

De l'isolant au conducteur

Comment un isolant devient-il conducteur et comment la température et l'humidité influencent la tension disruptive d'un matériau ?

Sommaire

I. Introduction

II. Influence du matériau (pour des solides)

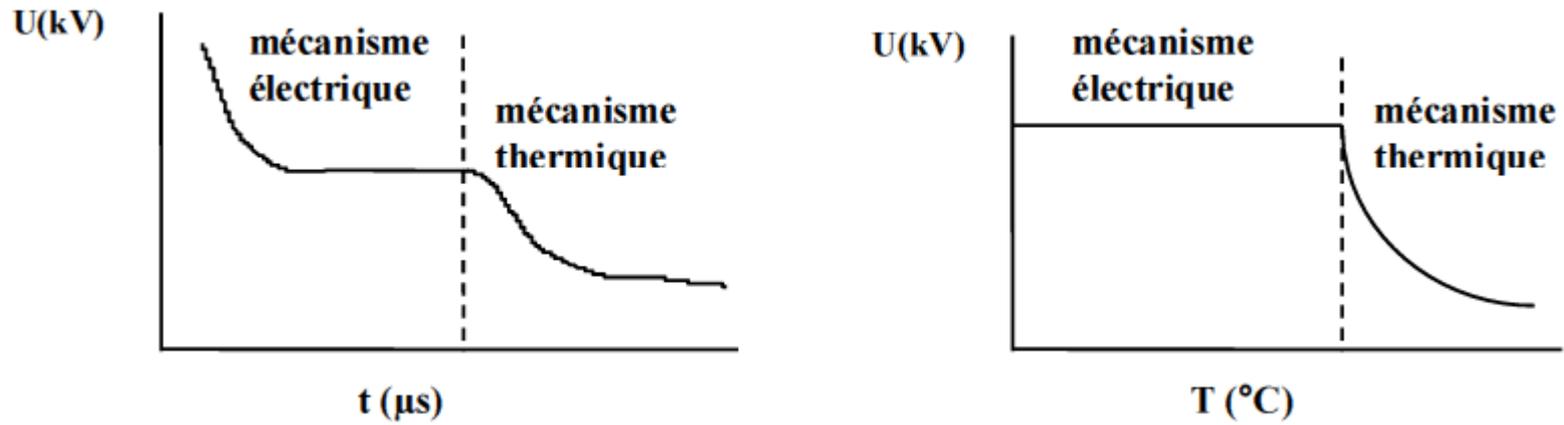
III. Influence de l'humidité (pour des gaz)

