

Stockage d'énergie sous forme magnétique avec une bobine supraconductrice à haute température critique

Philippe VANDERBEMDEN

Department of Electrical Engineering and Computer Science

S.U.P.R.A.T.E.C.S. research group

Sart-Tilman, Bât B28

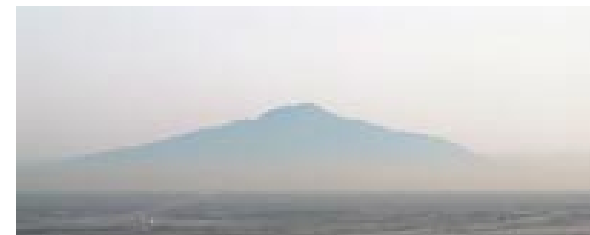
Tel : +32 4366 2670

Philippe.Vanderbenden@ulg.ac.be

Remerciements : projet financé par la DGTRE



Valorisation de l'Etude des SUpraconducteurs en Vue du stockage d'Energie (VESUVE)



Marcel AUSLOOS, Rudi CLOOTS, André GENON,

+

Jean-François FAGNARD, David CRATE

Brice MATTIVI, Jean-François JAMOYE,

Vincent MISSON, Samuel DENIS,

David MARGUILLIER, Raymond VANDERLINDEN

+

Thierry JOB, Pascal HARMELING,

Philippe LAURENT, Isabel MOLENBERG, Sébastien RAHIER

Plan de l'exposé

- Position du problème
- Conception et réalisation du système
- Conclusions

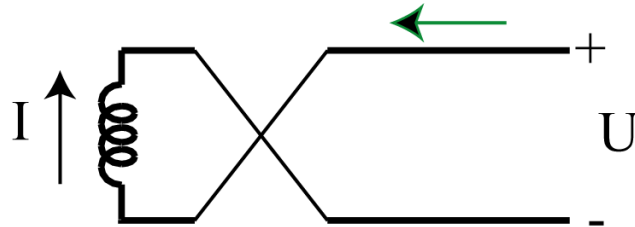
Plan de l'exposé

- Position du problème

Stockage d'énergie
sous forme magnétique
avec une bobine supraconductrice
à haute température critique

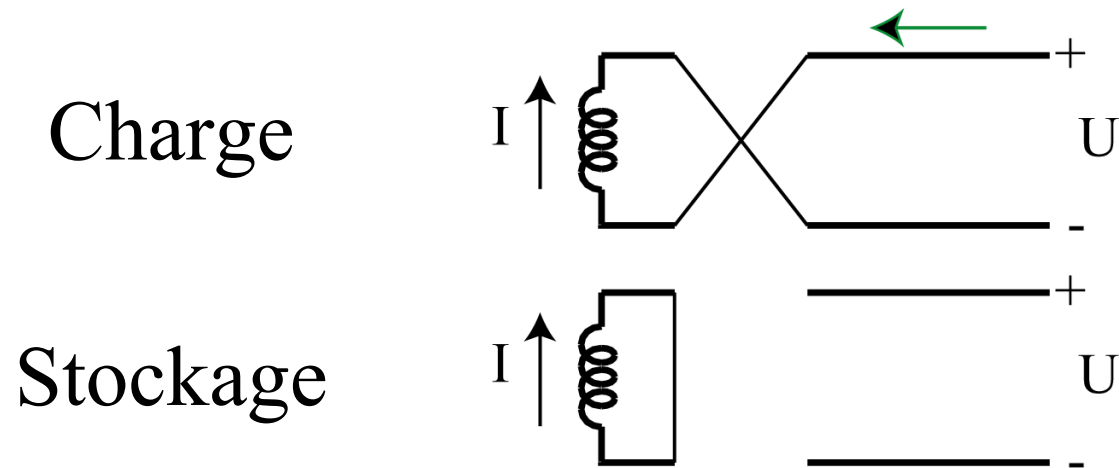
Superconducting Magnetic Energy Storage (SMES)

Charge



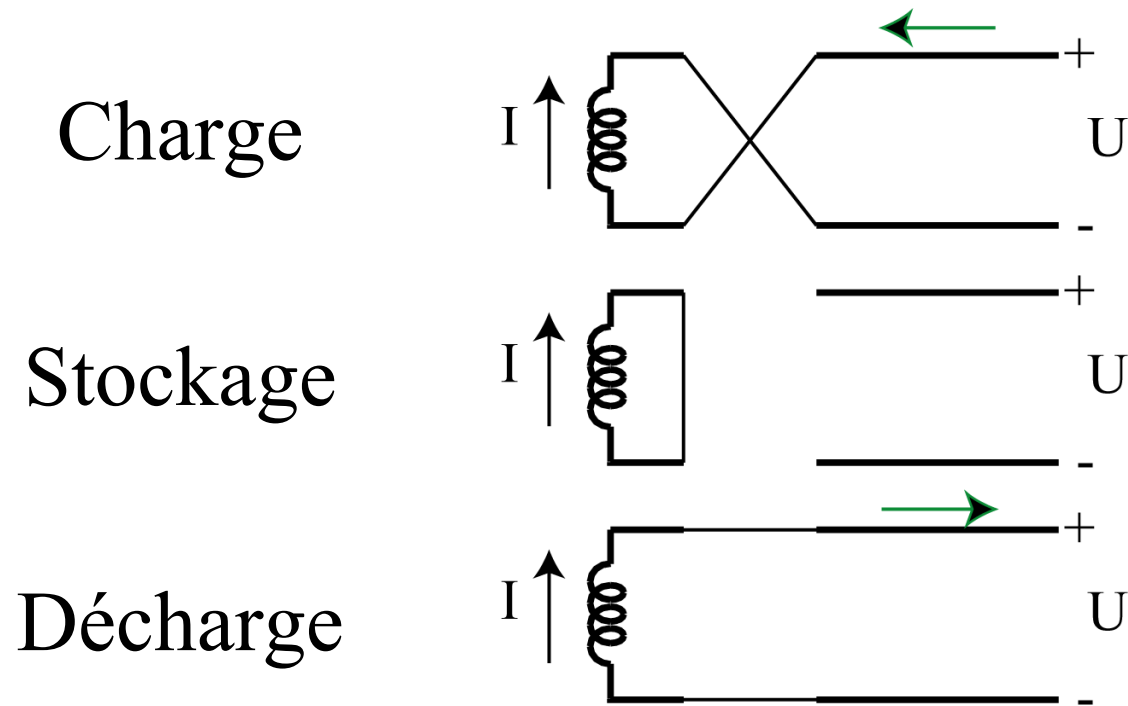
$$E = \frac{1}{2} L I^2 = \int \left(\frac{B^2}{2} \right) dV$$

Superconducting Magnetic Energy Storage (SMES)



$$E = \frac{1}{2} L I^2 = \int \left(\frac{B^2}{2} \right) dV$$

Superconducting Magnetic Energy Storage (SMES)

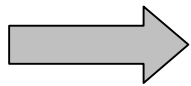


$$E = \frac{1}{2} L I^2 = \int \left(\frac{B^2}{2} \right) dV$$

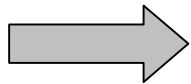
Avantages du stockage magnétique

- charge et décharge très rapides
- longue durée de vie
- pas d'électrolyte liquide corrosif
- état de charge vérifiable très facilement
(via le courant dans la bobine)

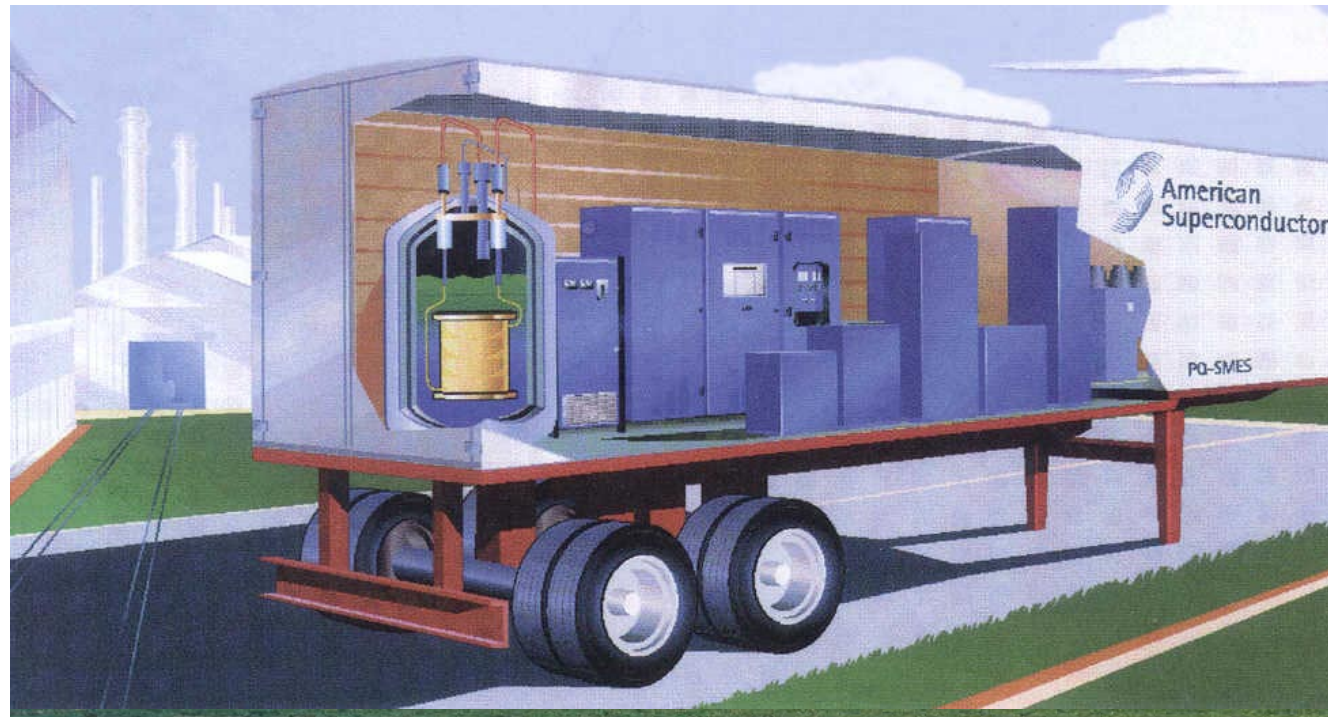
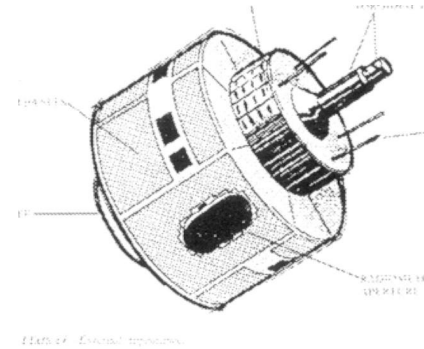
Applications ?



spatiales



terrestres



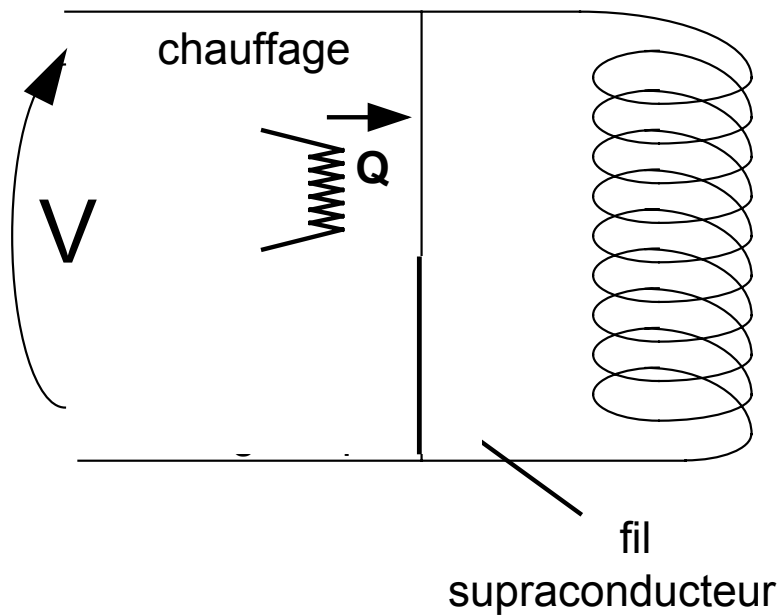
Supraconducteurs

- ☑ LTS : basse température critique
 - *Hélium liquide* (4 K)
 - *Cryogénie complexe et coûteuse*

