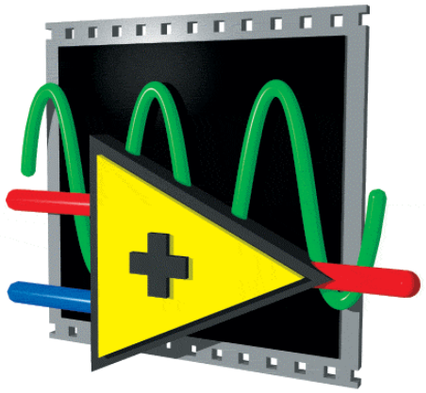
Du contrôle d'instrument à la mesure avec LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench)

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

Laurène Jouve

Equipe pédagogique : Sandrine Bottinelli (resp.) , 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/M1LabVIEW.html

Remerciements: Christophe Gatel

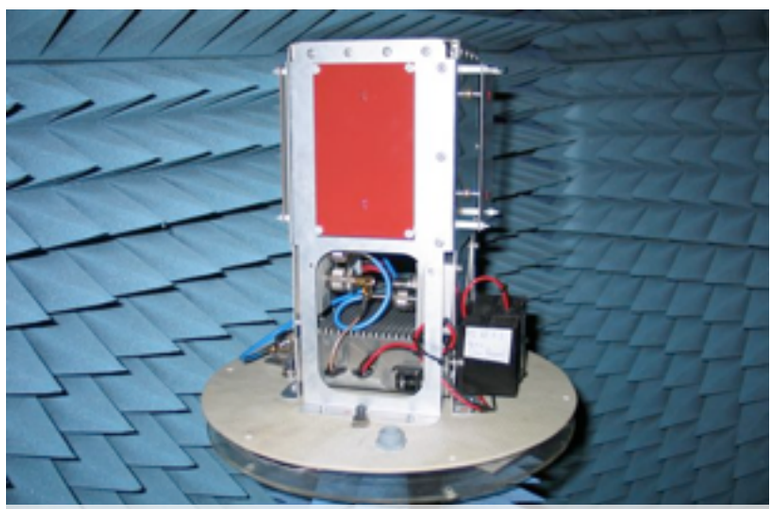
NATIONAL INSTRUMENTS

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**



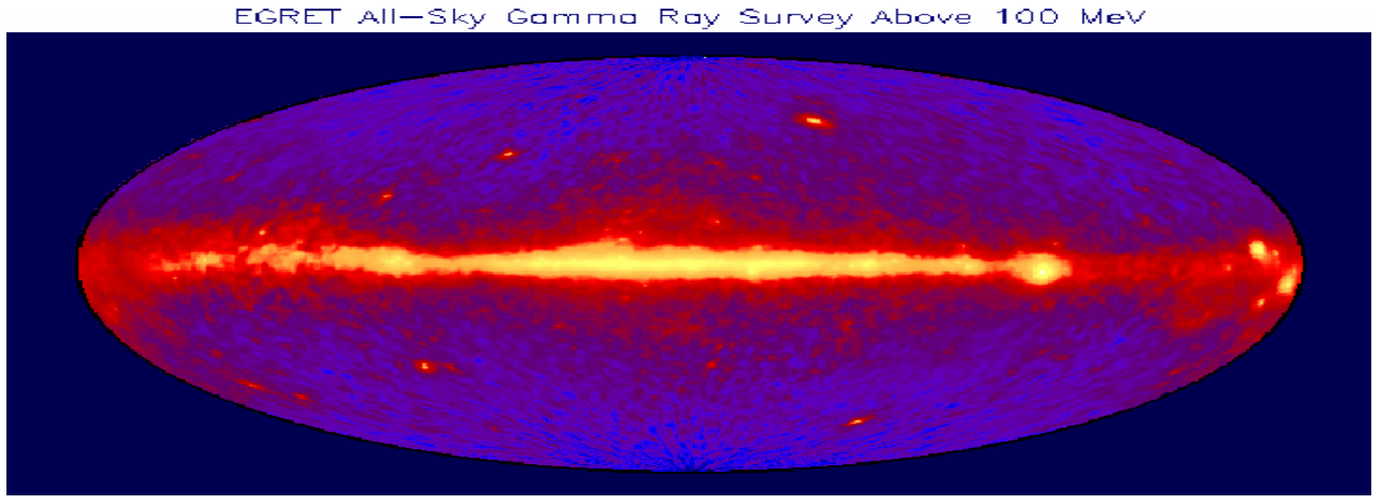
Antenne Wi-Fi sous test en chambre anéchoïque : vérifier les qualités des antennes produites, établir leur diagramme de rayonnement.

  - Instrumentation à but de **contrôle d'un processus industriel de fabrication**

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

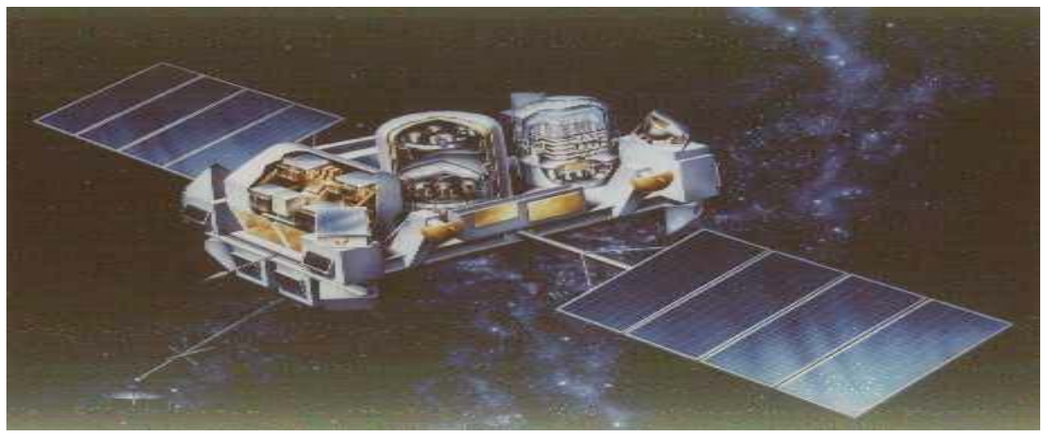
Omniprésence des capteurs et de la mesure

→ 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



Compton Gamma-Ray Observatory

- 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*

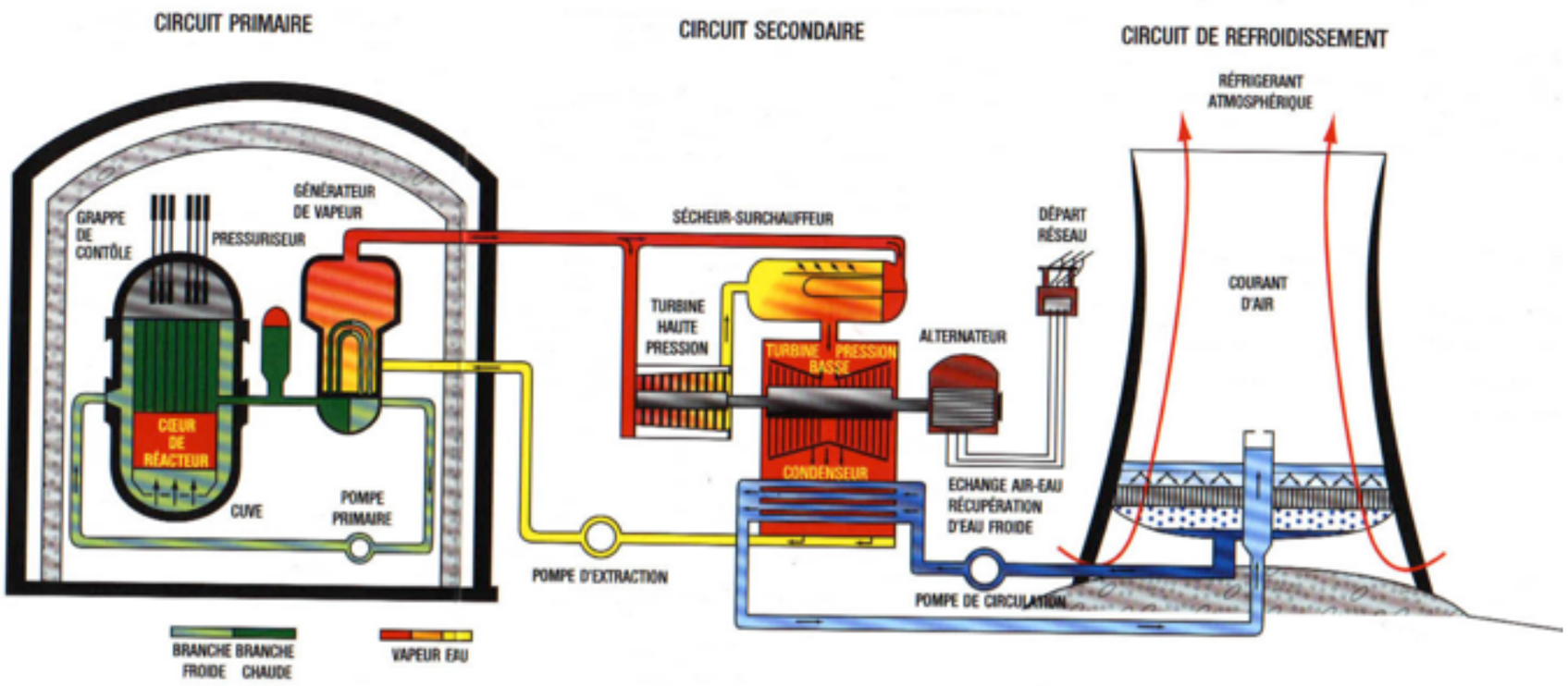
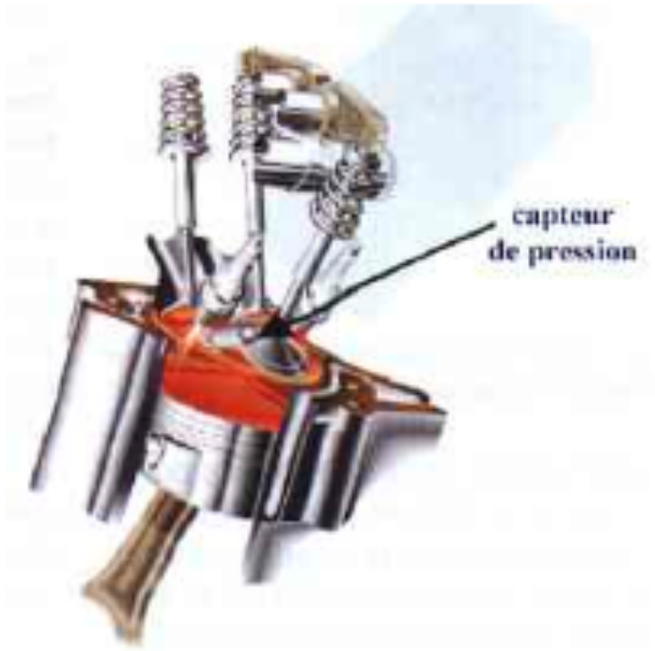
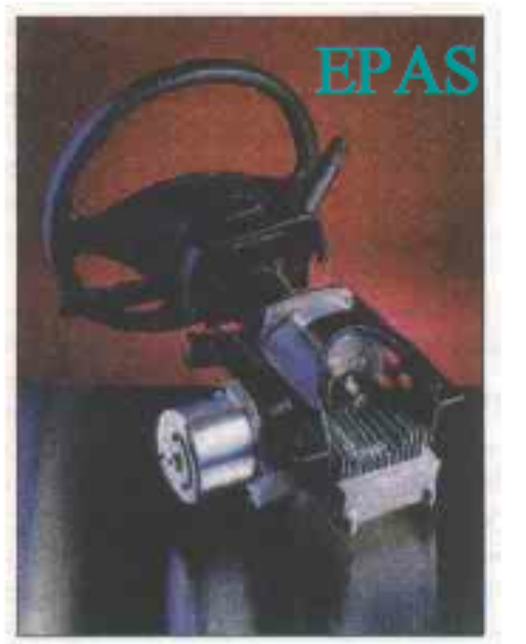


