

14/11/2024 – Journée AlpesVIEW à Néel (Grenoble)

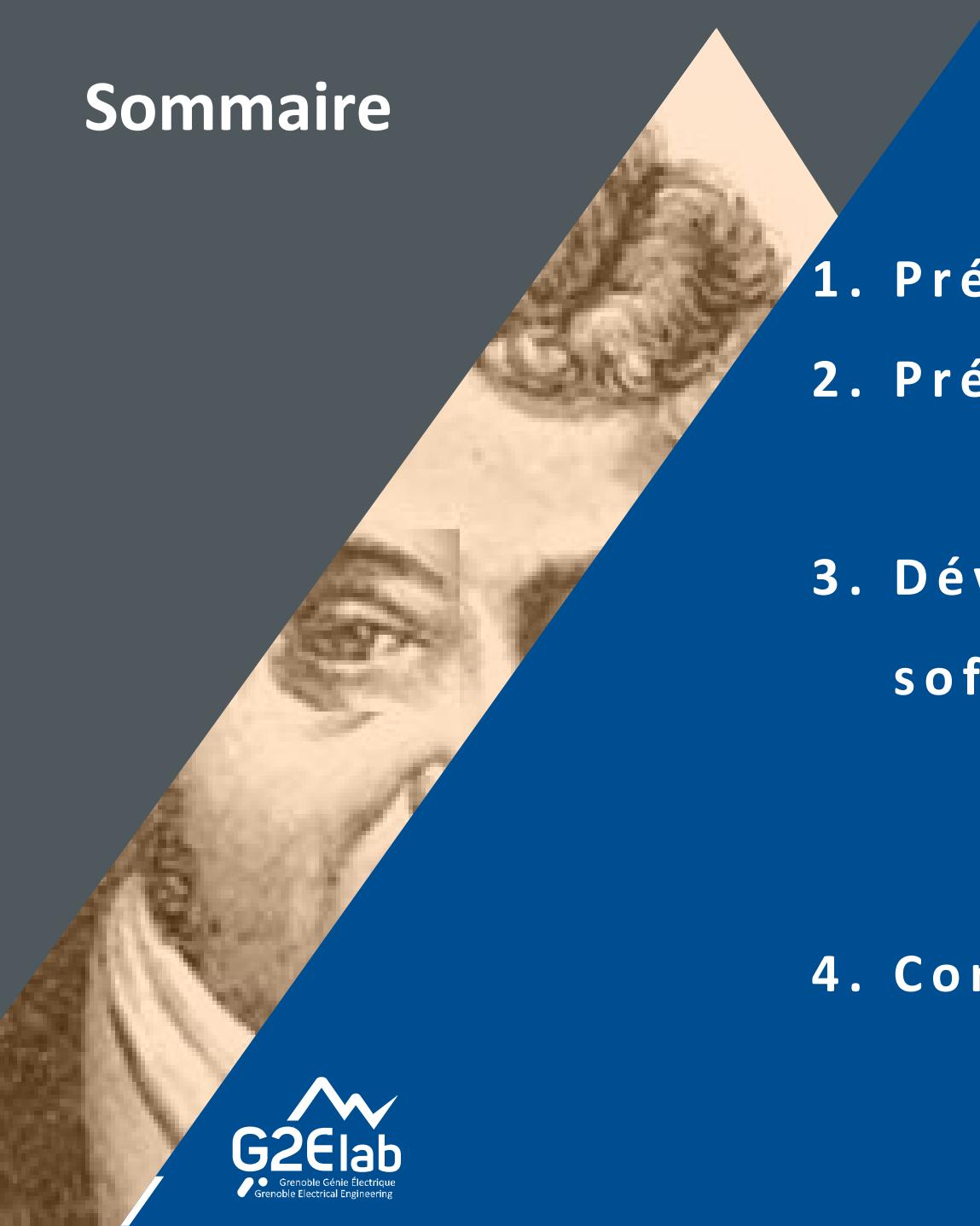
Ensemble de mesure de courants faibles pour matériaux
diélectriques
et développement d'une interface de pilotage sous LabVIEW

Logiciel NewAMPERE



Auteur: Sébastien Flury
Co-auteurs: Yohan Bugnet
Khaled BenBashir

Sommaire

- 
- 1. Présentation Laboratoire**
 - 2. Présentation des bancs expérimentaux**
 1. Principe théorique
 2. Expérimentations en laboratoire
 - 3. Développement de l'environnement software**
 1. Ancienne version
 2. Cahier des charges
 3. Développements LabVIEW
 4. Problèmes rencontrés
 - 4. Conclusion et remerciements**

Sommaire

- 
- 1. Présentation Laboratoire**
 - 2. Présentation des bancs expérimentaux**
 1. Principe théorique
 2. Expérimentations en laboratoire
 - 3. Développement de l'environnement software**
 1. Ancienne version
 2. Cahier des charges
 3. Développements LabVIEW
 4. Problèmes rencontrés
 - 4. Conclusion et remerciements**

G2Elab : Présentation générale

- 99 permanents : 57 C/EC + 1 PRAG + 30 ITA + 11 CDD
- 83 doctorants + 10 Post-docs + 2 ATER
- 10 invités
- 40 – 50 stagiaires

- 5 équipes de recherche
- 200 publications/an
- 50 partenaires industriels
- 12M€ de budget consolidé.
- Budget annuel en recette/dépense : 1 M€

Des matériaux pour l'énergie...

MDE: Matériaux électrostatiques et diélectriques

- Matériaux diélectriques et isolation
- Développement de processus électrostatiques et de techniques spécifiques
- Modélisation des systèmes
- Conception

MADEA: Matériaux et dispositifs électromagnétiques avancés

- Matériaux fonctionnels pour le génie électrique
- Conversion et traitement de l'énergie
- Conversion et traitement de l'information

...à la conversion et l'efficacité énergétique...

EP: Electronique de puissance

- Dispositifs de puissance et leur objectif de mise en œuvre
- Conception de convertisseurs de puissance
- Méthodes et outils pour la conception et l'optimisation de l'électronique de puissance

MAGE: Modèles, méthodes et méthodologies appliqués au génie électrique

- Electromagnétisme computationnel
- Modélisation de systèmes
- Conception, optimisation et problèmes inverses
- Ingénierie de la connaissance et capitalisation du savoir-faire

aux systèmes énergétiques intelligents.

SYREL: Systèmes et réseaux électriques

- Systèmes connectés non conventionnels (sources d'énergie contrôlables, charges, stockage, micro-réseaux)
- Analyse et optimisation des systèmes électriques avancés, vers une fusion smartgrids/supergroups
- Méthodes avancées de compréhension et de sécurisation d'infrastructures complexes

Groupes de recherche

- μSystèmes magnétiques
- ERT champs magnétiques faibles

Chaire d'excellence industrielle ENEDIS sur les réseaux intelligents

MDE : Matériaux diélectriques et électrostatique

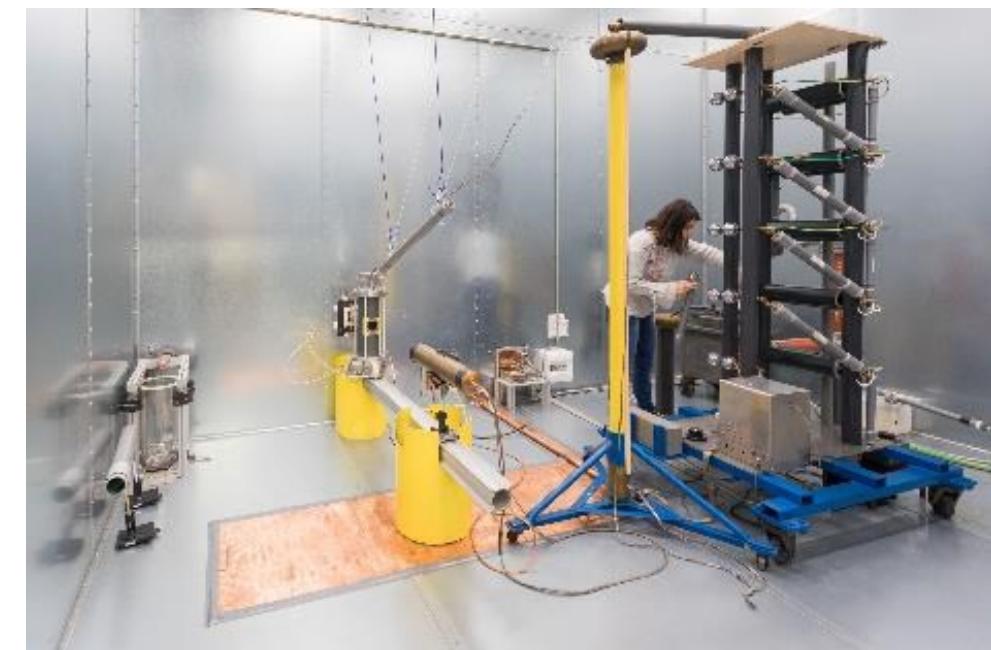
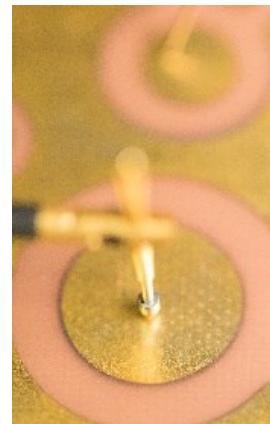
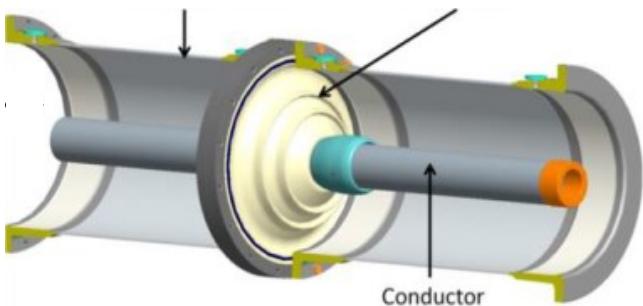
- **Matériaux diélectriques et isolation**

- Maîtrise des matériaux (*vieillissement*, nouvelles technologies, intégration)
 - *Câbles PVC haute tension - développement de méthodes de diagnostic.*
 - *Traitement des polymères pour l'intégration 3D*
 - *Caractérisation des oxydes pour les condensateurs High K*
 - *Caractérisation des composites polymères/nanotubes de carbone pour les super-condensateurs*
- Physique de la conduction et de la rupture (*DP et claquages*)



- **Forces et décharges électrostatiques**

- **Mesure** en ligne *du taux d'humidité* dans les feuilles de papier
- Collecte d'énergie à l'aide de polymères électroactifs / électrets



Sommaire

- 
- 1. Présentation Laboratoire**
 - 2. Présentation des bancs expérimentaux**
 1. Principe théorique
 2. Expérimentations en laboratoire
 - 3. Développement de l'environnement software**
 1. Ancienne version
 2. Cahier des charges
 3. Développements LabVIEW
 4. Problèmes rencontrés
 - 4. Conclusion et remerciements**

Principe théorique

Temps de relaxation τ

$$\tau = \frac{V}{I} \cdot d = R_s \cdot C_p = \varepsilon \cdot \rho = \frac{\varepsilon}{\sigma}$$

Avec:

τ en [s]
 R_p en [Ω]
 C_s en [F]
 d en [m]

Permittivité ε en [$F \cdot m^{-1}$]

Résistivité ρ en [$\Omega \cdot m$]