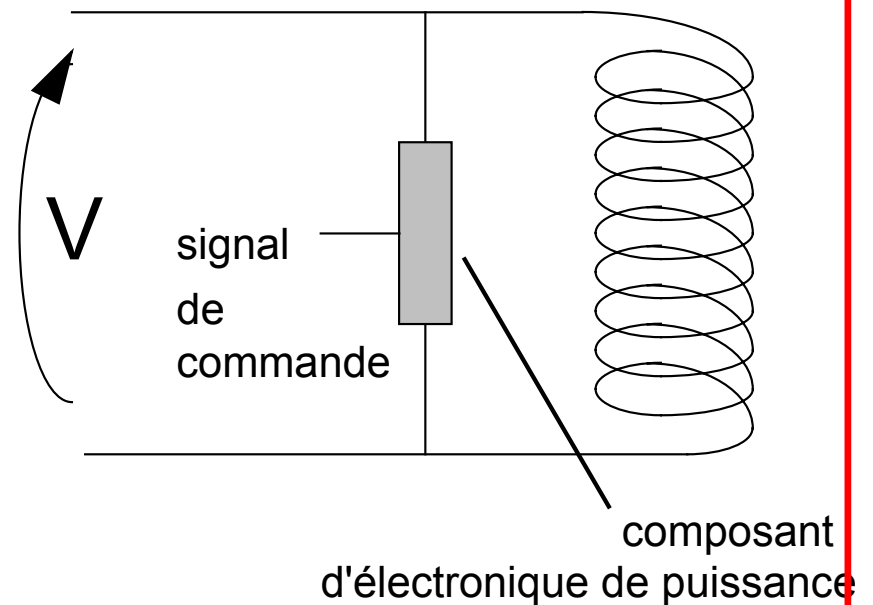
- ☑ HTS : « haute » température critique
 - *Cryogénérateurs* (20 - 40 K)
 - *Azote liquide* (77 K)

Principes de base pour le transfert de puissance

Interrupteur supraconducteur



Interrupteur électronique



Donc ...

- Utilisation de supraconducteurs
« haute température »
- Utilisation d'un cryogénérateur
(pas de remplissage de fluide cryogénique)
- Utilisation d'interrupteurs électroniques
pour l'injection et le retrait de puissance

Plan de l'exposé

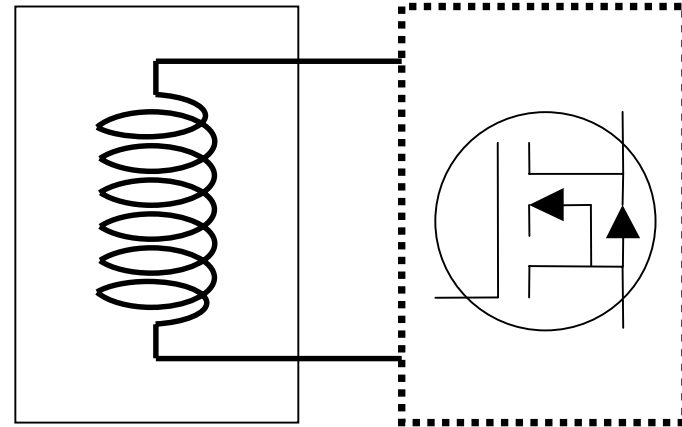
- Position du problème
- Conception et réalisation du système