IV. Influence de la température (gaz et solides)

V. Conclusion

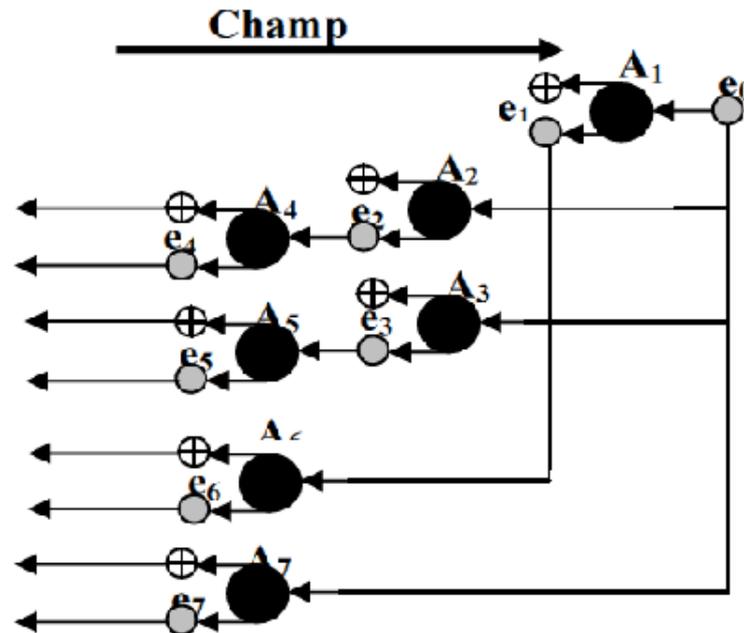
I. Introduction

Diélectrique solide



Source : A. Boubakeur

Diélectrique gazeux



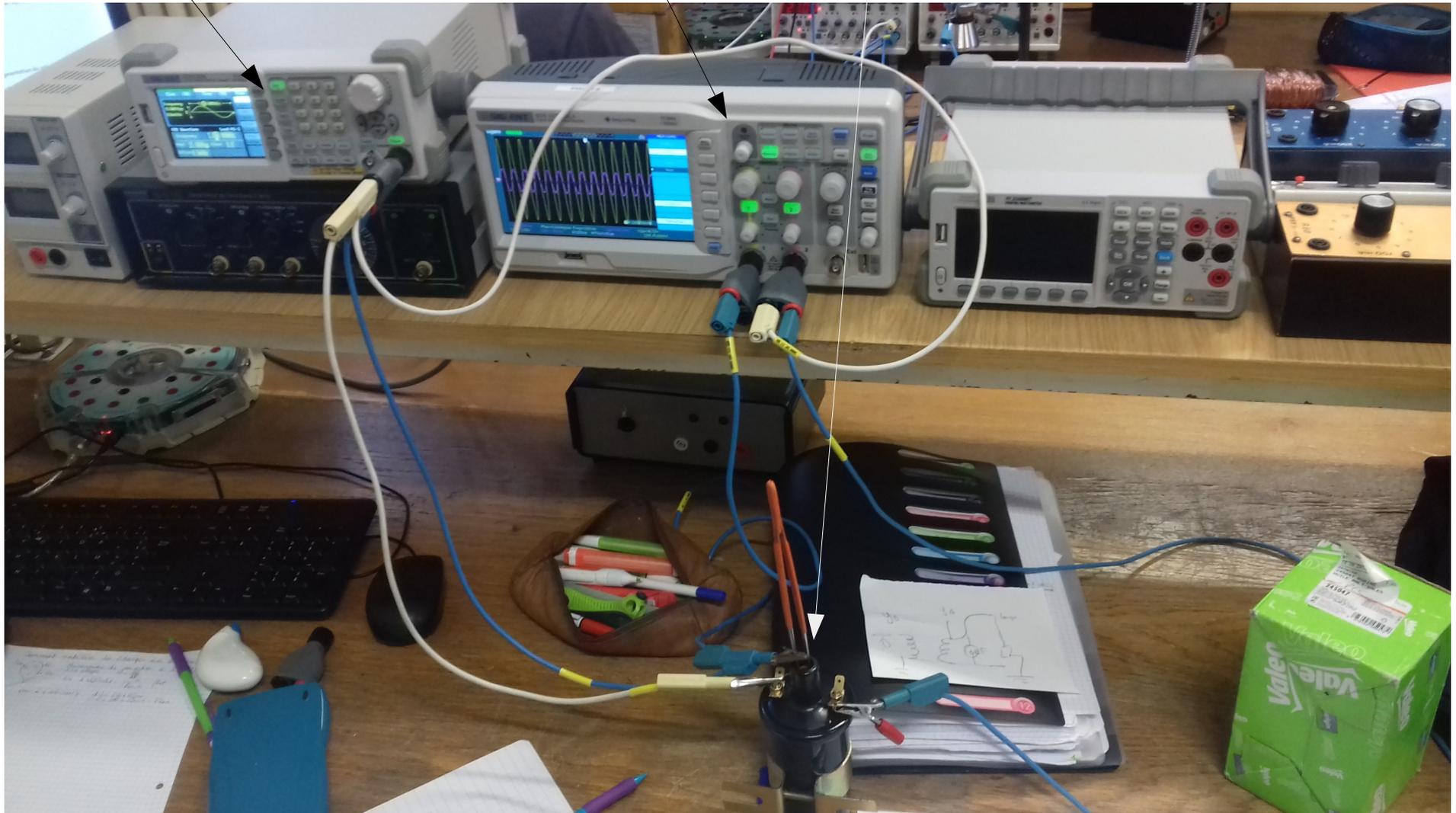
Source : A. Tilmatine

II. Influence du matériau (pour des solides)

GBF

Oscilloscope

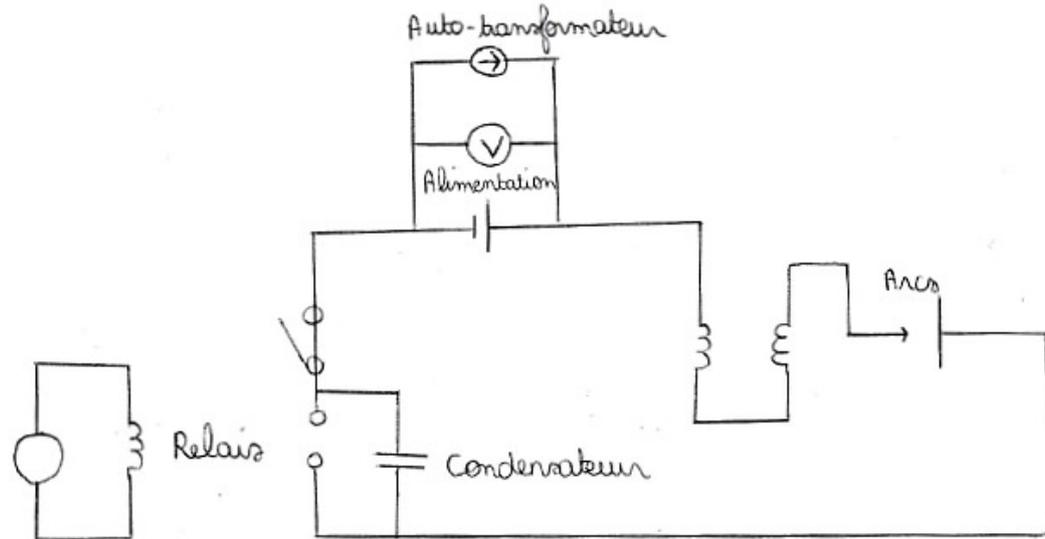
Bobine d'allumage de voiture



$$R_{\text{transformation}} = 70$$

II. Influence du matériau (pour des solides)

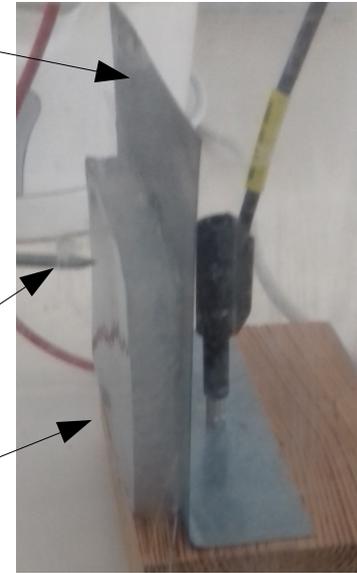
Schéma montage électrique



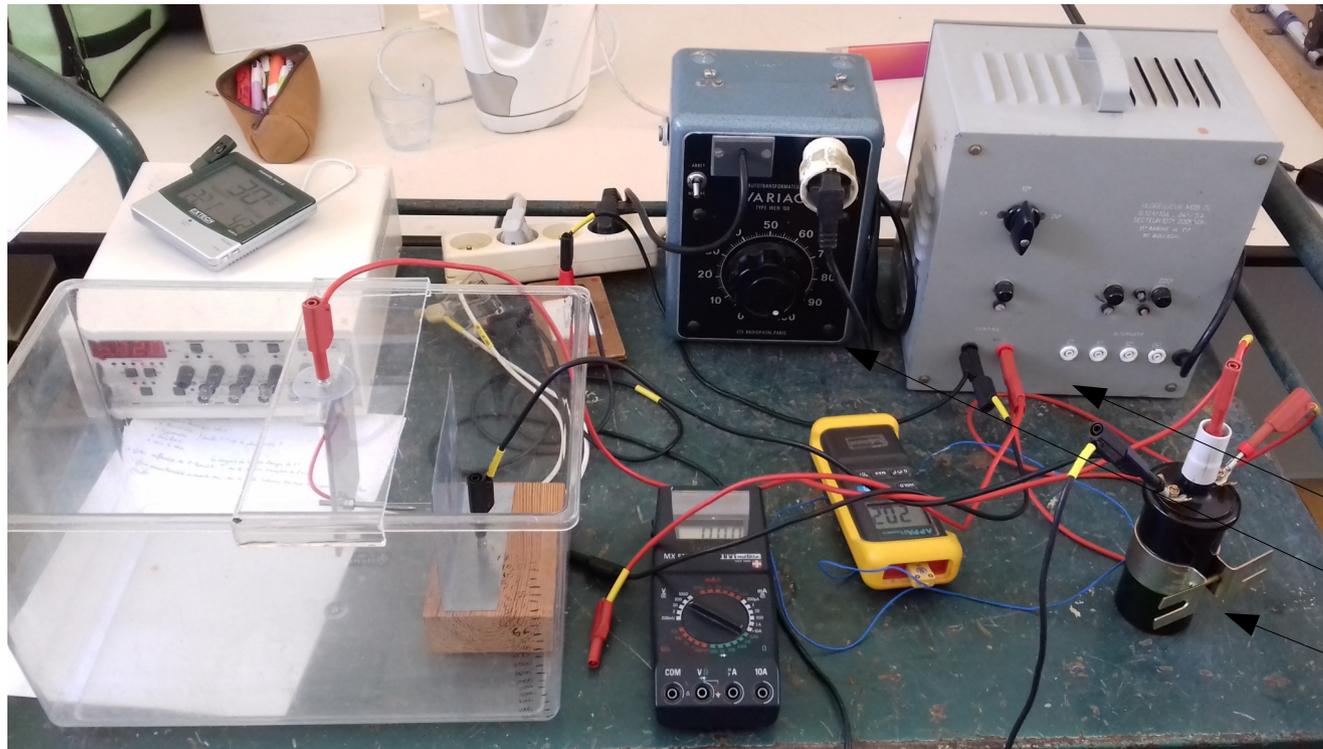
Plaque
métallique

Pointe
métallique

Gel agar-agar



21,1°C, 28% d'humidité
4g d'agar agar pour 1l d'eau



Alimentation

Transformateur

Bobine

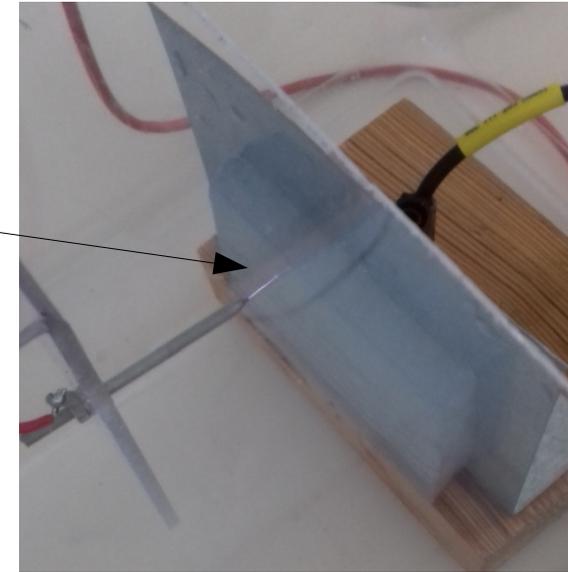


II. Influence du matériau (pour des solides)

Gel agar agar

Tension limite au voltmètre (en V)	Epaisseur gel (mm)	Rigidité diélectrique (V/mm)
2,21	10,5	20,8
2,33	11,0	20,9
2,48	11,7	20,9
2,59	12,0	21,1