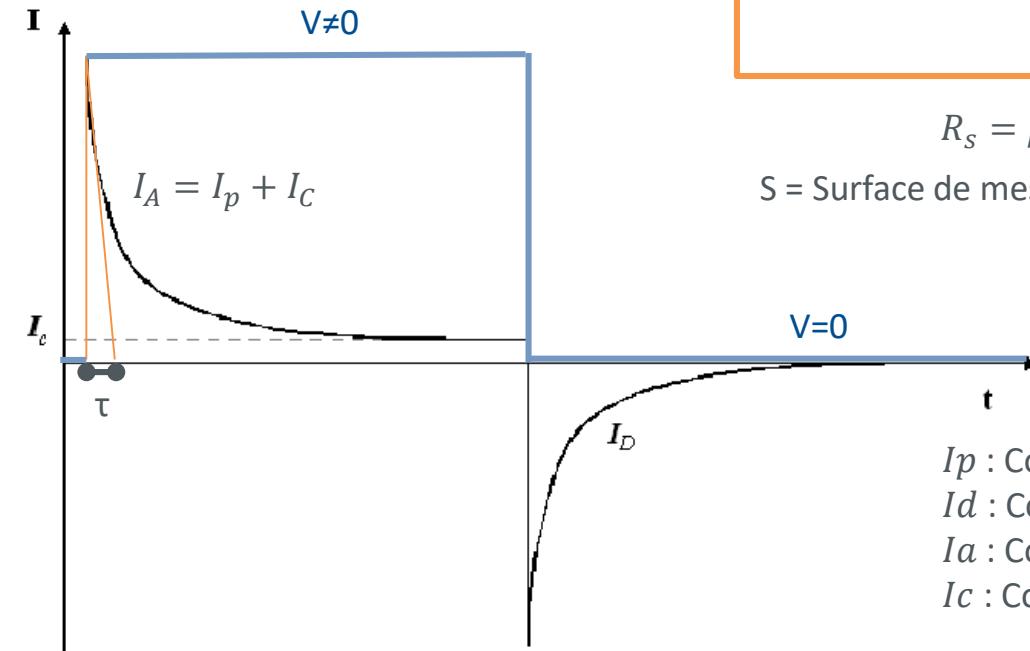
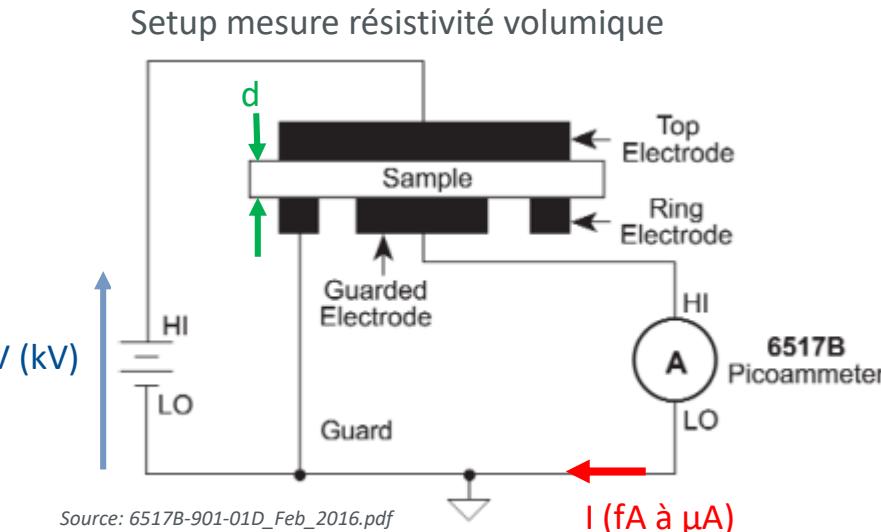
Conductivité σ en [$S \cdot m^{-1}$]

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r$$

Permittivité du vide $\varepsilon_0 = 8.854187 \cdot 10^{-12}$

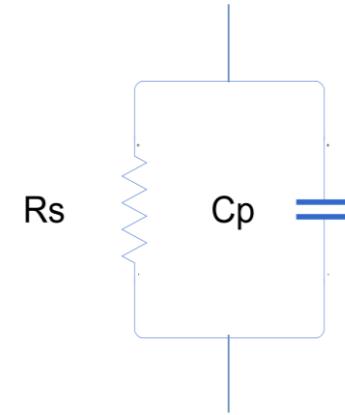
Permittivité relative ε_r

- Acquisitions courtes et longues selon les types de matériaux
- Matériaux diélectriques: époxy, silicones, PVDF, etc...
 - Annexe [temps de relaxation](#)



Forme d'onde et grandeurs attendues

Modèle équivalent statique

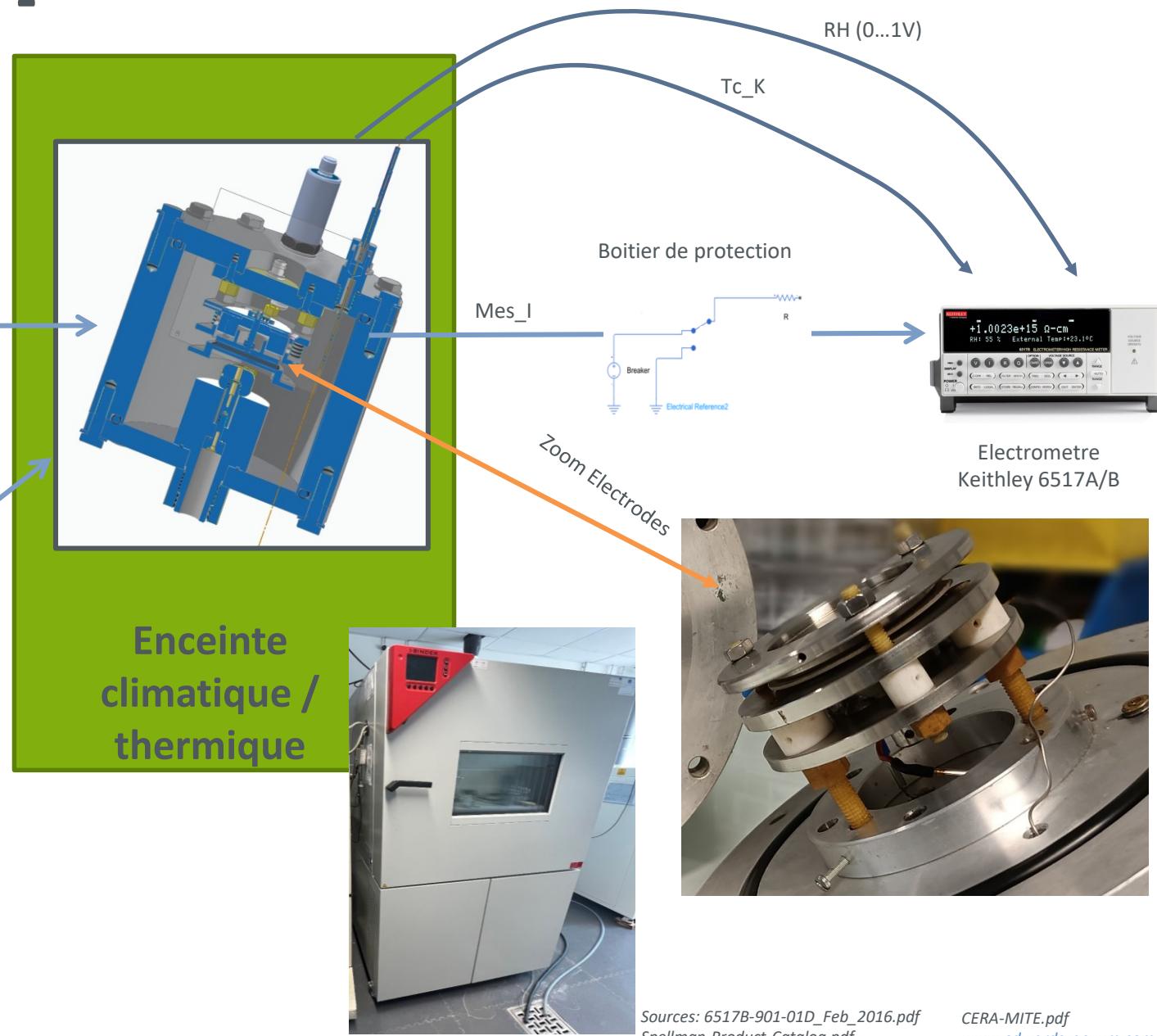
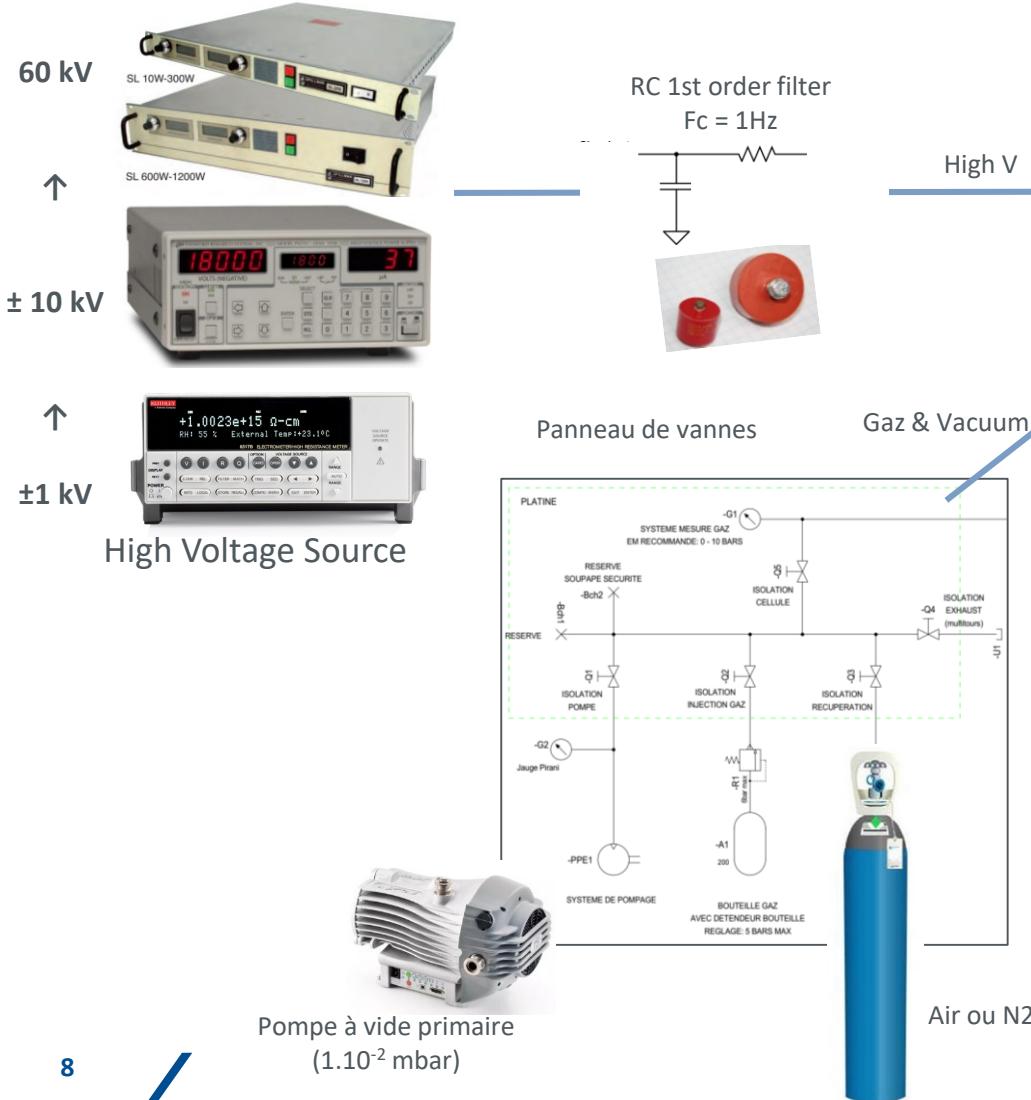


$$R_s = \rho \cdot \frac{d}{S}$$

S = Surface de mesure electrodes

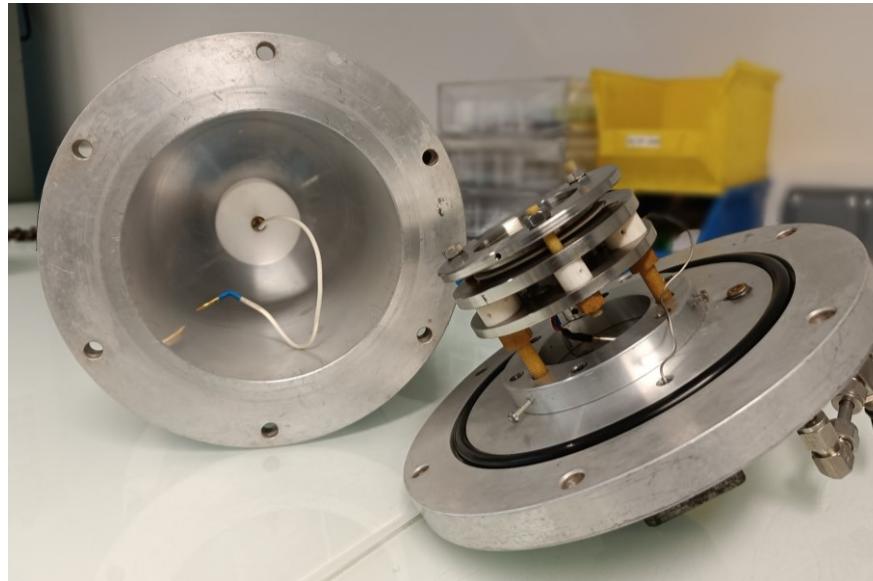
I_p : Courant polarisation
 I_d : Courant depolarisation
 I_a : Courant absorption
 I_c : Courant capacitif

