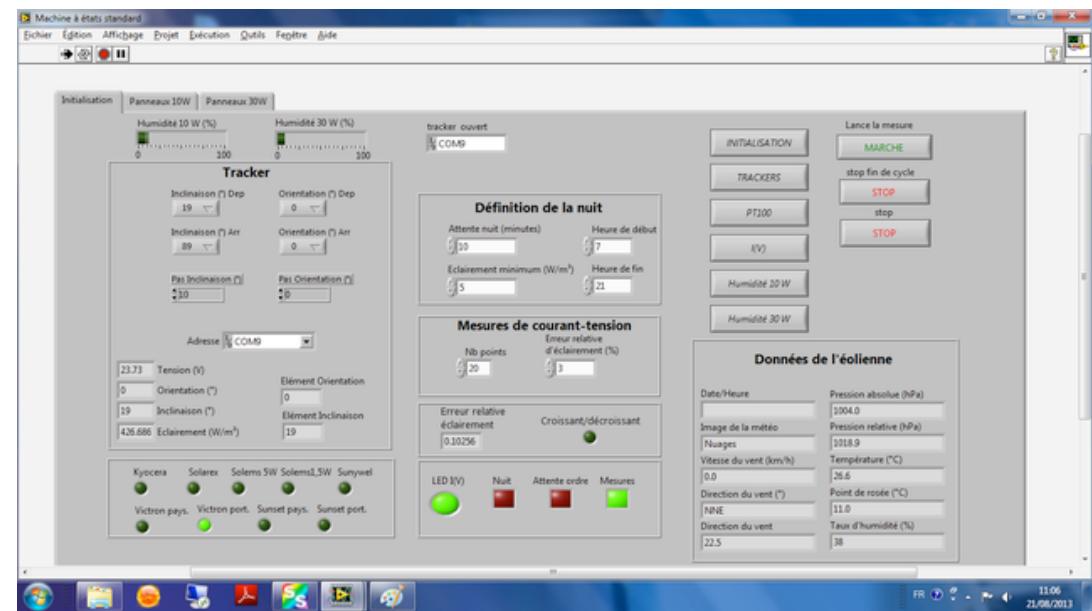
<http://www.ni.com/case-studies/f/>

- Mesures pour la caractérisation de modules photovoltaïques (<http://sine.ni.com/cs/app/doc/p/id/cs-15703>)
- Piloter et automatiser un banc de mesures de caractéristiques de panneaux photovoltaïques, et des paramètres météorologiques influents. Enregistrer les données 24h/24 et 7j/7, de façon compactée, partagée et facilement exploitable.

Plate-forme photovoltaïque, capteurs d'éclairement et de température, station météo et spectroradiomètre



Centrale d'acquisition de données (sourcemètre, multimètre et cartes de commutation) ; le tout piloté par LabVIEW