Bobine
supraconductrice

Enceinte cryogénique

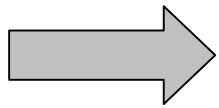
Amenées de courant

Électronique injection / retrait de puissance



Plan de l'exposé

- Position du problème
- Conception et réalisation du système

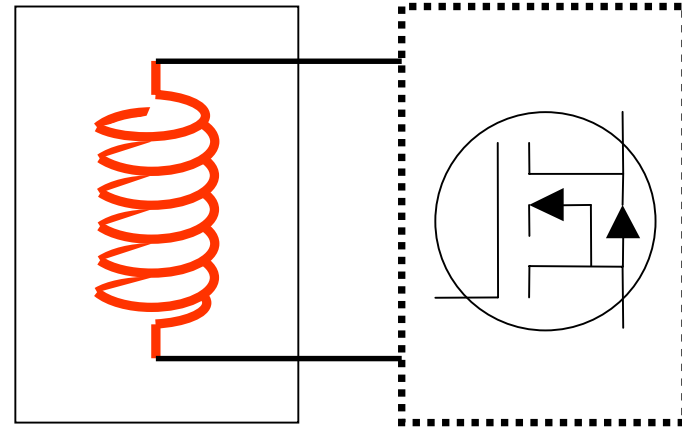


Bobine
supraconductrice

Enceinte cryogénique

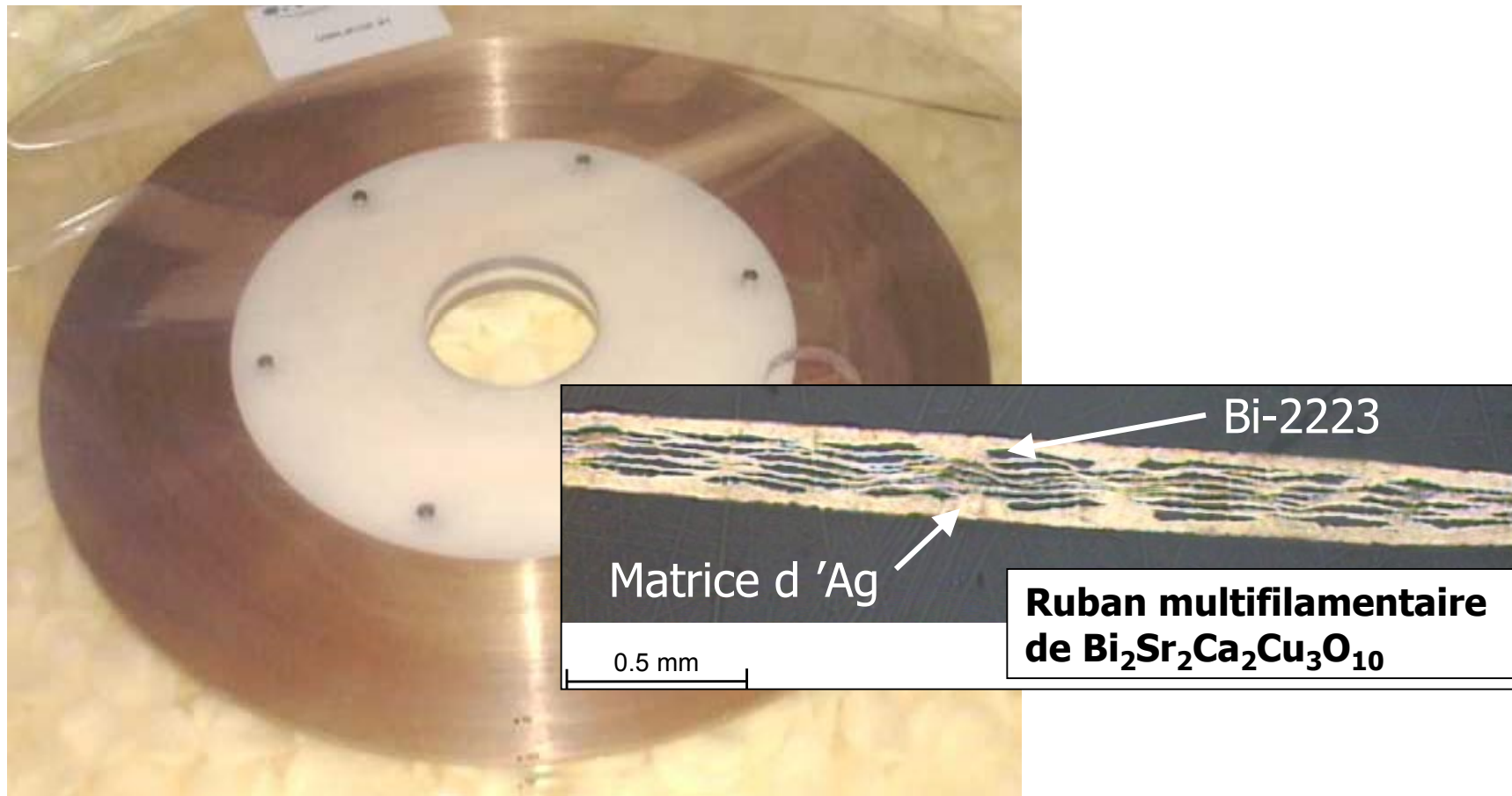
Amenées de courant

Électronique injection / retrait de puissance

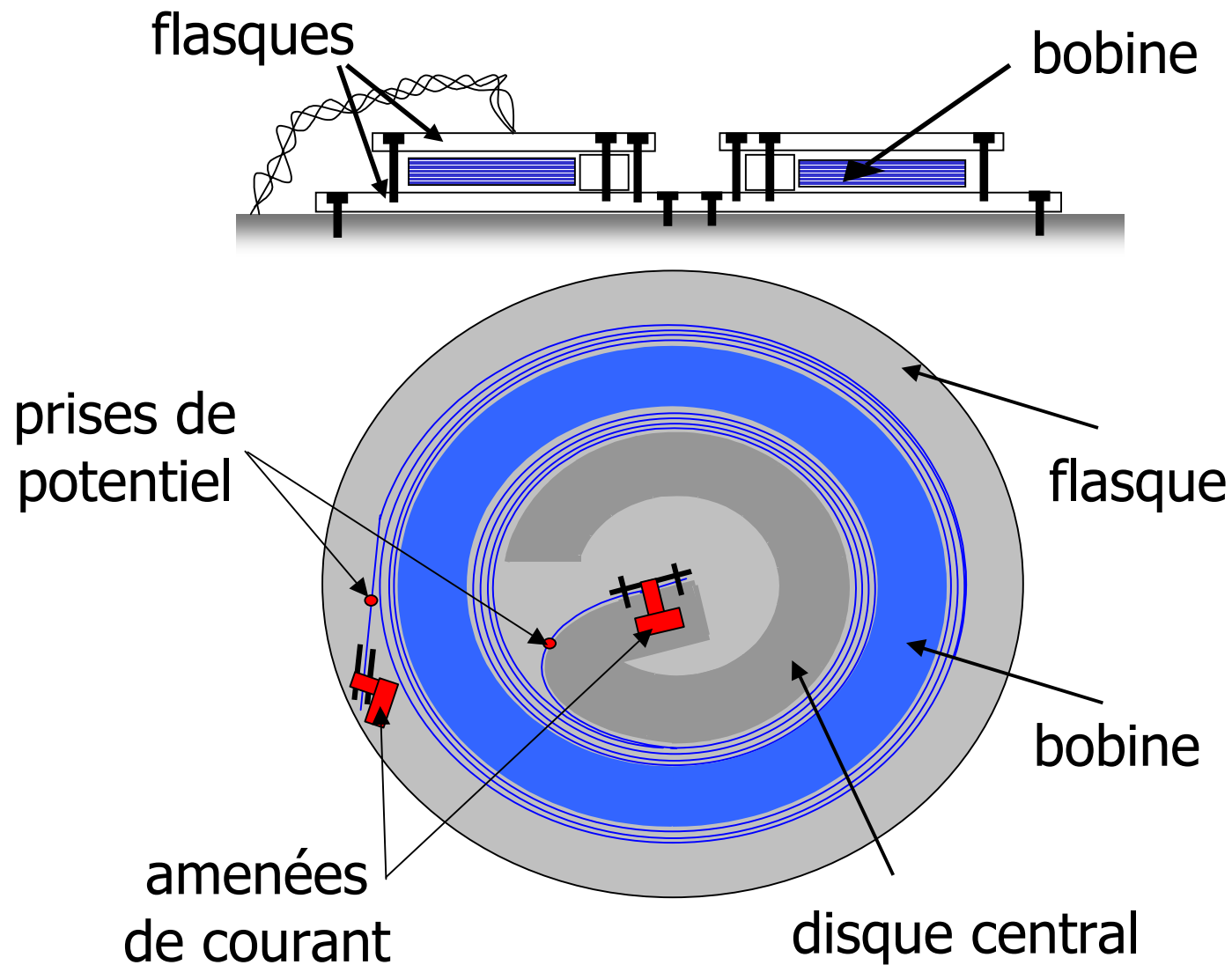


Bobine supraconductrice

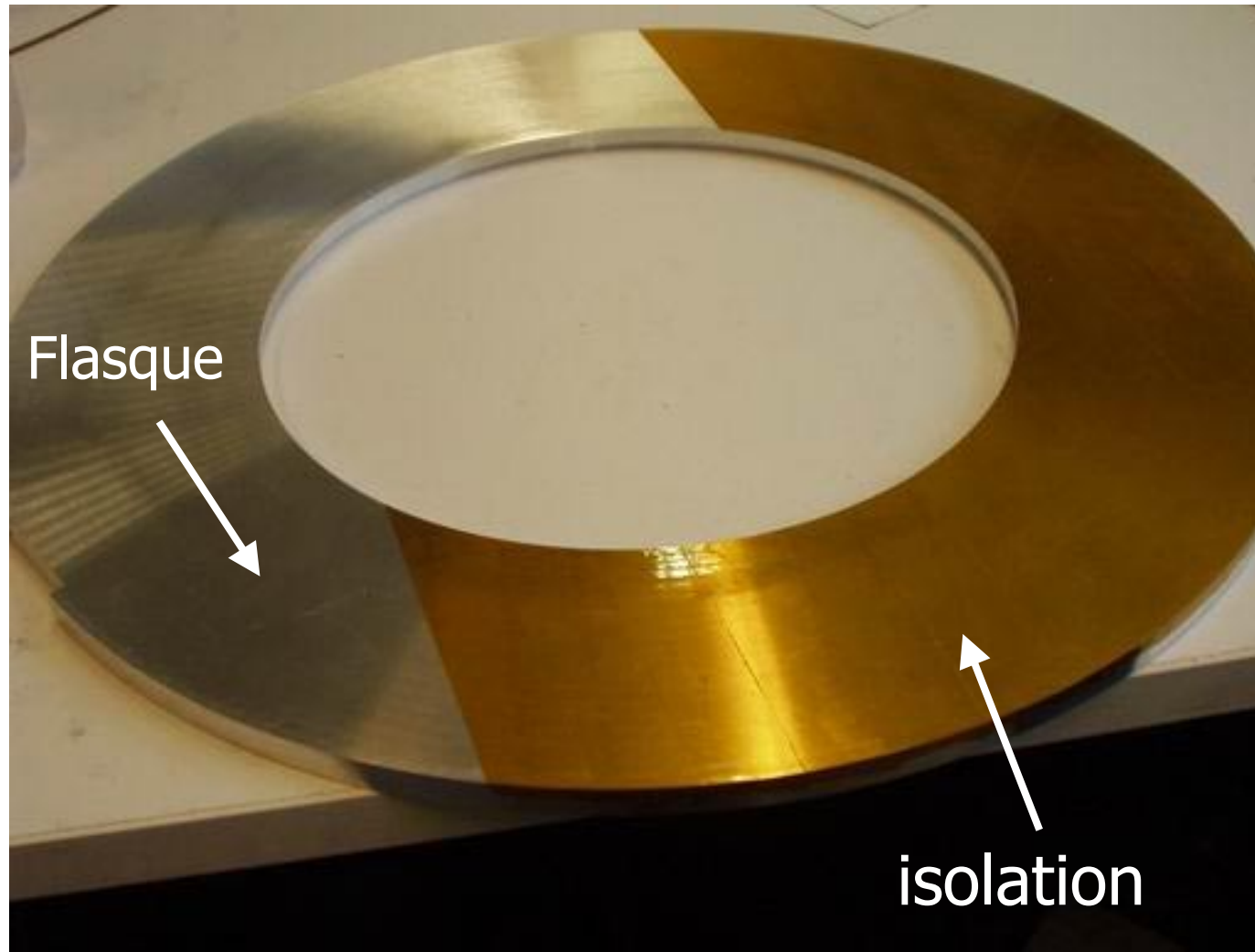
Supraconducteur à haute T_c (BSCCO)