Mise en œuvre expérimentale - Principe général



Mise en œuvre expérimentale - Système d'électrodes

- Système composé de 2 électrodes et d'un anneau de garde
- Principe: presser un échantillon et mesurer
 - Résistivité volumique
 - Résistivité de surface
- Rigidité diélectrique suit la [loi de Paschen](#)
$$Vd = f(p.d)$$
 - Si $V_d < 3.6 \text{ kV/mm}$ (air - P_{atm})
 - Si non, utilisation d'une cellule de pression
 - 7.5 bar max
- Cellules monitorées en température, en humidité et en pression
 - Modifie caractéristiques électriques et chimiques



Hardware : Electromètre Keithley 6517B

Electromètre de la familles des SMU

- Résolution de mesures sur 6 ½ digits
- Multimètre de précision
 - V – I – Ohm – C
 - Mesures de courants:
 - Range 20pA à 20mA
 - Précision <5fA
- Alimentation HT interne ± 1000 V - ± 1 mA
 - Ripple de 2,9 mV_{RMS}
- Entrées thermocouple type K
 - Précision < $\pm 2^\circ\text{C}$
- Entrée sonde humidité
 - Input: 0...1V
 - Précision < 1%
- Communication numérique GPIB / série
- Alimentation interne +5V



Range	6½-Digit Resolution	Accuracy (1 Year) ¹ 18°–28°C ±(% reading + offset)	Temperature Coefficient 0°–18°C & 28°–50°C ±(% reading + offset)/°C
20 pA	10 aA ²	1 + 3 fA	0,1 + 500 aA
200 pA	100 aA ²	1 + 5 fA	0,1 + 1 fA
2 nA	1 fA	0,2 + 300 fA	0,1 + 20 fA
20 nA	10 fA	0,2 + 500 fA	0,03 + 100 fA
200 nA	100 fA	0,2 + 5 pA	0,03 + 1 pA
2 µA	1 pA	0,1 + 100 pA	0,005 + 20 pA
20 µA	10 pA	0,1 + 500 pA	0,005 + 100 pA
200 µA	100 pA	0,1 + 5 nA	0,005 + 1 nA
2 mA	1 nA	0,1 + 100 nA	0,008 + 20 nA
20 mA	10 nA	0,1 + 500 nA	0,008 + 100 nA

Temperature (Thermocouple)

Thermocouple Type	Range	Accuracy (1 Year) ¹ , 18°–28°C ±(% reading + °C)
K	-25°C to 150°C	±(0,3 + 1,5°C)

Humidity

Range	Accuracy (1 Year) ² 18°–28°C, ±(% reading + % RH)
0–100%	±(0,3 + 0,5)

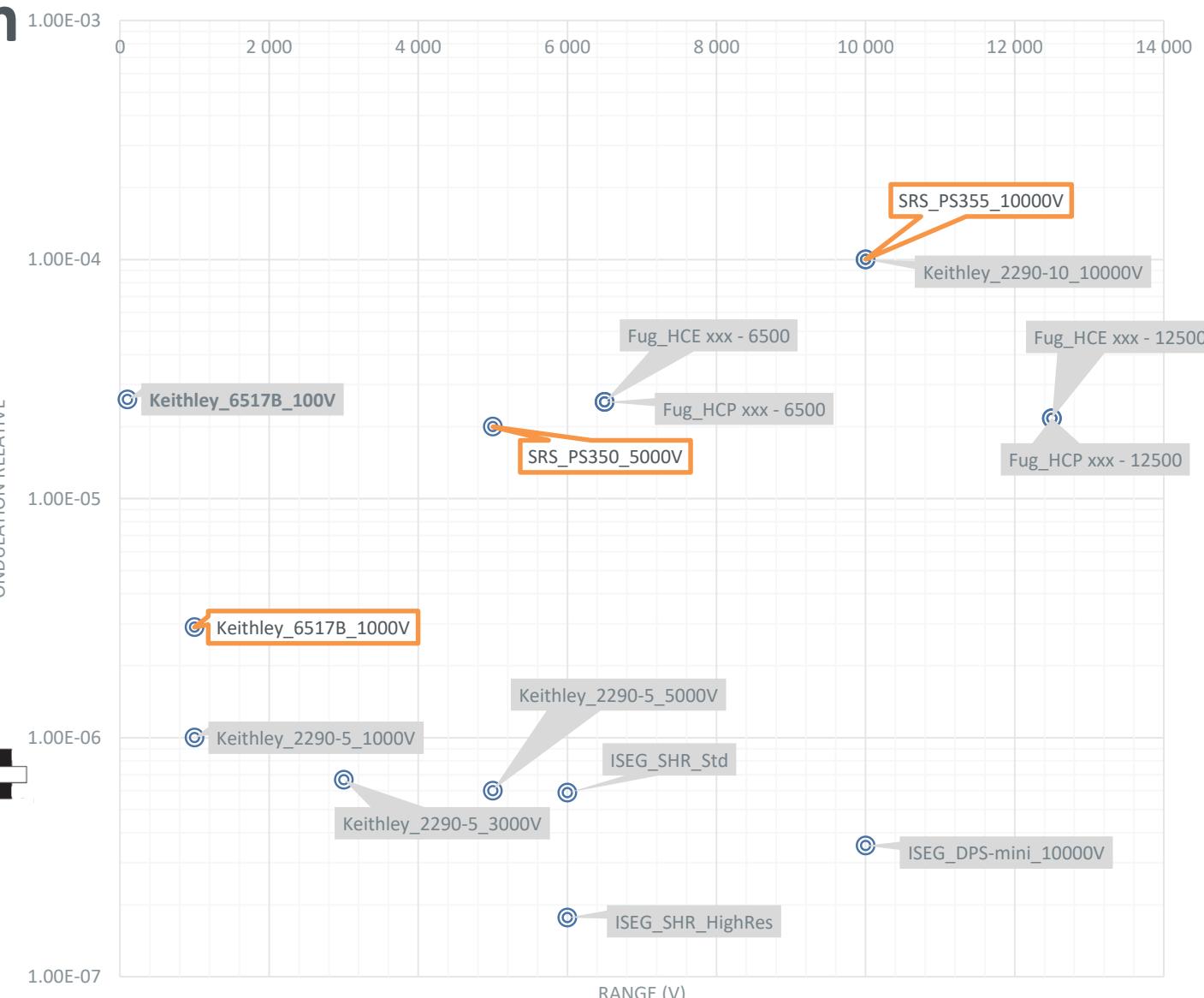
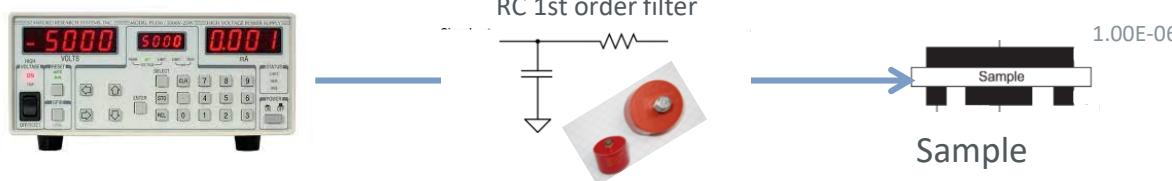
Notes

1. Excluding probe errors, $T_{\text{cal}} \pm 5^\circ\text{C}$, 1PLC integration time.

2. Humidity probe accuracy must be added. This is $\pm 3\%$ RH for 6517-RH, up to 65°C probe environment, not to exceed 85°C .

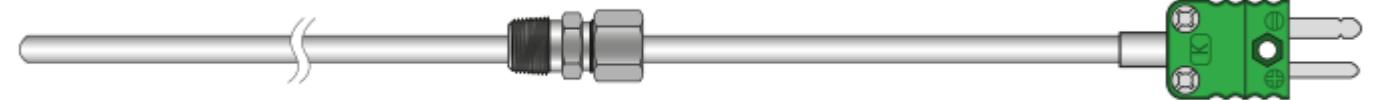
Hardware : Qualité Alimentations Hautes Tension

- Alimentations Stanfort & Research
 - Gamme ± 5 kV, ± 10 kV
 - Ripple de 100mV min
 - Alimentations SPELLMAN via GBF Keithley 3390
 - 60 kV max
 - Utilisation obligatoire filtre passe bas
 - Filtre haute tension passe-bas en sortie ([lien Annexe](#))
 - Fc 1Hz
 - Condensateurs plots 30 kV
 - Importance de limiter les perturbations HF!



Hardware : Capteurs environnementaux

- Sonde de température
 - Thermocouple chemisés type K
- Sonde d'humidité relative
 - 0-100%RH,
 - +200°C - 100 bars
 - sorties 0-1V et UART
- Sonde de dewpoint
 - -60 ... +60°C
 - +60°C - 100 bars
 - sorties 4-20mA et UART
 - Développement d'une carte conversion 4-20mA to 0-1V
- Sonde de pression Keller
 - 0...10 bars abs
 - Précision 0.1% EM
 - Communication USB basé sur liaison série RS485



<https://www.tcsa.fr/>



Michell_Instruments_Easidew_TX_I.S._FR_Datasheet_v8-1.pc



<https://keller-druck.com/fr>

Sommaire

- 
- 1. Présentation Laboratoire**
 - 2. Présentation des bancs expérimentaux**
 1. Principe théorique
 2. Expérimentations en laboratoire
 - 3. Développement de l'environnement software**
 1. Ancienne version
 2. Cahier des charges
 3. Développements LabVIEW
 4. Problèmes rencontrés
 - 4. Conclusion et remerciements**

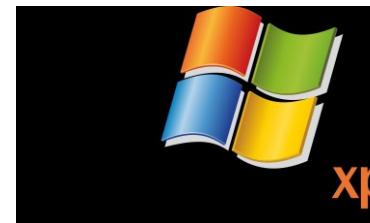
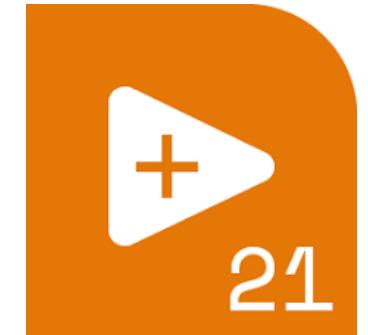
Software: Contexte du projet

Evolution d'un code sous Win XP vers Win10

- Logiciel Ampère programmé sous TESTPOINT™ par Keithley
 - Logiciel TESTPOINT™ non maintenu suite à son rachat par NI
 - Code source : Keithley (date...)
 - Dernières modifications code : ≈ 2016
 - Codes sources perdus
 - Obsolescence des environnements Windows XP
 - Difficulté de trouver des PC compatibles



Menace de perte irrémédiable d'un outil d'acquisition



[Cette photo](#) par Auteur inconnu est soumis à la licence [CC BY-SA](#)

But du projet :

- Coder une nouvelle interface en LabVIEW21 et sous Windows10
 - Récupérer des codes sources
 - Améliorations/ ajouts futurs
 - Portabilité de codes
- Activité sur 2 ans
 - Recrutement de 2 stages de BUT2 Mesures Physiques (2023-2024)
 - Recrutement d'un CDD d'un mois en Juillet 2024