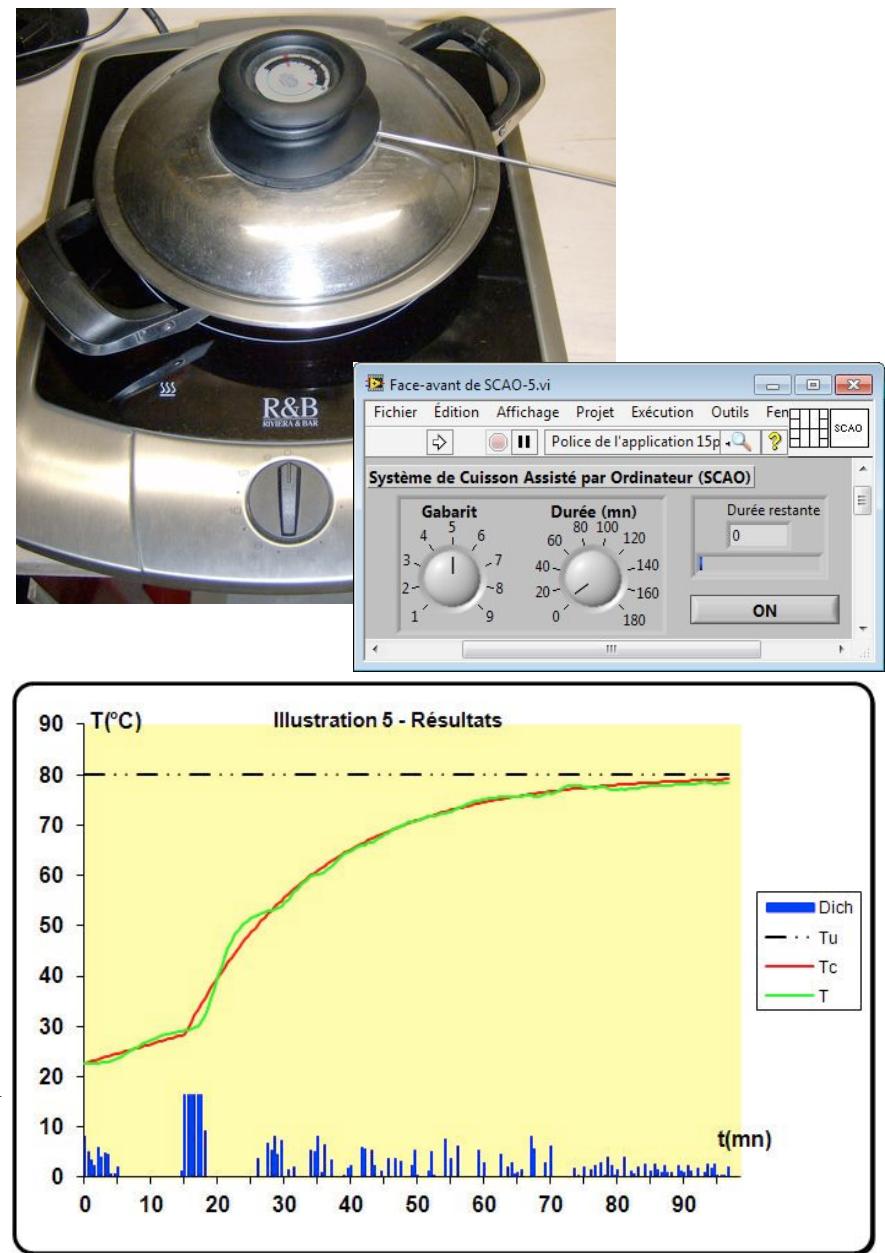


Applications

<http://www.ni.com/case-studies/f/>

- Système de Cuisson Assistée par Ordinateur (SCAO) (<http://sine.ni.com/cs/app/doc/p/id/cs-15703>)
- Test d'un prototype de cuisson des aliments à basse température.
- 2ème prototype en cours de développement: miniaturiser les interfaces et acquisition de la température sans contact (infrarouge et thermopile), en vue de la préparation de l'industrialisation et de la commercialisation. Travail réalisé en relation avec la Chambre de commerce et de l'industrie et de l'IUT (spé. mesures physiques) de Saint-Nazaire.

Mesure de la température, T , en comparaison avec la trajectoire à suivre, T_c , (générée mathématiquement en fonction de la température initiale, de la température d'utilisation T_u , et du contenu alimentaire).
 $Dich$ = Durée itérative de chauffe



TP instrumentation / mesure physique

Objectif: apporter une culture de base
sur les aspects mesures et instrumentation
par la pratique



Aspects matériels et logiciel
Pilotage d'instrument de mesures
Fonctionnement carte DAQ