Support de la bobine

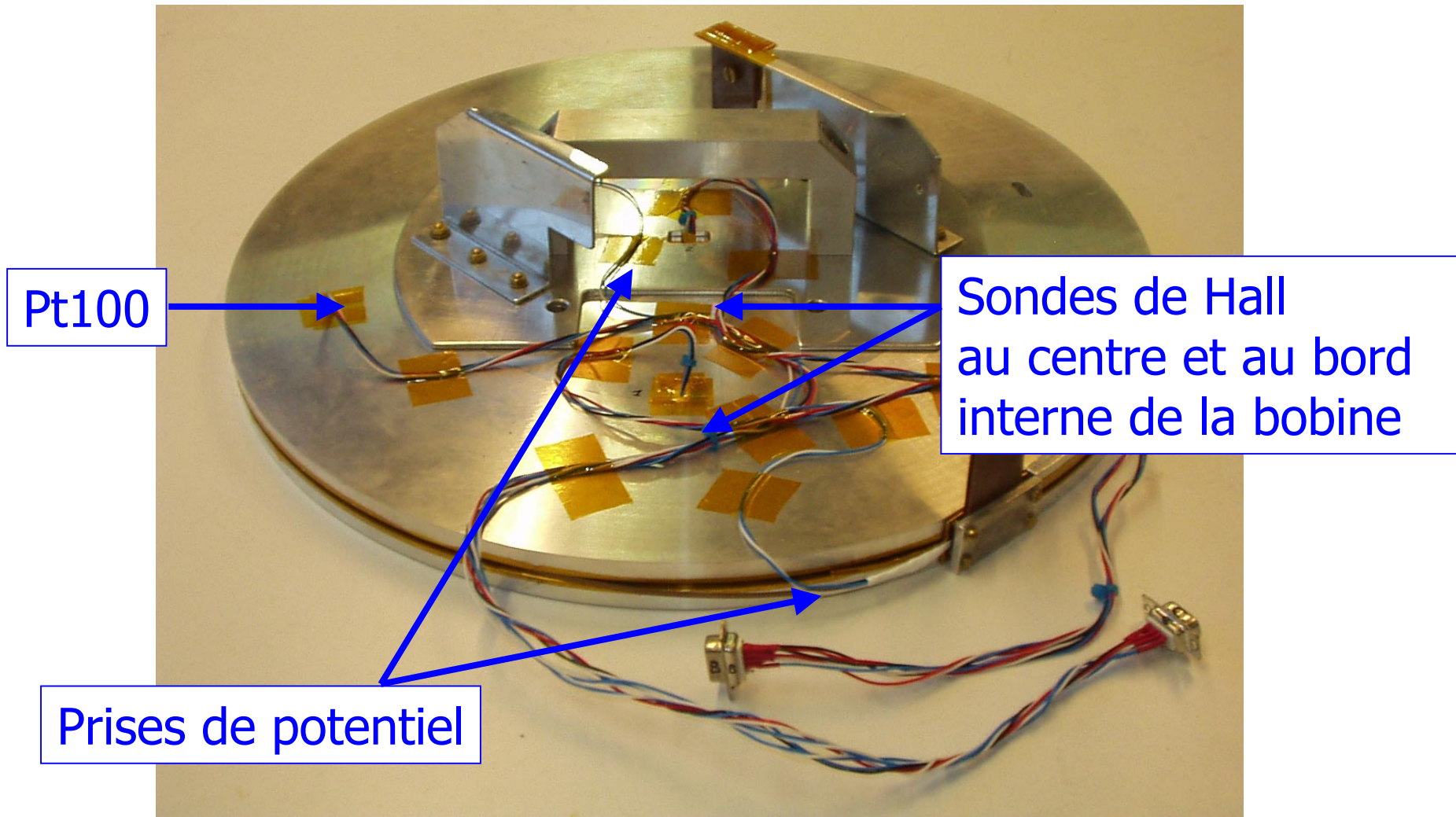


Support de la bobine

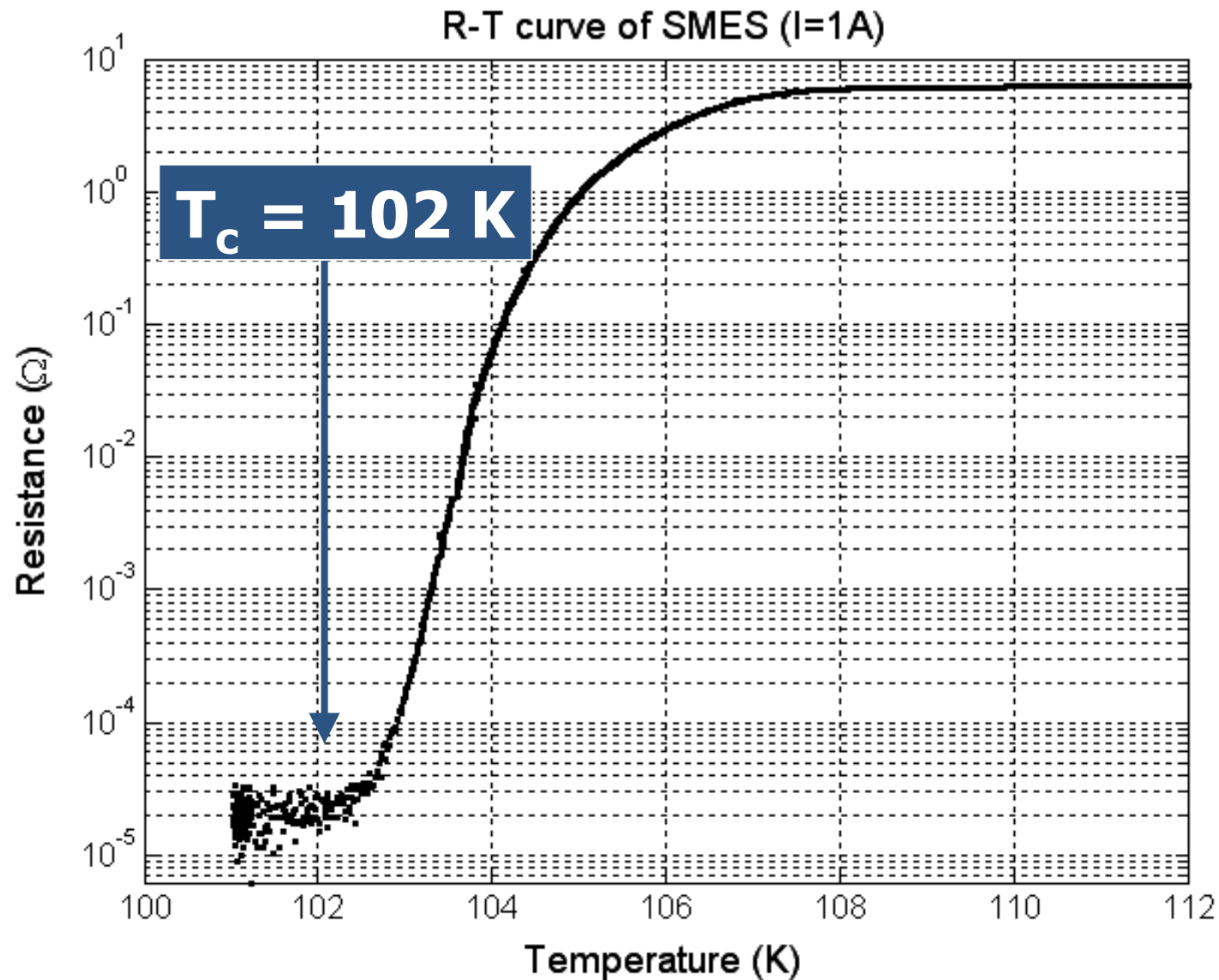


Support de la bobine

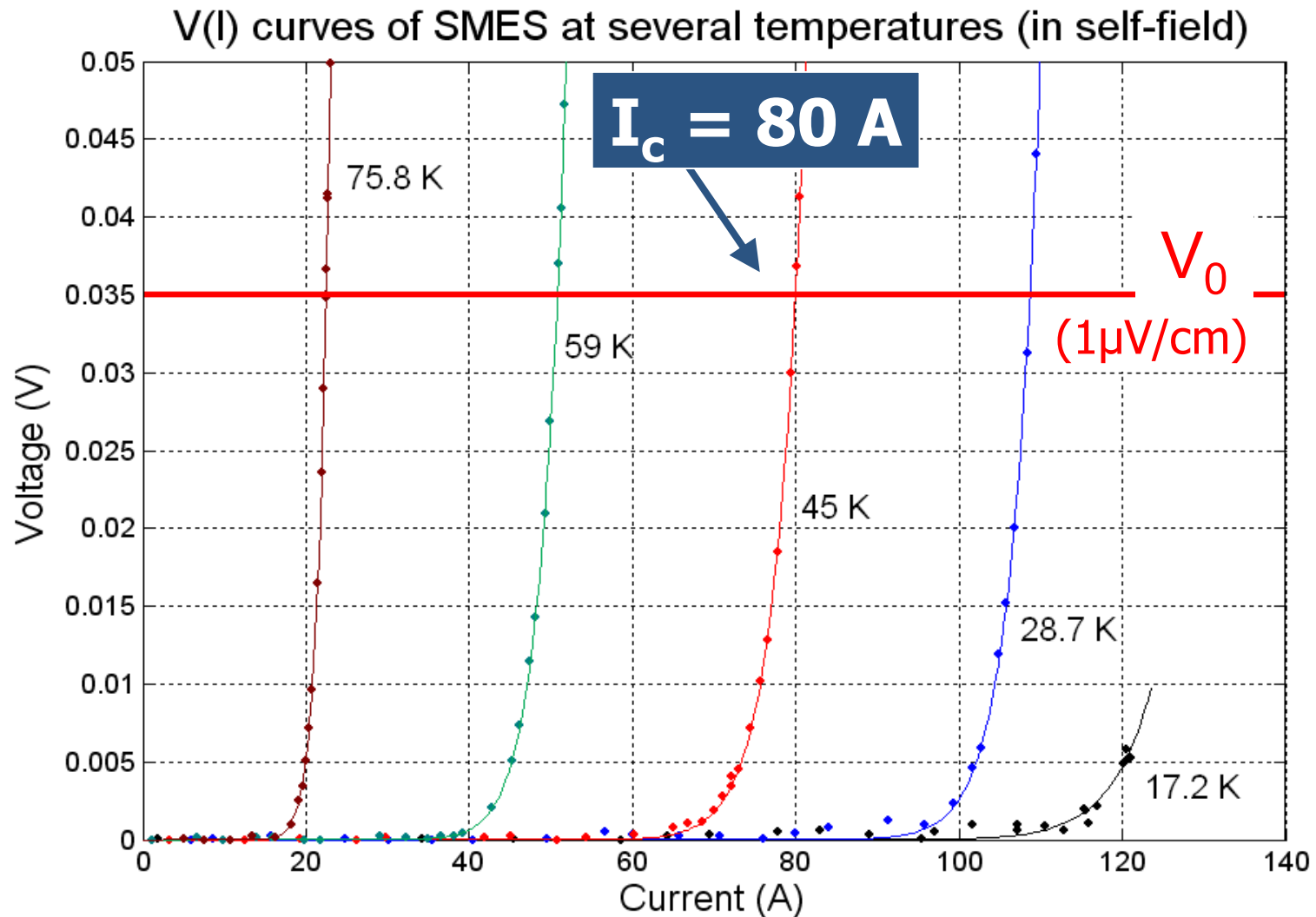
Mise en place des capteurs



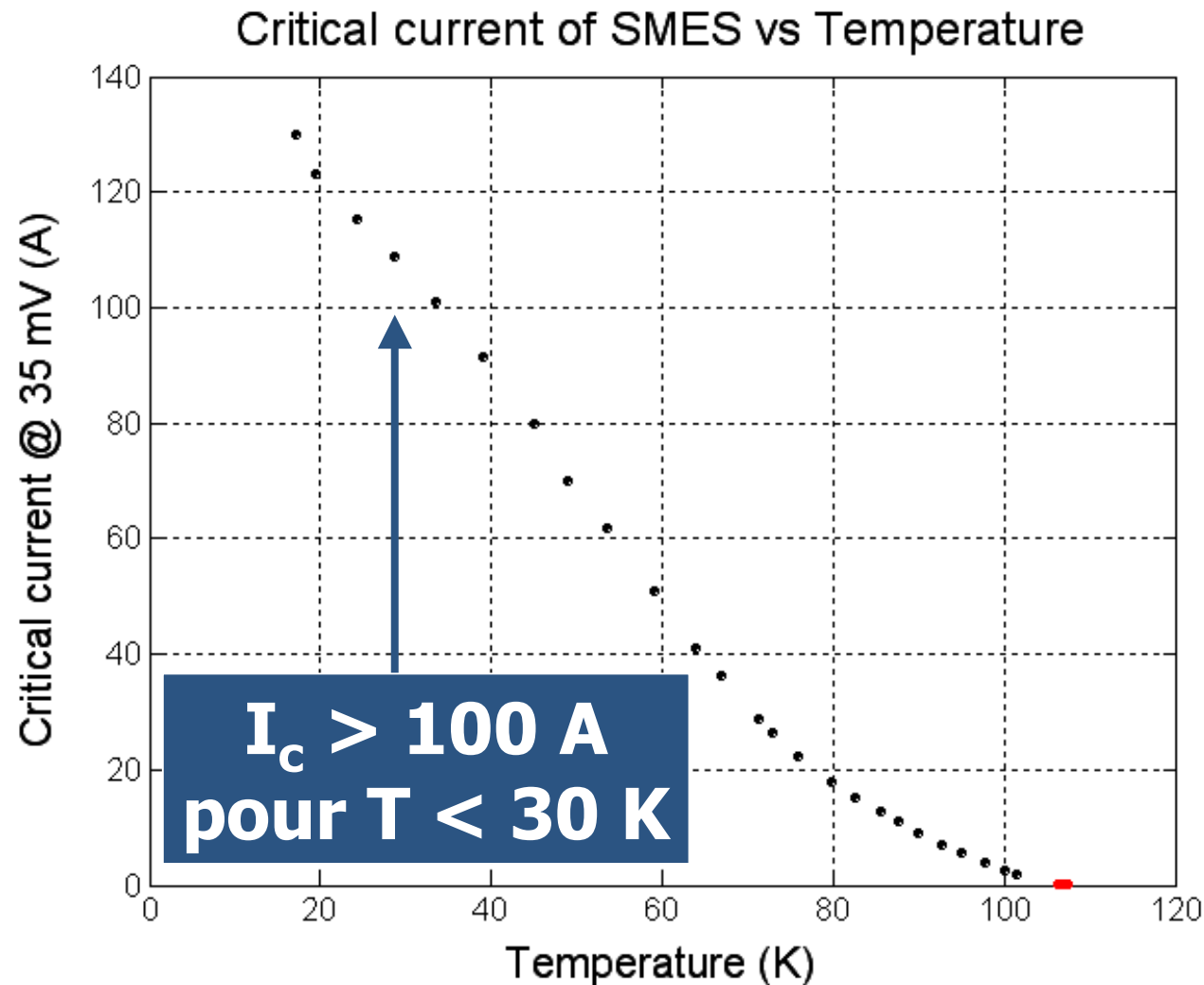
Caractérisation de la bobine (1/3)



Caractérisation de la bobine (2/3)

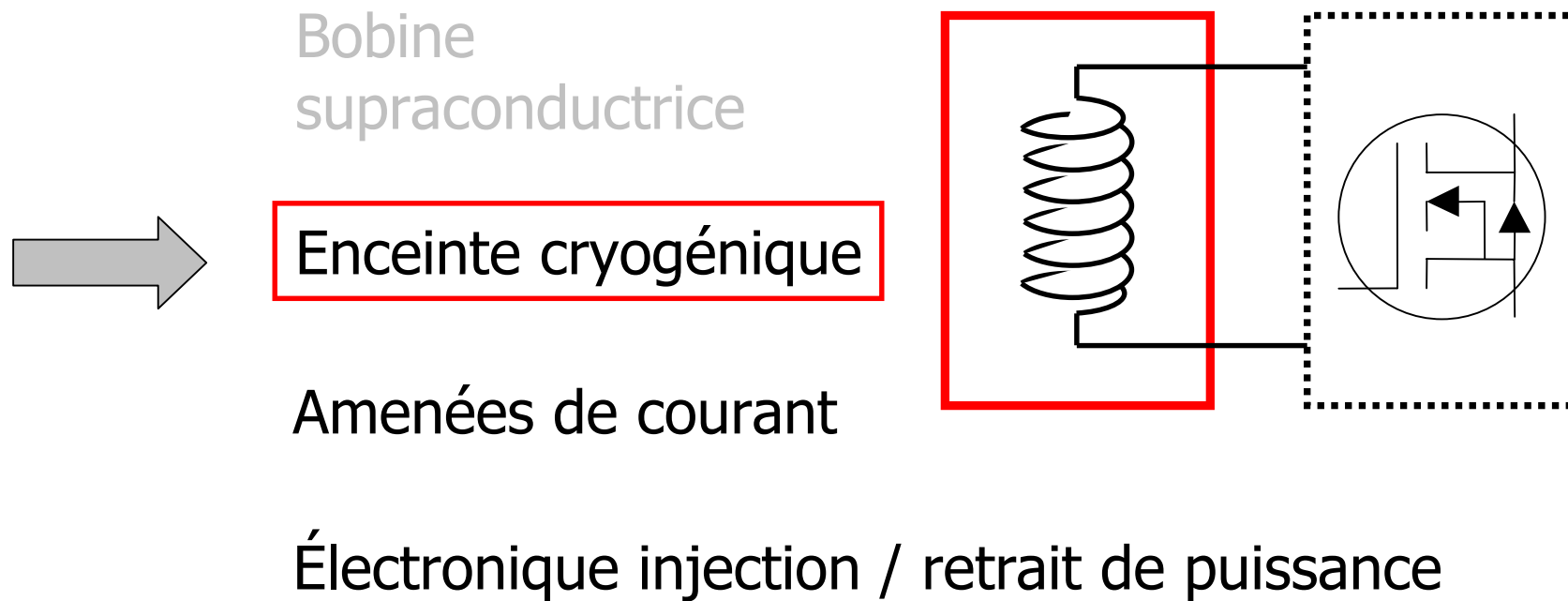


Caractérisation de la bobine (3/3)