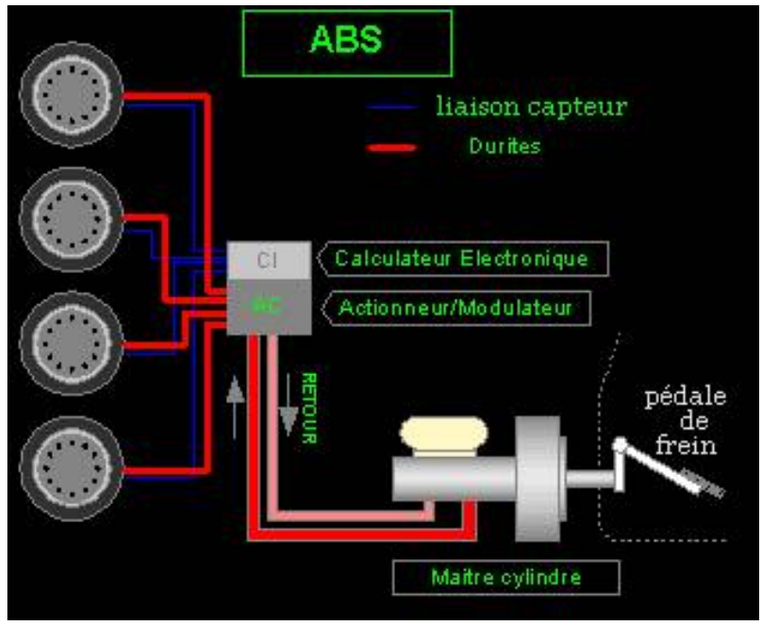
Schéma de fonctionnement d'un Réacteur à Eau sous Pression (REP)

Omniprésence des capteurs et de la mesure

→ ... aux applications grand public

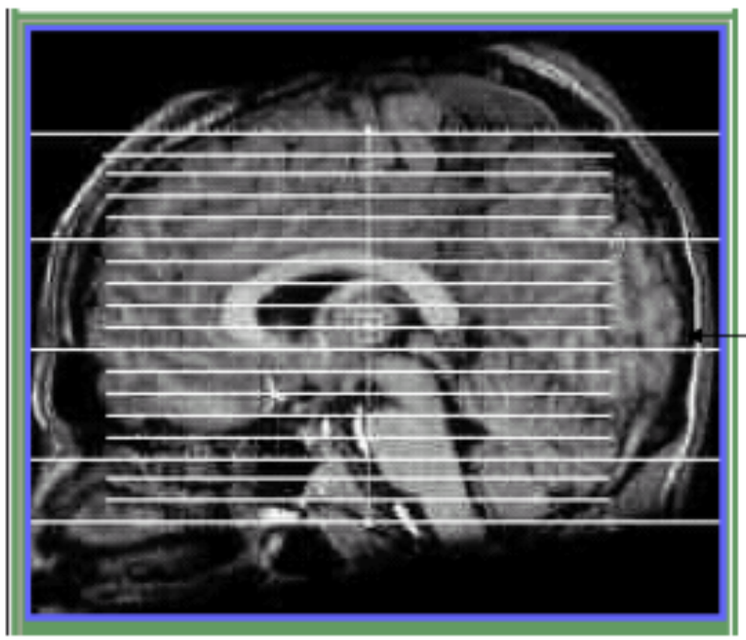


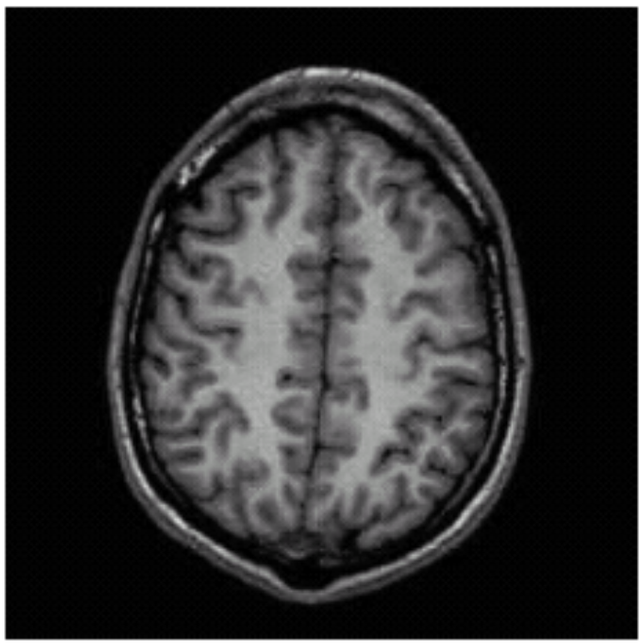




Automobile

Imagerie médicale, IRM



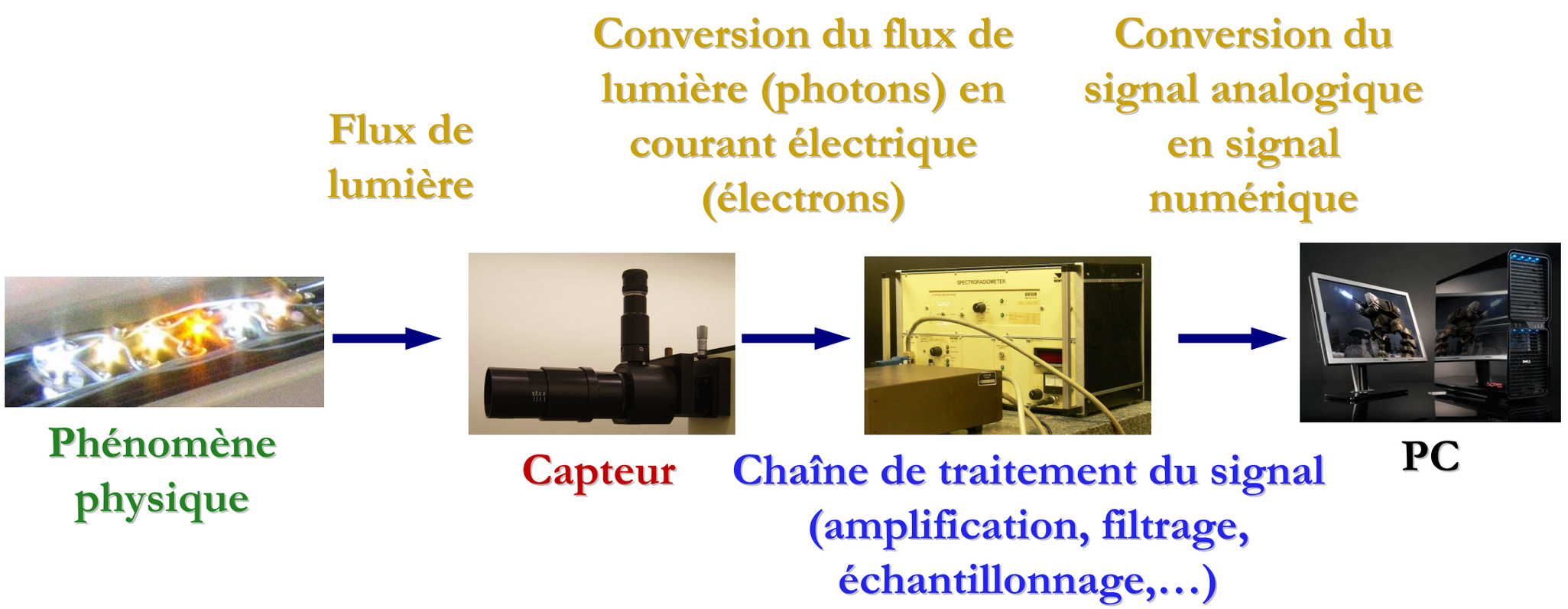


Capteurs et Mesures : chaîne d'acquisition

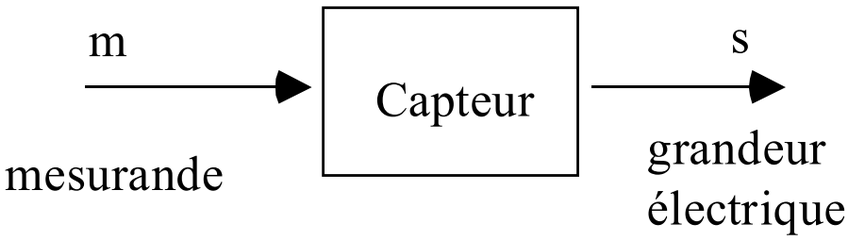
- Pour toute mesure, il faut :

