



Le disjoncteur basse tension et l'arc électrique

J.M. BAUCHIRE, D. HONG, F. GENTILS, C. FIEVET**

Plan de l'exposé

- **Qu'est ce qu'un disjoncteur basse tension ?**
- **Quel est son fonctionnement ?**
- **Pourquoi des recherches sur ces disjoncteurs ?**
- **Quelles recherches ?**
- **Quel avenir ?**

Qu'est ce qu'un disjoncteur ?

☞ Le **disjoncteur** est un appareillage électrique destiné à assurer, en toute **sécurité**, la **coupure du courant** dans les cas :

- d'une **opération volontaire** sur commande
- d'une **protection automatique** dans le cas d'un court-circuit ou d'une surintensité

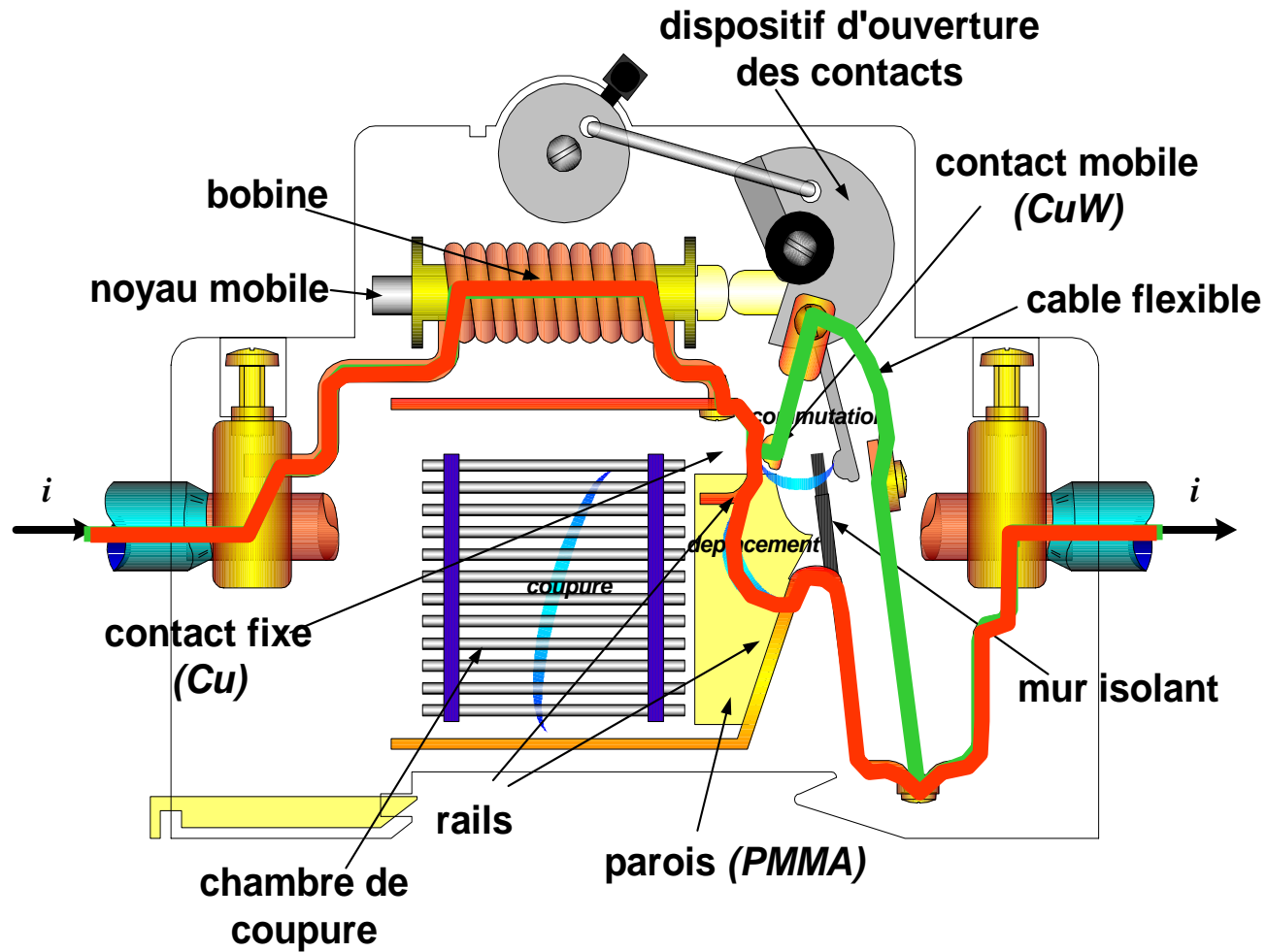
⇒ différent d'un interrupteur ou d'un fusible

☞ Divers types de disjoncteurs (en taille, en principe de fonctionnement...) existent en fonction de la tension appliquée sur la ligne :

- haute tension ⇒ disjoncteurs à air comprimé
- moyenne tension ⇒ disjoncteurs à SF6, à vide
- basse tension ⇒ dans l'air et sans soufflage

⇒ Dans tous les cas, un **arc électrique** est formé, qu'il faut "éteindre" plus ou moins rapidement

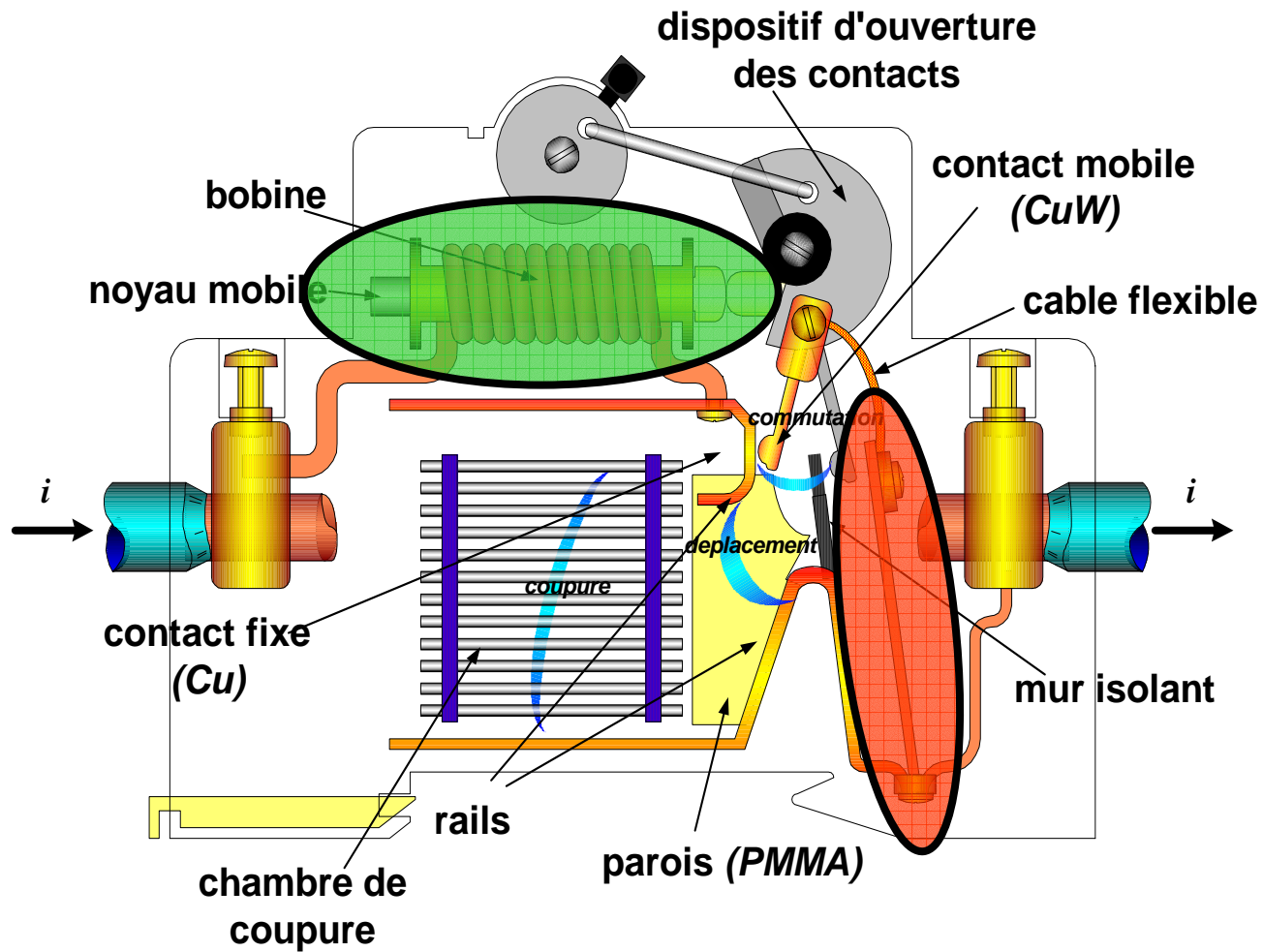
Anatomie d'un disjoncteur BT...