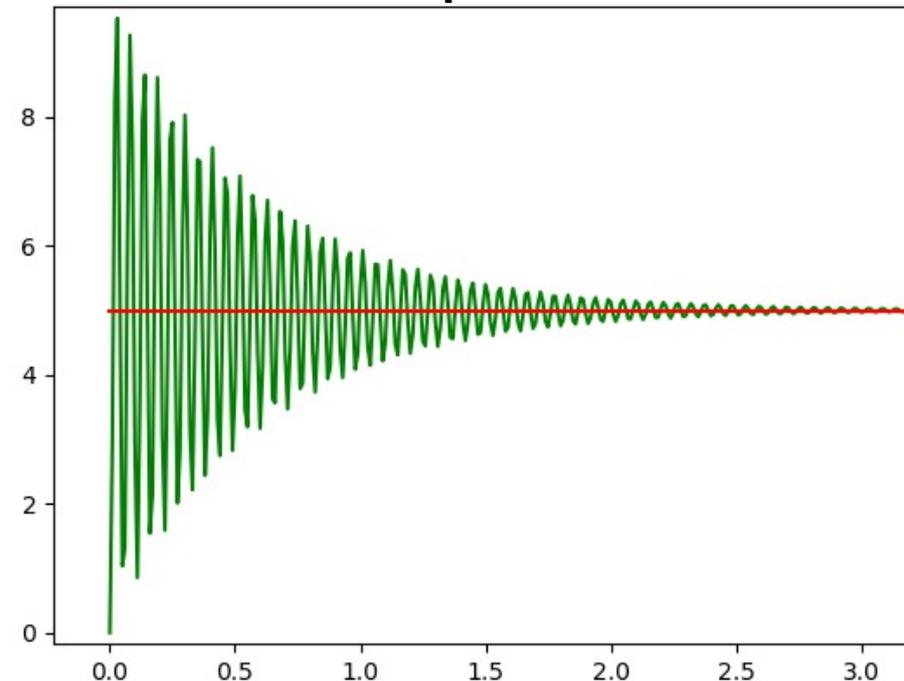
Arc électrique



Gel agar agar salé (20g de sel dans 1l)

Tension limite au voltmètre (en V)	Epaisseur gel (mm)	Rigidité diélectrique (V/mm)
1,53	12,0	12,6
1,94	12,5	15,3
2,01	11,5	17,2
2,30	17,5	13,0

Facteur de qualité du circuit



II. Influence du matériau (pour des solides)

Circuit RLC

$$f_c = 1/2\pi\sqrt{LC}$$

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r S/e$$

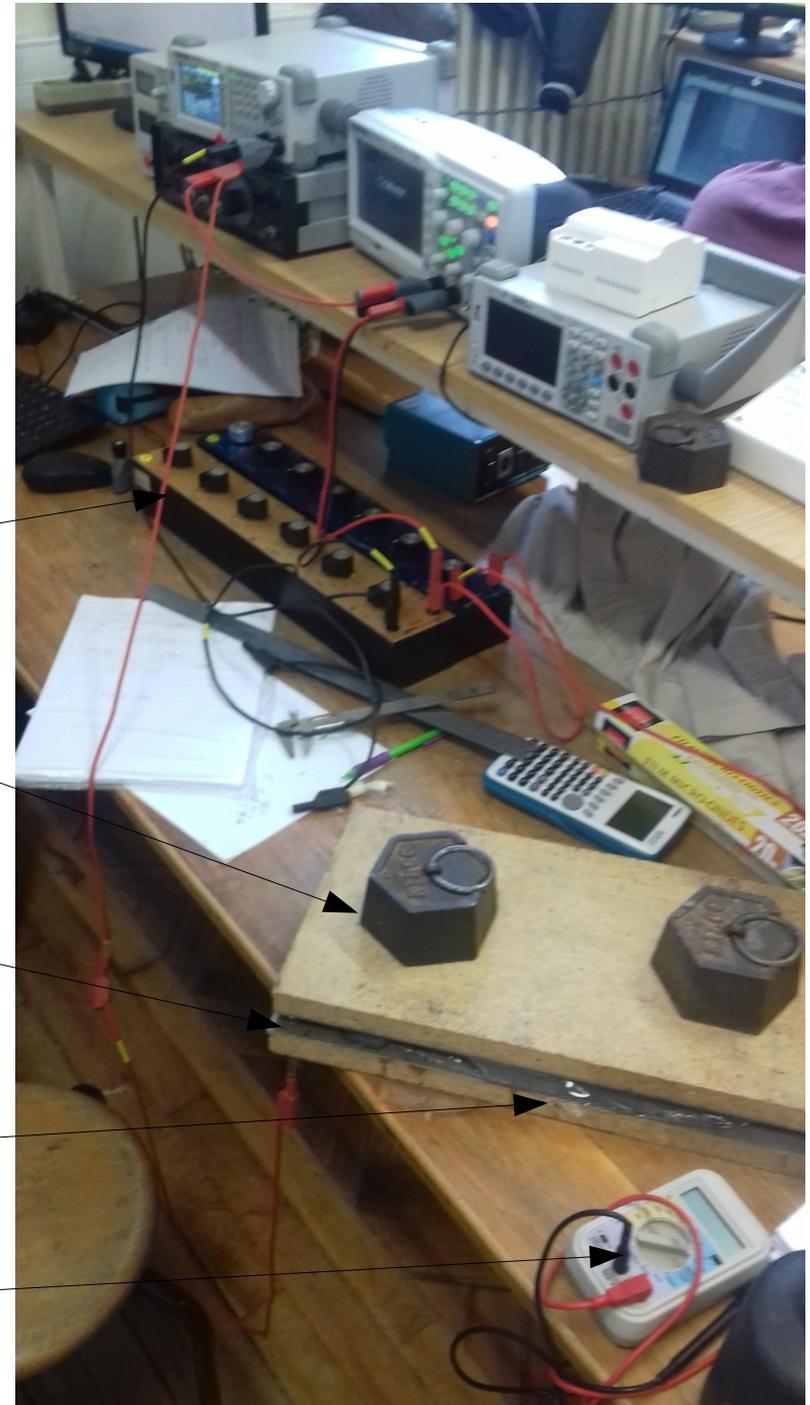
Résistance et inductance

Masses de serrage

Plaques métalliques

Gel d'agar-agar

RLC-mètre



II. Influence du matériau (pour des solides)

Film

Impregnated

Metallized



Depuis 1990

Film : High Cristallinity rough polypropylene (95°Cmax)
Metallization : Al and Zn reinforced edge
Elementary cap : soft flat bobbin
Impregnation : rapeseed oil

Film

Dry

Metallized



Depuis 1979

Film: High Cristallinity smooth polypropylene
Metallization: segmented Al and Zn reinforced edge
Elementary cap : hard cylindrical bobbin
No oil, no gas : resin filled