Recueillir l'information → Traiter l'information → Stocker l'information
Traiter l'information → Afficher l'information
Traiter l'information → Engager une action-réponse

- 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

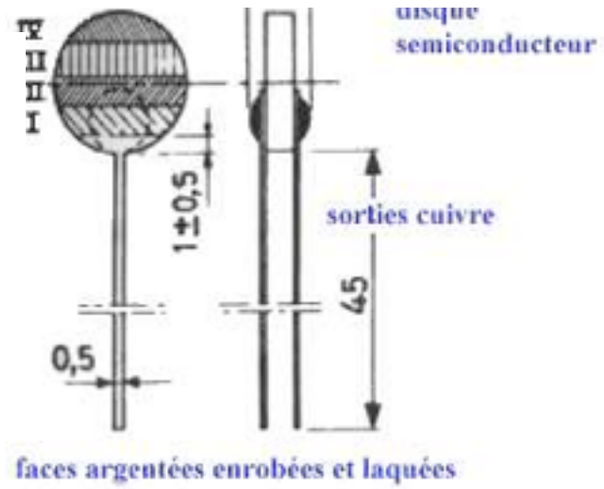
Mesurande	Capteur
Température	Thermocouple
	Capteur de température résistif (RTD)
	Thermistances
Flux de lumière	Photodiode
	Photomultiplicateur
Son	Microphone
Force et pression	Jauge de contrainte
	Transducteurs piézoélectriques
Position et déplacements	Potentiomètres
	Codeurs optiques
Fluide	Débitmètre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

Mesurande : Grandeur particulière soumise à mesurage.
Mesurage : Ensemble d'opérations ayant pour but de déterminer une valeur d'une grandeur.

NATIONAL INSTRUMENTS

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 ⟷ **Système physique étudié**

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

Capteur + Conditionneur

- Principes physiques des capteurs
- Conditionnement des capteurs : obtenir un signal variant de façon connue en fonction de M

Traitement du signal

- Filtrage
- Amplification

Tension $V(M)$ = $V(T) = R_{\mathrm{th}}(T) \times I$ ⟷ **Acquisition**

- Echantillonnage/Blockage
- Conversion Analogique Numérique

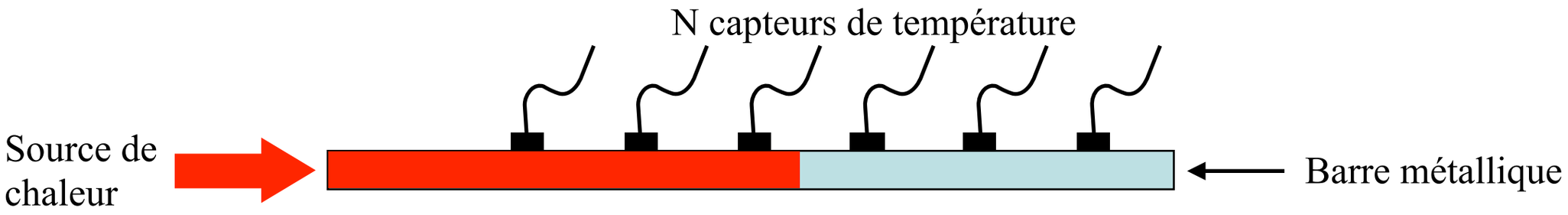
Calcul de T — **Traitement de données**

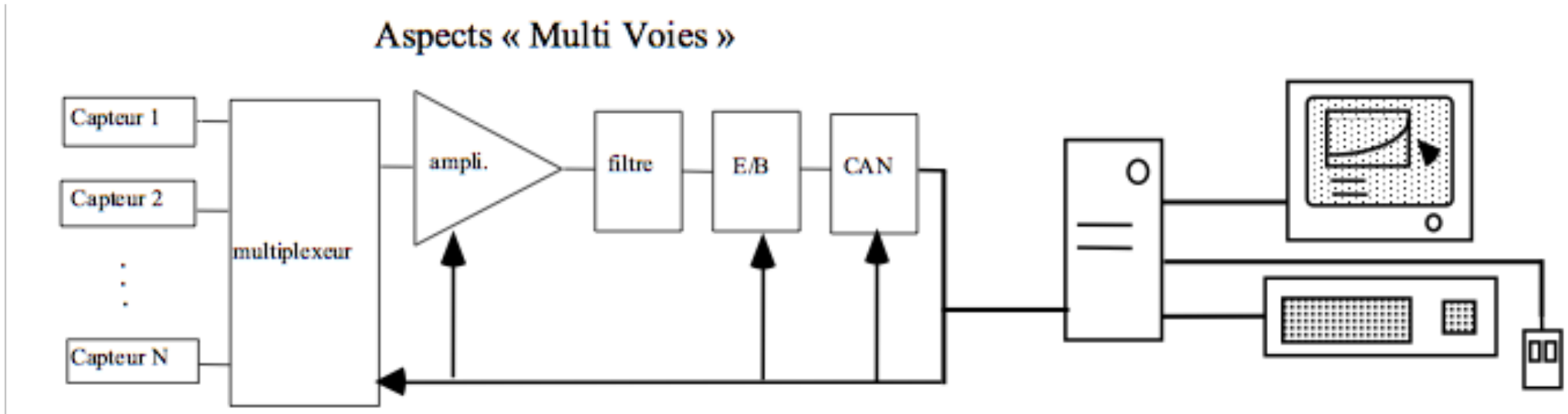
- Extraction de l'information : conversion du signal en grandeur physique

Mesurande M ⟵ **Affichage**

Capteurs et Mesures : chaîne d'acquisition

Mesure de la propagation de la chaleur à travers un matériau

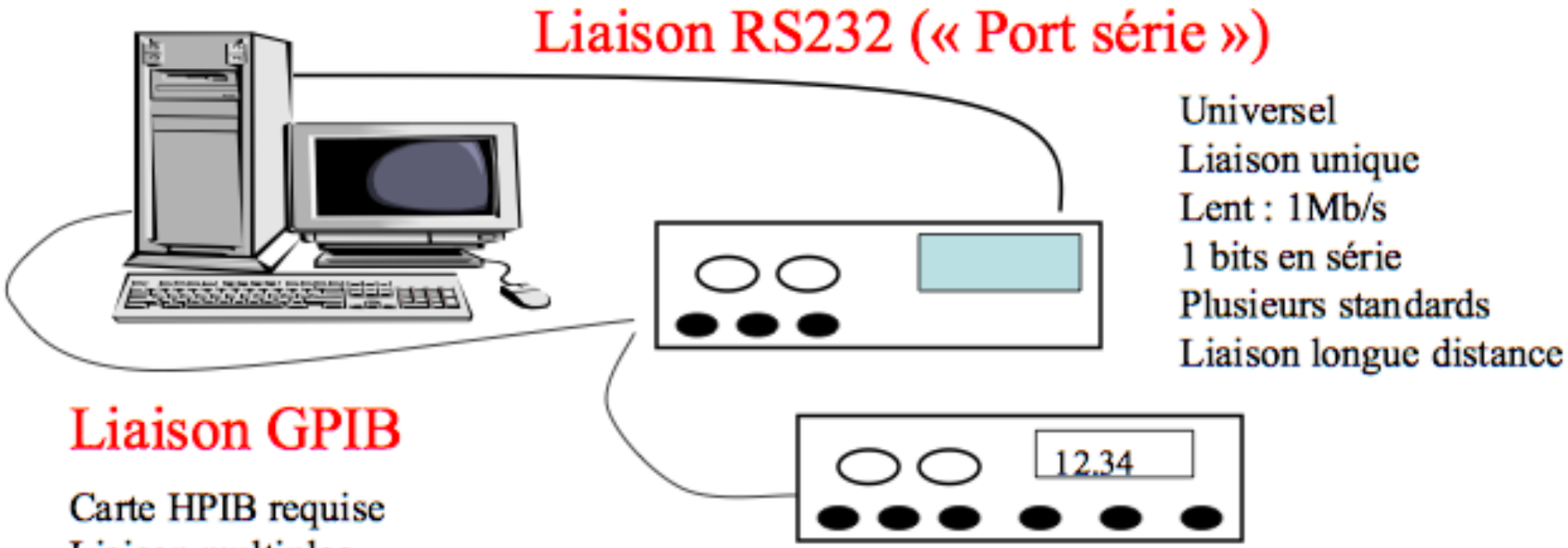




Organigramme simplifié des tâches du programme de pilotage.

Mesures : contrôle/pilotage d'instruments

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



Liaison GPIB

Carte HPIB requise
Liaison multiples
Rapide : 1Mo/s
8 bits //
Standard
Liaison quelque mètres

Autres liaisons:

port USB, port Ethernet...