— Passage du courant en position fermée
— Passage du courant en position ouverte

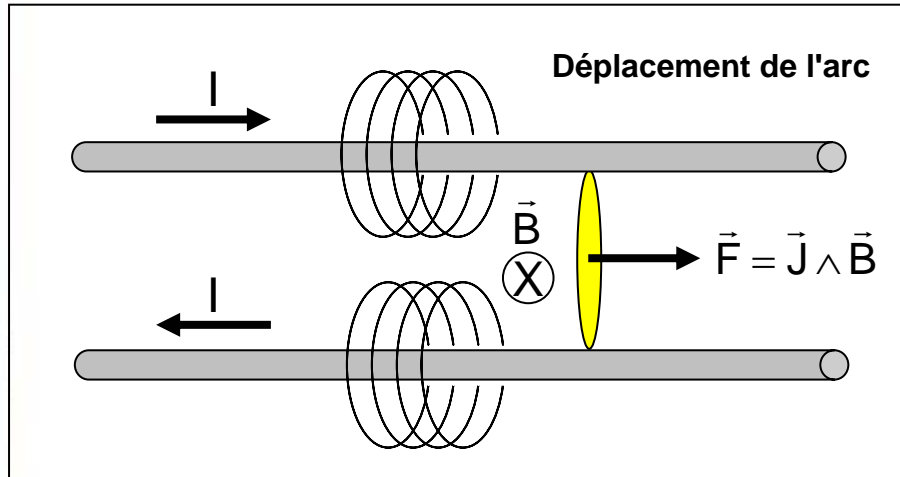
Anatomie d'un disjoncteur BT...

Déclenchement court-circuit



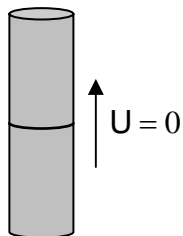
Déclenchement surintensité

Rappels sur l'arc électrique

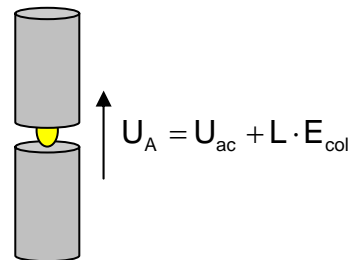


L'arc de coupure

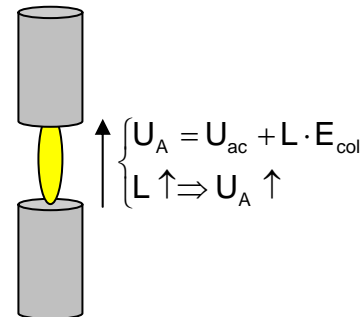
Contacts fermés



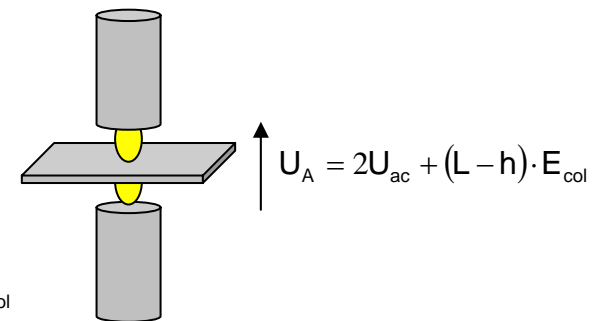
Séparation contacts



Etirement de l'arc



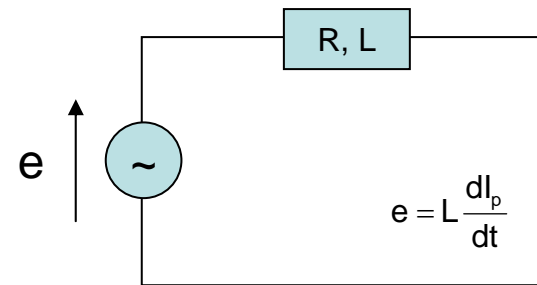
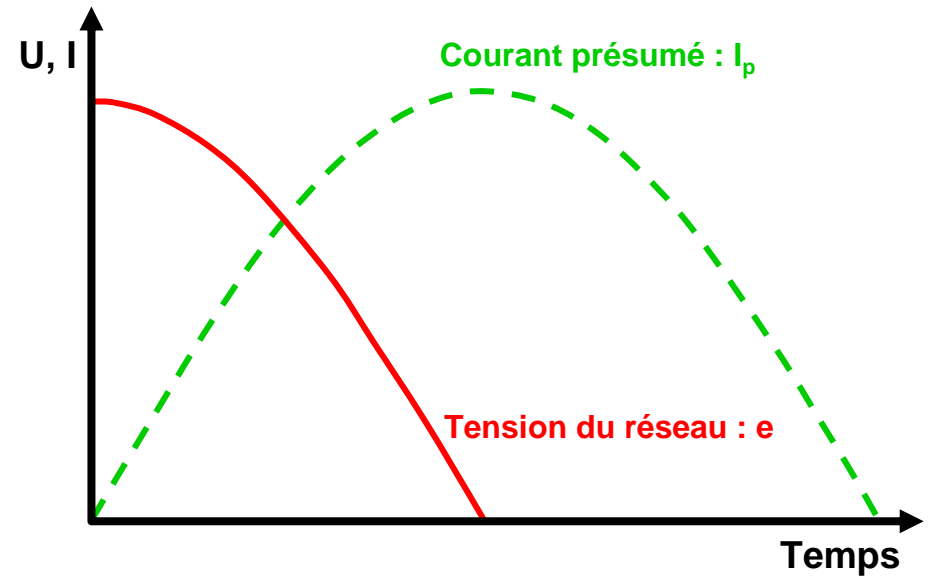
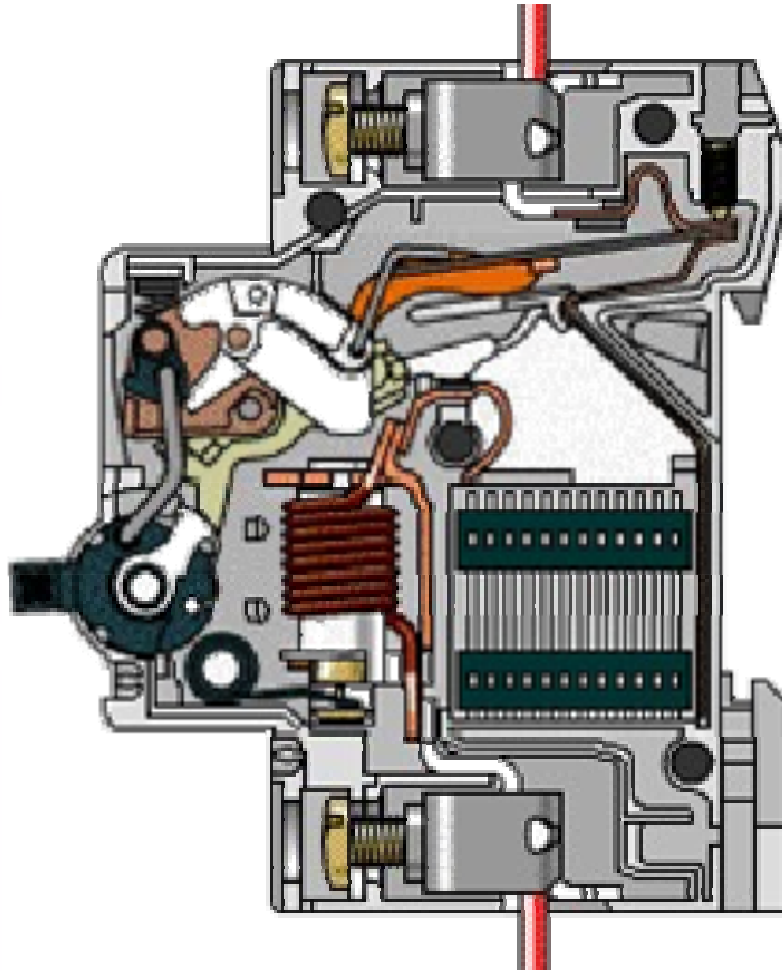
Fractionnement de l'arc