WET TECHNOLOGY : FFHV - FTHV



Film : High Cristallinity smooth polypropylene
Metallization : Al +Zn variable profile, Zn reinforced edge
Elementary cap : flat or cylindrical bobbins
Wet : silicone oil
No oil, no gas : resin filled



Source : TPC, document interne à l'entreprise

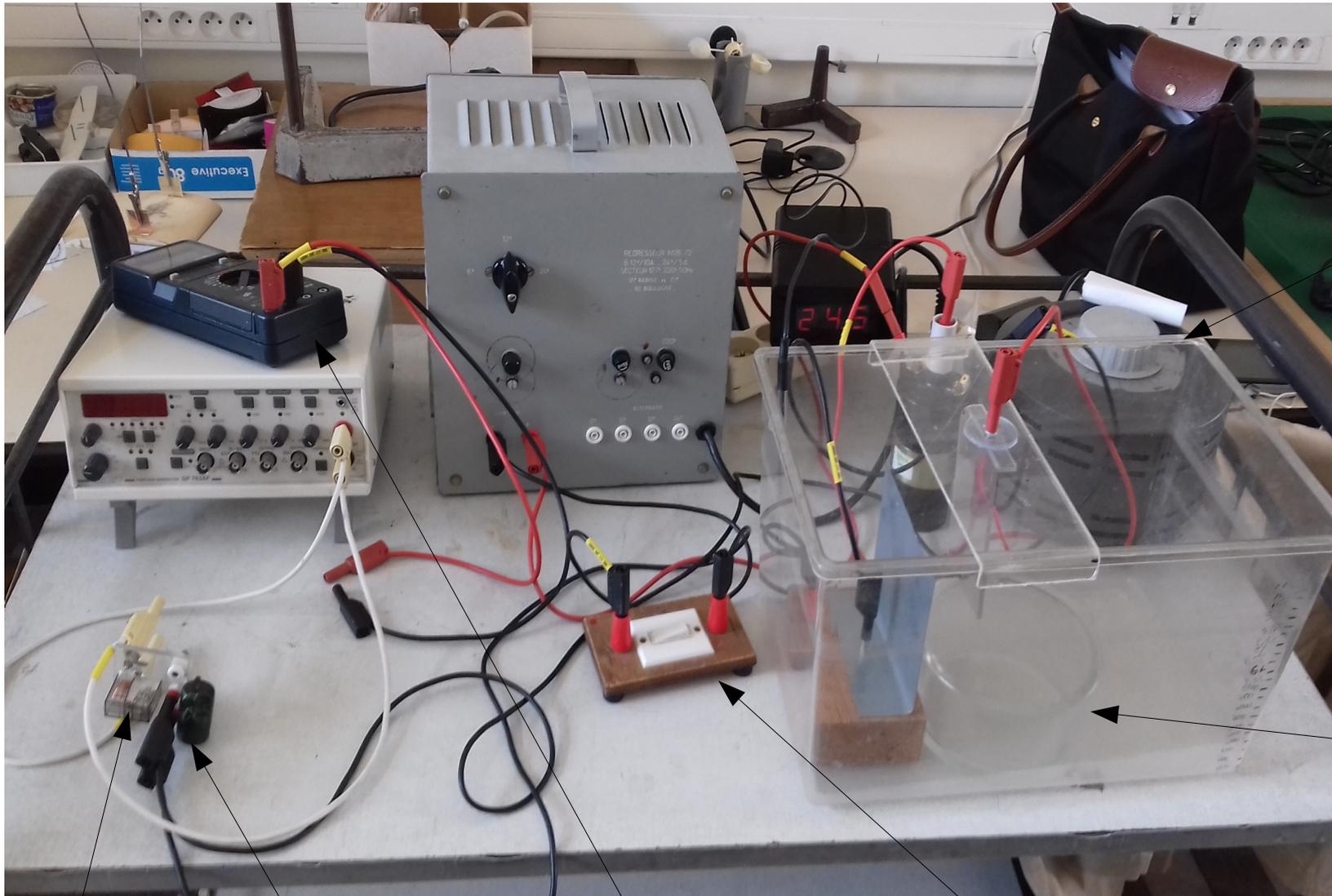


Pour Synchrotron (accélérateur de particules) →

III. Influence de l'humidité (pour des gaz)

Hygromètre non présent sur la photo

22,4°C, distance pointe plaque : 0,40 cm



Transformateur

Récepteur eau

Relais

Condensateur

Voltmètre

Interrupteur

III. Influence de l'humidité (pour des gaz)

D'après les travaux de Ritz :

$$V_c = (24,55 + 0,41 \cdot (0,1 \cdot e - 1)) \cdot d + 6,66 (\rho d)^{0,5}$$

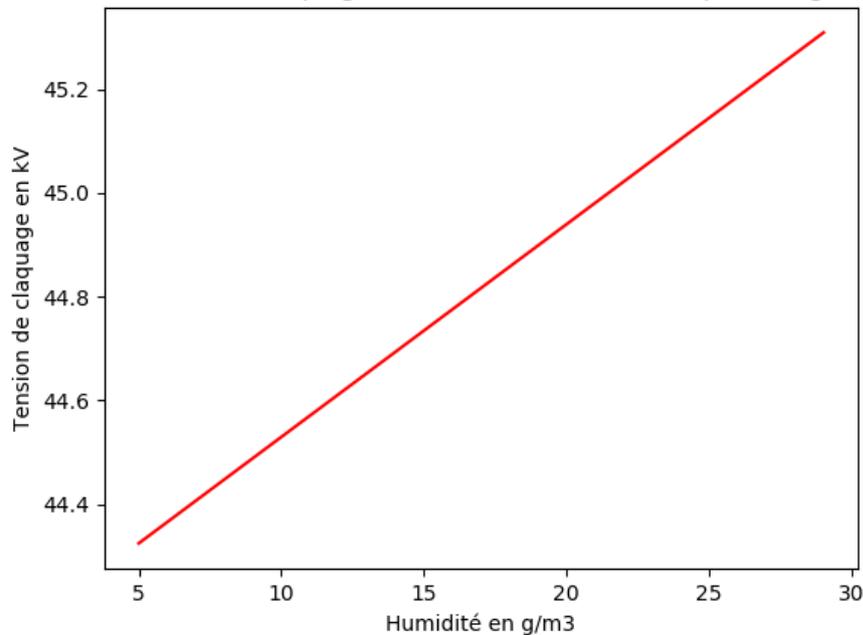
avec V_c : tension de claquage dans l'air (en kV),