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 arbritraire
  - [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 = **A**nalog **I**nput)
  ex: voie 0 : + → ACH0 ; − → AIGND
- Fréquence d'échantillonnage maximale:
  - avec une seule voie : 2 MHz (2×10^6 échantillons par seconde)
  - avec 2 voies ou plus : 1 MHz

  Il existe un relation simple entre fréquence d'échantillonnage, nombre de points acquis et durée du signal
  - si f_{ech} = 1 MHz et que l'on fait l'acquisition de 1000 points, quelle est la durée du signal?
  - si f_{ech} = 100 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 :

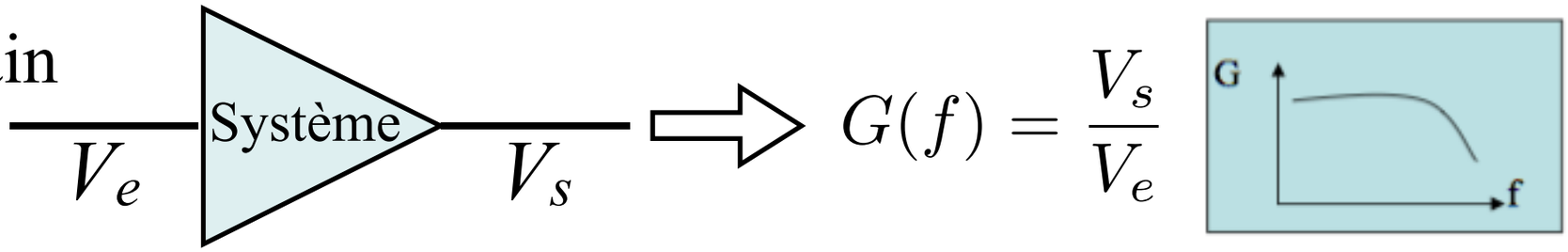
$$q = \frac{E}{2^n} = \frac{20}{2^{16}} = 3.2 \times 10^{-4}\ \text{V}$$

- Gain programmable :

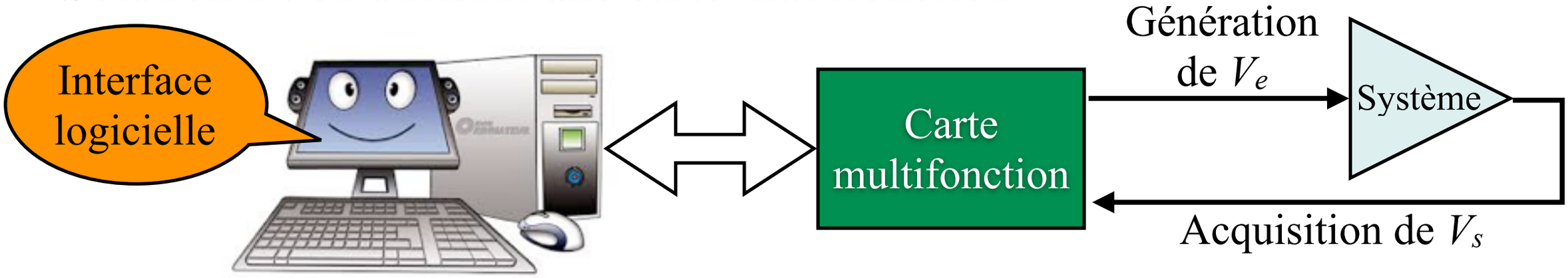
Gain	Etendue de mesure	Résolution du codage
1	[-10V,+10V]	320 µV
2	[-5V,+5V]	160 µV
5	[-2V,+2V]	64 µV
10	[-1V,+1V]	32 µV
20	[-0.5V,+0.5V]	16 µV
50	[-0.2V,+0.2V]	6.4 µV
100	[-0.1V,+0.1V]	3.2 µV

Mesures : pilotage ou carte?

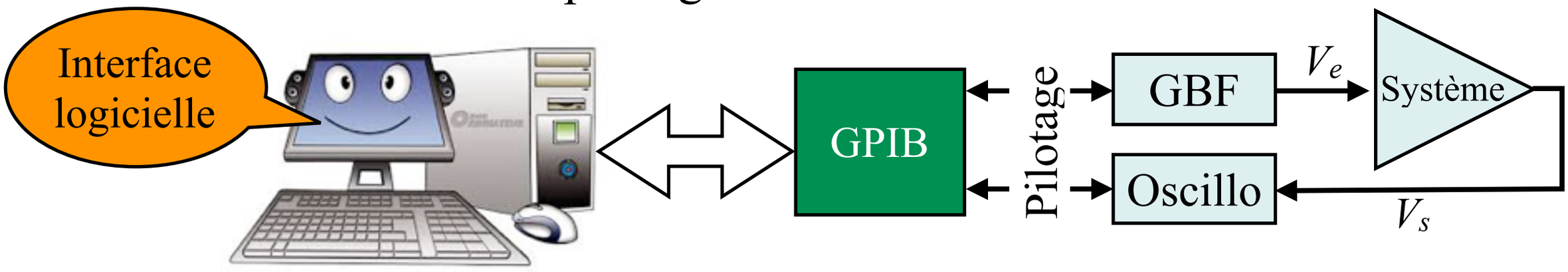
- Exemple : mesure de gain d'un amplificateur



- Solution 1 : en utilisant une carte multifonction

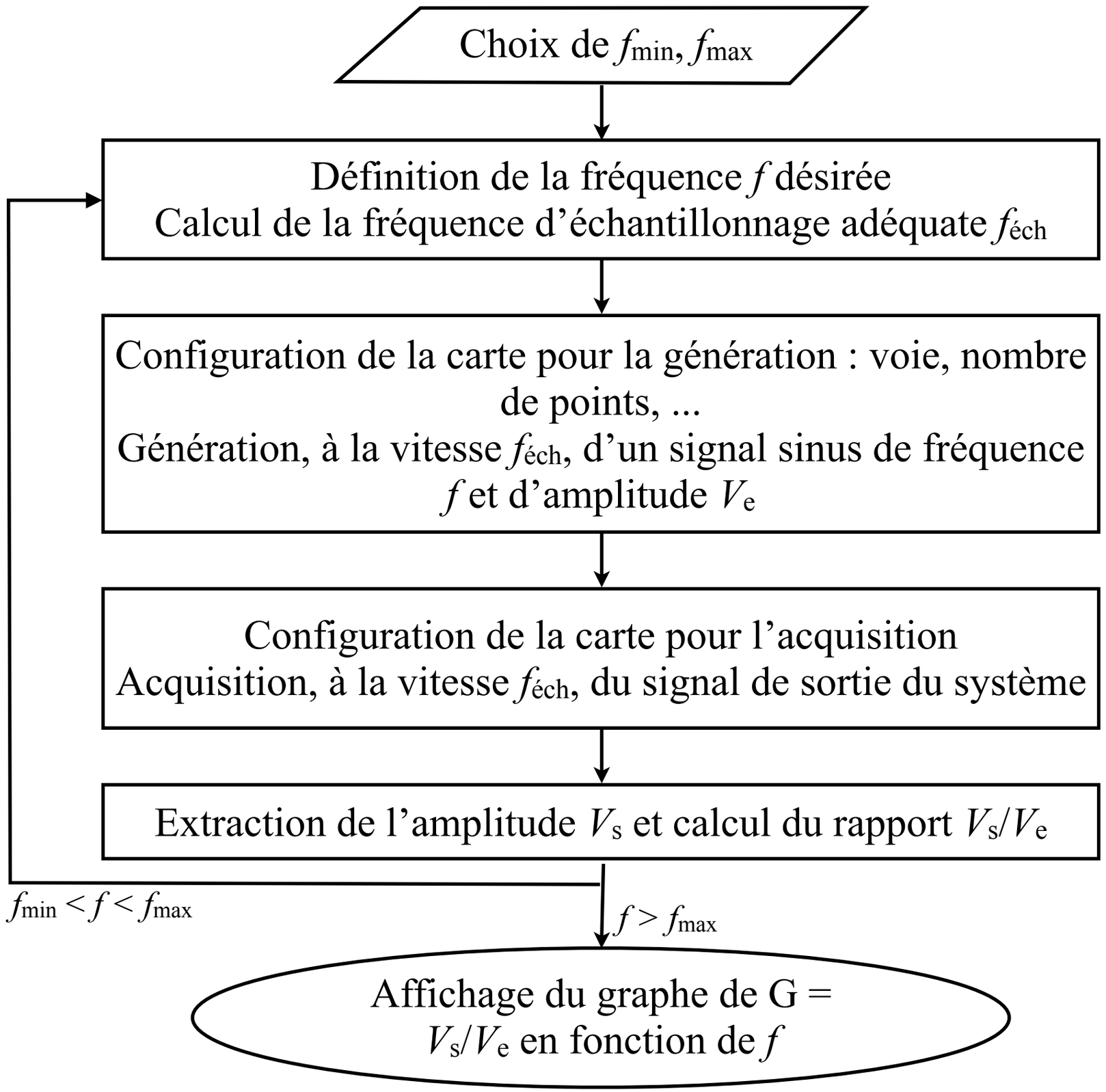


- Solution 2 : en utilisant le pilotage d'instruments



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

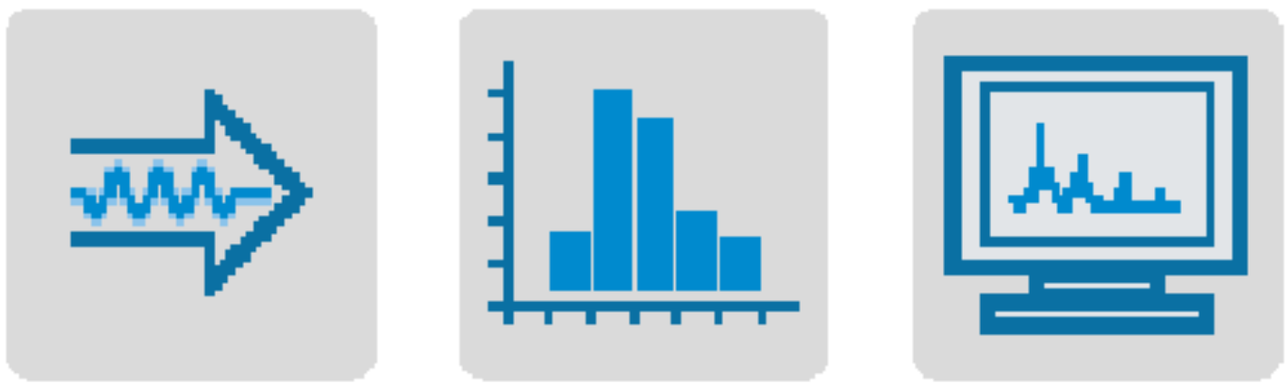
- Dans tous les cas, il est utile de réaliser l'organigramme (= algorithme simplifié) du programme. Par exemple, pour la solution avec la carte multifonctions:



Interface logicielle : LabVIEW

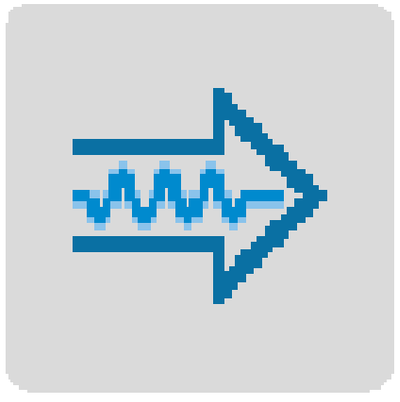
LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) est un environnement de développement graphique qui permet de créer des applications modulaires (VI, sous-VI) et extensibles pour la conception d'application, le contrôle et le test.