$$U_A = n \cdot U_{ac} + (L - n \cdot h) \cdot E_{col}$$

Allonger l'arc, le fractionner, le refroidir \Rightarrow Augmentation de U_A

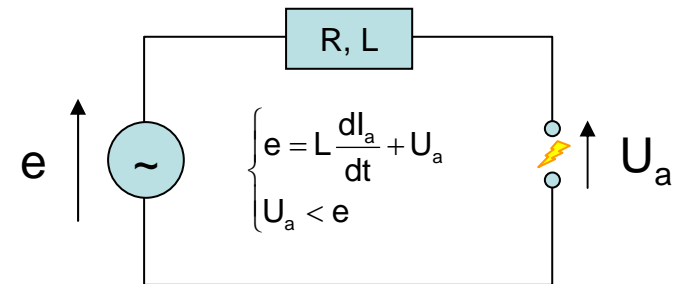
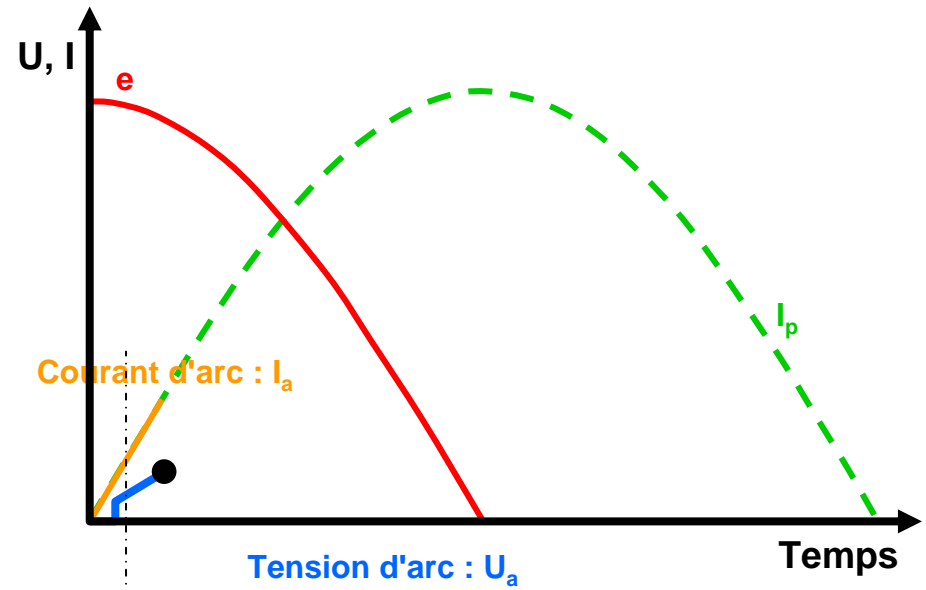
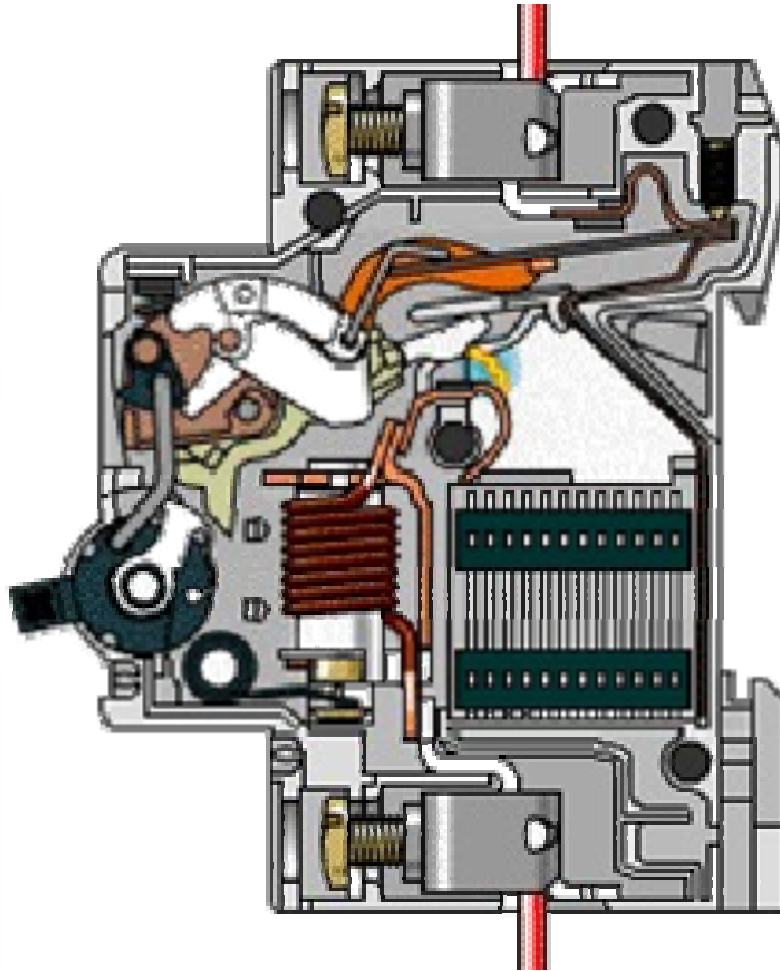
L'histoire d'une coupure... Prépambule : circuit fermé



On néglige R

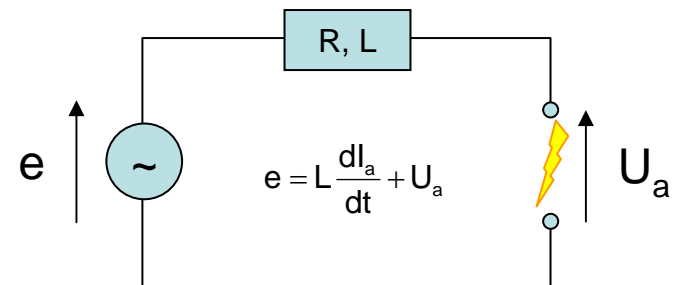
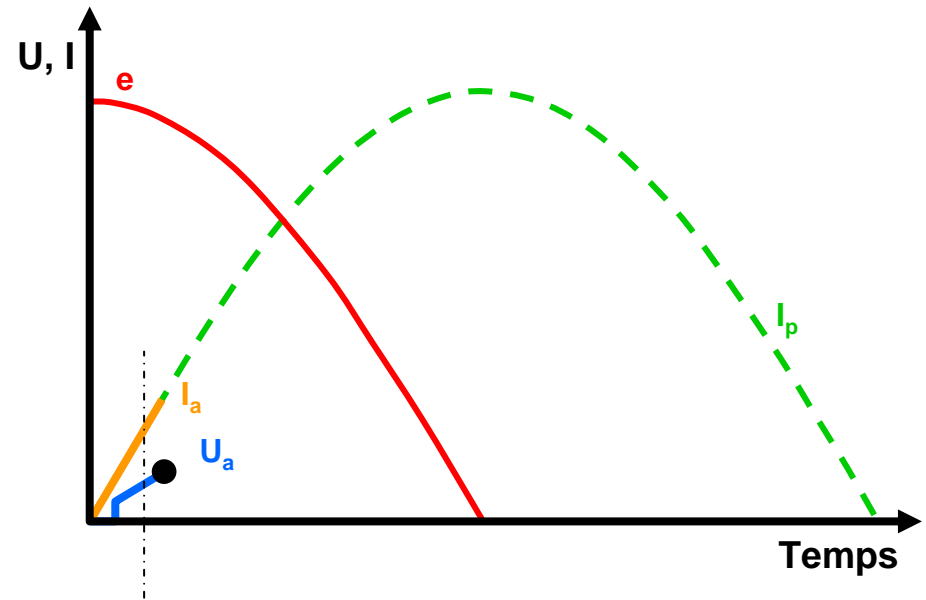
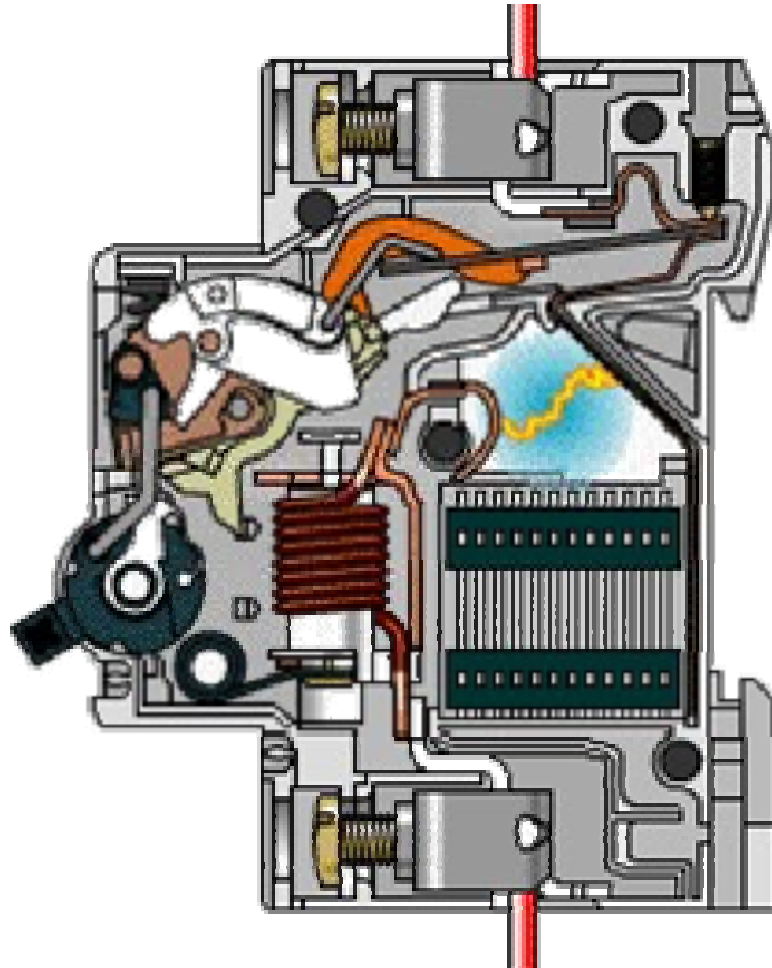
Avant le déclenchement sur court-circuit