d : distance entre les électrodes (en cm),

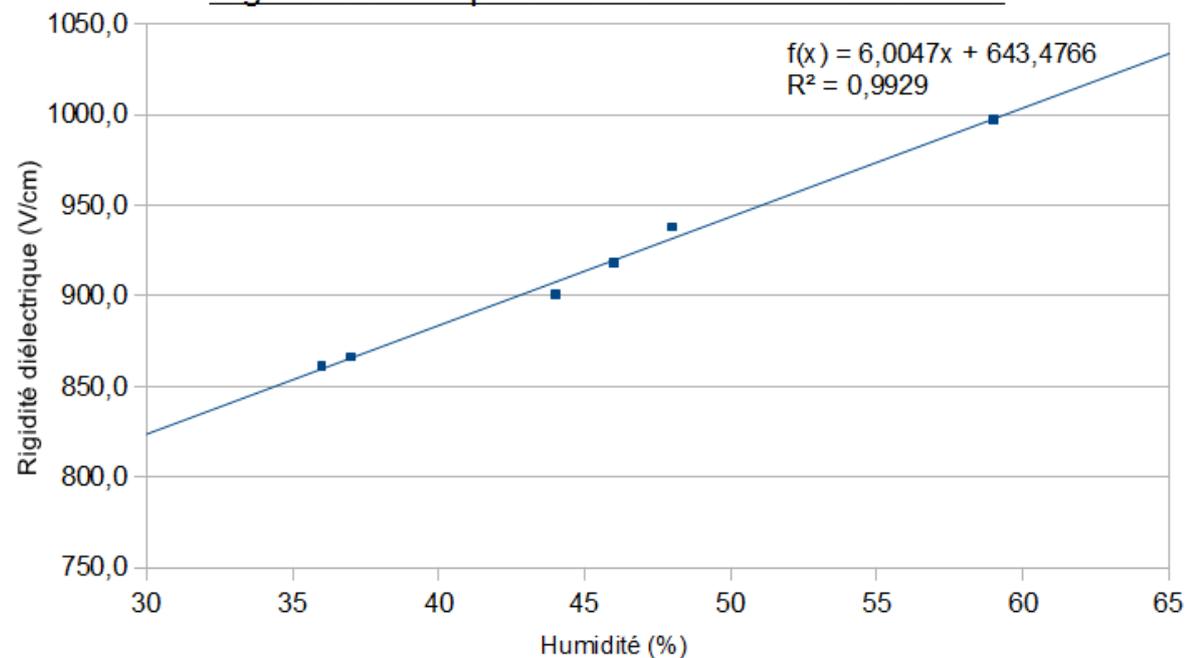
ρ : densité relative par rapport à l'air à 20°C et 760 mmHg,

e : humidité absolue en ($\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)

Tension de claquage en fonction de l'humidité pour un gaz



Rigidité diélectrique de l'air en fonction de l'humidité



Température = constante

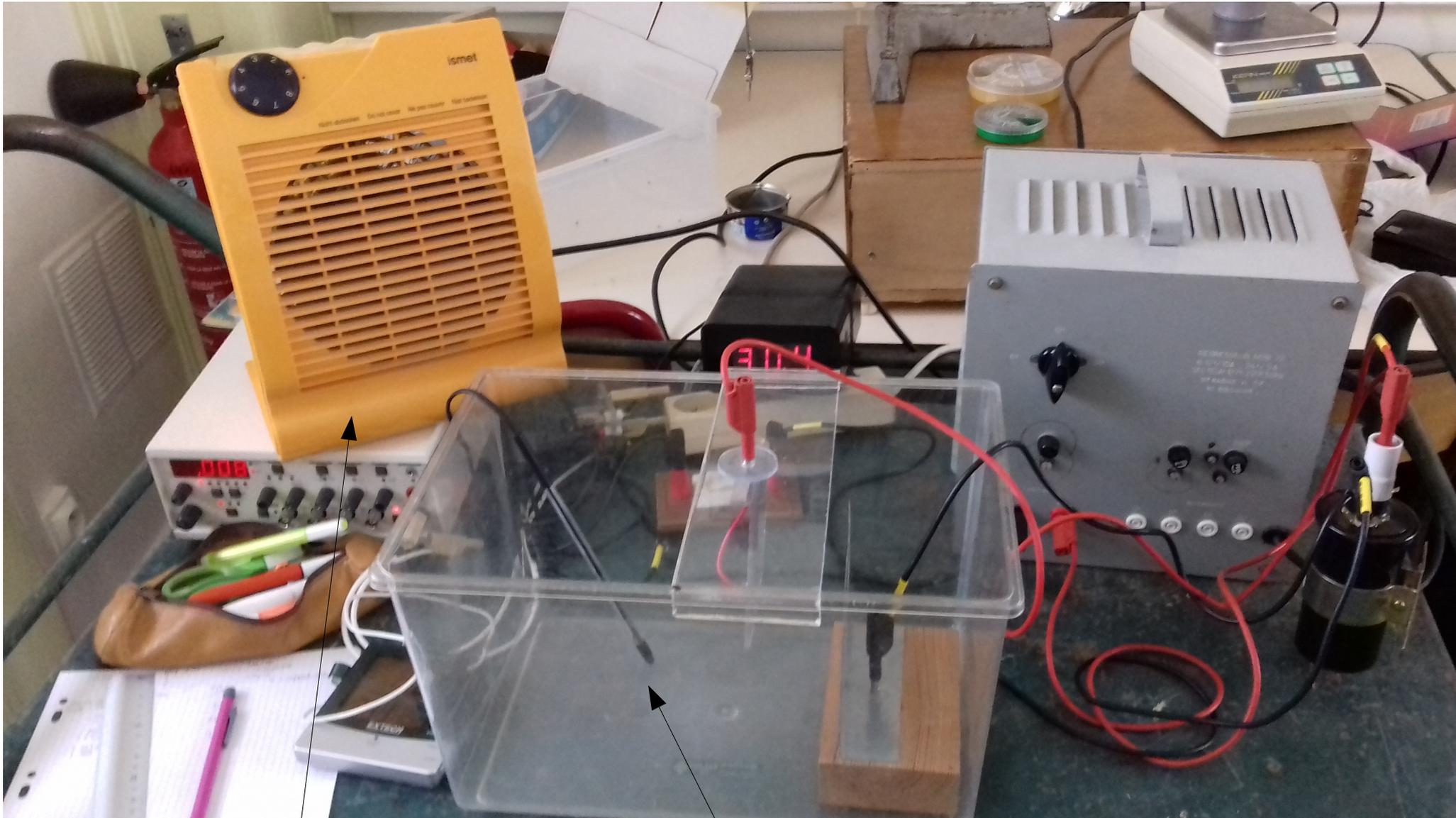
III. Influence de l'humidité (pour des gaz)



Avenue du Colonel Prat
21850 Saint-Apollinaire - France
Phone : +33 3 80 71 75 54
Fax : +33 3 80 71 76 20

IV. Influence de la température (gaz et solides)

26% d'humidité



Radiateur

Thermomètre

IV. Influence de la température (gaz et solides)

Relation de Ritz valable pour l'air :

$$V_c = 24,55 \rho d + 6,66 (\rho d)^{0,5}$$

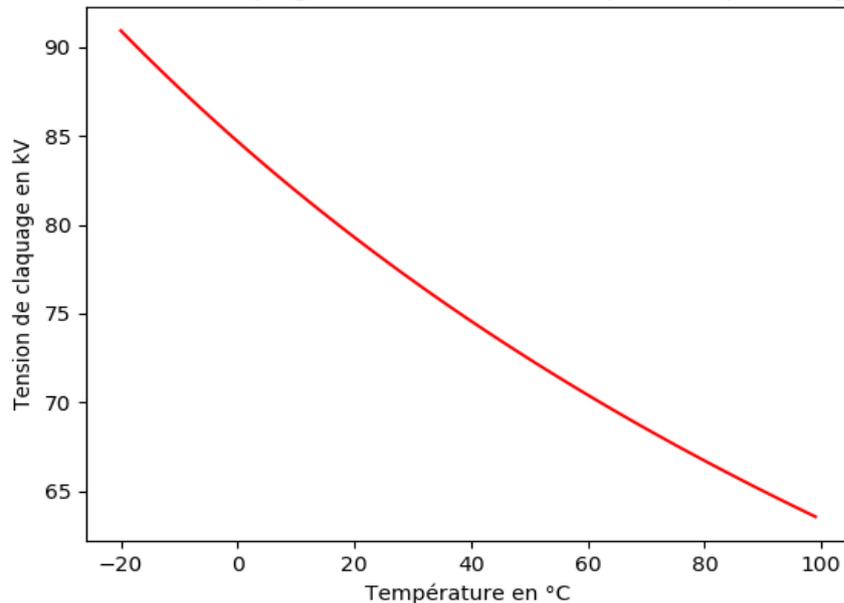
avec V_c : tension de claquage dans l'air (en kV),