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 :

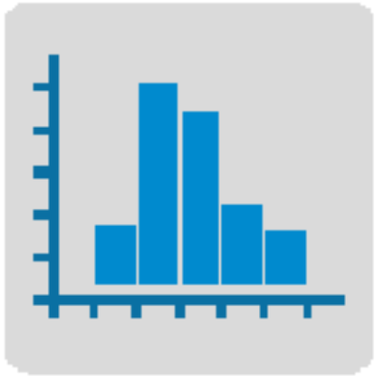
- **PCI (Peripheral Component Interconnect)**
- **CompactFlash**
- **LAN (Local Area Network)**
- **PXI (PCI eXtensions for Instrumentation)**
- **PCMCIA (Personal Computer Memory Card International Association)**
- **Wi-Fi (IEEE 802.11 b/g/n) (Wireless Fidelity)**
- **Bluetooth**
- **IrDA (Infrared 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

NATIONAL INSTRUMENTS™

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,…

Crédit: Nicolas POUSSET

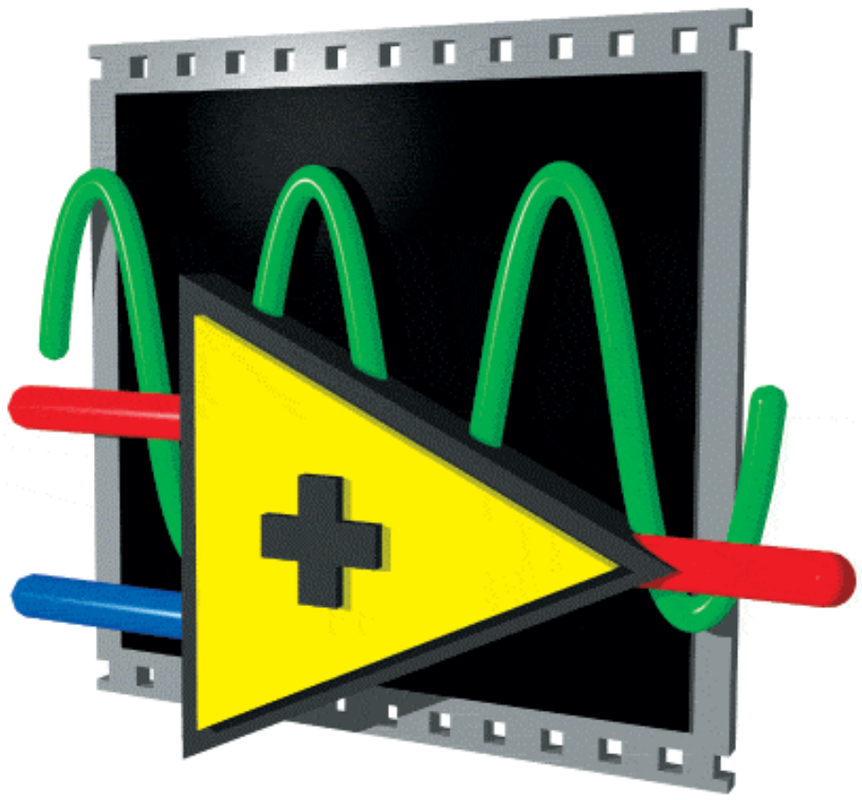
Interface logicielle : LabVIEW

- 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, ...)

  $\Rightarrow$ 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 (6*i*)
- 2002 : fonctionnement en réseau (6.1)
- 2007 : outils de développement multicoeurs (8.5)

Crédit: Nicolas POUSSET

Les programmes LabVIEW

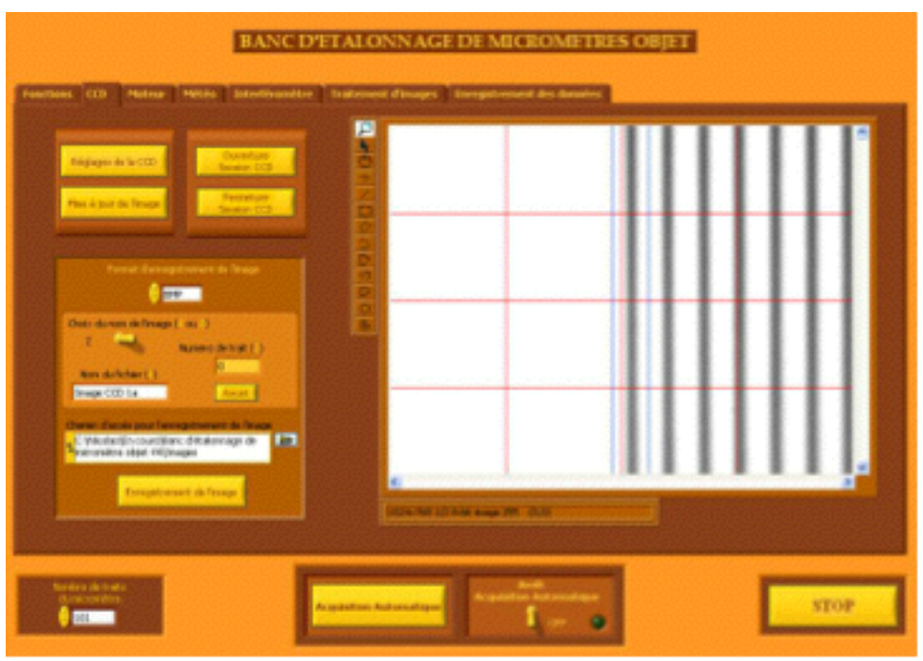
- Appelés VI (Virtual Instrument) : on parle d'instruments virtuels car leur apparence et leur fonctionnement sont semblables à ceux d'instruments réels, tels que les oscilloscope et les multimètres.
- Sont composés de 2 éléments essentiels : la face-avant et le diagramme.

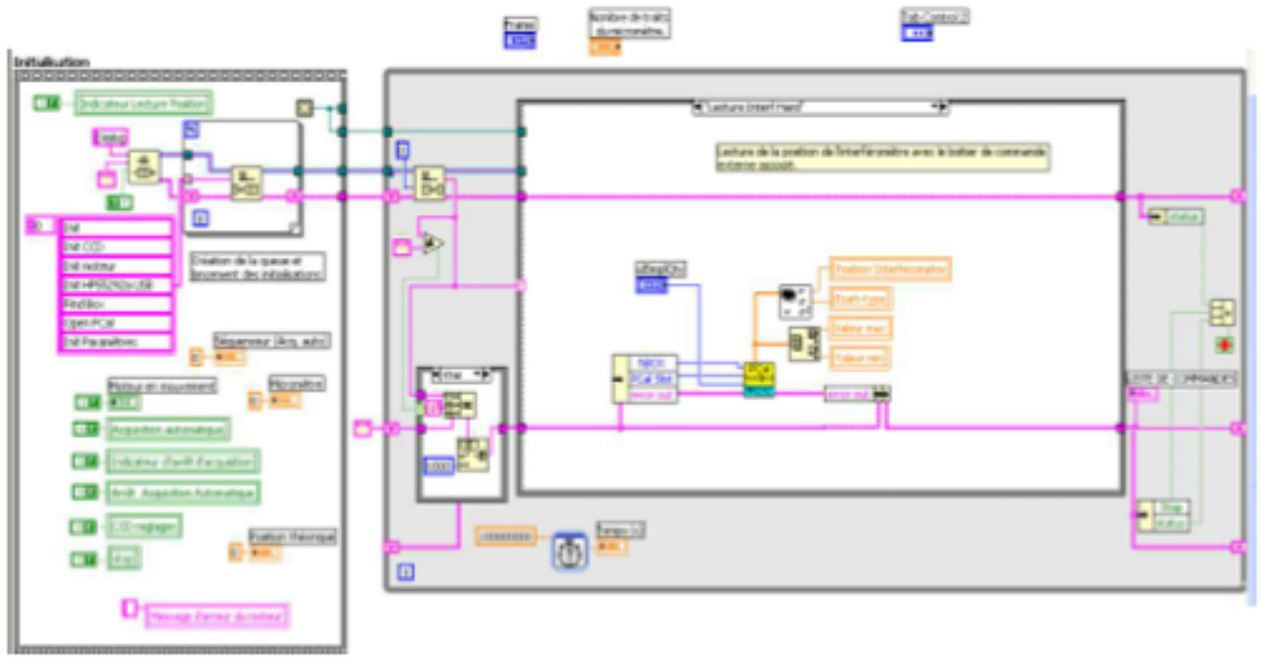
Face-avant = interface utilisateur : on y trouve tous les éléments interactifs du VI:

- contrôles/commandes = entrées
- indicateurs = sorties

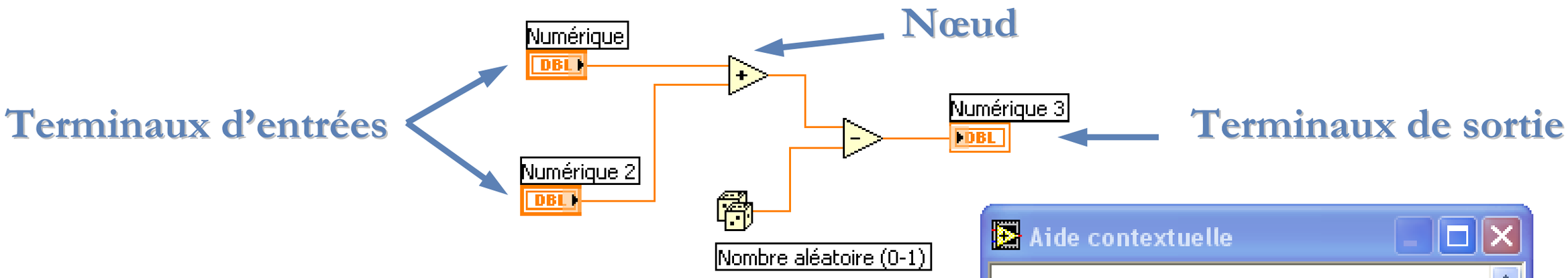
Diagramme = fenêtre de programmation et d'affichage du code source:

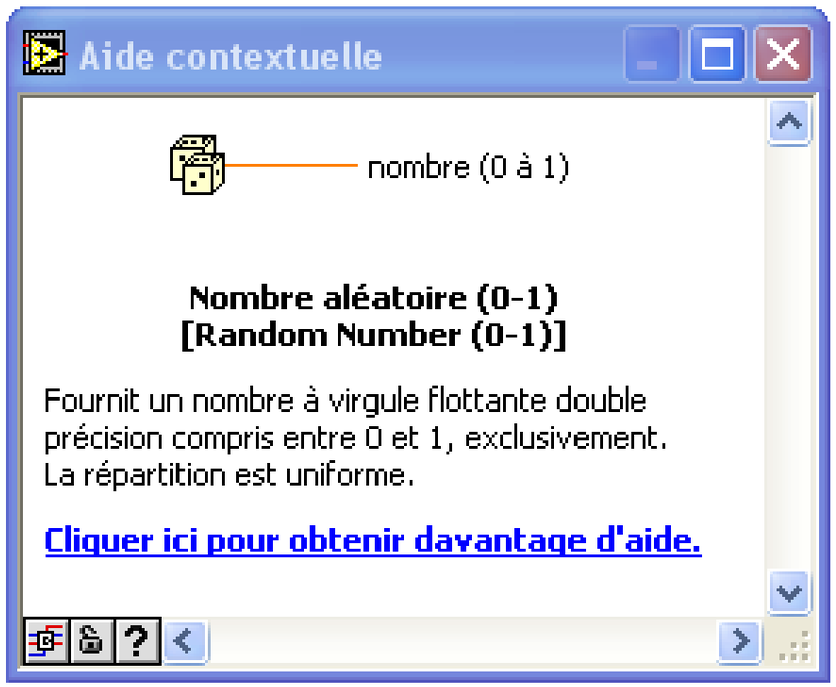
- solidaire de la face-avant
- commandes et indicateurs connectés





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.

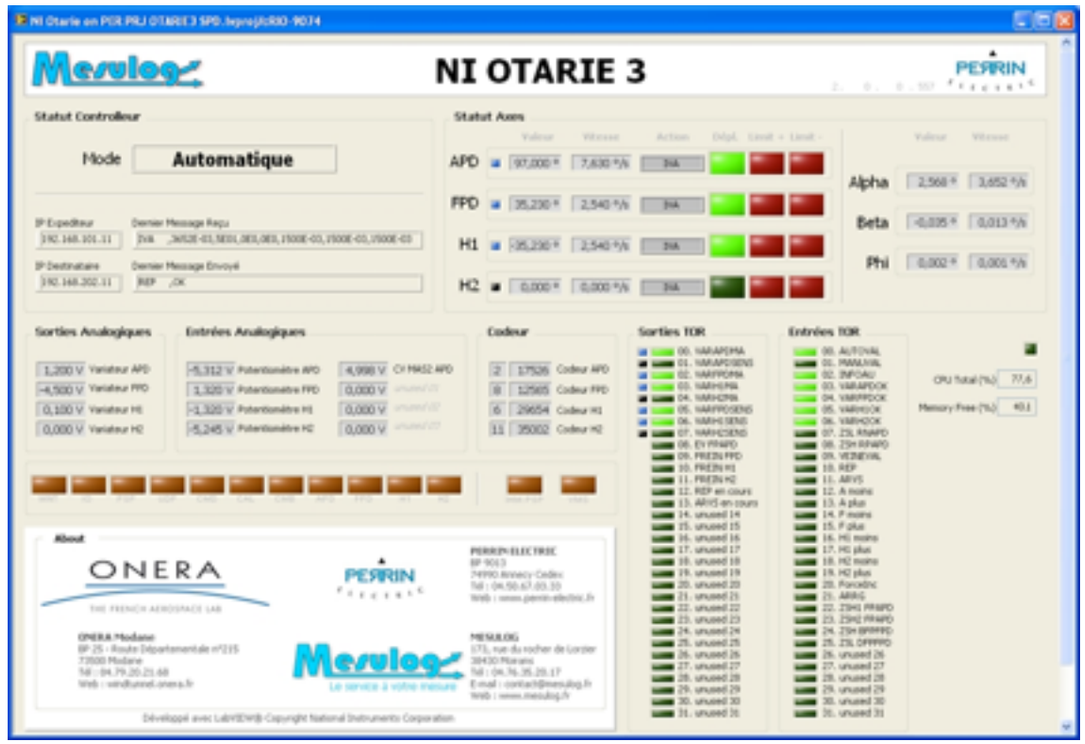
NATIONAL INSTRUMENTS™

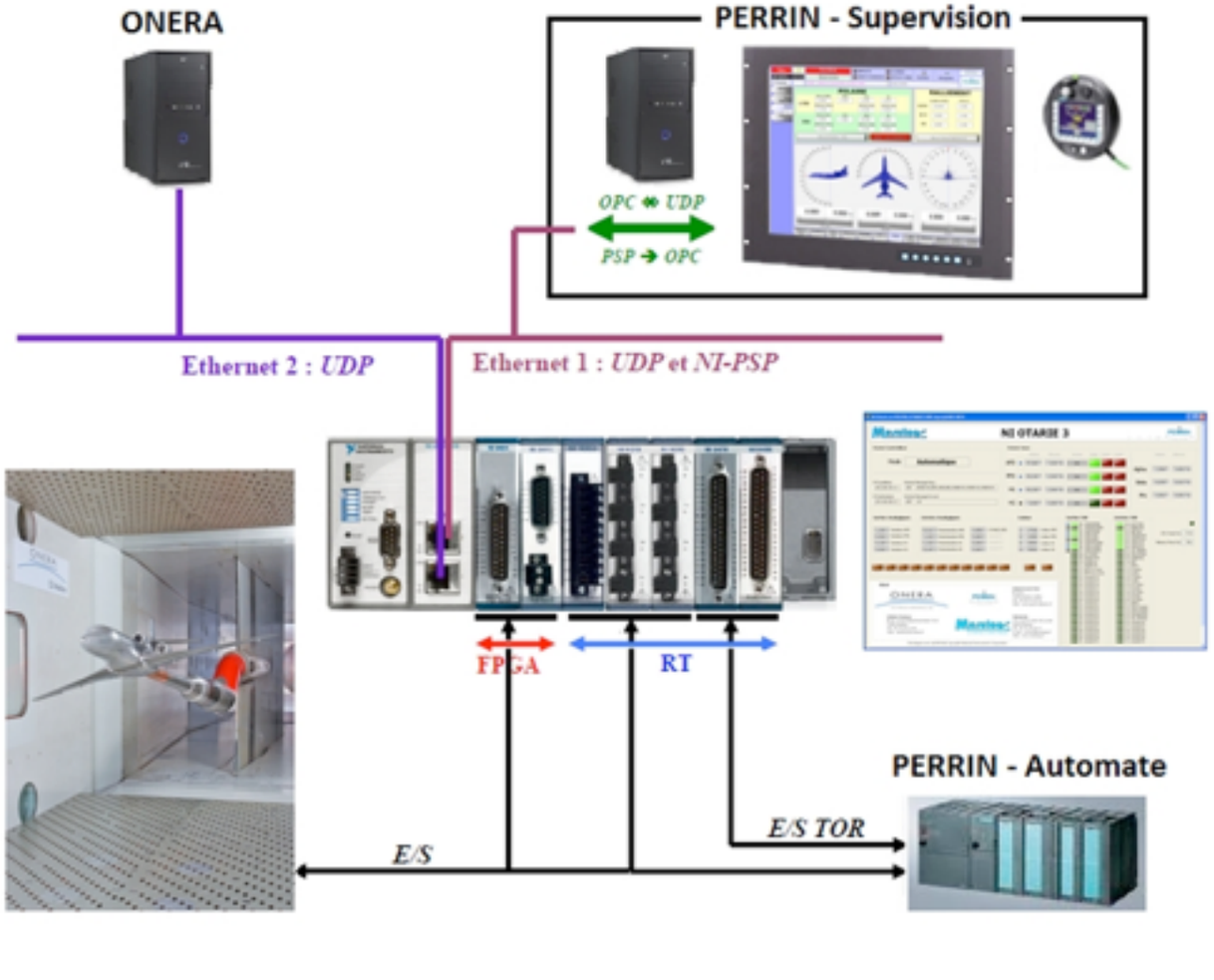
Crédit: Nicolas POUSSET

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)