L'histoire d'une coupure... Acte 1 : séparation des contacts



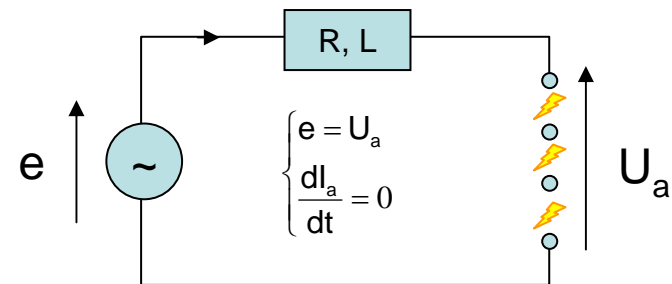
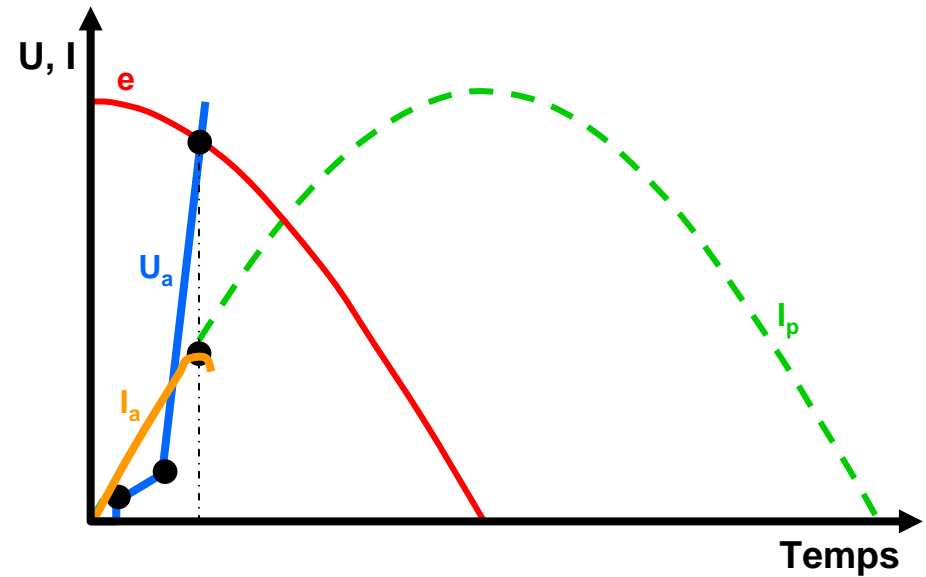
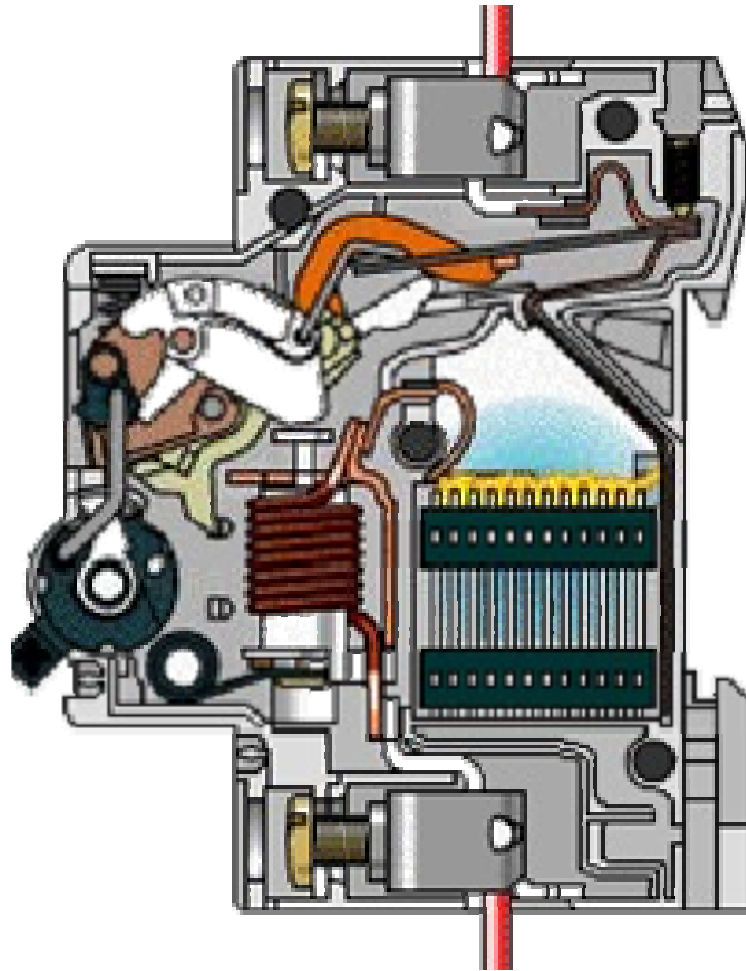
Ouverture des contacts \Rightarrow Pont métallique fondu \Rightarrow Plasma

L'histoire d'une coupure... Acte 2 : commutation et déplacement de l'arc



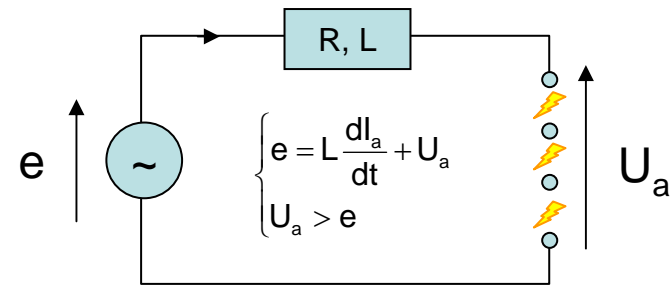
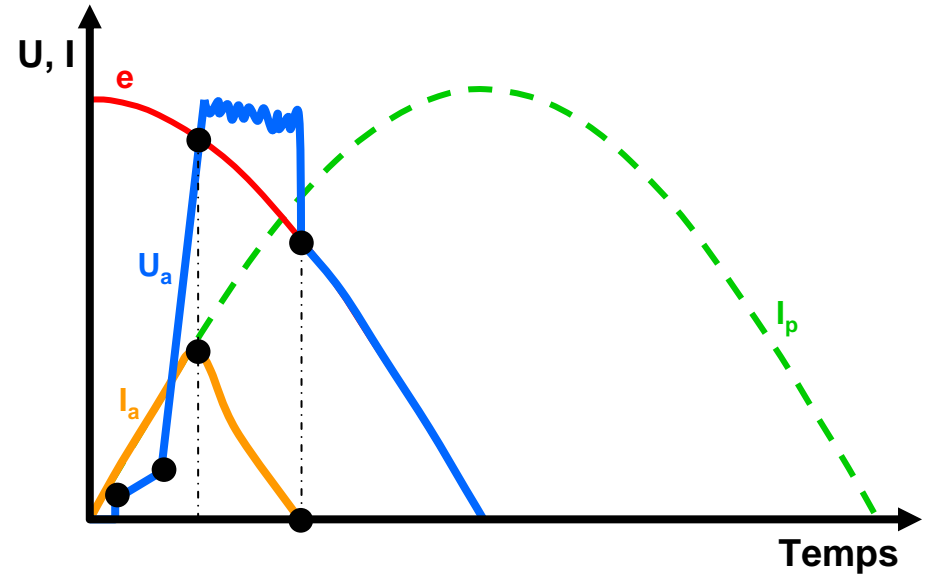
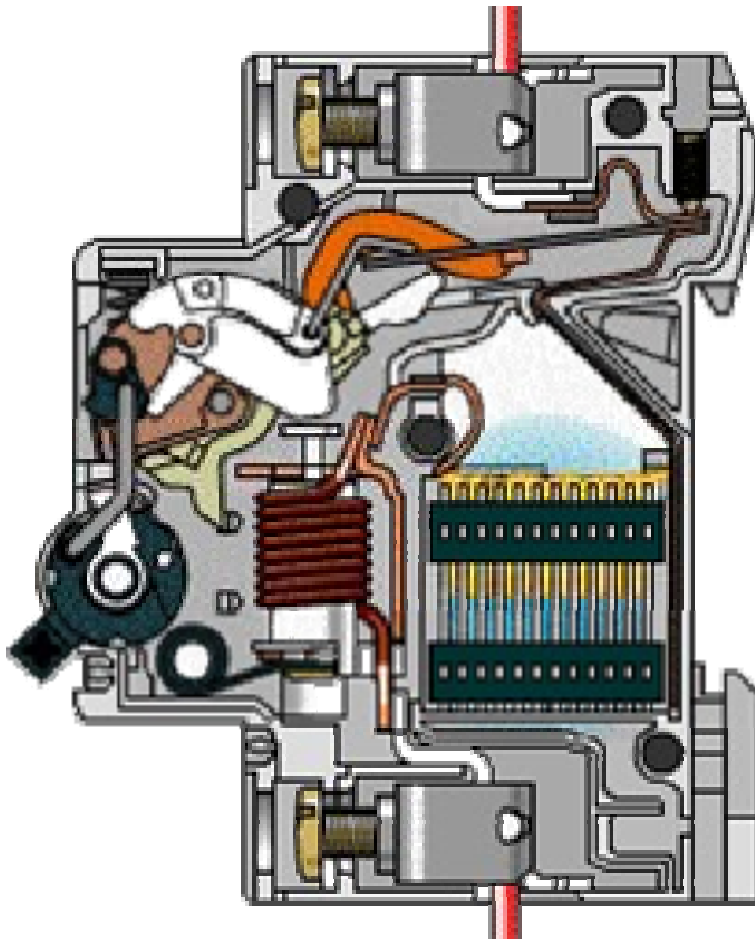
Commutation ⇨ Déplacement de l'arc

L'histoire d'une coupure... Acte 3 : entrée dans la chambre de coupure



Allongement de l'arc \Rightarrow Insertion dans chambre de coupure \Rightarrow Fractionnement

L'histoire d'une coupure... Acte 4 : limitation du courant et extinction



Sectionnement de l'arc ⇒ Extinction

Les critères d'une bonne coupure

☞ **Déplacer** l'arc rapidement dans la chambre de coupure pour augmenter rapidement la tension de l'arc

⇒ limiter le courant ⇒ limiter l'érosion...