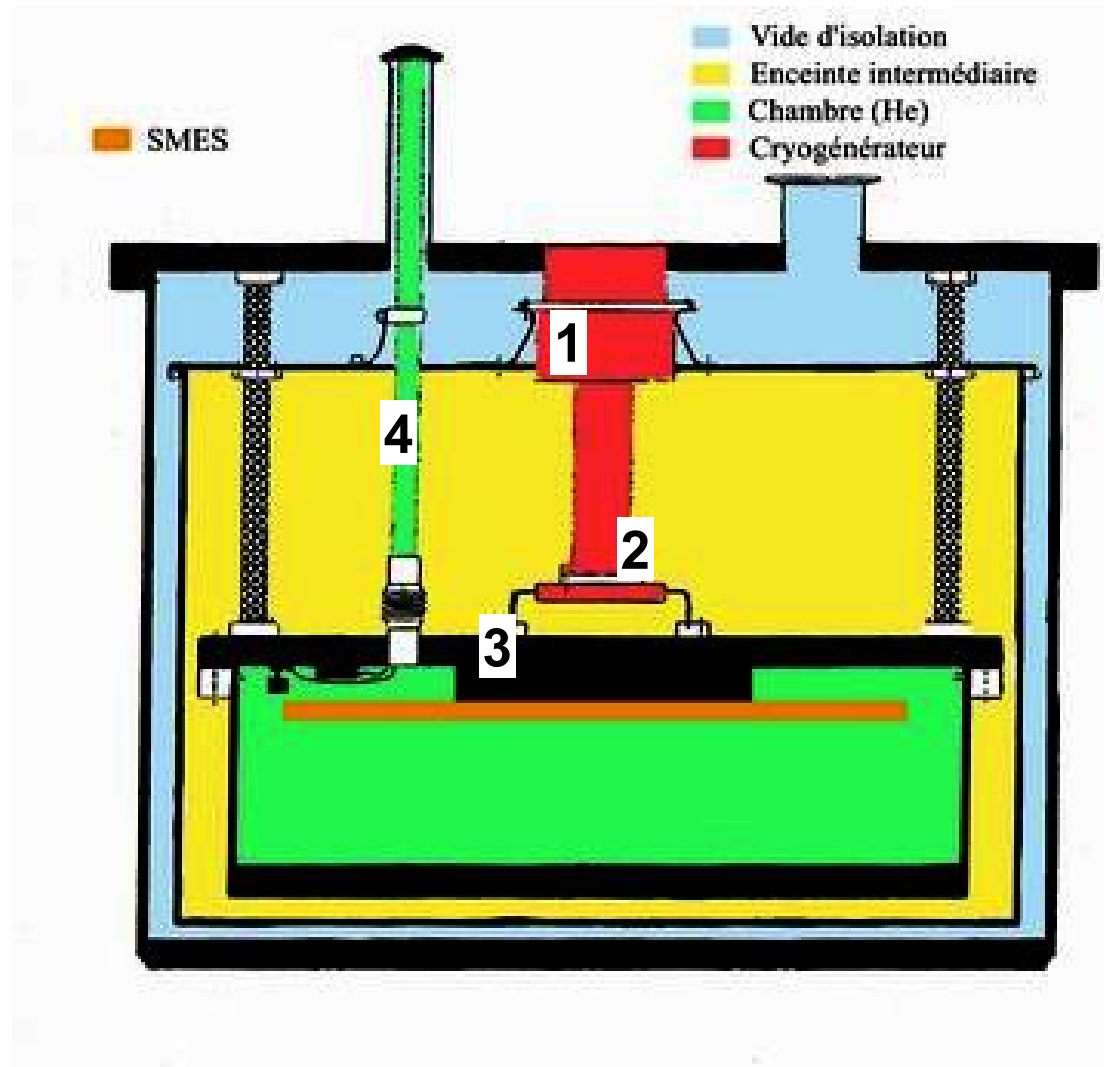


Plan de l'exposé

- Position du problème
- Conception et réalisation du système

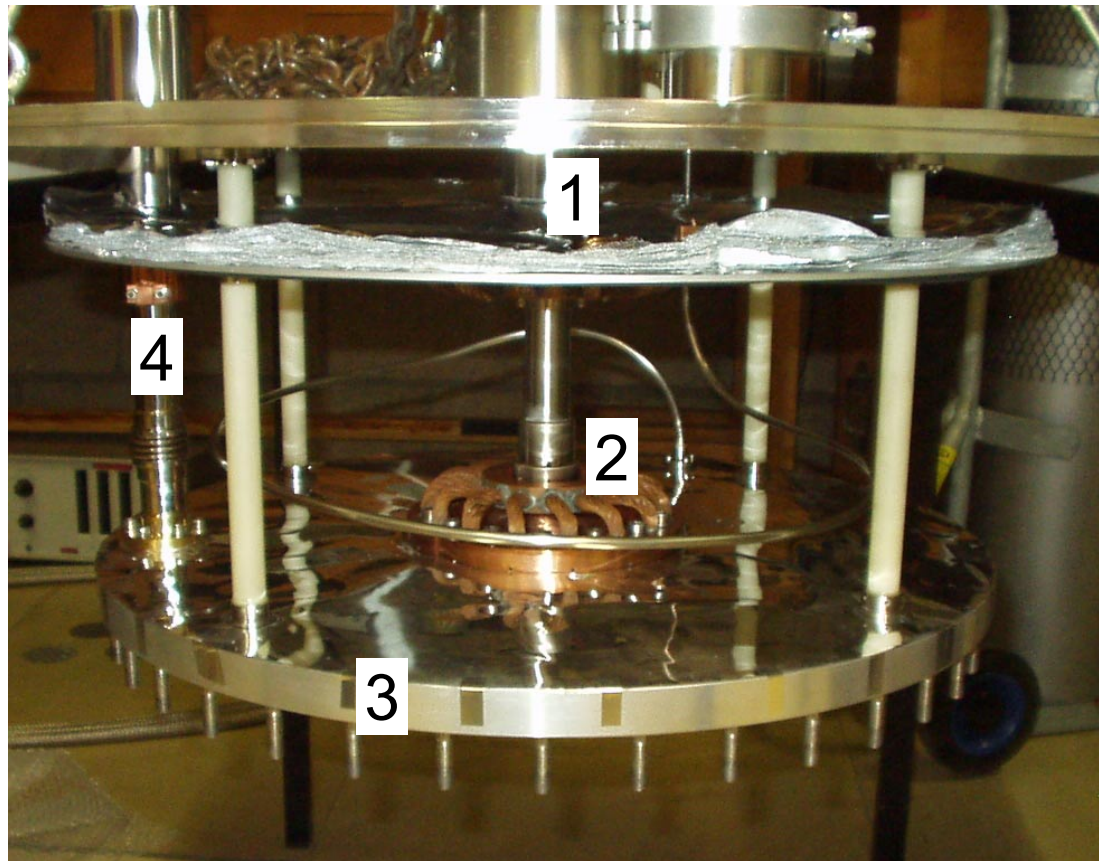


Enceinte cryogénique



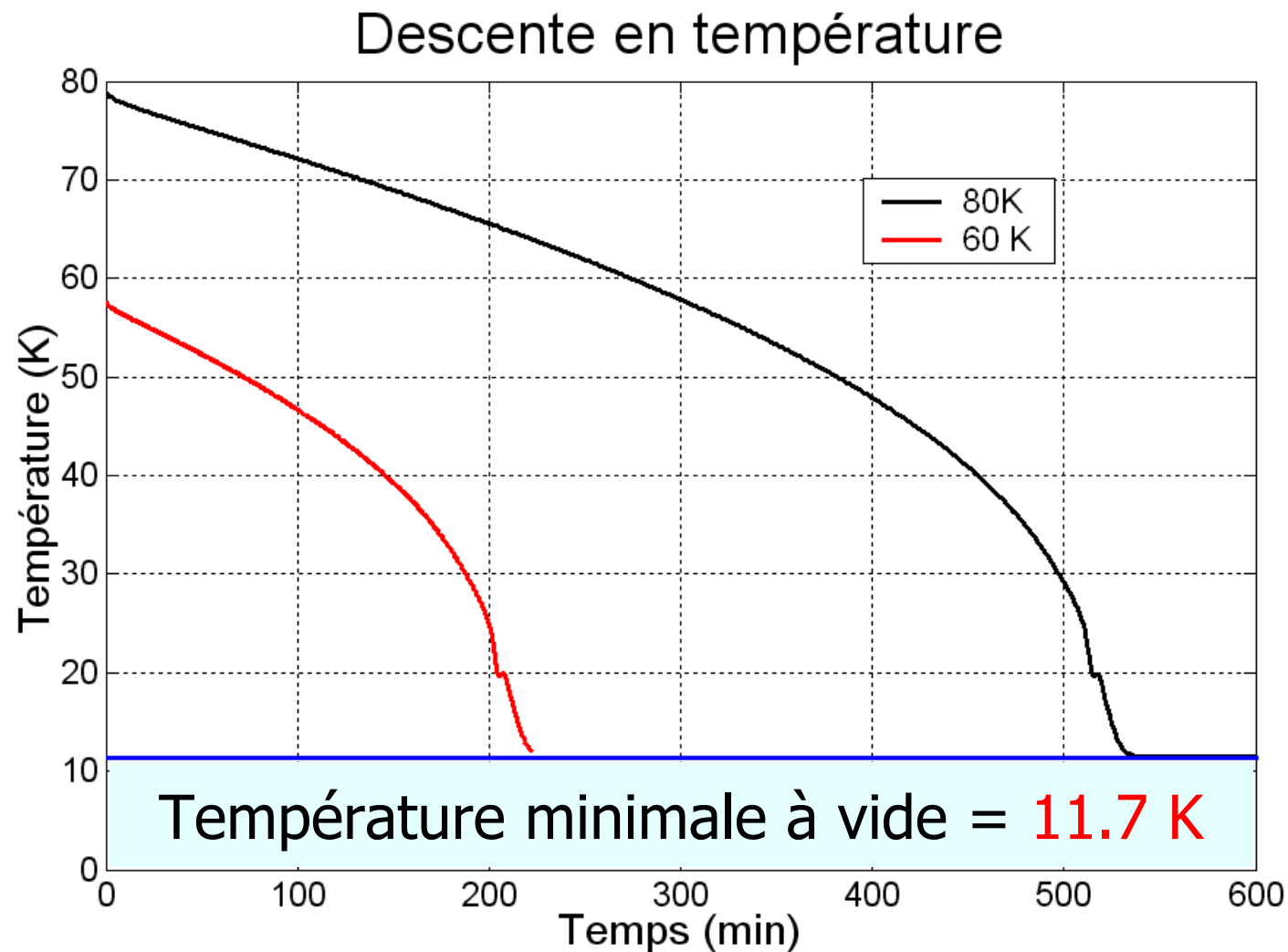
- 1) Premier étage de la tête froide
- 2) Deuxième étage de la tête froide
- 3) Plateau supérieur de la chambre expérimentale
- 4) Tube d'insertion des amenées de courant de la bobine

Enceinte cryogénique

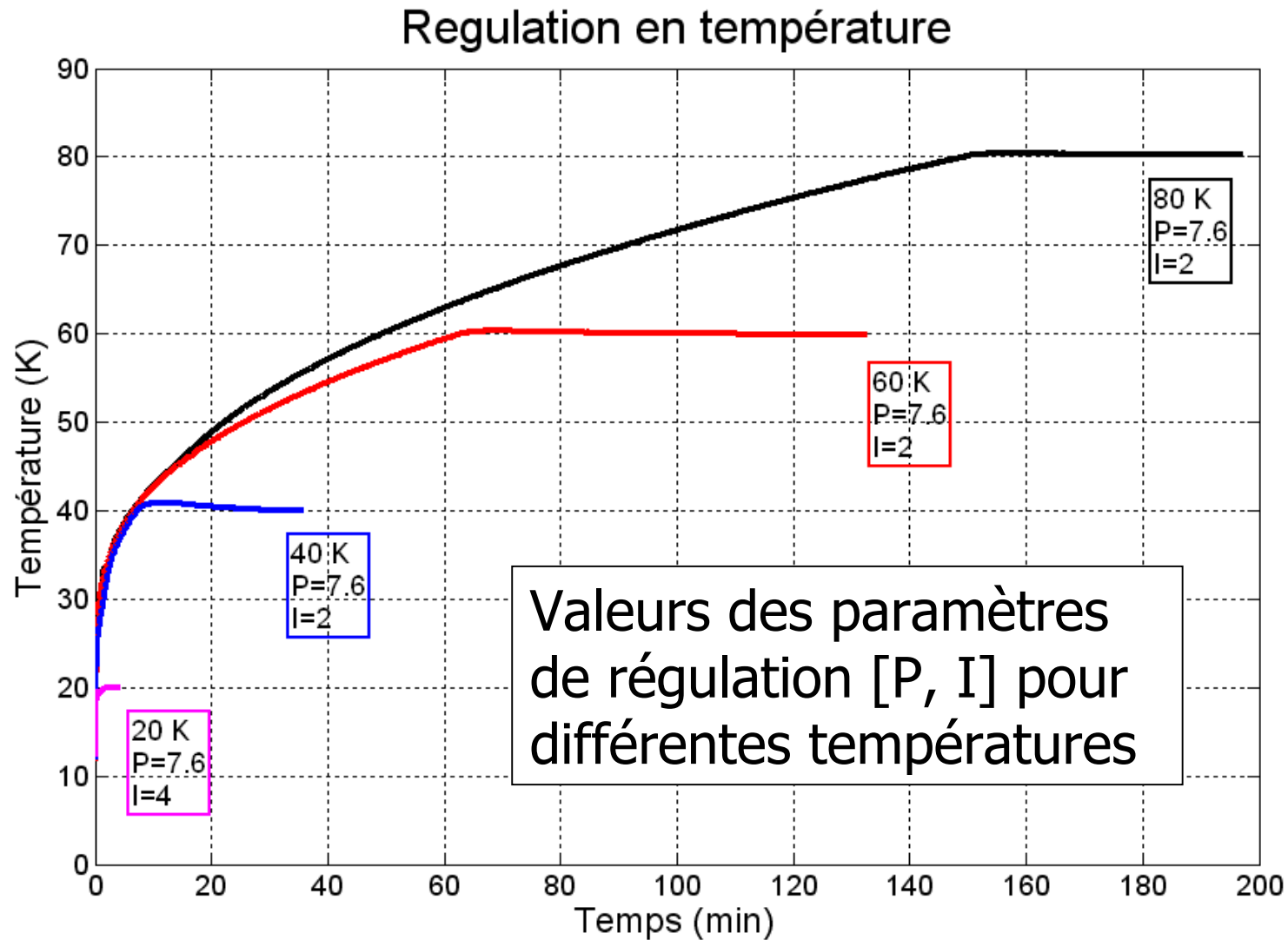


- 1) Premier étage de la tête froide**
- 2) Deuxième étage de la tête froide**
- 3) Plateau supérieur de la chambre expérimentale**
- 4) Tube d'insertion des amenées de courant de la bobine**