Software: Cahier des charges

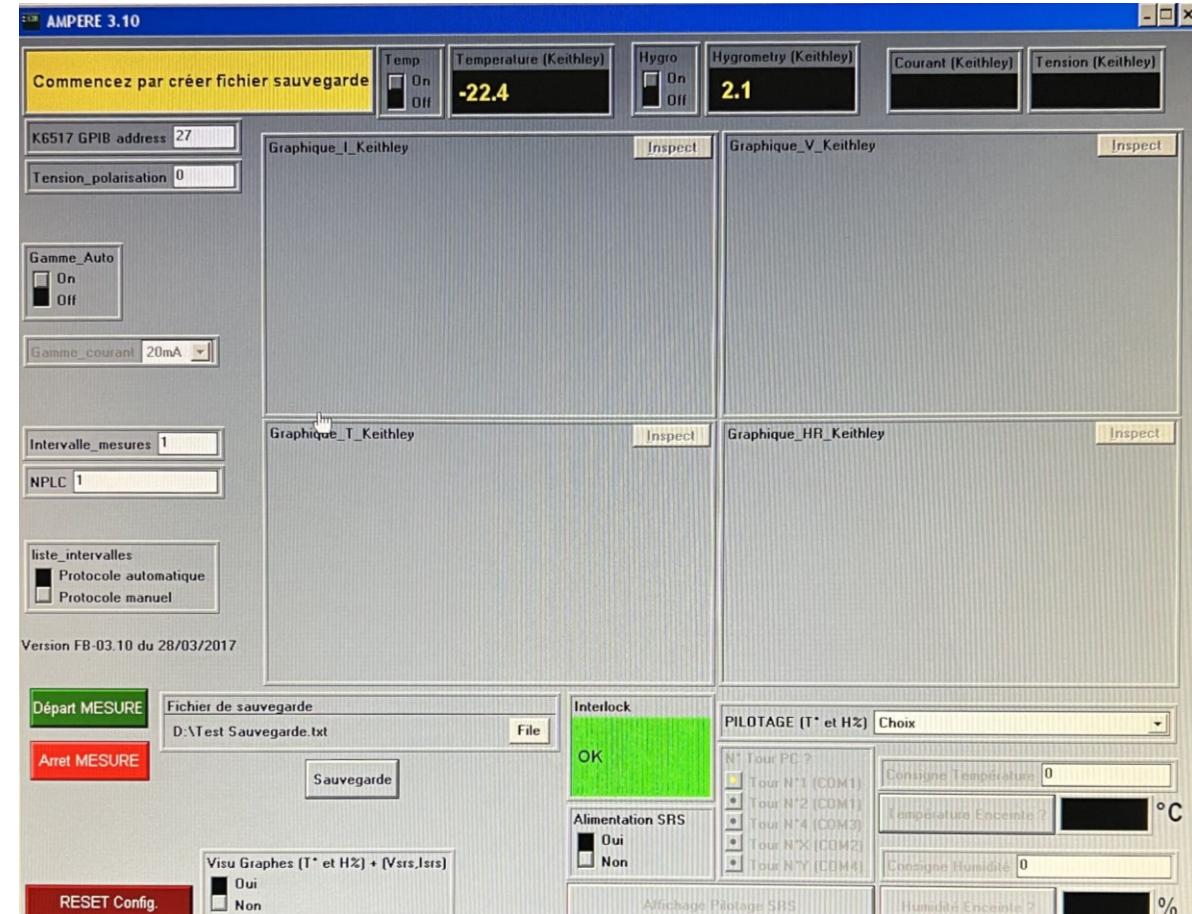
De base

- Configurer et mesurer des courants avec un électromètre
 - quelques fA à quelques µA
- Piloter des sources hautes tensions
- Assurer des acquisitions sur des temps
 - De courts (10aines de minutes)
 - à longs (plusieurs jours, voir semaines)
- Mesurer les paramètres environnementaux
 - température et humidité
- Assurer un pilotage
 - manuel / automatique
 - fichier protocole en format .txt
 - Ouverture et sauvegarde
- Assurer l'enregistrement des datas
 - Fichier datas en format .txt

En plus...

- Piloter des équipements spécifiques
 - 5 enceintes climatiques
 - Enceintes thermiques
 - 5 soles chauffantes

(Max [-50; +180] °C et [10; 95] %RH)
(Max [-70; +200] °C)
(Max [77; 300] K)



Ancienne FA_Ampere_FB sous Testpoint

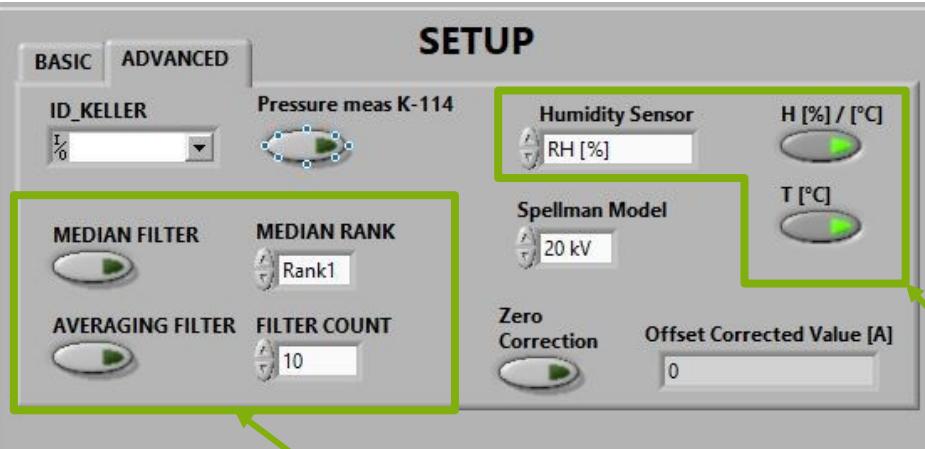
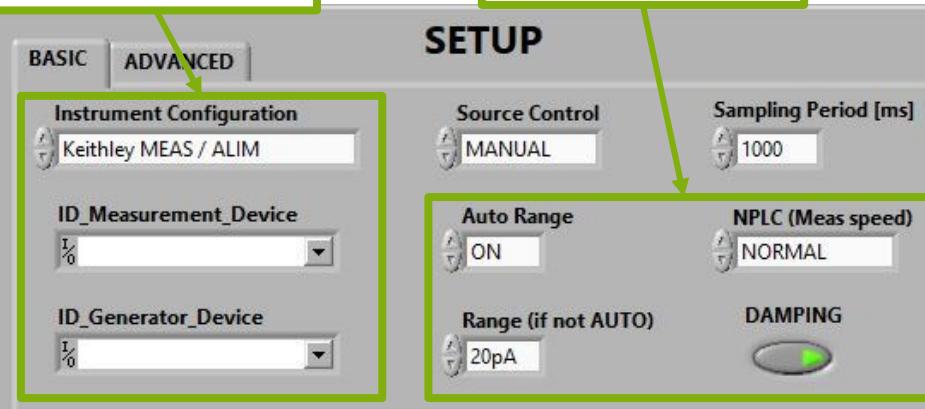
Software - LabVIEW

- Face Avant 1/2

Set config

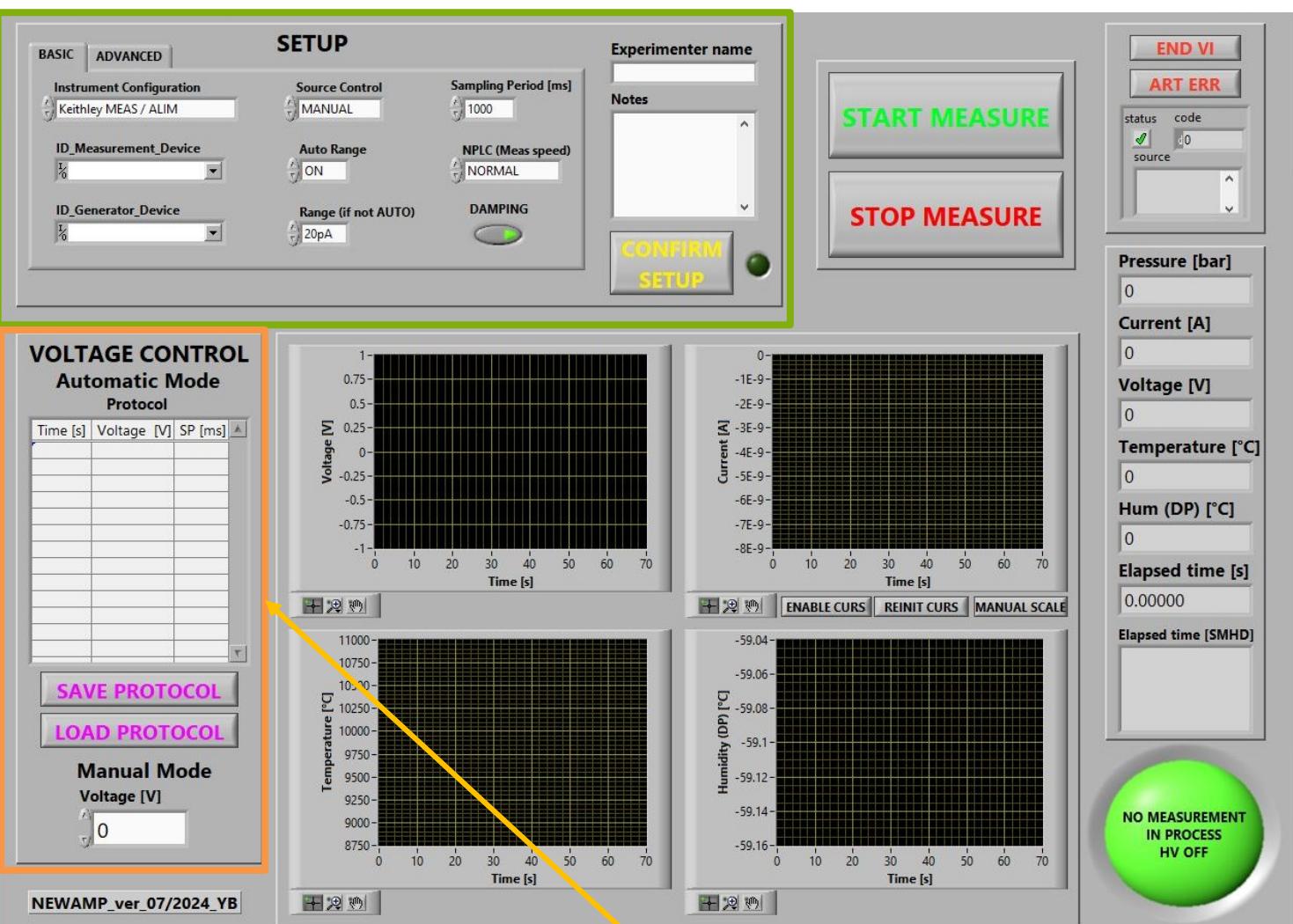
Setup Keithley

1 - Configuration



Setup Filters

CONFIRM SETUP : Enregistrer la configuration



Setup Environmental Measures

2 – Auto / Manual mode

- Face avant
- Fichier .txt

Software - LabVIEW

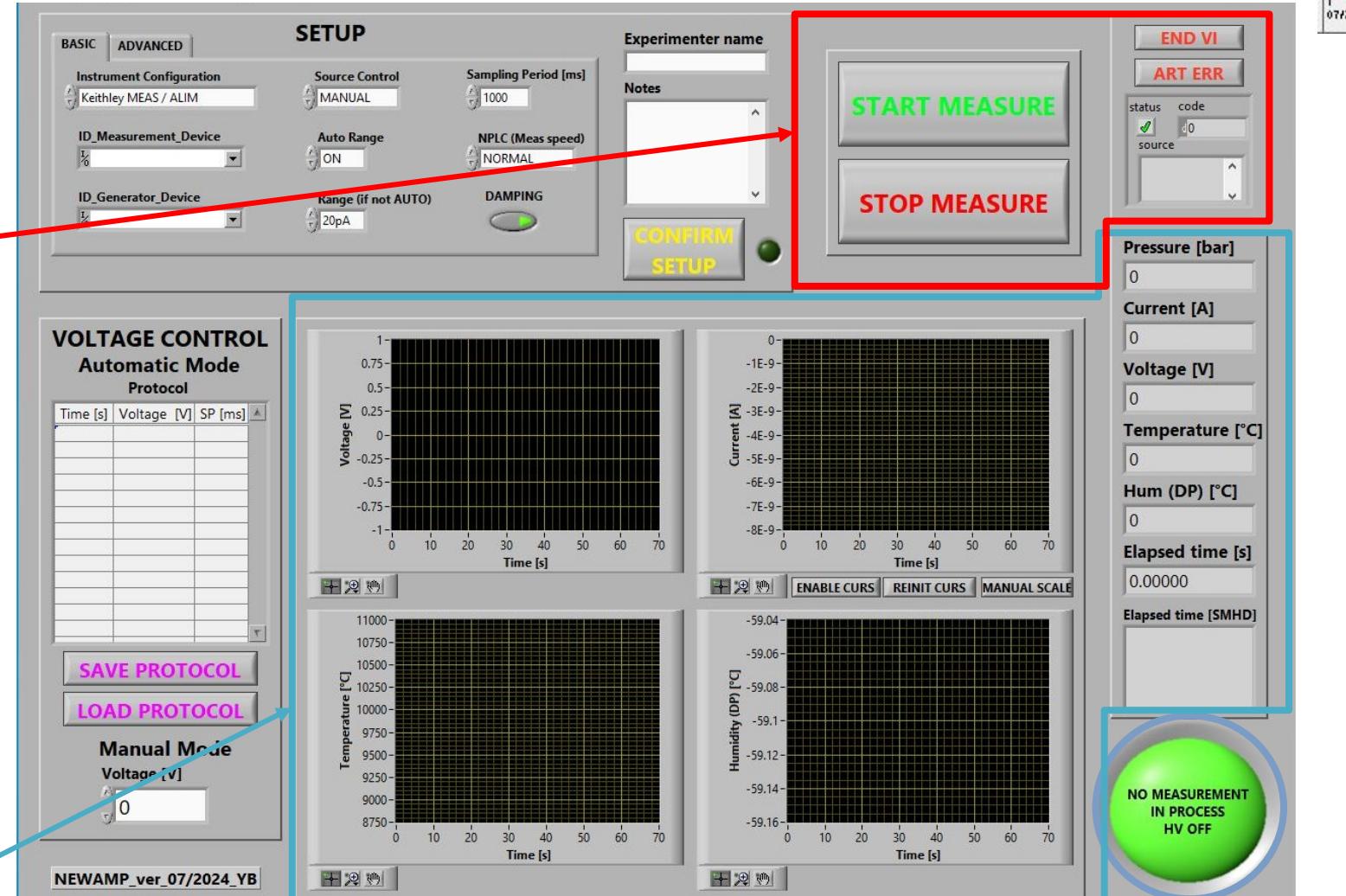
- Face Avant 2/2

3 – Main Controls

- Lancement des mesures: Appui sur START
 - Application des paramètres aux instruments
 - Si incohérence
 - Erreur
 - Arrêt programme
- Si non
 - Fenêtre pop up
 - chemin d'enregistrement des datas
- Sortir boucle et arrêt programme
 - Appui sur STOP MEASURE
 - Ou END_VI / Art_ERR