☞ Les **échecs** de la coupure :

- L'arc stagne entre les contacts
- L'arc stagne dans la pré-chambre

⇒ Pas de limitation du courant

- Milieu trop chaud
- Problème diélectrique des matériaux

⇒ Re-claquage entre les contacts

Plan de l'exposé

- Qu'est ce qu'un disjoncteur basse tension ?
- Quel est son fonctionnement ?
- **Pourquoi des recherches sur ces disjoncteurs ?**
- **Quelles recherches ?**
- Quel avenir ?

La recherche sur les disjoncteurs... Pourquoi ?

☞ Un constat :

Le disjoncteur est un dispositif ancien au développement empirique

☞ La R&D chez les fabricants et ses partenaires :

- **Améliorer** les performances
 - Réduction de la taille, optimisation de la géométrie
 - Réduction du temps de coupure
 - Augmentation des courants de court-circuit supportés
 - Limitations des phénomènes parasites (pollution...)
 - Réduire les coûts
 - Augmenter la fiabilité
 - ...
- **Créer** des outils de développement et de prédiction
 - Diagnostic
 - Simulation
- **Innover** et tester de nouvelles solutions, de nouveaux procédés...
- **Garantir** une compétence internationale, une expertise

La recherche sur les disjoncteurs... Sur quoi et comment ?

☞ Meilleure **compréhension/caractérisation/quantification/maîtrise** des phénomènes physico-chimiques de l'arc et de son environnement :

- Hydrodynamique des gaz
- Transferts thermiques - Rôle du rayonnement
- Interaction arc-matériaux
 - contacts électriques
 - séparateurs
 - parois plastiques
- Influence des matériaux sur les propriétés de l'arc
- Actionneurs (magnétique, bilame...)
- Tenue diélectrique des composants

☞ A l'aide de :

- **l'expérimentation** :
Pour tester, mesurer, quantifier, valider
- **la simulation numérique**
Pour interpréter, prédire

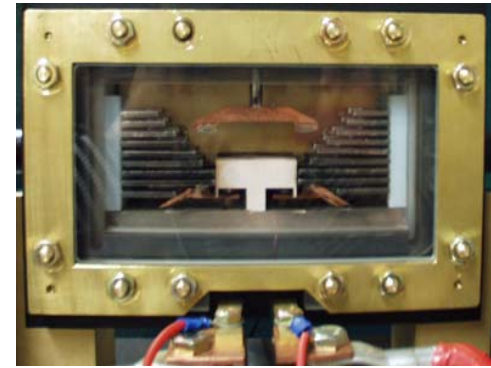
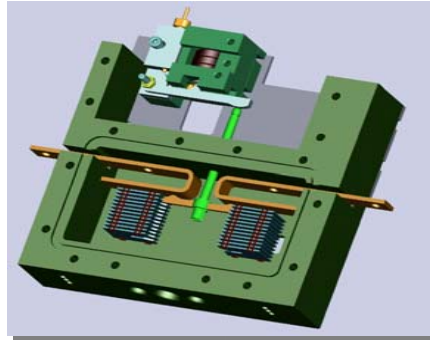
L'expérimentation dans les disjoncteurs BT... Quelques exemples...

Les méthodes les plus répandues pour la caractérisation de l'arc :

- Mesures électriques \Rightarrow Tension, courant
- Imagerie rapide \Rightarrow Déplacement arc
- Imagerie avec filtres interférentiels \Rightarrow Localisation espèces
- Spectroscopie d'émission \Rightarrow Identification espèces, température, densités
- Spectroscopie d'absorption \Rightarrow Densité des espèces, T
- Diagnostics magnétiques \Rightarrow *Encore 10 min de patience...!*

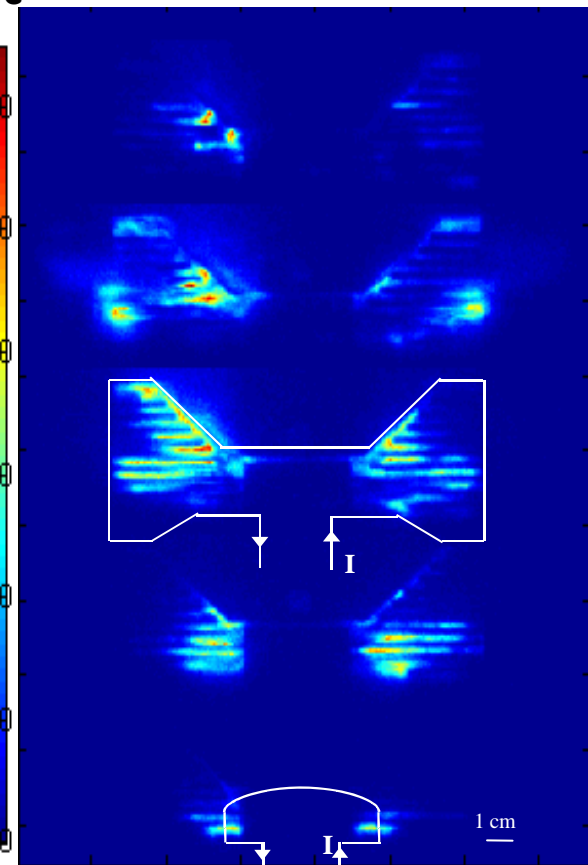
Mais aussi la thermographie infrarouge, méthodes inverses, la strioscopie, la radiographie X, les diagnostics liés aux matériaux..., et d'autres en développement (tomographie...)

L'imagerie rapide

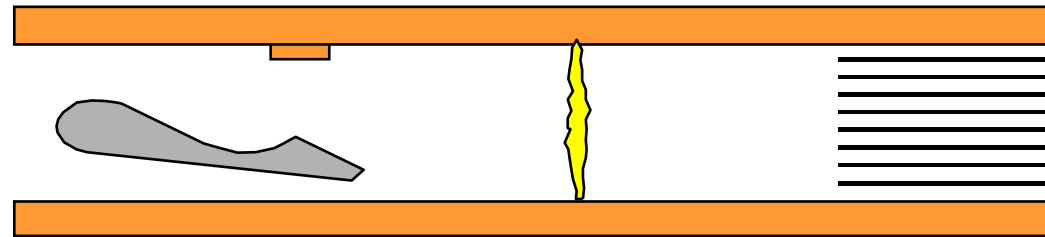


Intensité

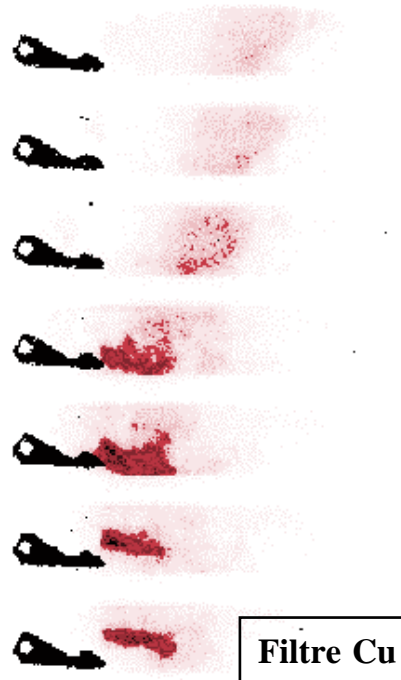
temps



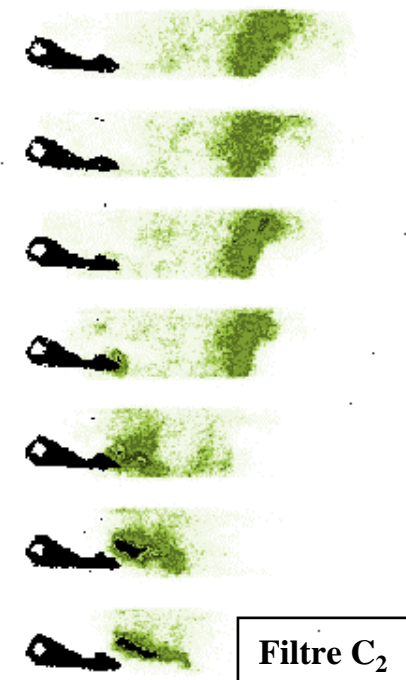
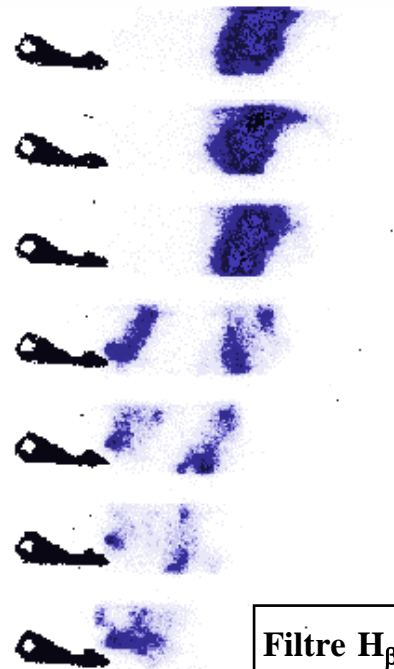
L'imagerie avec filtre