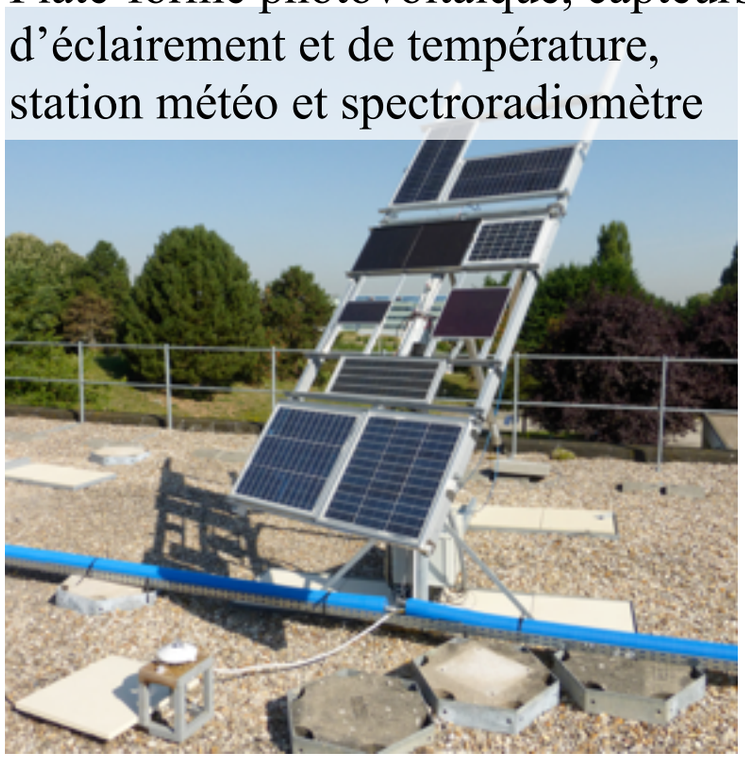


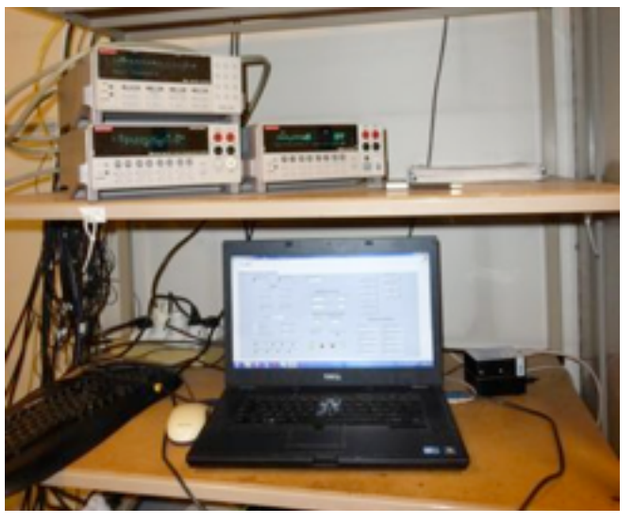
Applications

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

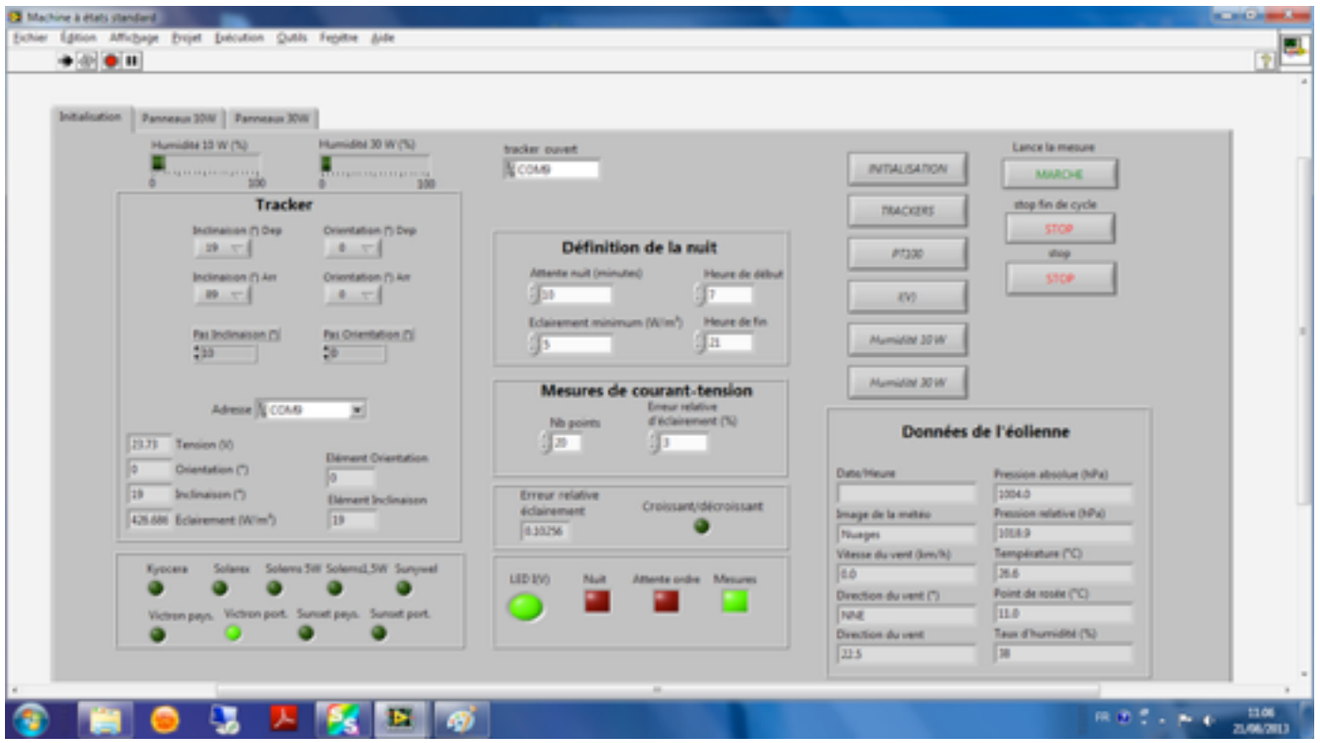
- Mesures pour la caractérisation de modules photovoltaïques (http://sine.ni.com/cs/app/doc/p/id/cs-15703)
- Piloter et automatiser un banc de mesures de caractéristiques de panneaux photovoltaïques, et des paramètres météorologiques influents. Enregistrer les données 24h/24 et 7j/7, de façon compactée,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

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





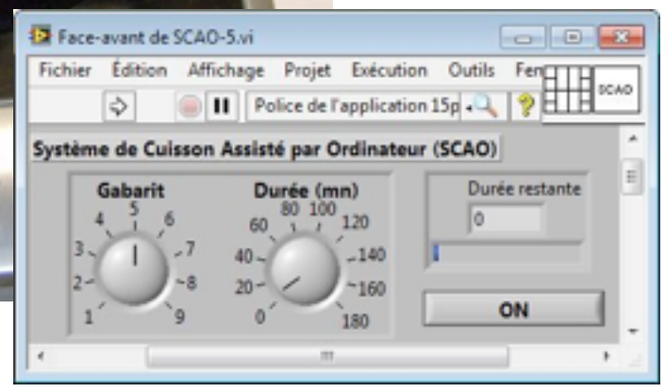
Centrale d'acquisition de données (sourcemètre, multimètre et cartes de commutation) ;
le tout piloté par LabVIEW

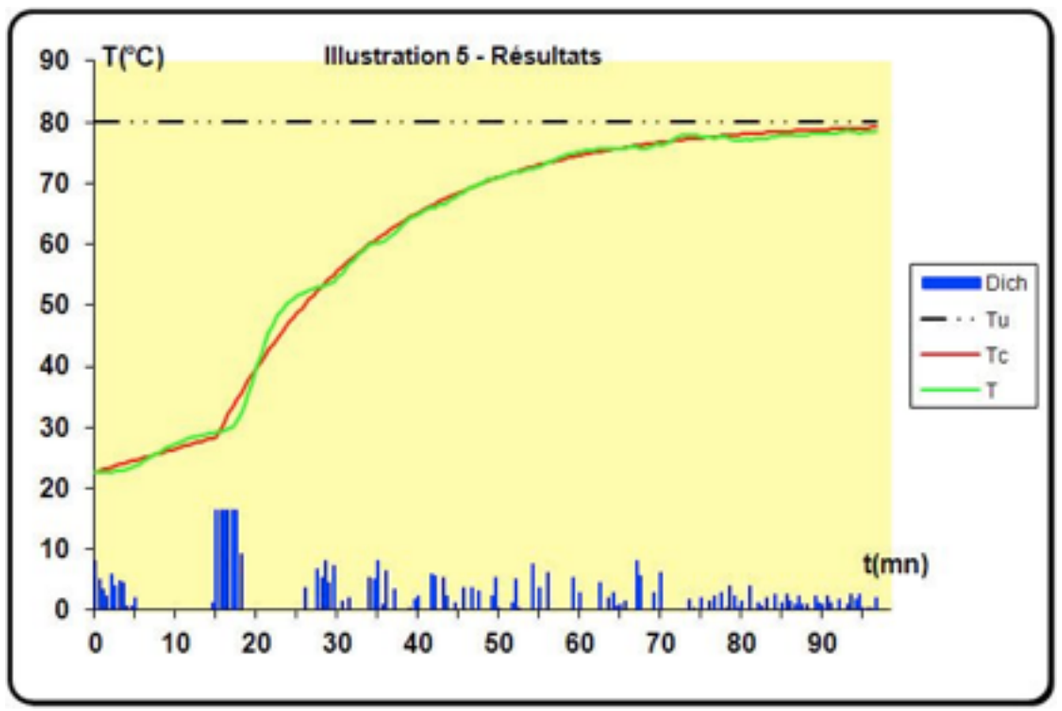


Applications

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, Tc, (générée mathématiquement en fonction de la température initiale, de la température d'utilisation Tu, 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