Régulation du cryostat à vide



Régulation du cryostat à vide



Mise en place de la bobine dans le cryostat



Plan de l'exposé

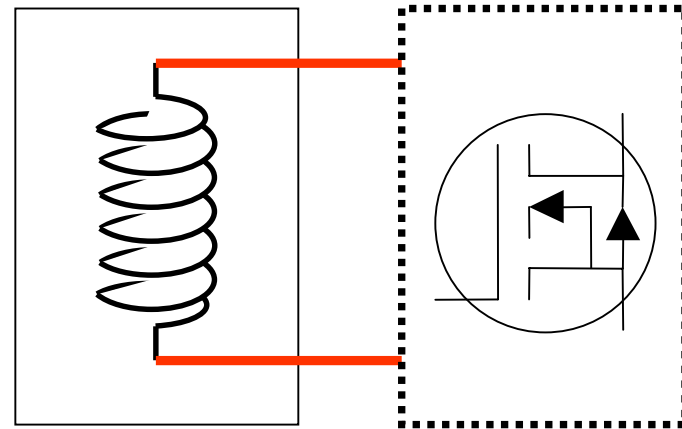
- Position du problème
- Conception et réalisation du système

Bobine
supraconductrice

Enceinte cryogénique

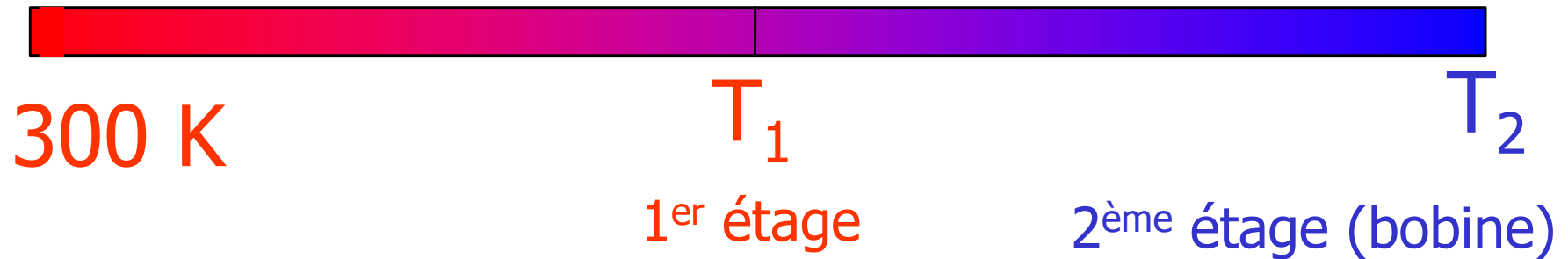


Amenées de courant



Électronique injection / retrait de puissance

Amenées de courant

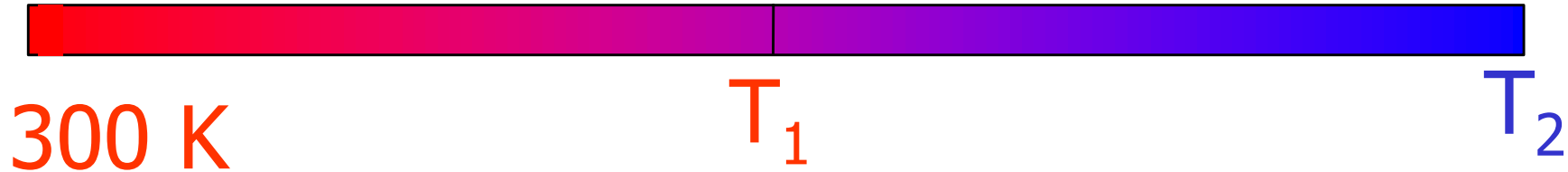


Si section des amenées de courant ↑ ...

... alors ...

effet Joule ↓
MAIS
pertes par conduction ↑

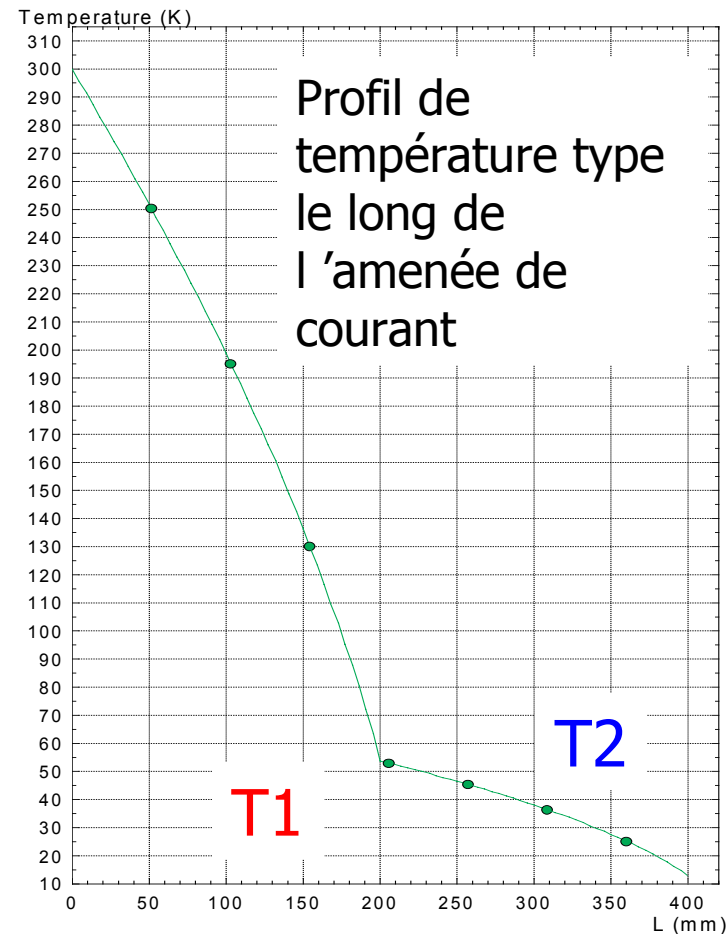
Amenées de courant



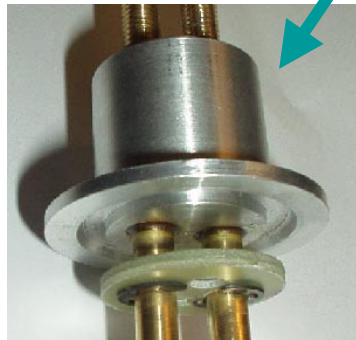
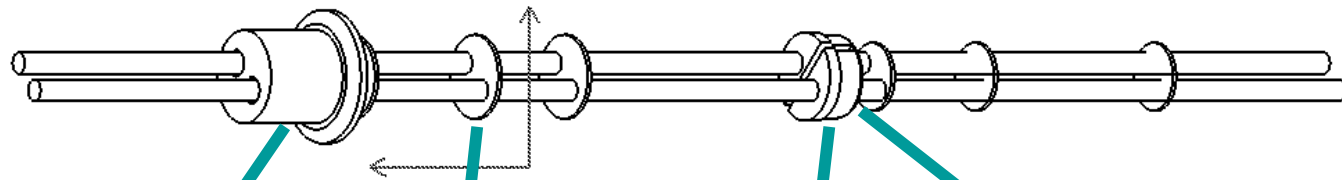
Compromis !
→ **simulations numériques**

D1 = 8 mm, D2 = 8 mm

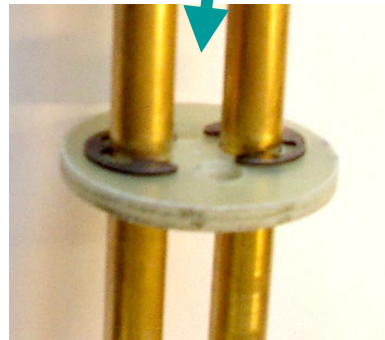
I (A)	- Q1 (W)	- Q2 (W)	T1 (K)	T2 (K)
0	4.70	0.645	72	15
10	4.72	0.655	72	15
20	4.77	0.675	72	15
50	5.20	0.810	74	17.5
75	5.50	1.175	77	18
100	6.30	1.530	82	19
120	7.00	1.950	87	22