2- Graphiques visualisation & Indicateurs

- Graphes déroulant
- Réactualisent à chaque mesures
- Possibilité d'observer les précisions (zoom)
- Accès à des curseurs de mesures (coord XY)

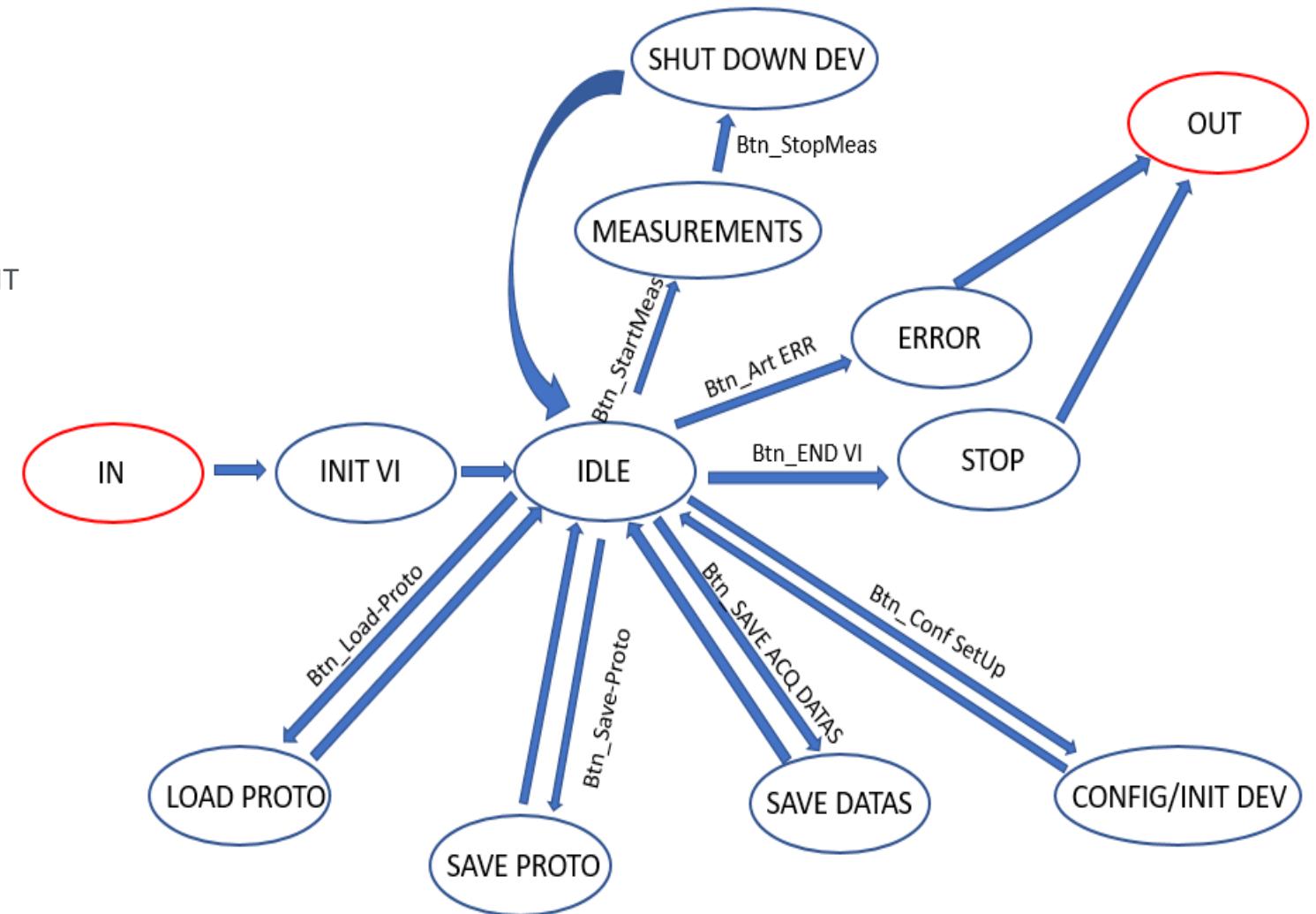


Voyant
En cours de mesure



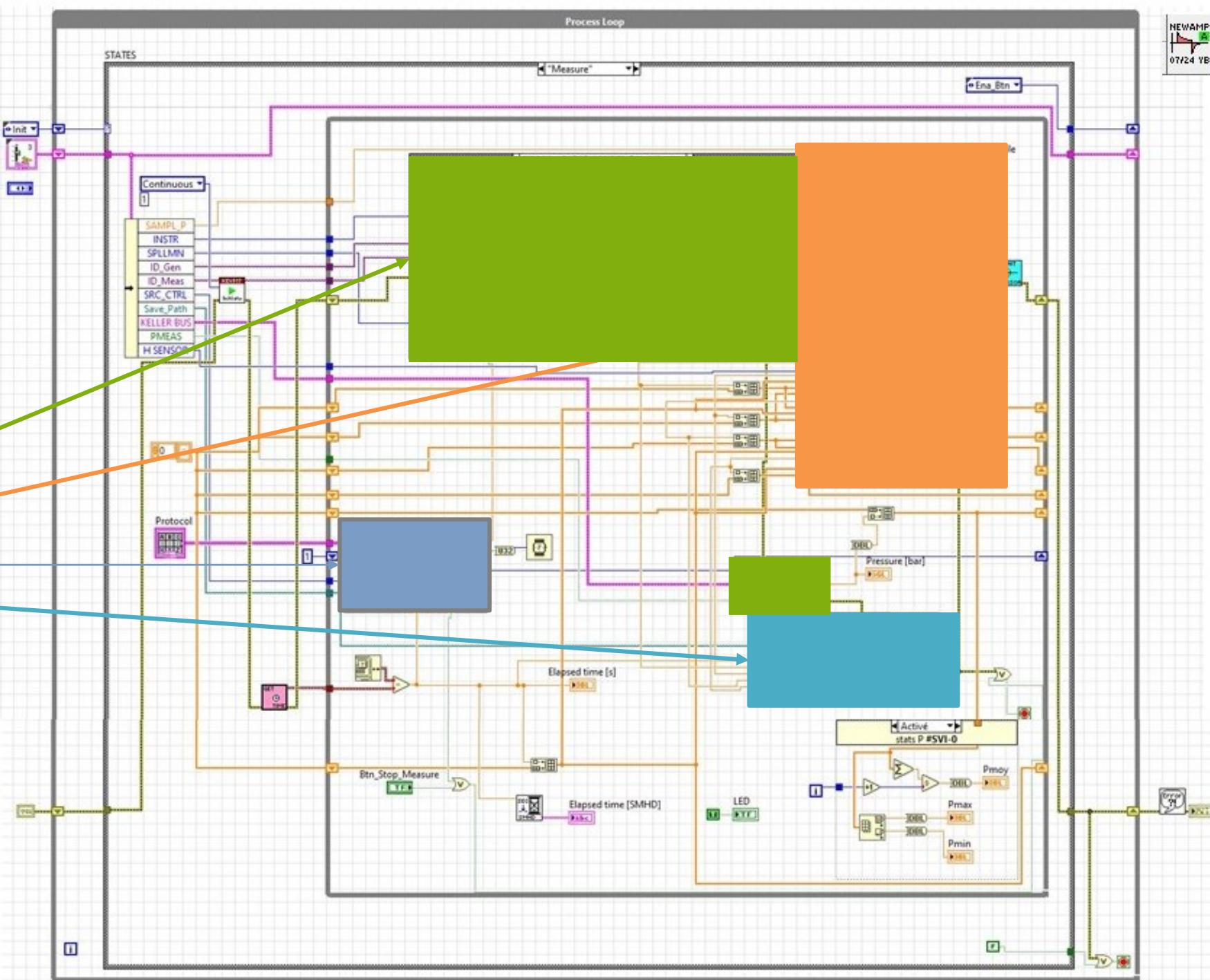
Software - Architecture

- Architecture programme
 - Machine à état simple
 - Structure CASE + boucle While
 - FA gérée par une structure EVENEMENT
- Logigramme programme
- Pilotage des instruments
 - Keithley 6517
 - VI constructeurs
 - ± modifiés selon les besoins
 - Alimentations SRS
 - SCPI
 - Alimentations SPELLMAN via GBF
 - VI constructeurs



Software - le Chaudron

- Pilotage des instruments
- Affichage des datas
- PROTOCOLE ([ici](#) pour plus d'informations)
- Enregistrement des datas



Software - LabVIEW - Format fichiers de sortie

- Enregistrement des datas
 - A la volée
 - Ajoutées à la suite des précédentes datas
- Formatage du fichier .txt
 - Date
 - IDN instrument
 - Marque, Modele, Ns
 - Nom opérateur
 - Description
 - Tableau de datas avec les entêtes

DatasSave_type - Bloc-notes

Fichier Edition Format Affichage Aide

jeu. 8 févr. 2024 13:49:31

Measuring device IDN: KEITHLEY INSTRUMENTS INC., MODEL 6517B, 4349587, A13/700x

Alimentation device IDN: StanfordResearchSystems, PS350, 4839, 1.40

Operator name: BUGNET

Measuring conditions description:

TEST 7 acquisition données

DATAS :

Time (s)	Voltage (V)	Current (A)	Temperature (°C)	HR (%)
9.951591E-4	0E+0	9.91E+37	2.29E+1	7E-1
5.006142E-1	0E+0	9.91E+37	2.29E+1	7E-1
1.001153E+0	0E+0	9.91E+37	2.29E+1	7E-1
1.501092E+0	0E+0	9.91E+37	2.29E+1	7E-1
2.001061E+0	0E+0	-7.919E-13	2.29E+1	7E-1
2.502101E+0	0E+0	-6.796E-13	2.28E+1	7E-1
3.001814E+0	0E+0	-3.888E-13	2.29E+1	5E-1
3.501645E+0	0E+0	-5.059E-13	2.3E+1	5E-1
4.002152E+0	0E+0	-3.782E-13	2.29E+1	7E-1
4.50207E+0	0E+0	-4.043E-13	2.29E+1	7E-1
5.002928E+0	0E+0	-5.032E-13	2.29E+1	7E-1
5.50262E+0	0E+0	-3.611E-13	2.3E+1	7E-1
6.003313E+0	0E+0	-3.429E-13	2.29E+1	7E-1
6.503006E+0	0E+0	-2.397E-13	2.29E+1	7E-1
7.003153E+0	0E+0	-1.006E-13	2.29E+1	7E-1