d : distance entre électrodes (en cm),

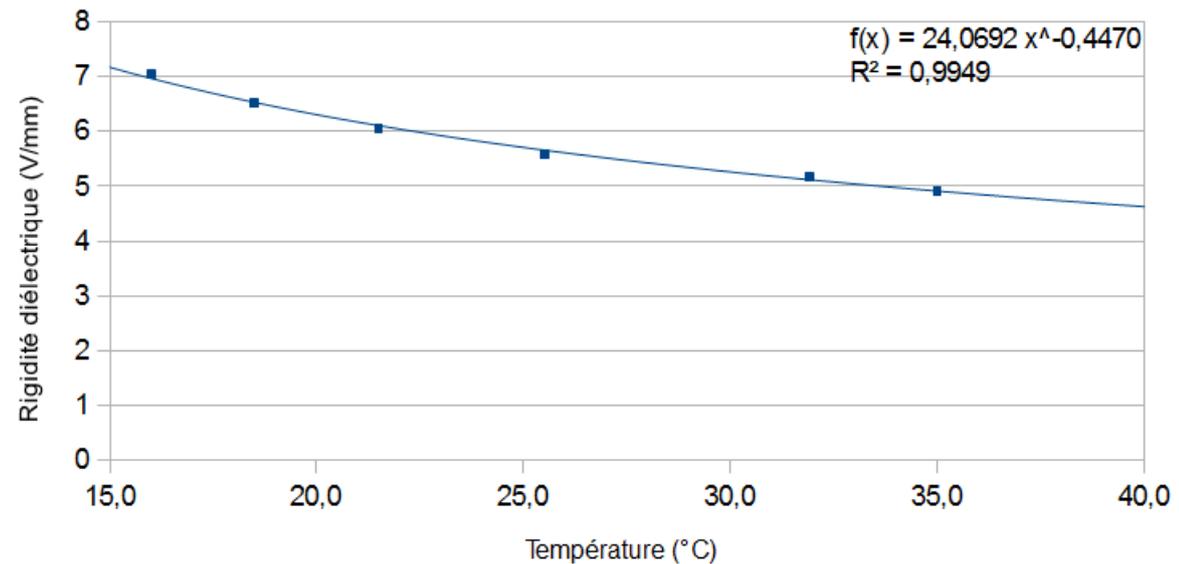
ρ : densité relative par rapport à l'air à 20°C et 760 mmHg variant avec la température

$$\rho = (P/270) \cdot (273+t_0) / (273+t) \quad (t \text{ en } ^\circ\text{C} \text{ et } P \text{ en mmHg})$$

Tension de claquage en fonction de la température pour un gaz

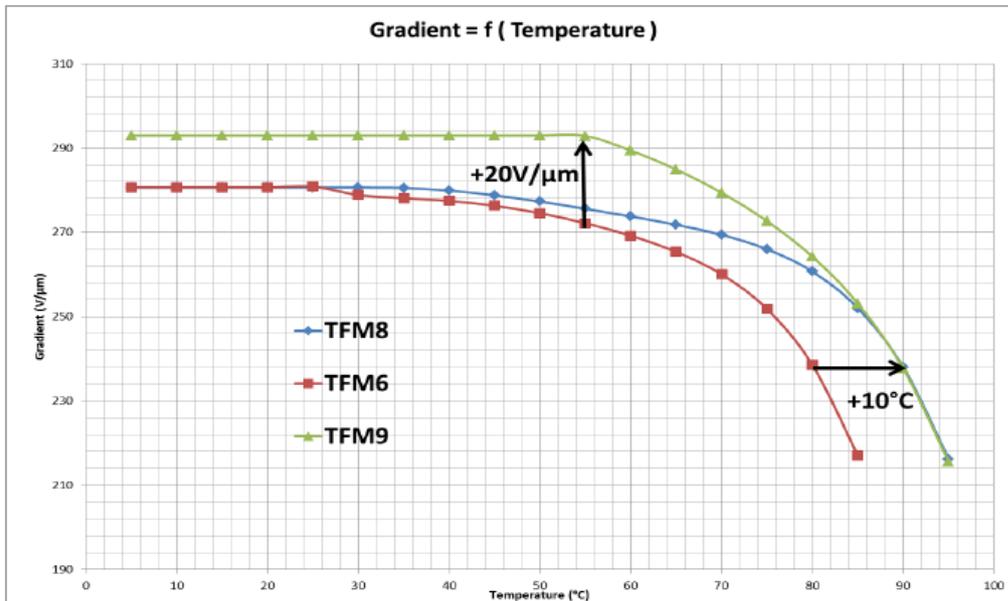


Rigidité diélectrique de l'air en fonction de la température



IV. Influence de la température (gaz et solides)

TFM6 / TFM8 / TFM9 (100,000h)



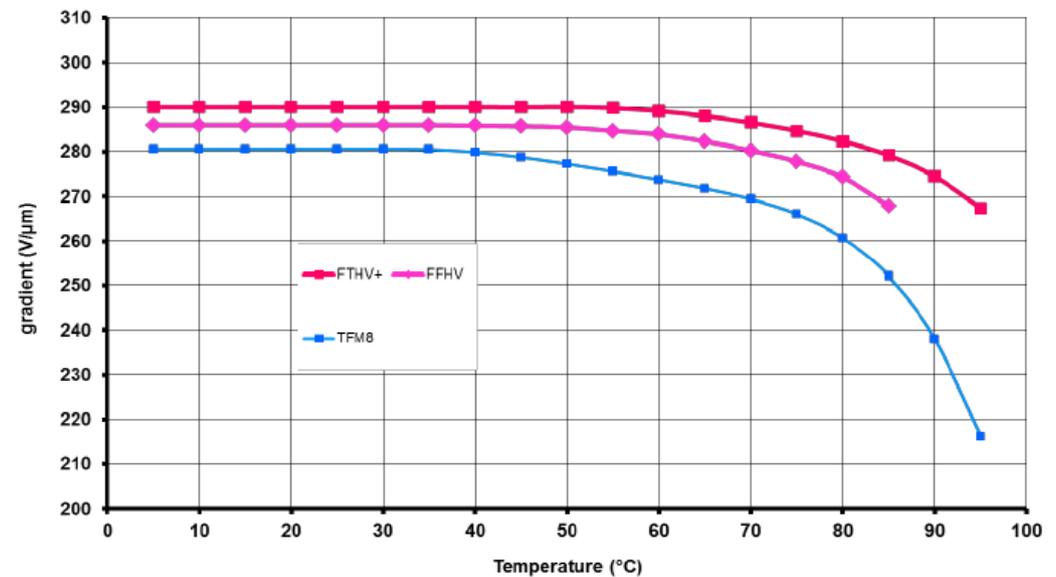
← Film technology



Source : TPC, document interne

FFHV – FTHV (1400V – 4kVdc)

Gradient = f (temperature)