Réalisation des amenées de courant



**Passage étanche
(epoxy + loctite)**



**Ecran thermique
- Espaceurs**

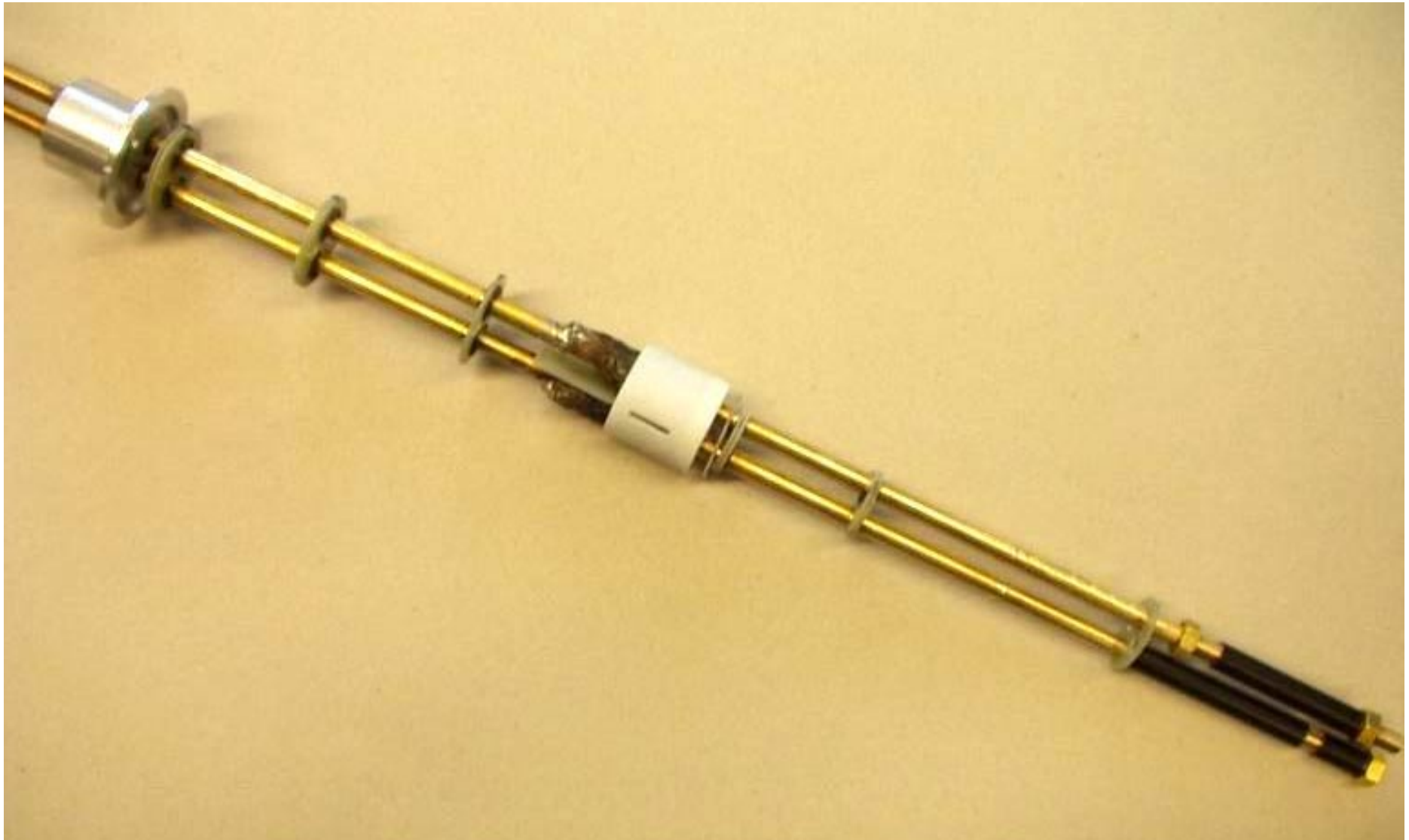


**Bloc de cuivre
pour ancrage
thermique**

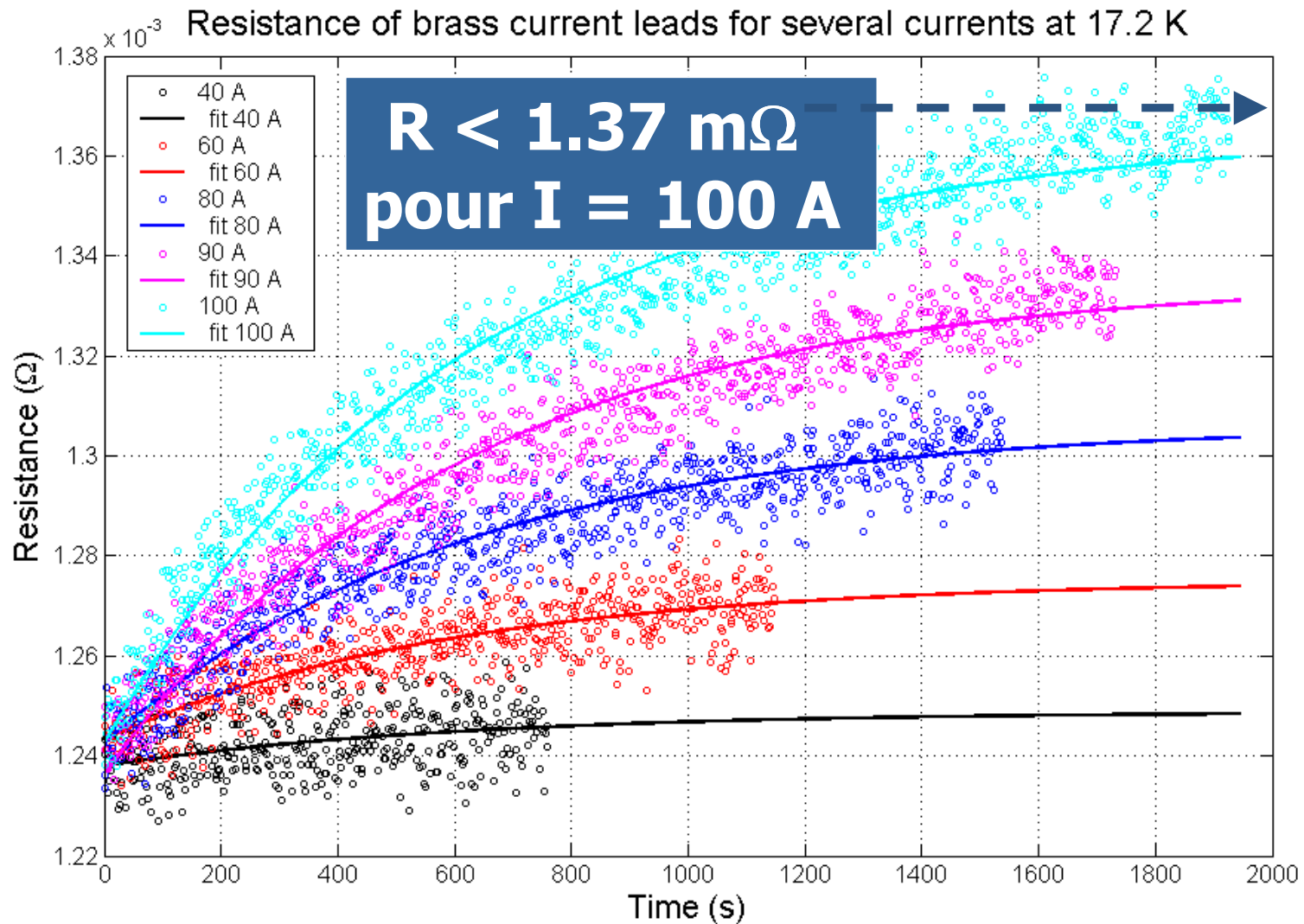


**Disque en saphir
 $\rho \nearrow$ et $\kappa \nearrow$**

Réalisation des amenées de courant



Echauffement au cours du temps



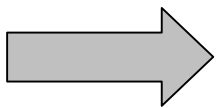
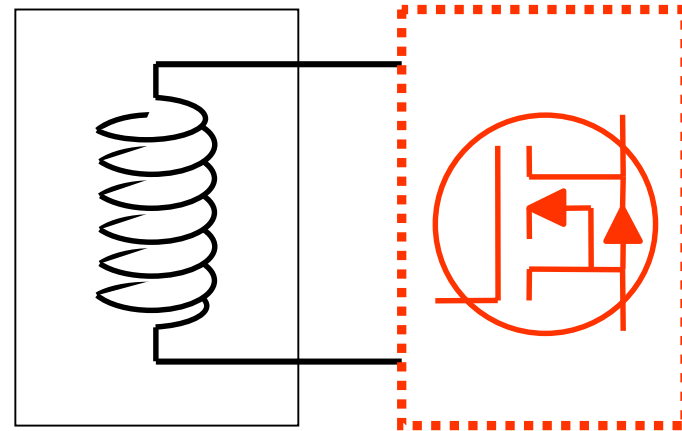
Plan de l'exposé

- Position du problème
- Conception et réalisation du système

Bobine
supraconductrice

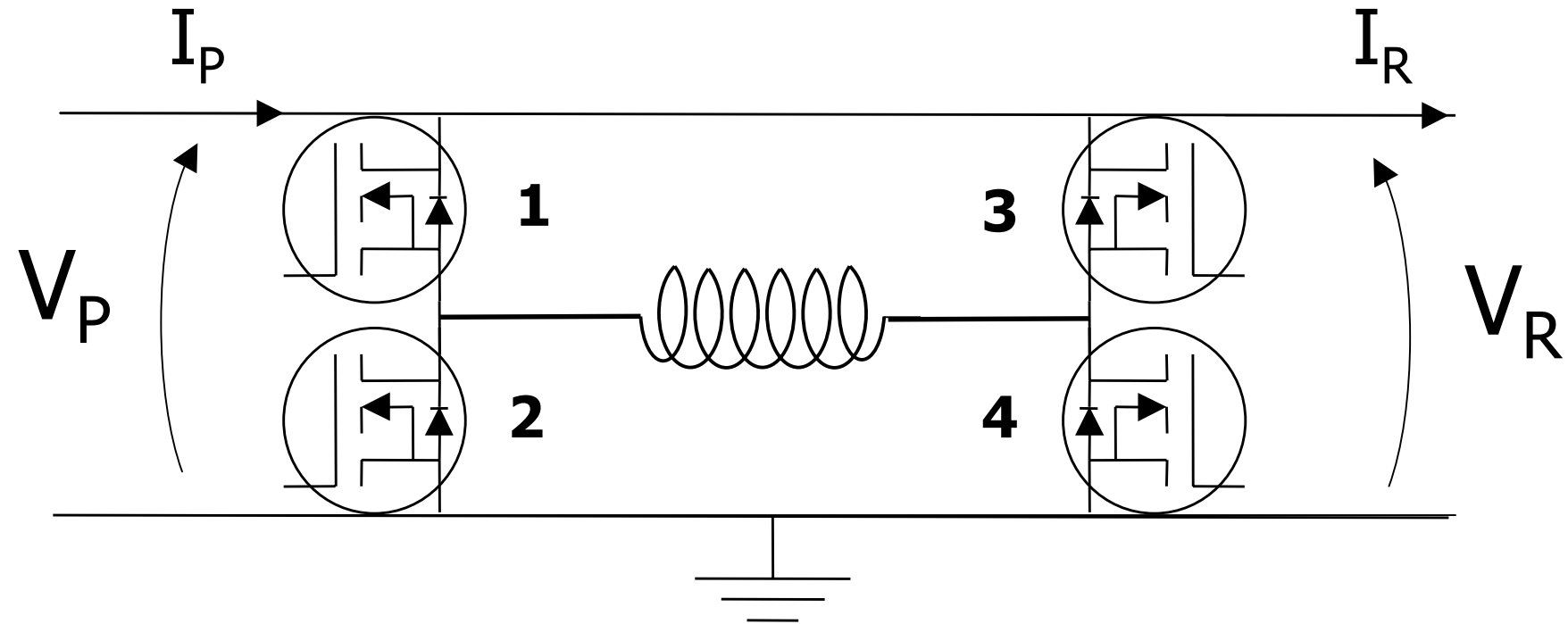
Enceinte cryogénique

Amenées de courant



Électronique injection / retrait de puissance

Configuration « pont complet »

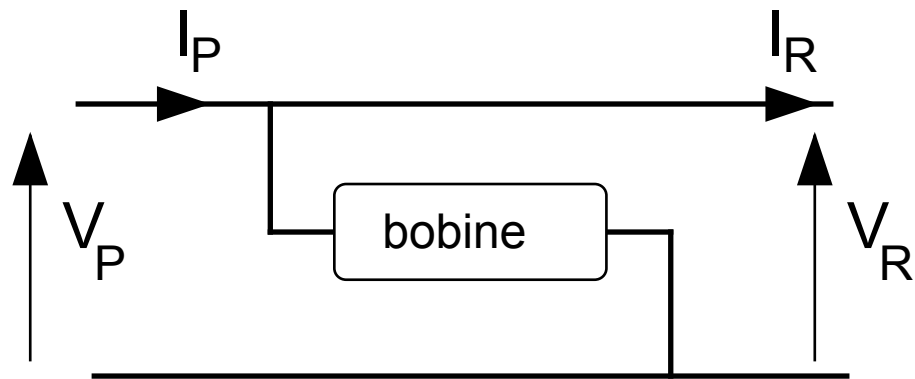


« **SP** »
(Solar Panels)

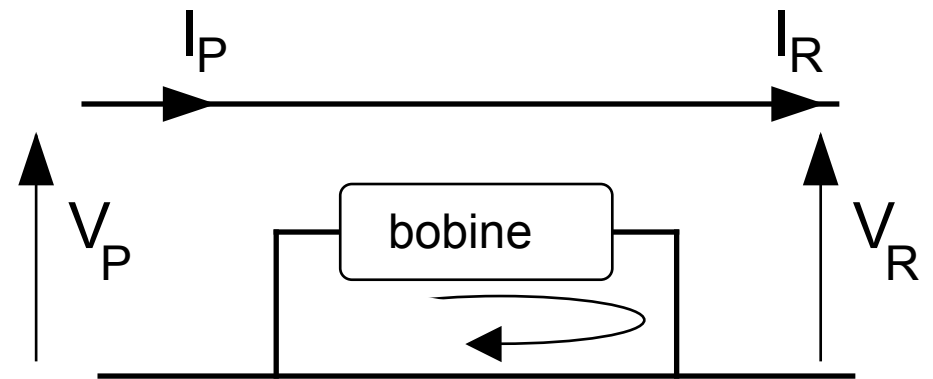
Appl. spatiales

« **BUS** »
(Users)