Software –

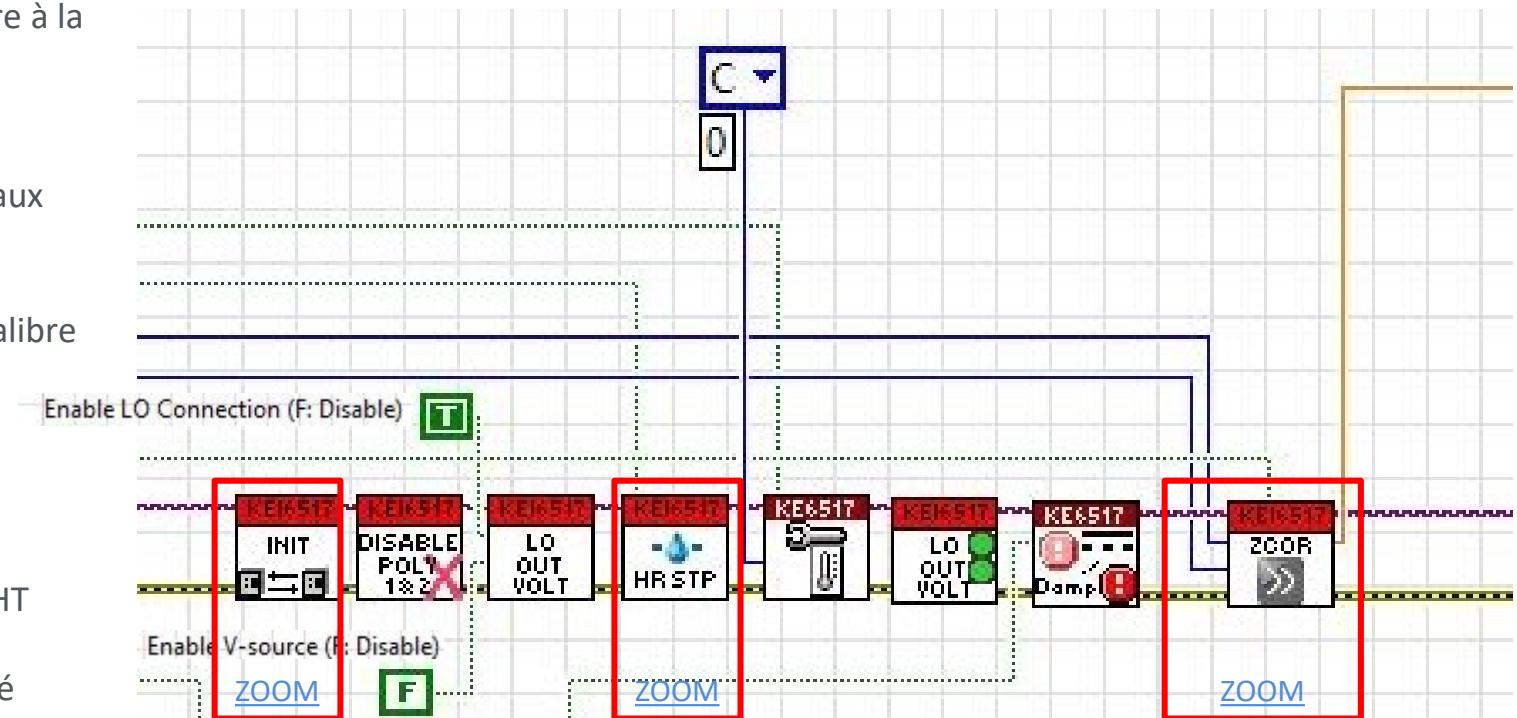
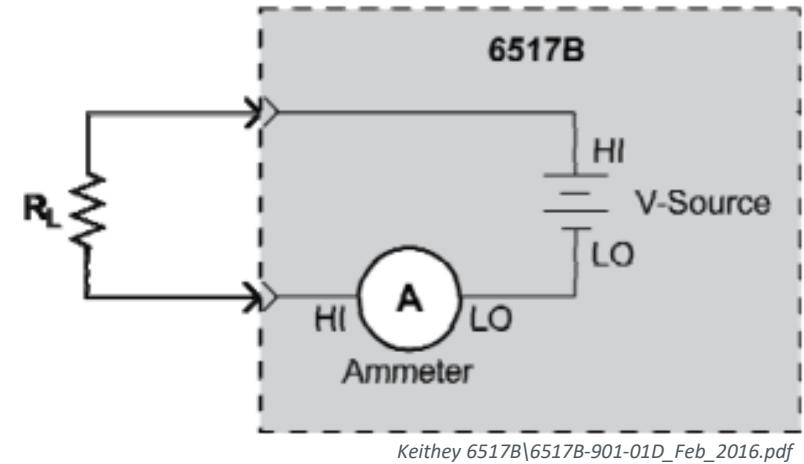
Les problèmes rencontrés

Niveau pilotage

- Keithley
 - 2 modèles (6517 A et 6517B)
 - Gestion des configurations selon alim interne ou externe
 - LO connection
 - Connexion interne masse amperemetre à la masse source
 - Phase d'initialisation
 - Gestion des fonctions de corrections des signaux
 - Zcorrect :
 - Correction du 0
 - Procédure à réaliser sur le plus petit calibre

Niveau matériel

- Vigilance sur les boucles de masses!!
 - Mesures avec ou sans gardes
 - Utilisation de coax ou de triax
- Réflexion autour de la qualité des alimentations HT (taux ondulation)
- Etude en cours : effet de la pression sur l'humidité



Software - Note passerelle LabVIEW - PYTHON

- Adapter des codes de post-traitement en PYTHON
 - Dernière version PYTHON : 3.13 (le 27/09/2024)
 - Compatible avec LabVIEW2021 : 3.9
- Importer bibliothèques (numpy , pandas, matplotlib) :
 - Sous LabVIEW: pas possible...
 - Installation via Qt-Console sous PYTHON 3.9
 - Numpy et matplotlib : OK
 - Pandas: pas marché...
- Code utilisation des CLASS
 - Non compatible sous LV

Active Python Releases

For more information visit the [Python Developer's Guide](#).

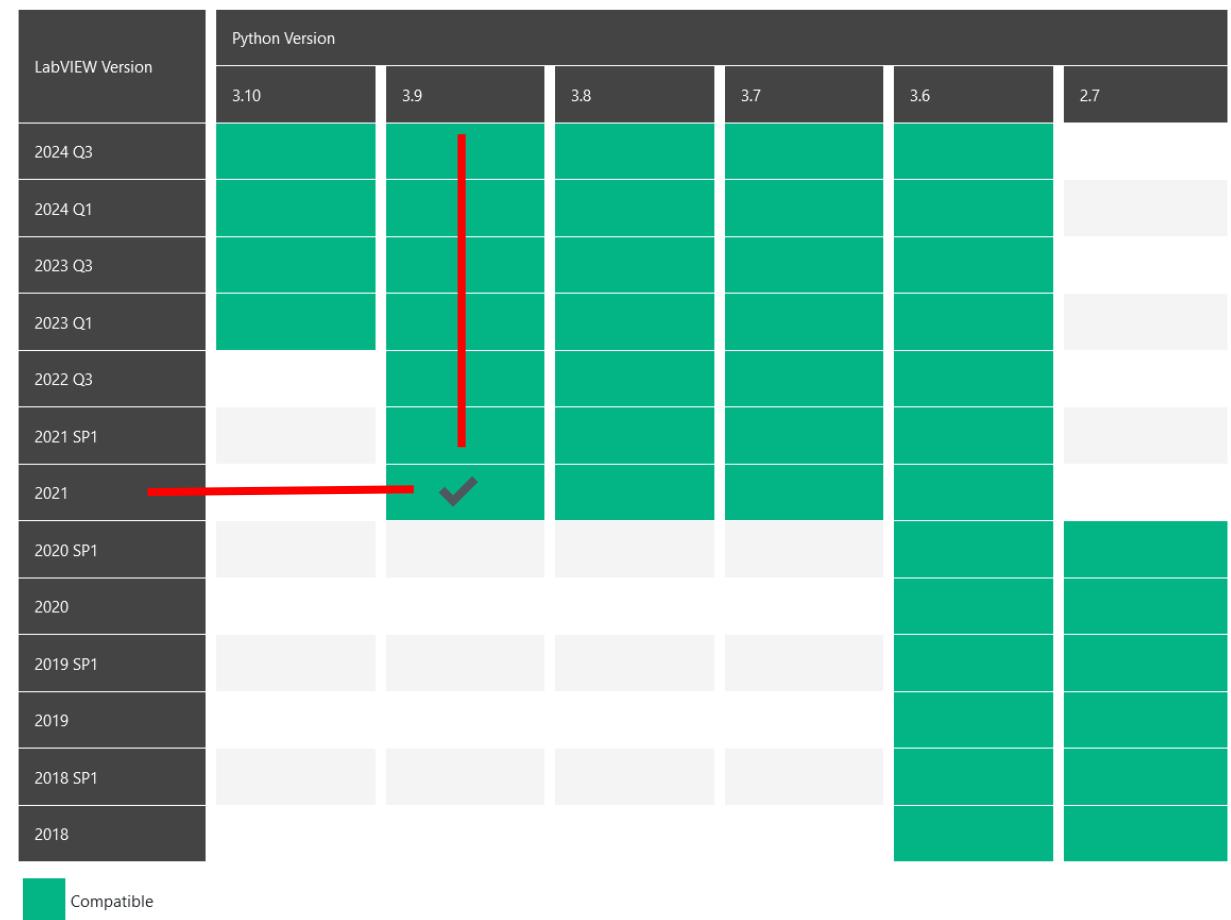
Python version	Maintenance status	First released	End of support
3.13	prerelease	2024-10-01 (planned)	2029-10
3.12	bugfix	2023-10-02	2028-10
3.11	security	2022-10-24	2027-10
3.10	security	2021-10-04	2026-10
3.9	security	2020-10-05	2025-10
3.8	security	2019-10-14	2024-10

<https://www.python.org/downloads/?lang=fr>

LabVIEW and Python Compatibility

Use the following table to determine which version of Python is compatible with your LabVIEW version. Although unsupported versions might work with the LabVIEW Python functions, NI recommends using supported versions of Python only.

Note – this functionality was introduced in LabVIEW 2018 and is not available in previous versions.



<https://www.ni.com/en/support/documentation/supplemental/18/installing-python-for-calling-python-code.html>

Sommaire

- 
- 1. Présentation Laboratoire**
 - 2. Présentation des bancs expérimentaux**
 1. Principe théorique
 2. Expérimentations en laboratoire
 - 3. Développement de l'environnement software**
 1. Ancienne version
 2. Cahier des charges
 3. Développements LabVIEW
 4. Problèmes rencontrés
 - 4. Conclusion et remerciements**

Conclusion

- Projet global
 - Capitaliser des connaissances
 - Mécanique à l'instrumentation fine
 - Outils numérique remis à jours
 - Evolutions de codes possible!
 - Exécutable stable déployé & utilisé
 - Projet mise à niveau numérique cadré temporellement
 - 2 ans
 - Expérimentations en cours de développement
 - 1 nouvelle cellule pression en 2024 (3 cellules disponible)
 - 3 systèmes mesures électrodes
 - 1 réalisé courant 2024
 - +1 prévue d'ici fin 2024
- Axes d'améliorations
 - Améliorer qualité les alimentations HT (En cours)
 - Ratio ondulation/signal → 1.10-6
 - Améliorer les mesures d'humidité
 - à faibles RH,
 - à haute temp
 - sous pression
 - Piloter les équipements thermiques (?)
 - VI parallèle
 - Présentation / ergonomie générale
 - Ex: griser et désactiver des commandes en FA

Remerciements

- Stagiaires MPH
 - 2023: Khaled Ben Bashir
 - 2024: Yohan Bugnet
- ITRF du G2Elab
 - Christophe Pollet (IE ctrl/cde)
 - Daniele Dargaud (AI électronique)
 - Alys Grymonet (T électronique)
 - Florian Dumas (AI mécanique)
 - Sébastien Garcia (T mécanique)
- Doctorants et C/EC équipe MDE pour leurs conseils et formation des stagiaires



Merci de votre
attention



« Hmm... les nouilles sont comme des électrons... elles se déplacent, elles circulent dans le bouillon, créant une sorte de courant... Oui, un courant de saveurs ! »