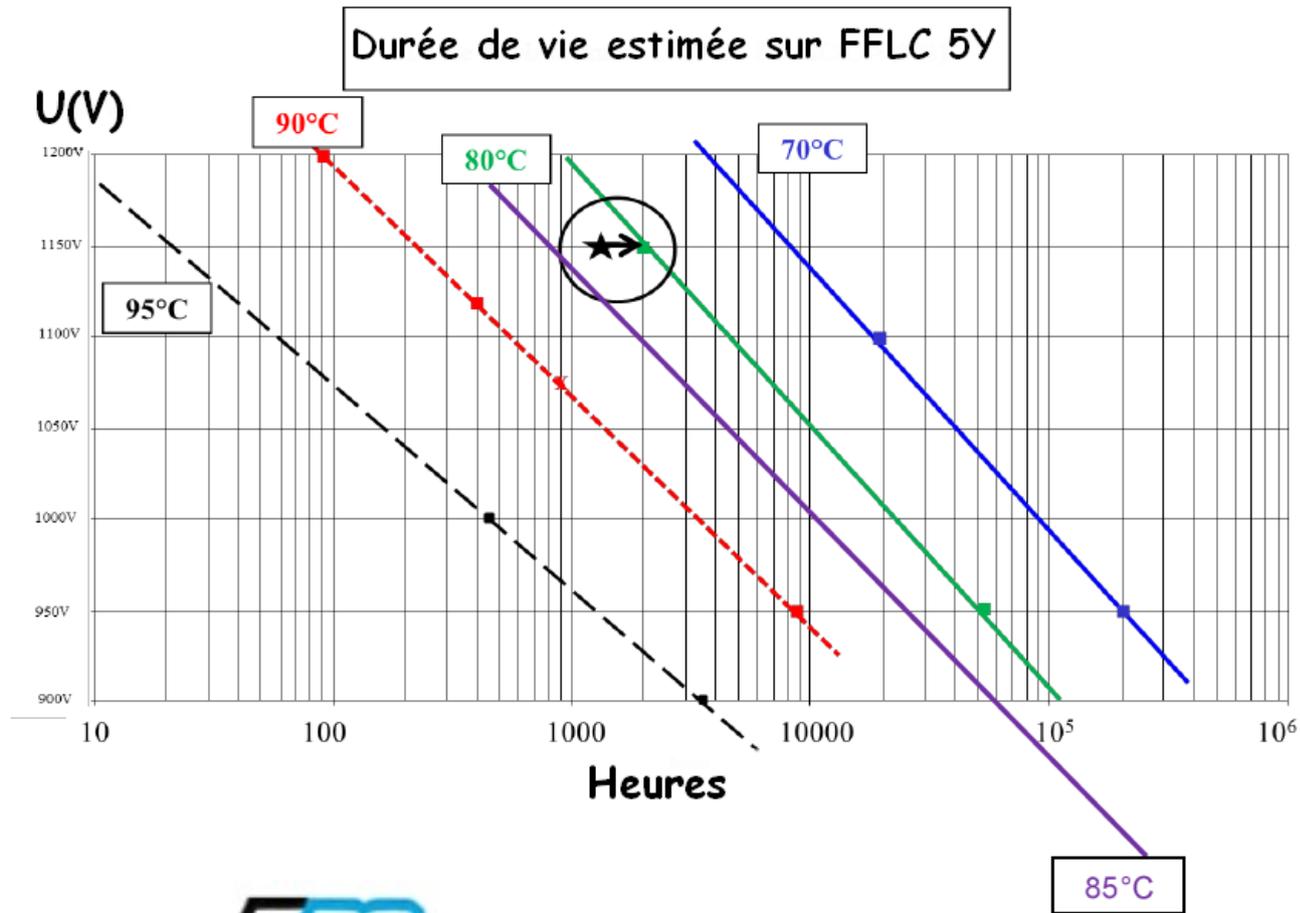


Wet technology →

V. Conclusion

Comment un isolant devient-il conducteur ?

Comment la température et l'humidité influencent la tension disruptive d'un matériau ?



Source : TPC, document interne

[1] Amar Tilmatine, Chapitre 7 : Matériaux diélectriques, 14 pages, consulté le 08/10/2018

https://www.univ-sba.dz/fsi/downloads/ETL437-Chapitre_7.pdf

[2] Sefelec (entreprise dans le domaine des essais de rigidité), Les tests diélectriques, Etude des facteurs d'influence sur les essais de rigidité, 2002, 24 pages, consulté le 28/01/2018

https://www.sefelec.fr/fr/documents/DIELECTRIQUES-E1_001.pdf

[3] Professeur A. Boubakeur, Ecole Nationale Polytechnique, Claquage des isolants solides et Vieillessement thermique du Polyéthylène Réticulé Chimiquement (envoyé par Claude Vincent le 19/02/2019)

[4] Diaporamas TPC de Claude Vincent : Technologies et applications des condensateurs de puissance, et, Technical Presentation Medium ad High Power (envoyé, après la formation, par Claude Vincent le 28/02/2019)

Annexes

```
# /run/media/marine-mathey/USB MARINE/Marine/prépa/TIPE/tipe.py
01| import numpy as np
02| import matplotlib.pyplot as plt
03| from math import *
04|
05| def Vch (e):
06|     d=1
07|     v=(24.55 + 0.41*(0.1*e -1))*d + 6.66 *((9*d)**0.5)
08|     return (v)
09|
10| def humiditeg () :
11|     L=[e for e in range (5, 30)]
12|     y=[]
13|     for e in L :
14|         y.append(Vch(e))
15|     plt.plot (L, y, color = 'red')
16|     plt.title('Tension de claquage en fonction de l\'humidité
pour un gaz')
17|     plt.xlabel('Humidité en g/m3')
18|     plt.ylabel('Tension de claquage en kV
19|     plt.show()
~::~:
20|
21| def densiterelative(T):
22|     P= 750
23|     rho=(P/270)*(273+20)/(273+T)
24|     return (rho)
25|
26| def Vct(T):
27|
28|     v=24.55*densiterelative(T)*1+6.66*((1*densiterelative(T))**0.5)
29|     return (v)
30|
31| def temperatureg () :
32|     L=[T for T in range (-20, 100)]
33|     y=[]
34|     for T in L :
35|         y.append(Vct(T))
36|     plt.plot (L, y, color = 'red')
37|     plt.title('Tension de claquage en fonction de la température
pour un gaz')
38|     plt.xlabel('Température en °C')
39|     plt.ylabel('Tension de claquage en kV')
40|     plt.show()
41|
```

```

1 from scipy import *
2 from math import *
3 import numpy as np
4 import matplotlib.pyplot as plt
5
6 def creneaux (E,T):
7     l=[]
8     t=[e for e in range (T)]
9     for k in range (T):
10        |   if k<(T/2):
11        |       |   l.append(E)
12        |       |   else :
13        |       |       |   l.append(0)
14    return (l)
15
16 def tension (E,T,wo,Q):
17     omega = ((wo**2) - (wo**2)/(4*Q*Q))**(1/2)
18     U=[]
19     l = creneaux (E,T)
20     t=[e for e in range (T)]
21     v=[]
22     for k in range (len(t)):
23        |   v.append(t[k]/100000)
24     for i in range (len(t)):
25        |   U.append (l[i] + exp(-wo*i/(2*Q))*(-l[i]*cos(omega*i)-l[i]*wo/(2*Q*omega)*sin(omega*i)))
26     plt.plot (v,U, color= 'green')
27     plt.plot (v,l, color = 'red')
28     plt.show()
29

```

Diélectrique	Rigidité diélectrique (kV/cm)	Permittivité relative
Mica	1000-3000	6-7
Caoutchouc	300-500	3
Huile de transformateur	150-250	4-6
Air	20-50	1