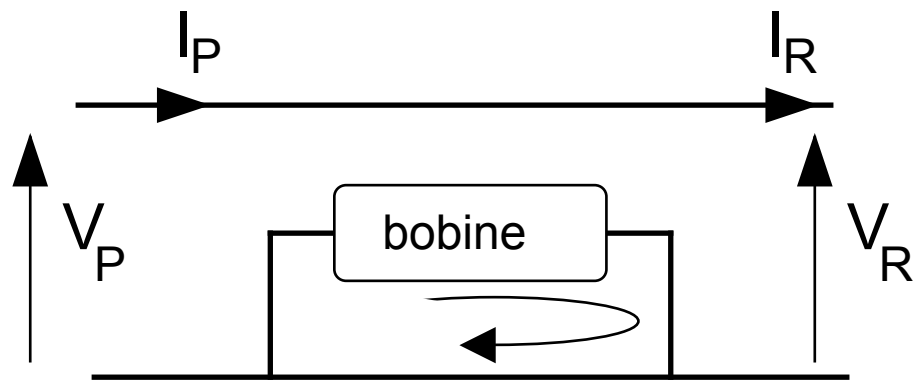
Modes de fonctionnement du pont



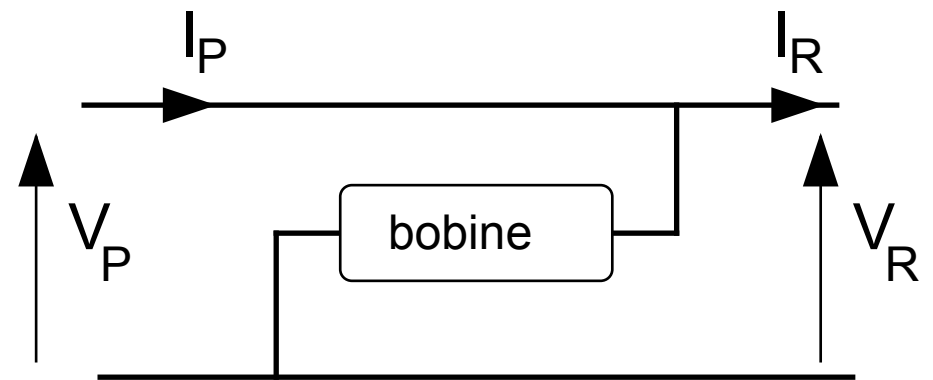
Etat de charge



Etat persistant

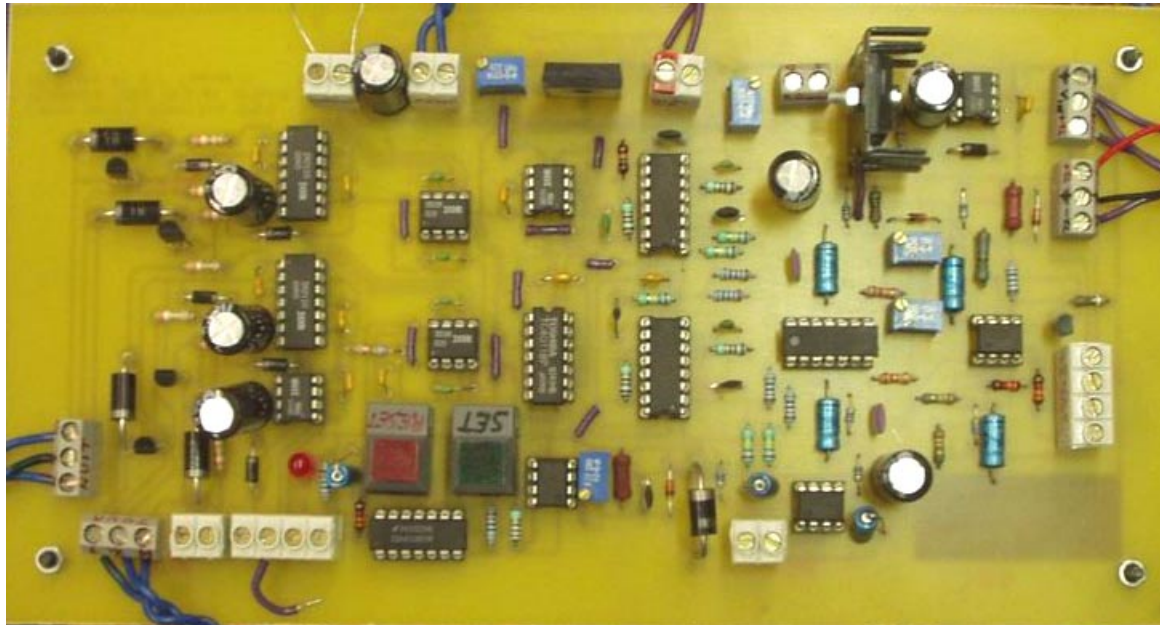


Etat persistant

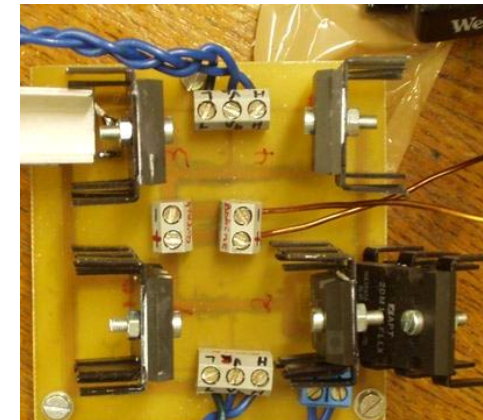


Etat de décharge

Configuration « pont complet »

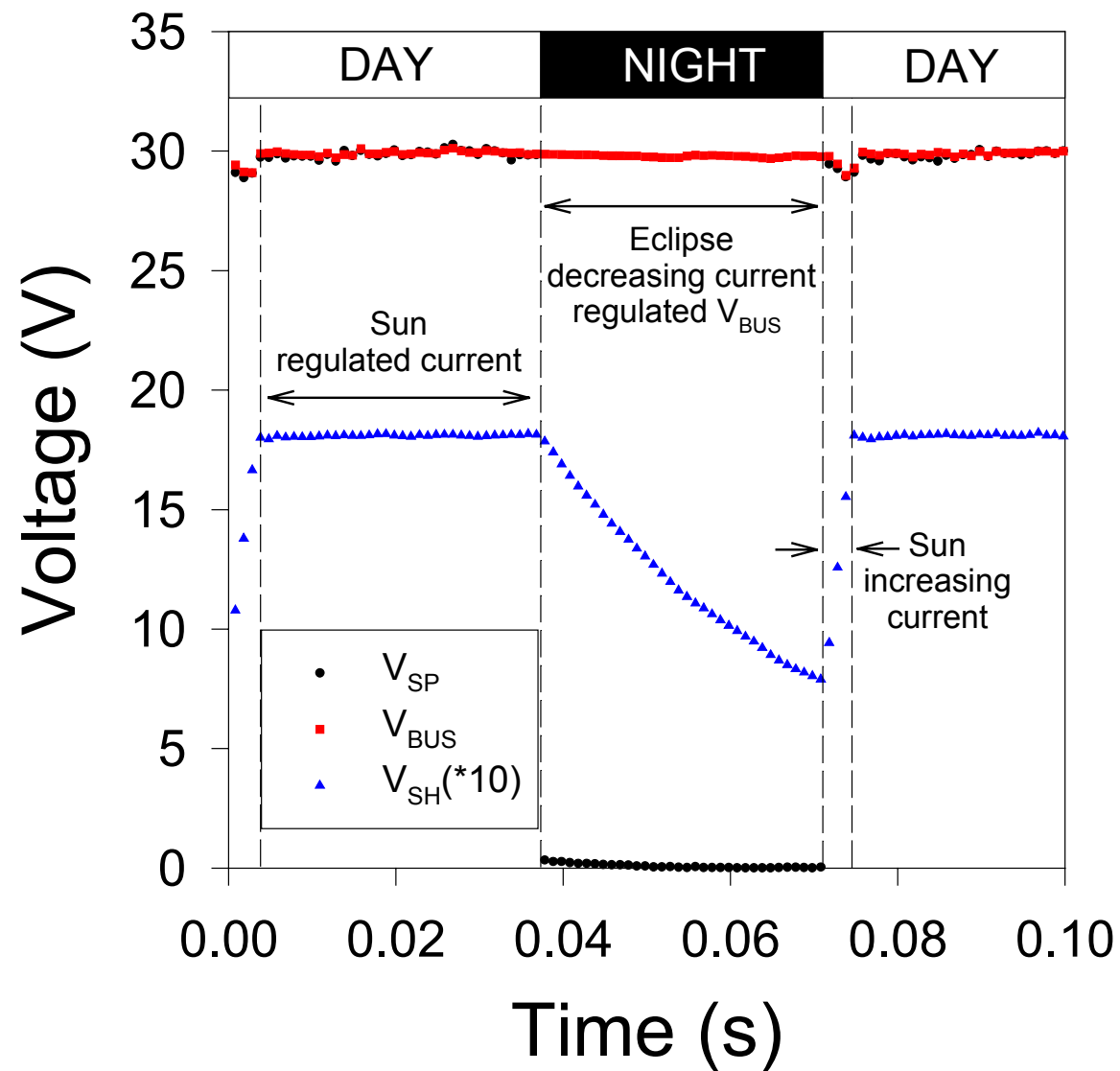


Carte de contrôle de
l'injection/retrait de
puissance

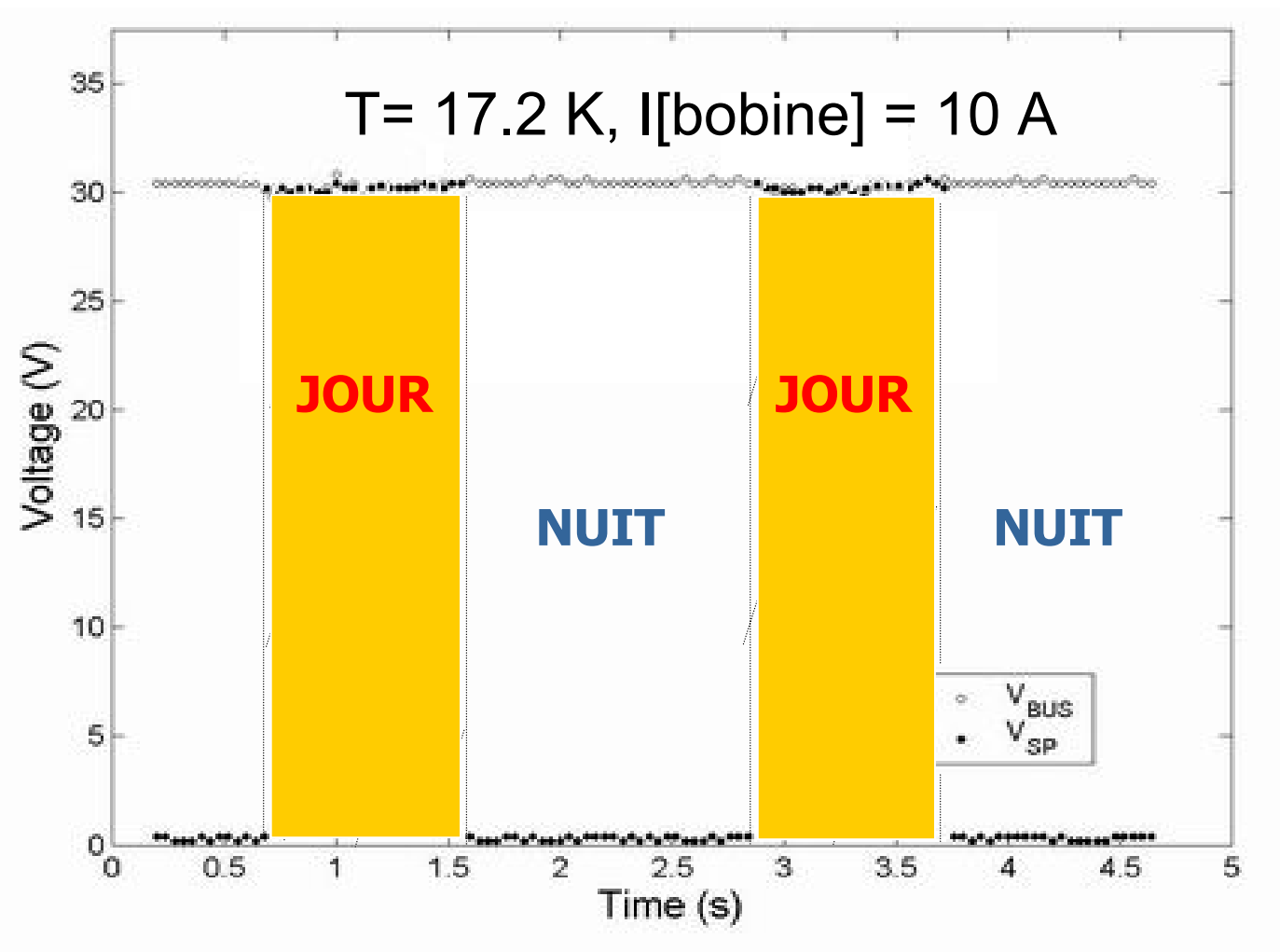


Pont de
transistors

Tests à $T = 77\text{ K}$



Tests à $T = 17\text{ K}$



Plan de l'exposé

- Position du problème
- Conception et réalisation du système
- **Conclusions**

Conclusions

- Réalisation d'une bobine supraconductrice « haute T_c » destinée au stockage d'énergie magnétique
- Réalisation du système cryogénique + amenées de courant
- Insertion dans circuit en pont à 80 kHz - stabilisation efficace de la tension 30 V (UPS).