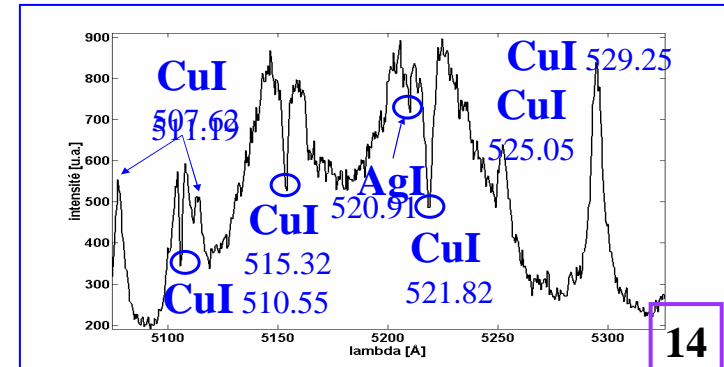
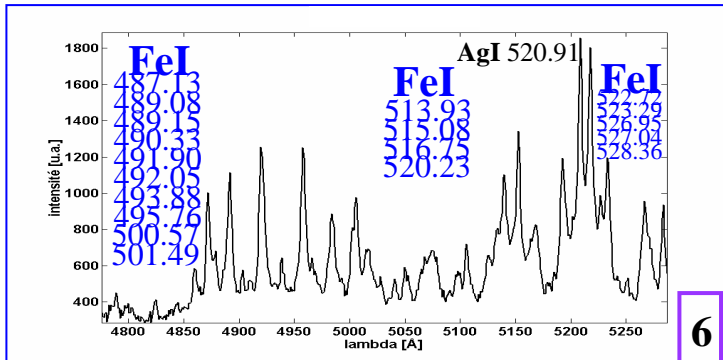
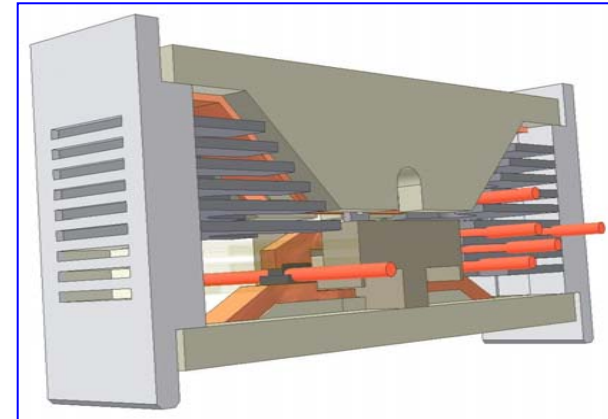
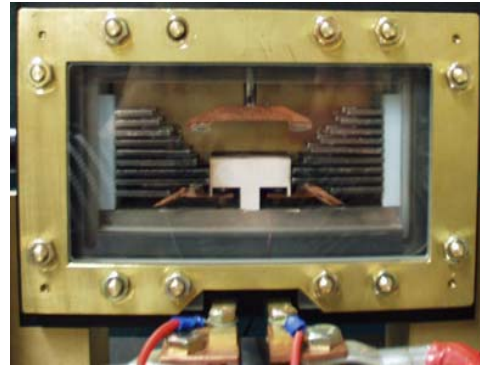
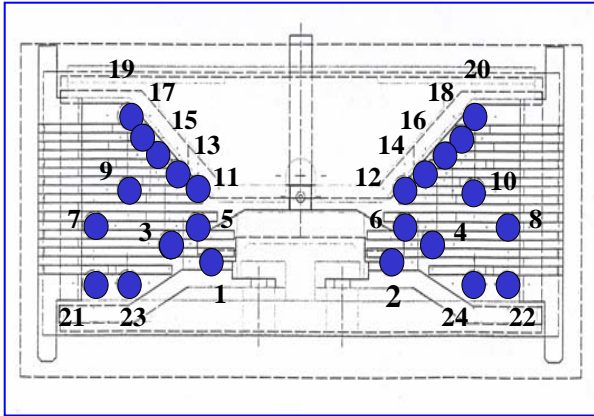
Cuivre venant des contacts



Vapeurs venant des parois

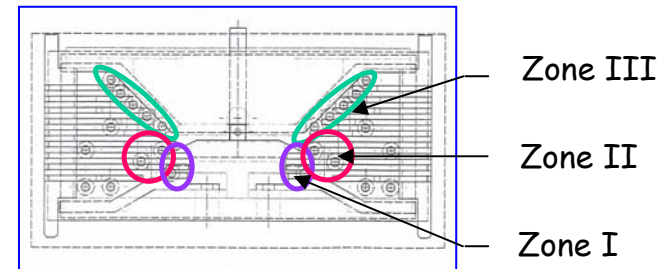


Spectroscopie d'émission



- Détermination de **trois régions** dominées par un élément du plasma:

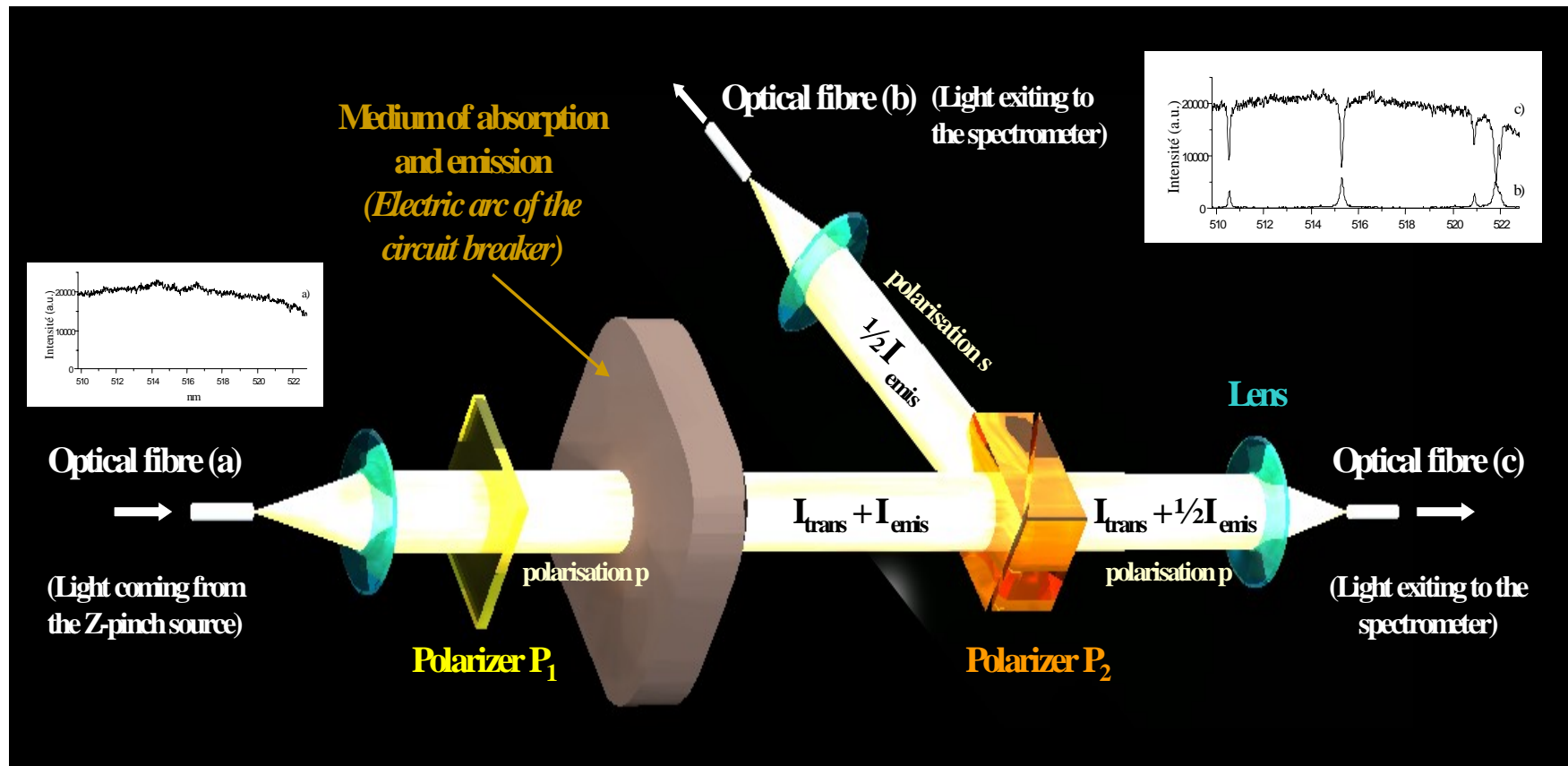
- Atomes d' **AgI** (Période I, Zone I)
- Atomes de **FeI** (Période II, Zone II)
- Atomes de **CuI** (Période III, Zone III)



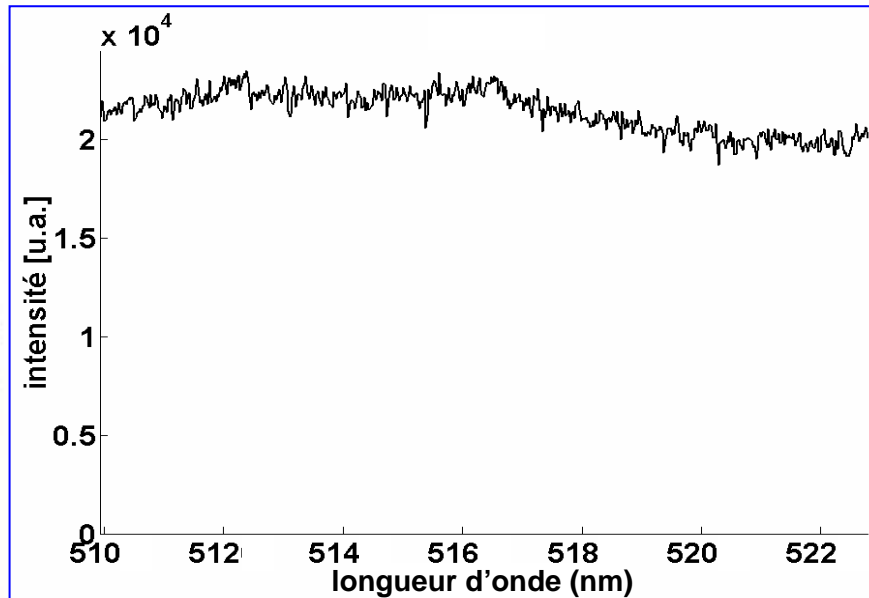
Spectroscopie d'absorption

Habituellement utilisée pour les parties tièdes ou froides non émissives, par exemple pour l'étude de la période post-arc