Claude VINCENT

Technical and Quality Power Leader



Avenue du Colonel Prat
21850 Saint-Apollinaire - France
Phone : +33 3 80 71 75 54
Fax : +33 3 80 71 76 20
Mobile : +33 6 07 55 42 64
E-mail : claud.vincent@avx.com
www.avx.com

Annexes

Il a été convenu ce qui suit :

Entre

L'entreprise : TPC

SIRET : 552 064 230 00021

située : Avenue du Colonel Piat - 21550 Saint Apollinaire

Tel : 03 80 72 17 41 00

représentée par Mme Garcia Anne

en qualité de chef d'entreprise DRH



Convention

◆ Jeune bénéficiaire de la période d'observation en milieu professionnel :

Nom et prénom : Mahey Maxime

Date de naissance : 27/09/1999

Adresse complète : Impasse Jean Touhaire

21550 St Apollinaire

Tel : 03 80 72 82 41 66 Mail : maxime.mahey@orange.fr

Collégiens et lycéens : Atteste sur l'honneur être en classe de :

Au sein de l'établissement :

étudiants de l'enseignement supérieur : Atteste sur l'honneur être en classe de : HP

Au sein de l'établissement : lycée Carnot (Dijon)

Atteste sur l'honneur de ne pas être en semaine réservée aux cours et au contrôle de connaissances (case à cocher)

◆ Personne responsable de l'accueil en milieu professionnel :

Nom et prénom : VINCENT Claude

Qualité : Ingénieur Fort et Moyenne Puissance

Tel : 03 80 71 75 54 Mail : claud.vincent@aux.com

◆ Référent de la Chambre de Commerce et d'Industrie de Côte-d'Or, chargé de suivre le déroulement de période d'observation en milieu professionnel : Apolline GATTI

Tel : 03 80 65 92 35 Mail : apolline.gatti@cci21.fr

◆ Dates de la période d'observation en milieu professionnel :

Du 26/02/2019 au 26/03/2019

◆ HORAIRES journaliers du jeune :

	MATIN	APRÈS-MIDI
Lundi	de ___ h à ___ h	de ___ h à ___ h
Mardi	de <u>08 h 30</u> à <u>12 h 00</u>	de <u>13 h 00</u> à <u>16 h 00</u>

◆ Objectifs assignés à la période d'observation en milieu professionnel :

Activités prévues : Formation sur les condensateurs de puissance

3 - Annexe financière

1 - Hébergement : oui - non

2 - Restauration* : oui - non

3 - Frais de transport pris en charge par l'entreprise* : oui - non

4 - Frais occasionnels dans le cadre des missions : l'entreprise s'engage à rembourser au jeune les frais occasionnés par des missions spécifiques confiées dans le cadre de la présente convention (déplacement, visio clientèle...) selon les modalités applicables dans l'entreprise.

5 - ASSURANCE

Numéro de police d'assurance de l'entreprise : 552 4999

Numéro de police d'assurance couvrant le jeune : 80 79 42 89 07

fait à St Apollinaire

Le : 24/02/2019

en deux exemplaires

Le chef d'entreprise

Le responsable de l'accueil en milieu professionnel

Le jeune

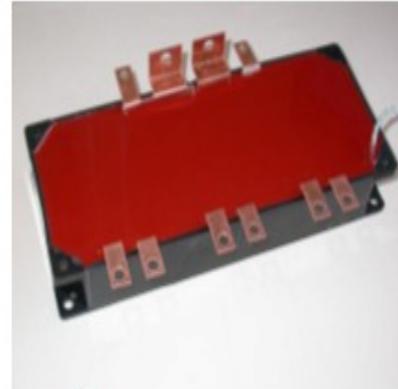
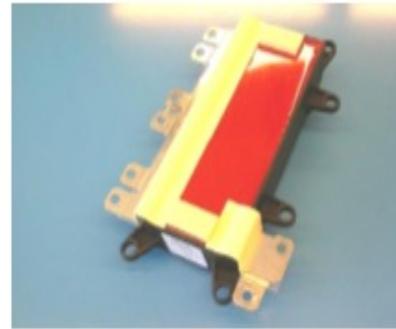
Le responsable légal du jeune

Le référent de la Chambre de Commerce et d'Industrie de Côte-d'Or

CCI Côte-d'Or
2 AVENUE DE MARBOTTE
21000 DIJON
SIRET 130 013 105 00015



Source : TPC, document interne



Pour véhicules électriques

Pour $W \gg kT$ et pour une température critique au centre $T_{mc} > T_0$:

$$V_{oc}^2 \approx (8\chi_0 k T_0^2 / \sigma_0 W)^{0,5} e^{(W/2kT_0)}$$

avec V_{oc} : tension critique,

T_0 : température ambiante,

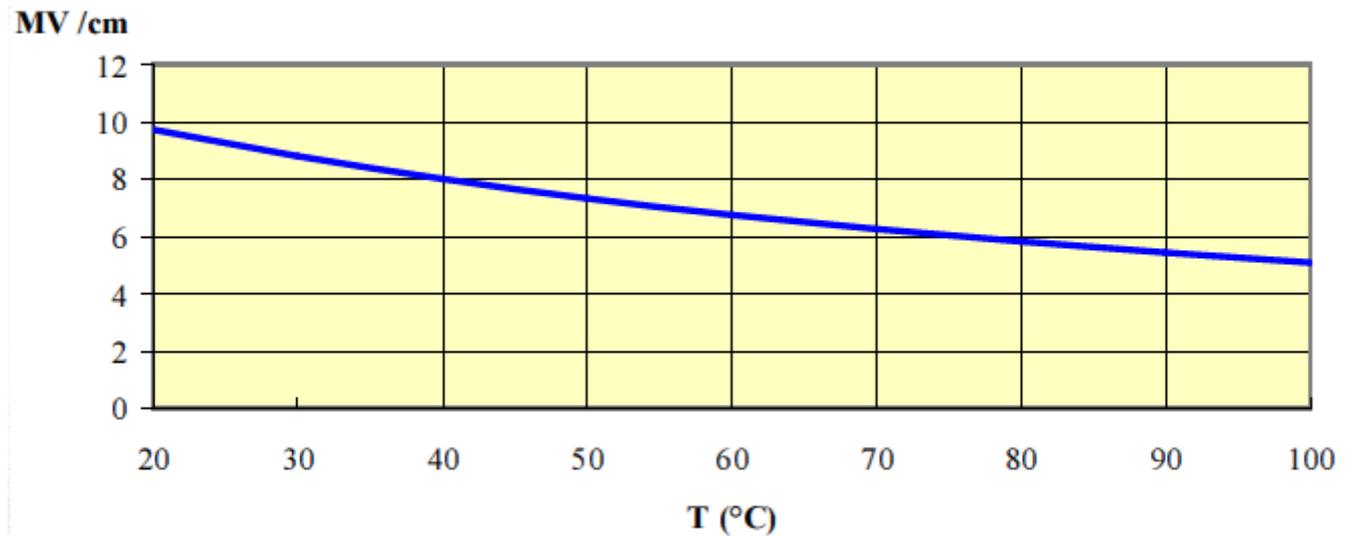
χ_0 : conductivité thermique,

σ_0 : constante de conductivité électrique,

W : énergie d'activation,

k : constante de Boltzmann

**CLAQUAGE PAR RUPTURE THERMIQUE
POLYMERES POLAIRE (INFLUENCE DE T)**



Source : Sefelec