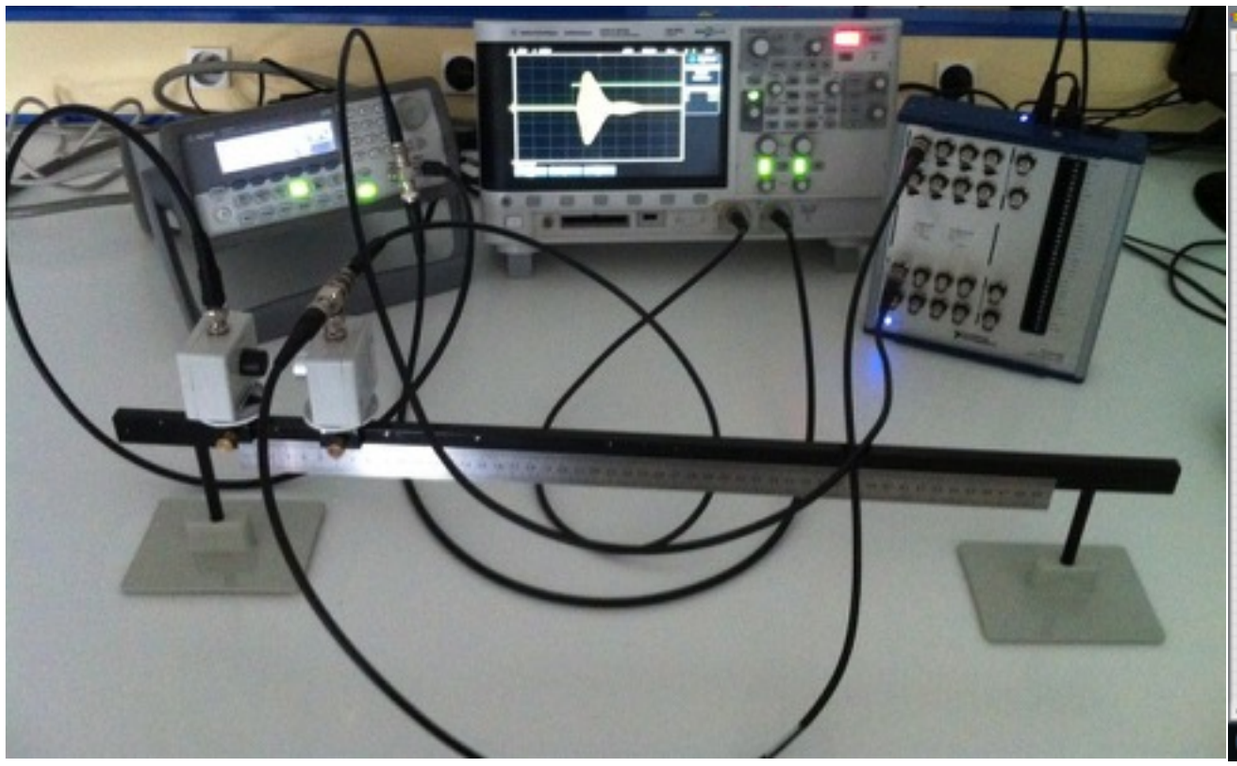
↓

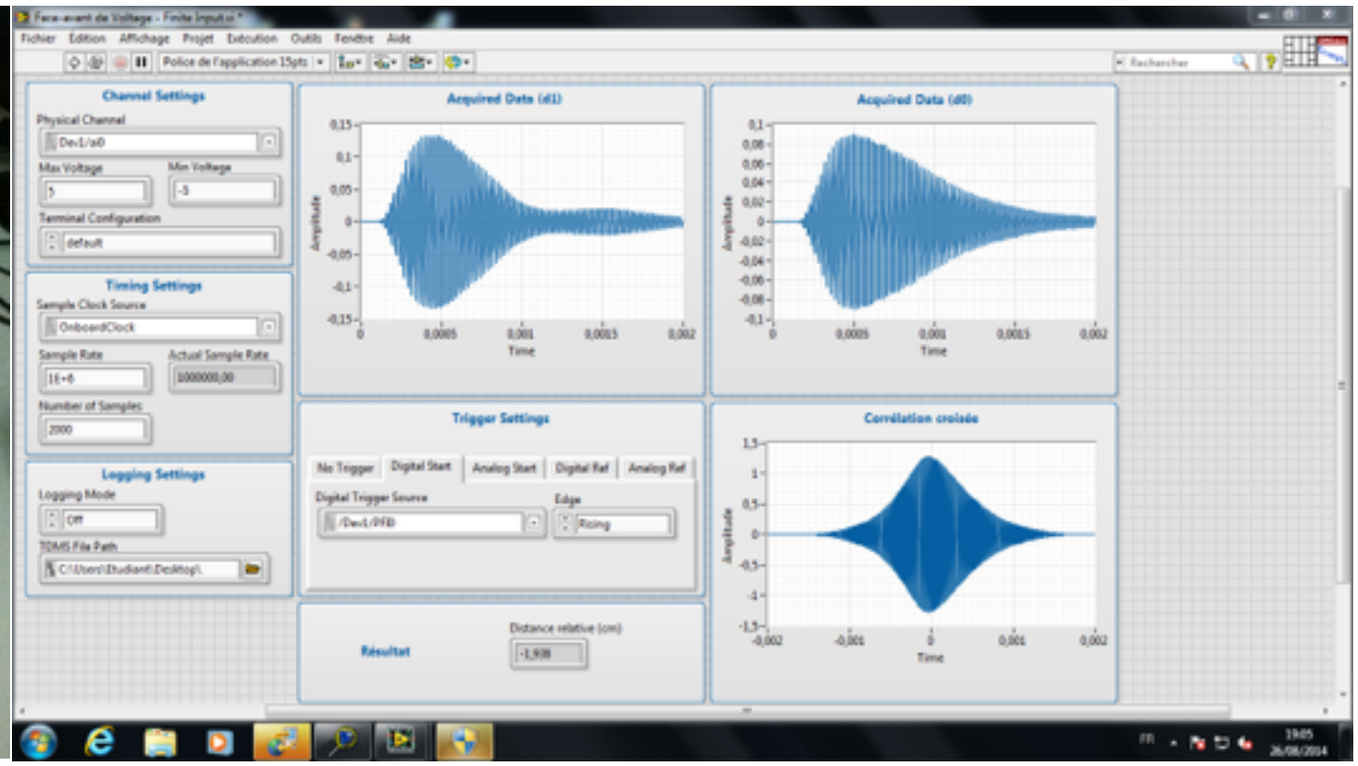
tous Initiation à Labview (durée 6h TD).
TPs Labview : Pilotage d'instrument et de carte DAQ (durée 18h TP).
Bureau d'étude (Durée 18h TP). *Physique Fondamentale.*

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, <u>clarté du VI</u>**

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 2015 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 $BaTiO_3$
- 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

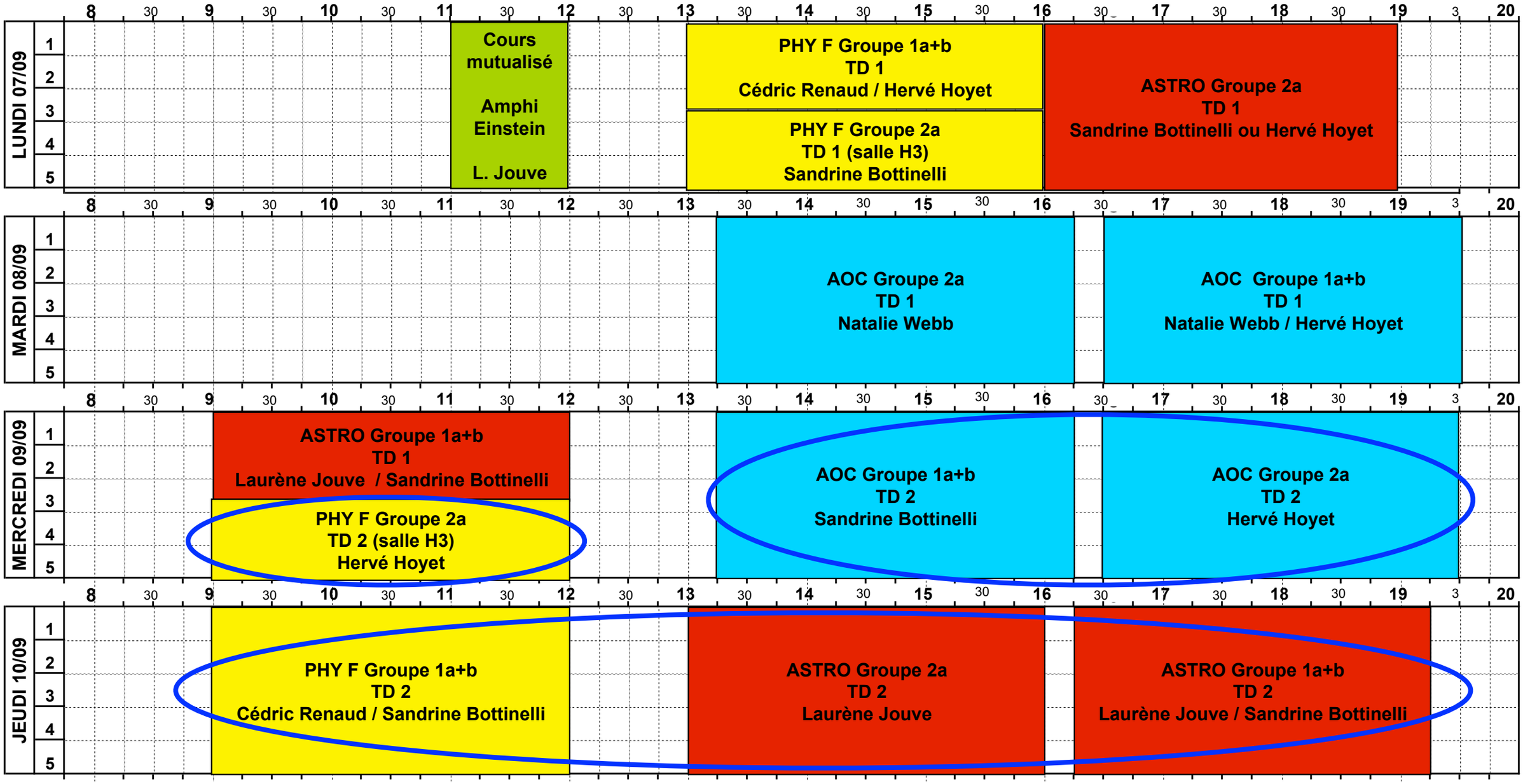
Modalités contrôle des connaissances

- 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 annexes du cahier de TD : "Relations temps-fréquence avec la TFD" et "La corrélation croisée"



Tous les TDs ont lieu en salle H3bis, bât. 3TP1 (sauf autre indication)