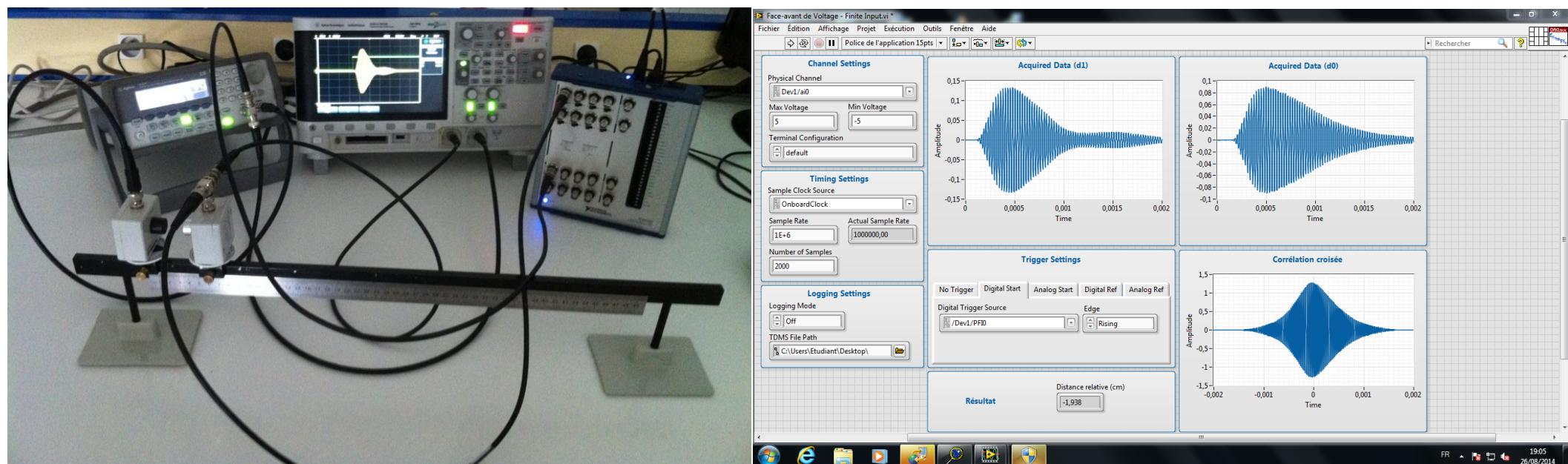


TOUS **Initiation à Labview** (durée 6h TD).
TPs Labview : Pilotage d'instrument et de carte DAQ (durée 18h TP).
Bureau d'étude (Durée 18h TP). **Physique Fondamentale**.

TP instrumentation / mesure physique

TPs LabVIEW — TOUS

TP1&2 : Initiation DAQ et GPIB



Mini-projet DAQ : Mesure de distance d'un mobile par ultrasons (↑)

Mini-projet GPIB : Mesure d'une fonction de transfert d'un quadripôle

Notation: • Autonomie/compréhension/initiative
• Compte-rendu, clarté du VI

TP instrumentation / mesure physique

Bureau d'étude — Physique (S46-51)

Mettre en oeuvre une chaîne d'acquisition pilotée pour la caractérisation d'une propriété physique ; exemples (la liste des BE 2014 sera donnée en TP):

- Renversement temporel
- Cristaux photoniques
- Energies renouvelables : expériences autour d'une éolienne
- Réalisation d'un écran tactile
- Mesure des paramètres d'un diapason à quartz
- Propriétés diélectriques du BaTiO₃
- Les relations de Kramers-Kronig soumises au banc d'essai
- Projet TOURNESOL : asservissement de position d'un panneau solaire
- Modes de vibration. Relation de dispersion. Phonons.
- Magnétorésistance géante

Notation:

- **Autonomie**
- **Rapport**
- **Exposé**



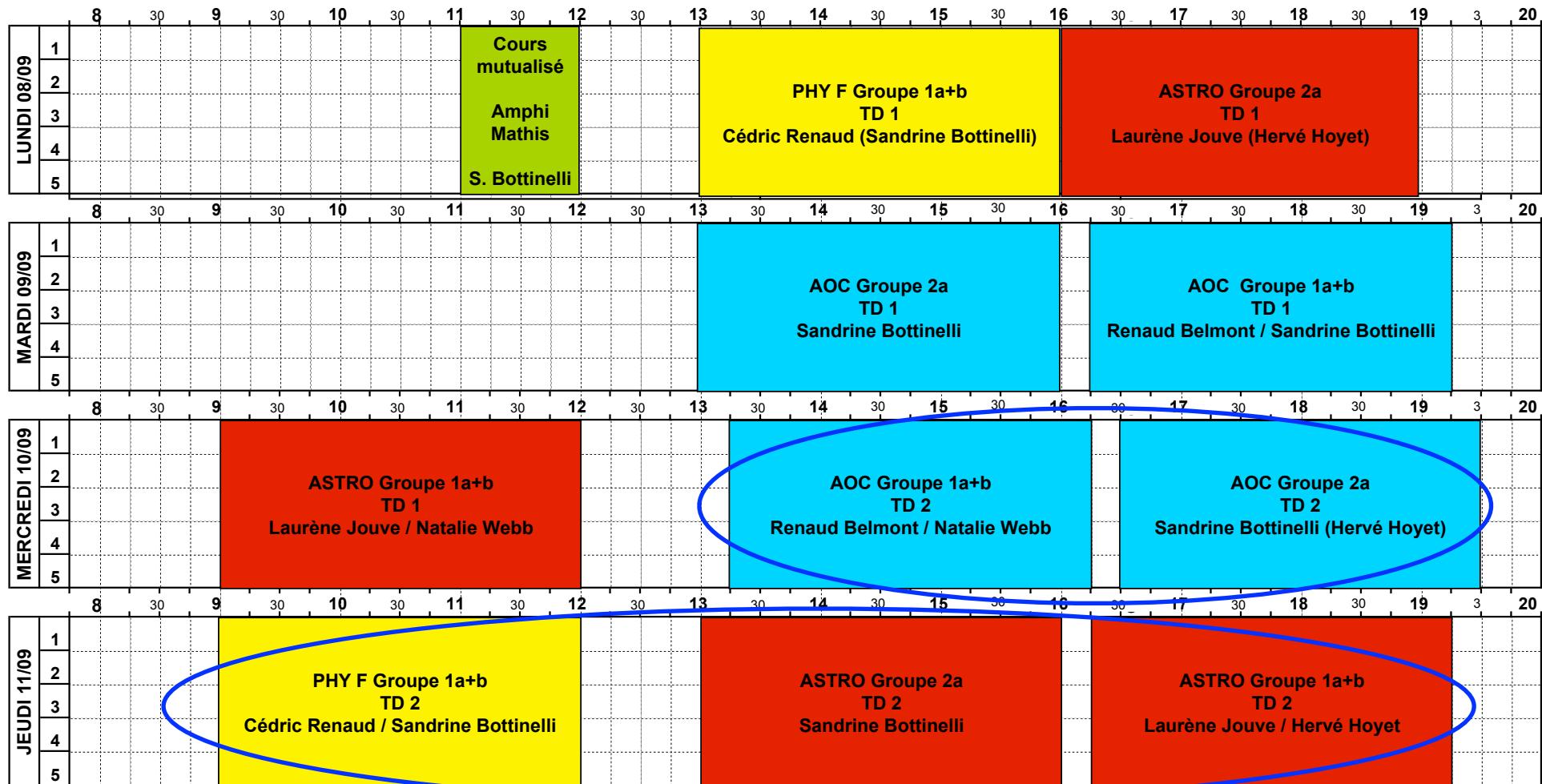
TP instrumentation / mesure physique

Modalités contrôle des connaissances

- M1 AOC : “Instrumentation” (EM7TAODM) → LabVIEW uniquement:
 - 40% CC + 60% CT
 - CC = moyenne des rapports des mini-projets
- M1 ATS : “Physique expérimentale et instrumentation” (EM7PASE2) → TP Physique (0.5) + LabVIEW (0.5) ; note LabVIEW :
 - 40% CC + 60% CT
 - CC = moyenne des rapports des mini-projets
- M1 PF : “Mesure Physique” (EM7PYFH2) → LabVIEW et B.E. :
 - 75% CC + 25% CT
 - CC = 25% moyenne des rapports des mini-projets + 75% B.E.
- Le CT (écrit) portera uniquement sur la partie commune “LabVIEW”
N.B. pour les M1 PF: le module “Instrumentation” (EM7PYFH1, C/TD aspects théoriques) n'a pas d'impact sur la faisabilité du CT.

TDs d'initiation LabVIEW, S37

- ▶ Pour le TD2, étudier les documents “Relations temps-fréquence avec la TFD” et “La corrélation croisée”



Tous les TDs ont lieu en salle H3bis, bât. 3TP1