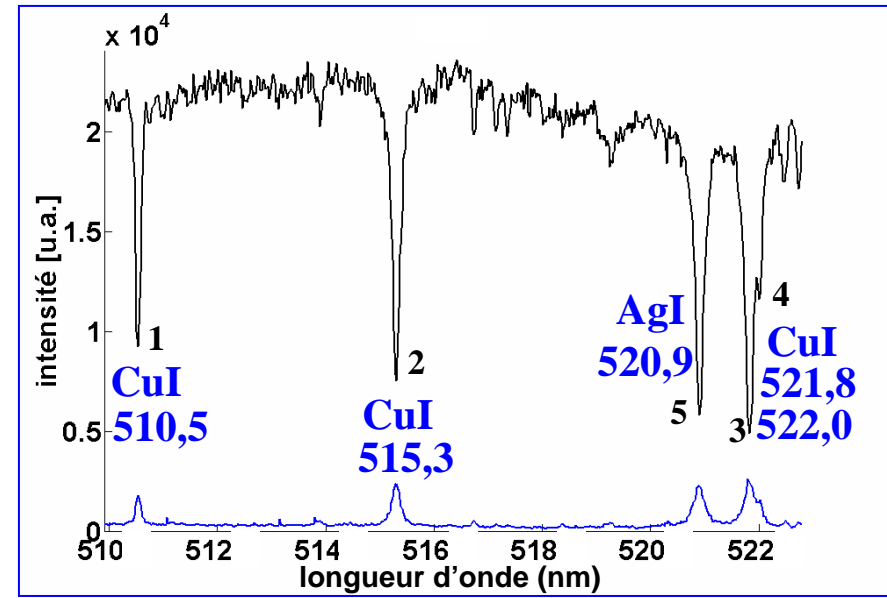
Ici, absorption de l'arc pourtant très rayonnant



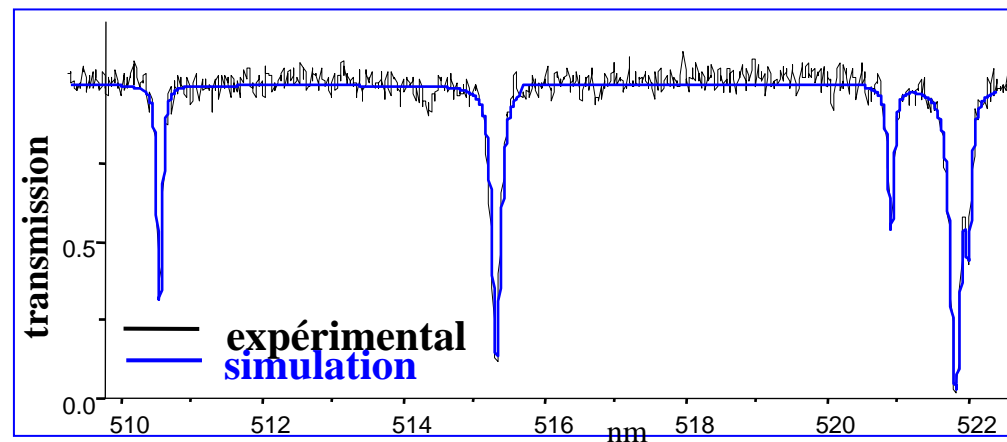
Spectroscopie d'absorption



Spectre de référence (sans présence de l'arc)



Spectres d'émission et d'absorption des raies de cuivre neutre et de la raie d'argent neutre à 520.9 nm



La simulation numérique dans les disjoncteurs BT... Quelques exemples...

☞ La **simulation numérique** c'est :

- La résolution de modèles fluides couplant hydrodynamique et électromagnétisme \Rightarrow Champs T, v, U, E, J...
- Eventuellement de la cinétique chimique
- Interactions avec arc-électrodes
- Dans des conditions "idéales" ou plus proche de la réalité

☞ Mais c'est aussi tous les calculs préliminaires en vue de fournir les **données de bases** nécessaires :

- Rayonnement – Calcul du transfert radiatif
- Propriétés thermodynamiques
- Coefficients de transport

Interaction arc-anode et influence d'un champ magnétique extérieur

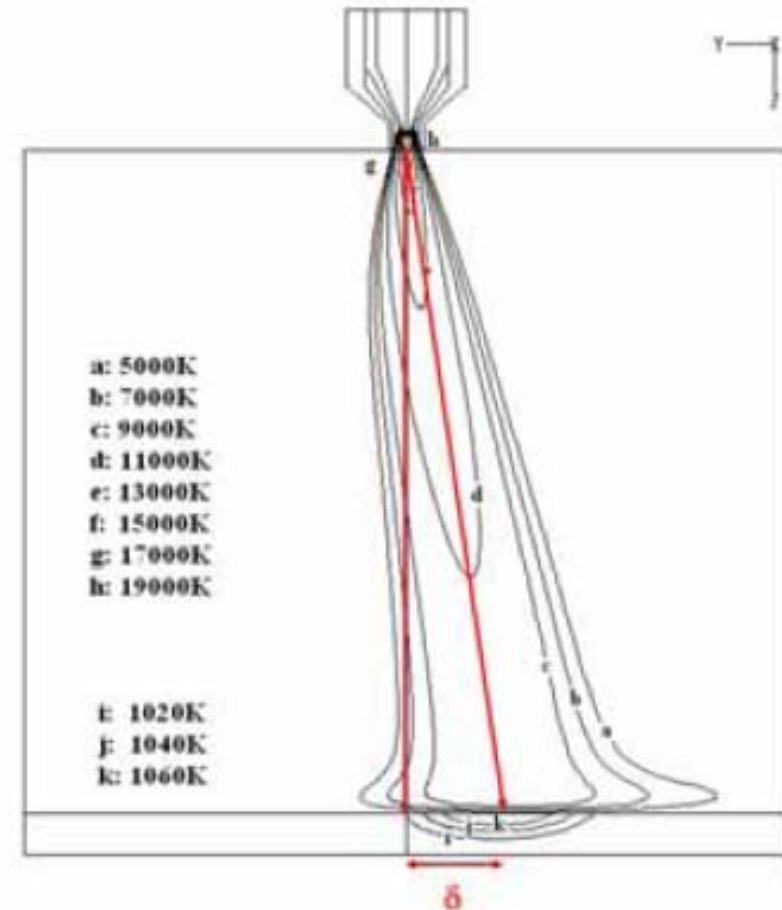
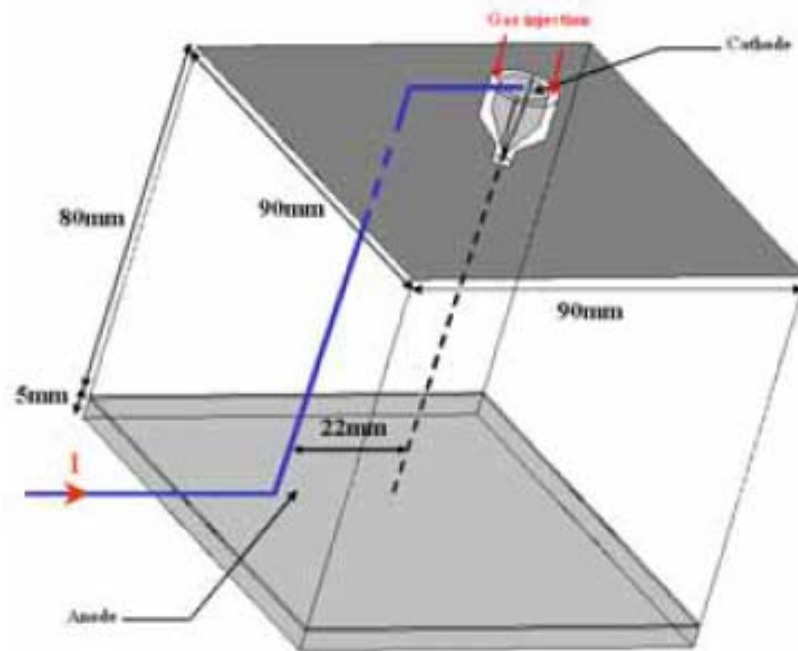
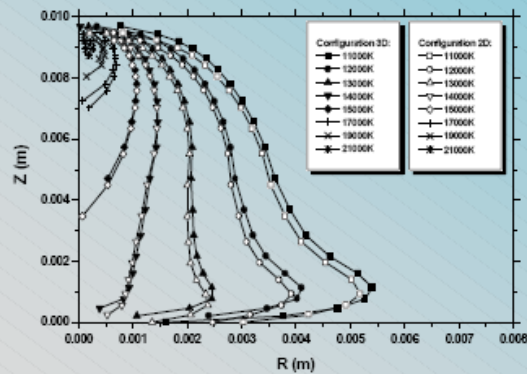


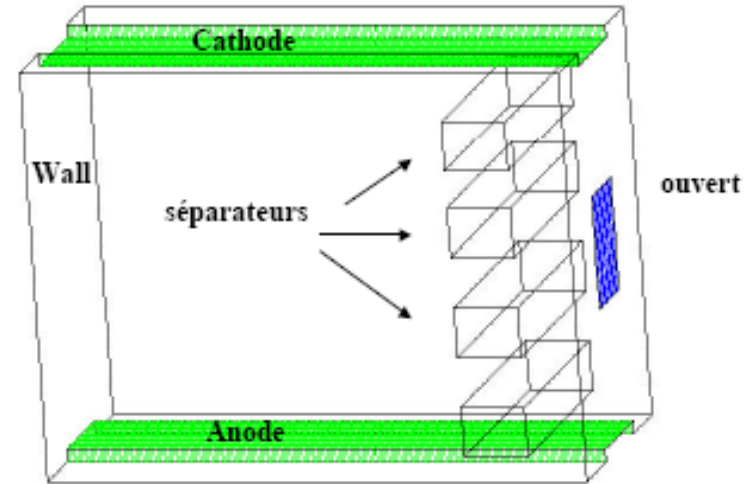
Fig. 6: Temperature fields of argon plasma (100A) and a copper anode submitted to an external magnetic field induced by a conducting wire crossed by a current intensity of 100A.