Chat GPT

Annexe

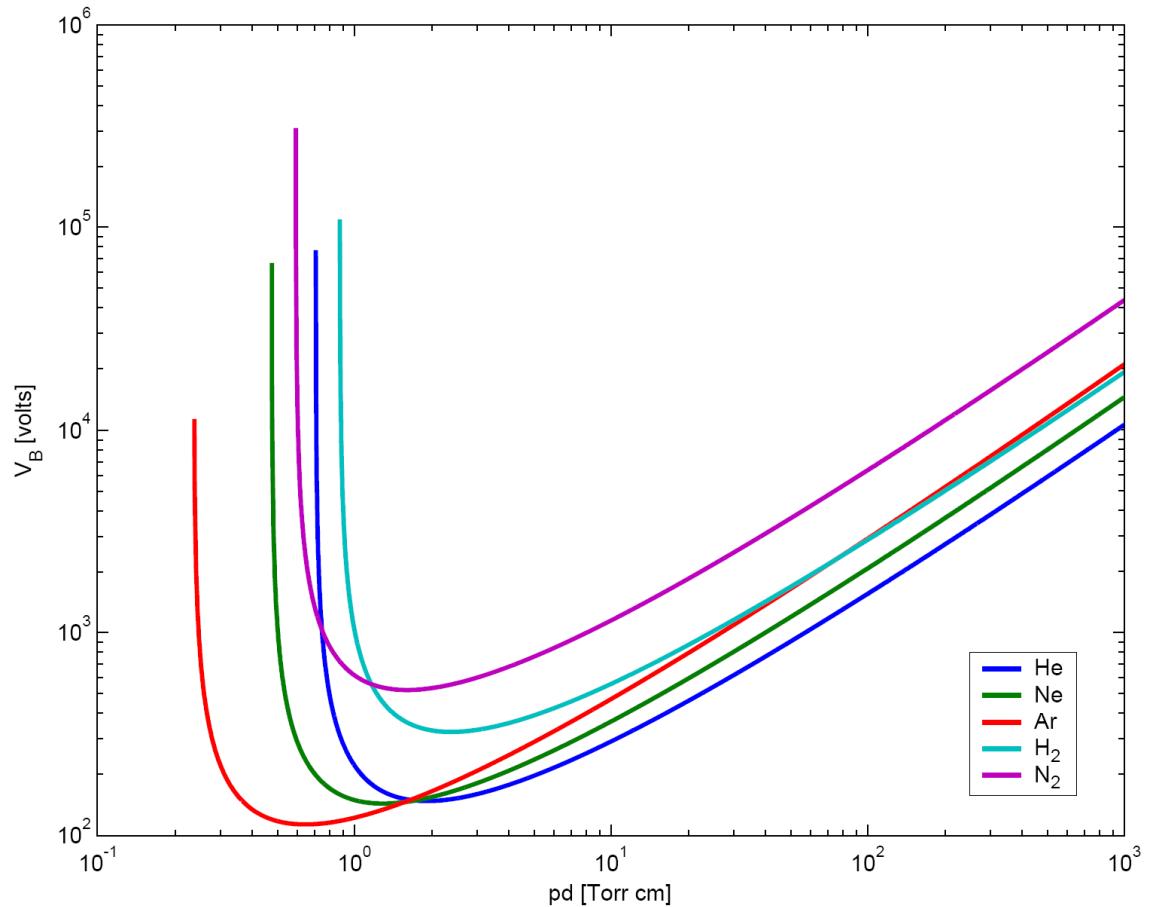
Courbes de Paschen

Extrait page WIKIPEDIA

$$V_{\text{claquage}} = \frac{Bpd}{C + \ln(pd)},$$

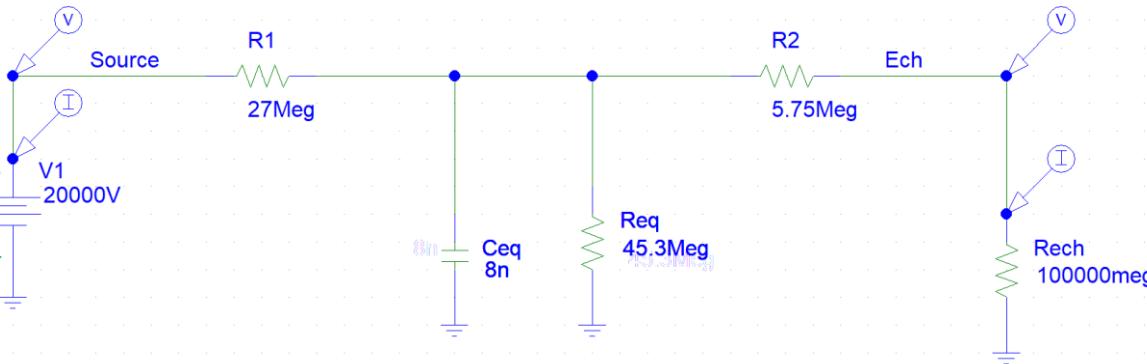
où B et C sont des constantes caractéristiques des électrodes et du gaz et où p est la [pression](#) de celui-ci. Les courbes donnant les représentations graphiques de V_{claquage} en fonction du produit pd sont appelées **courbes de Paschen**.

https://fr.wikipedia.org/wiki/Loi_de_Paschen

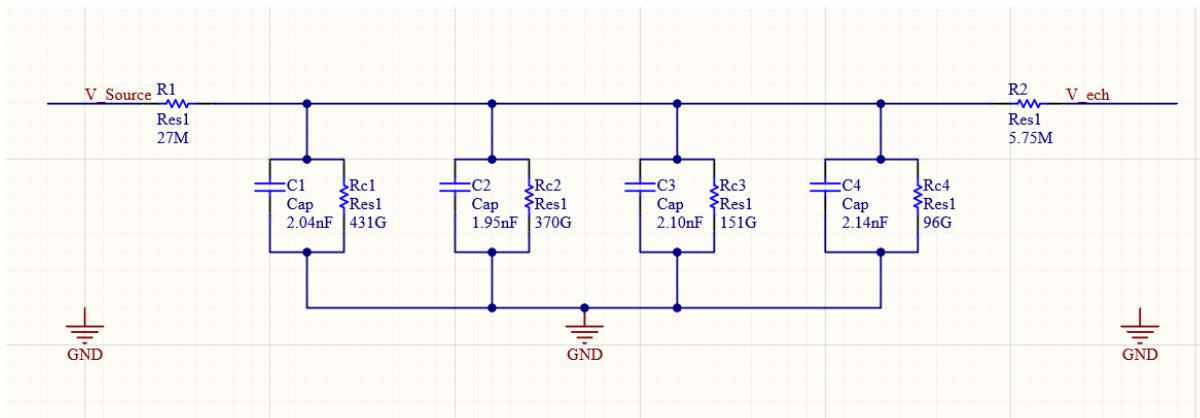


Par Paschen.jpg: Wikilanderivative work: Harlock81 (talk) — Paschen.jpg, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=7231129>

Annexe – Filtre haute tension passe-bas – $F_c = 1\text{Hz}$



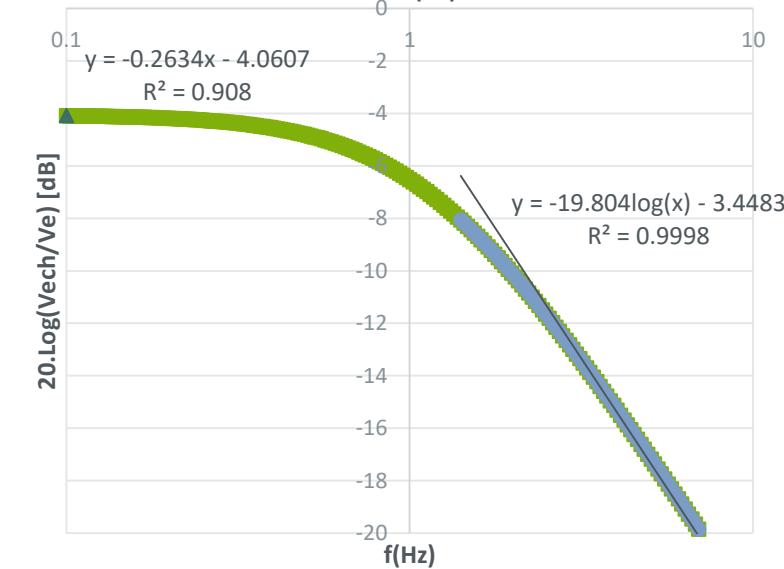
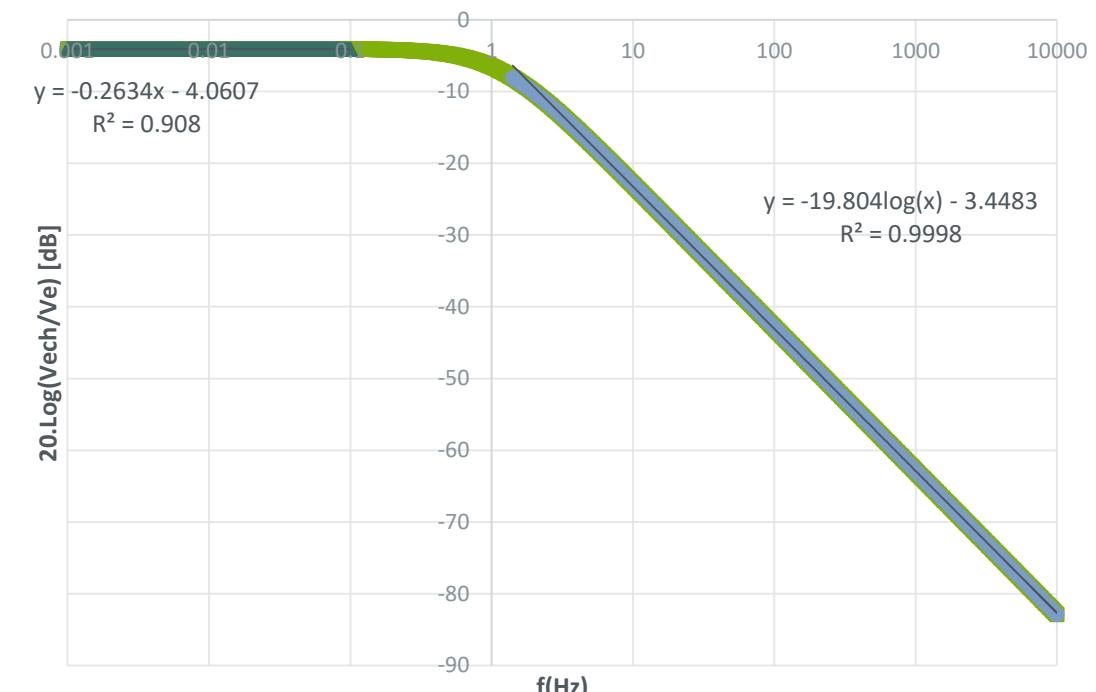
Schema de simulation pspice

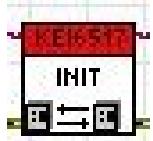


Schema equivalent

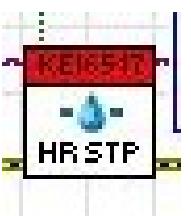
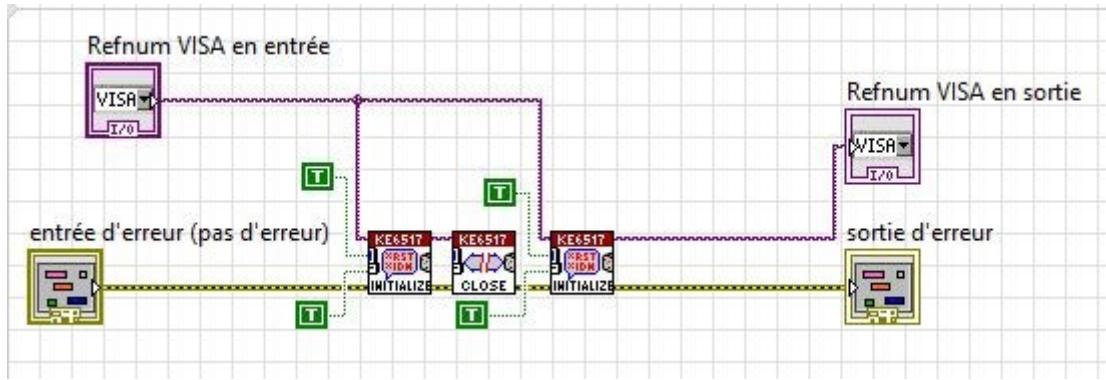
- Débat interne
 - Chute de tension (37% V_{source})