Validation 2D-3D et influence d'un soufflage

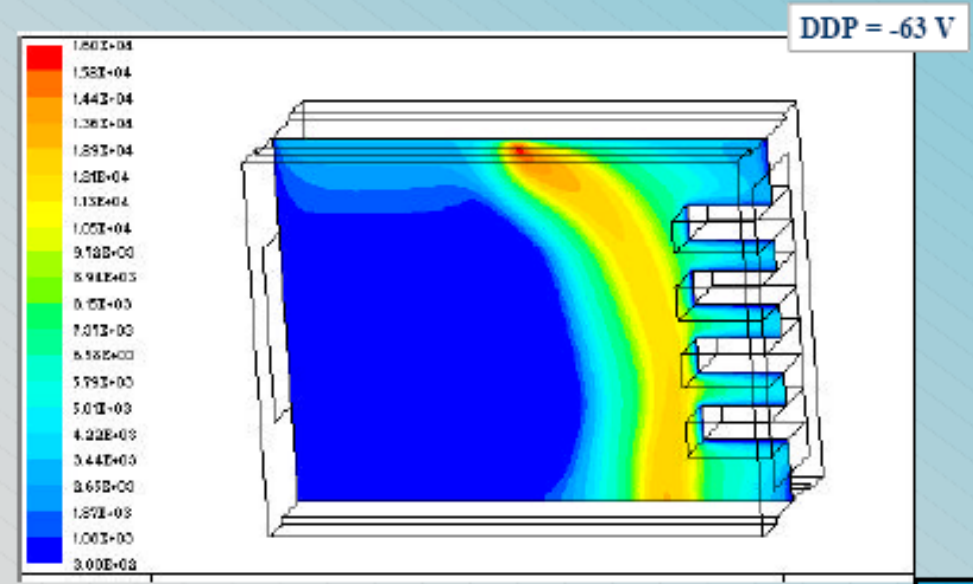
COMPARAISON ISOTHERMES 2D/3D



Ar-Cu
I=200 A
D=10mm



Champ de température - 100A (soufflage; v= 2m/s)



Commutation et propagation 3D

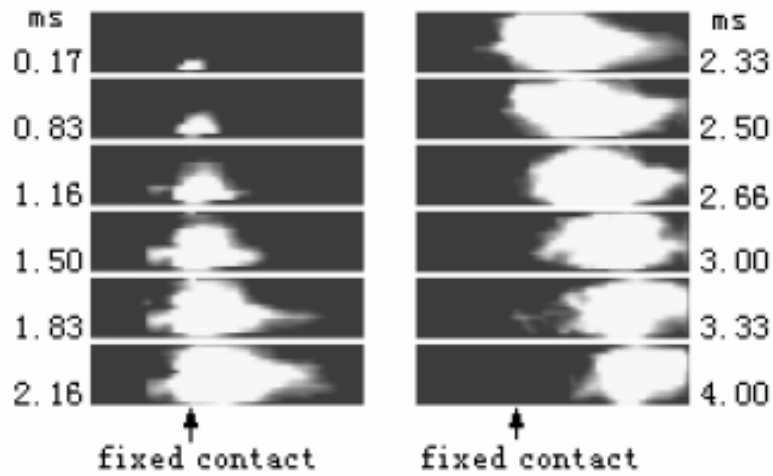
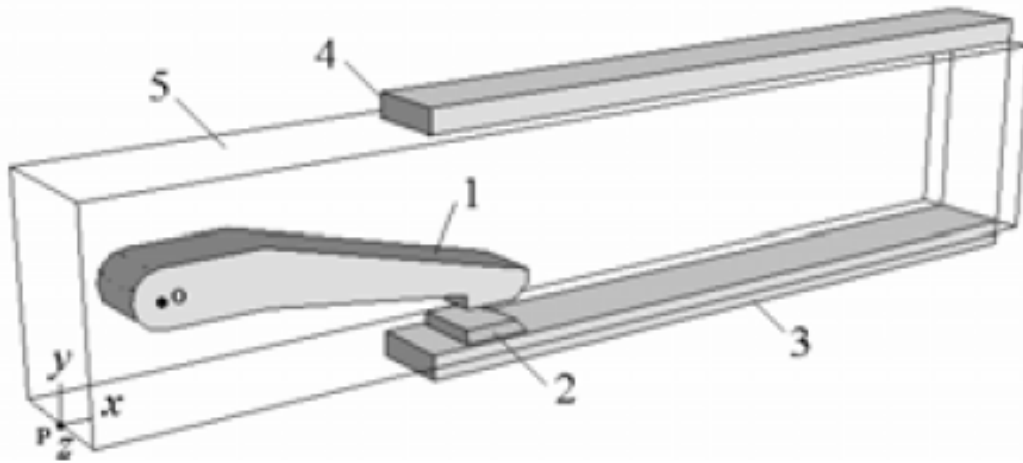
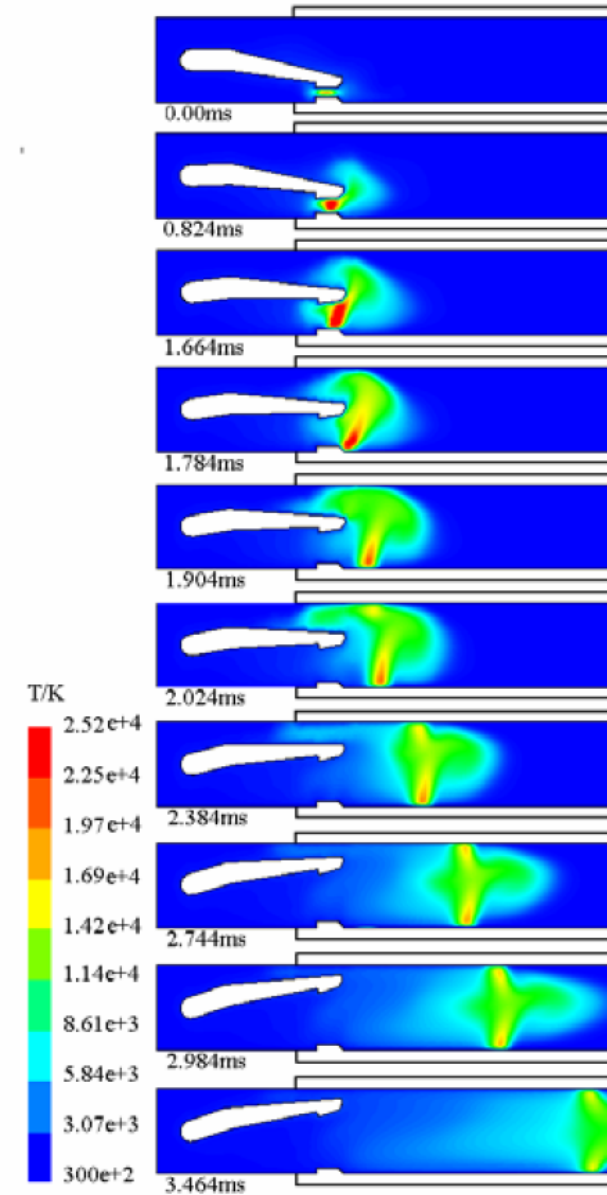


Fig.3 Movie of the arc motion recorded by high-speed camera



Quel avenir pour la recherche et les disjoncteurs BT ?

☞ Le disjoncteur basse tension domestique est déjà bien abouti technologiquement, fiable et peu cher

☞ Il peut être amélioré :

- Optimisation de la taille et de la géométrie
- Nature des matériaux moins polluants
- Matériaux de contact plus efficace

☞ La poursuite de la recherche :

- Pour l'amélioration des modèles et de la **simulation numérique**
- Innover dans les moyens de **diagnostic**
- **Procédés de fabrication des matériaux** de contact (frittage, collage...)
- Le développement de disjoncteurs BT de puissance

☞ La coupure du courant en basse tension ne passe pas nécessairement par la coupure par arc et la séparation de contacts. Les **semiconducteurs** (IGBT) ont une place mais leur coût et les problèmes techniques (dissipation thermique) ne les rendent pas encore compétitifs