$20 * \text{LOG10}(V(\text{Ech})/V(\text{Source}))$

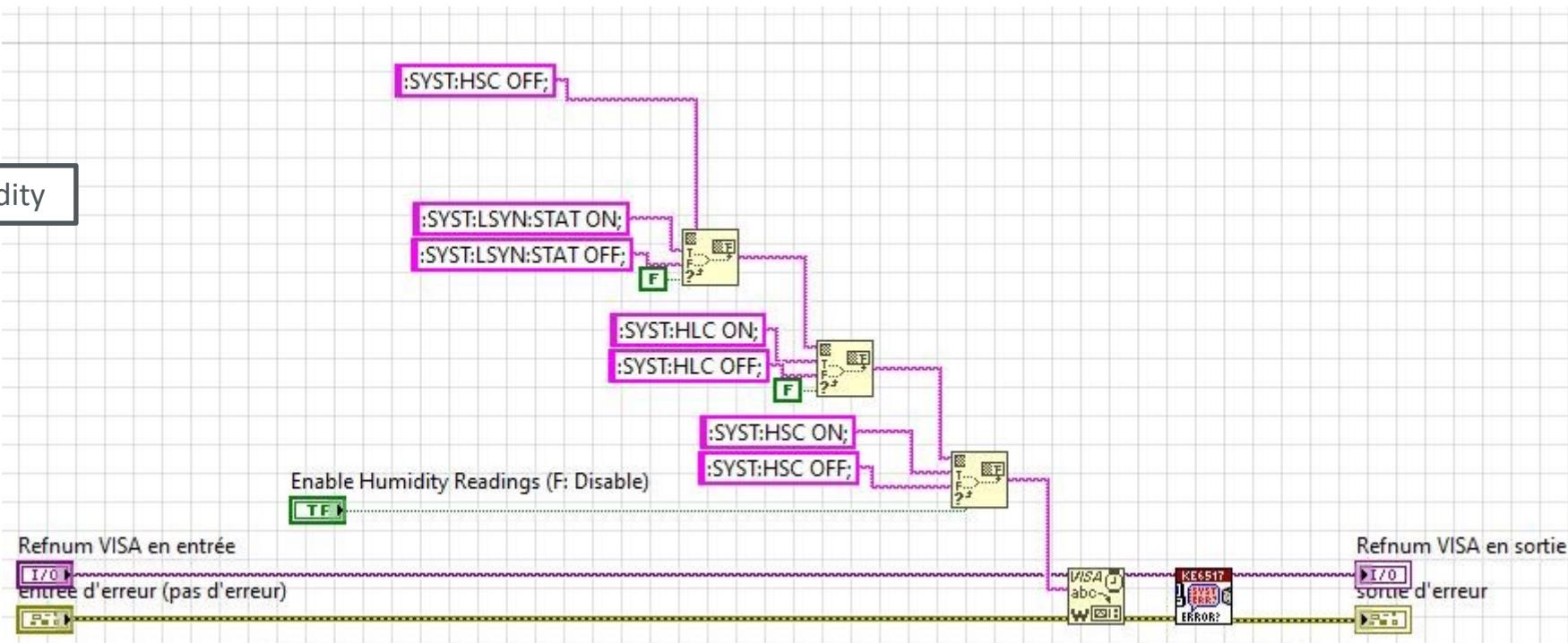




Zoom Init

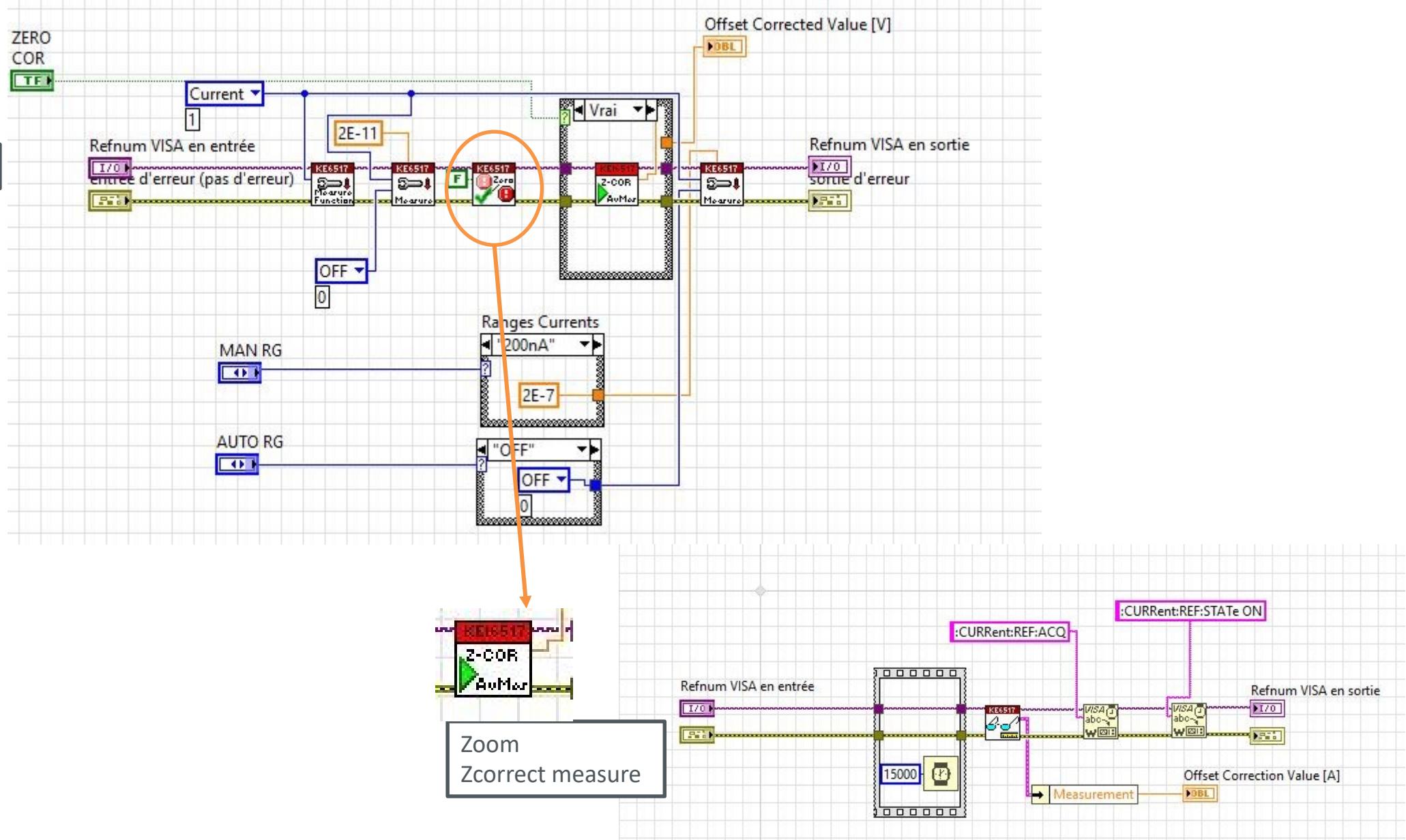


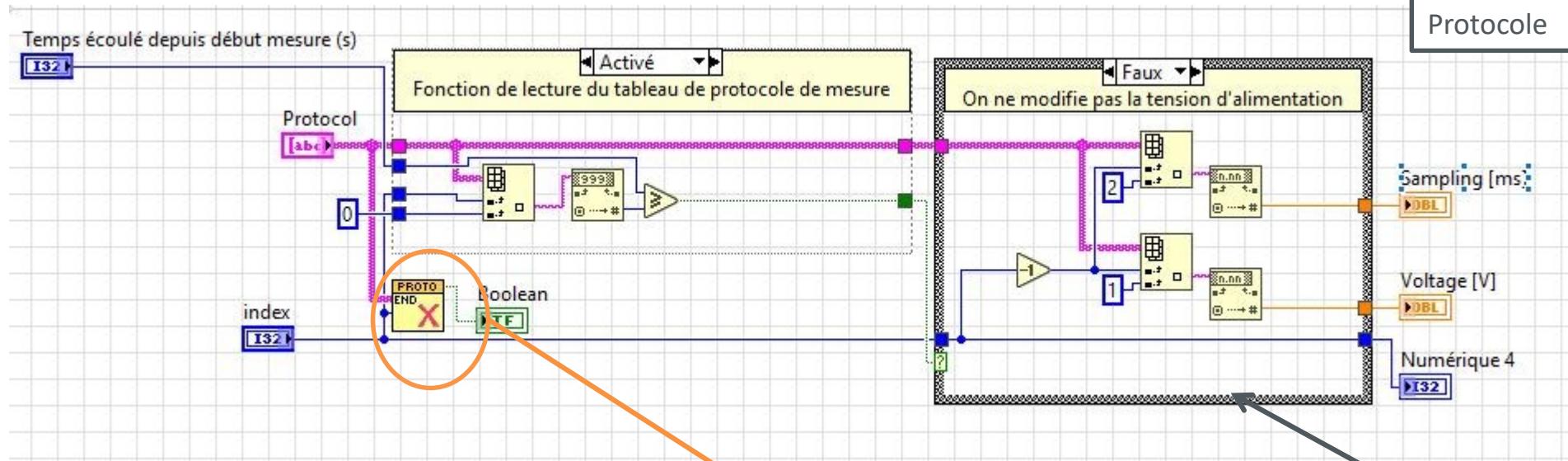
Zoom Humidity



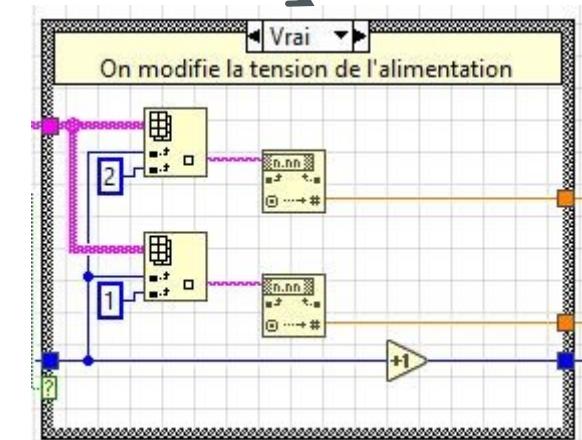
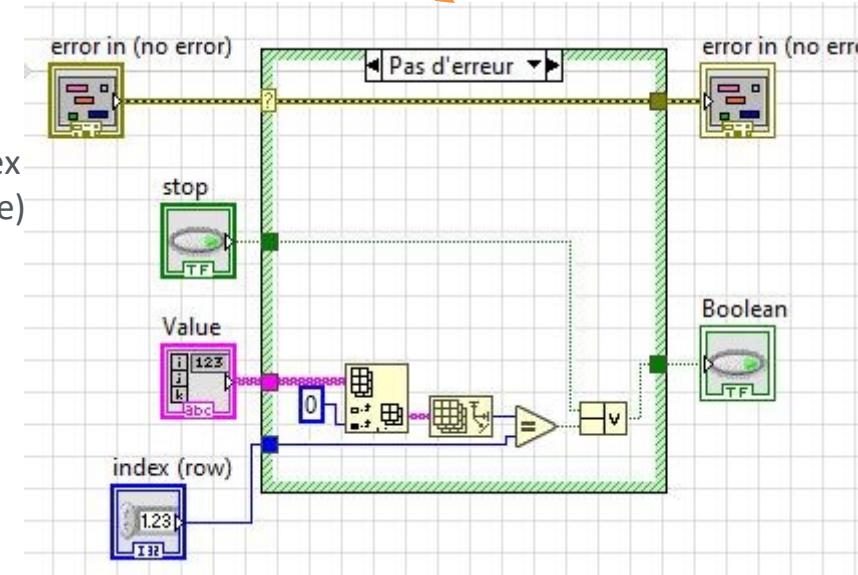
Retour

KE6517
ZCOR
»





- Lecture protocole
 - Comparer le temps écoulé avec le temps de protocole
 - Change ou non les valeurs de tensions
 - Fin de la manip
 - Taille tableau protocole = index (#nbre tours de la boucle while)





Présentation générale

Définition Isolant - Diélectrique



Isolant (adj)

- Se dit d'un matériau généralement diélectrique, destiné à empêcher le passage d'un courant de conduction. Les isolants gazeux sont toujours des gaz polyatomiques (air, N₂, H₂, SF₆). Les isolants liquides sont soit des huiles minérales dérivées du pétrole, soit des huiles de synthèse ininflammables. Les isolants solides sont soit minéraux, soit organiques, naturels ou synthétiques.)

Larousse ([lien](#))

Diélectrique (adj)

- Se dit d'une substance ne possédant pas d'électrons libres capables de transporter un courant électrique, mais qui peut être polarisée par un champ électrique.

Larousse ([lien](#))

Principe théorique

Constantes de temps

