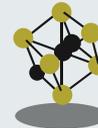
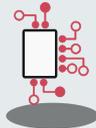


Chapitre 3

Protection contre les Court-Circuits



Un court-circuit correspond à une **liaison accidentelle** entre au moins **deux points de potentiels différents**.

Le court-circuit peut être d'origine mécanique (coup de pelle, branche, ...), électrique (dégradation d'isolant, surtension, ...) ou humaine (erreur de l'exploitant ...).

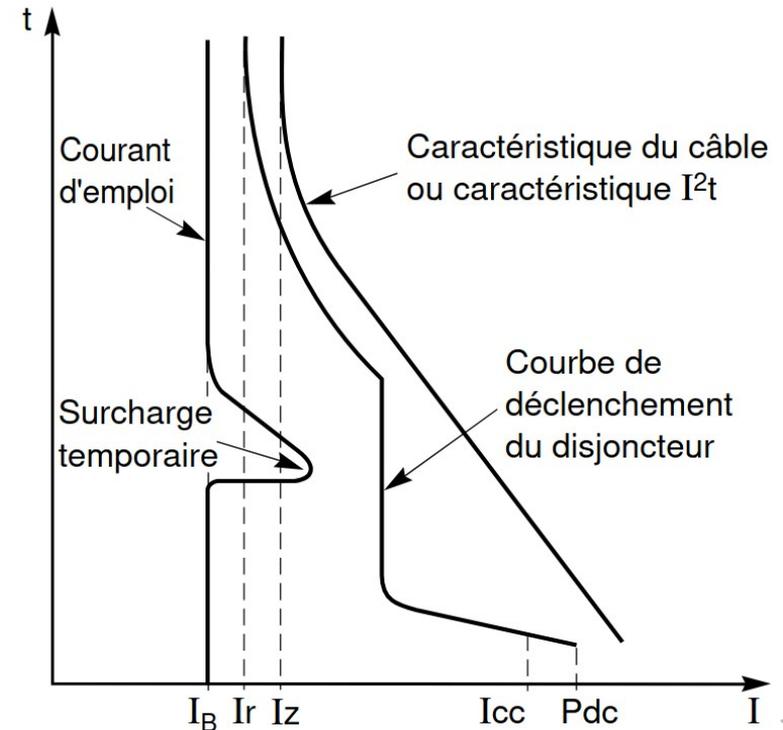


https://www.reddit.com/r/ElectroBOOM/comments/wzc381/ever_wonder_why_the_utility_company_trys_to_keep/

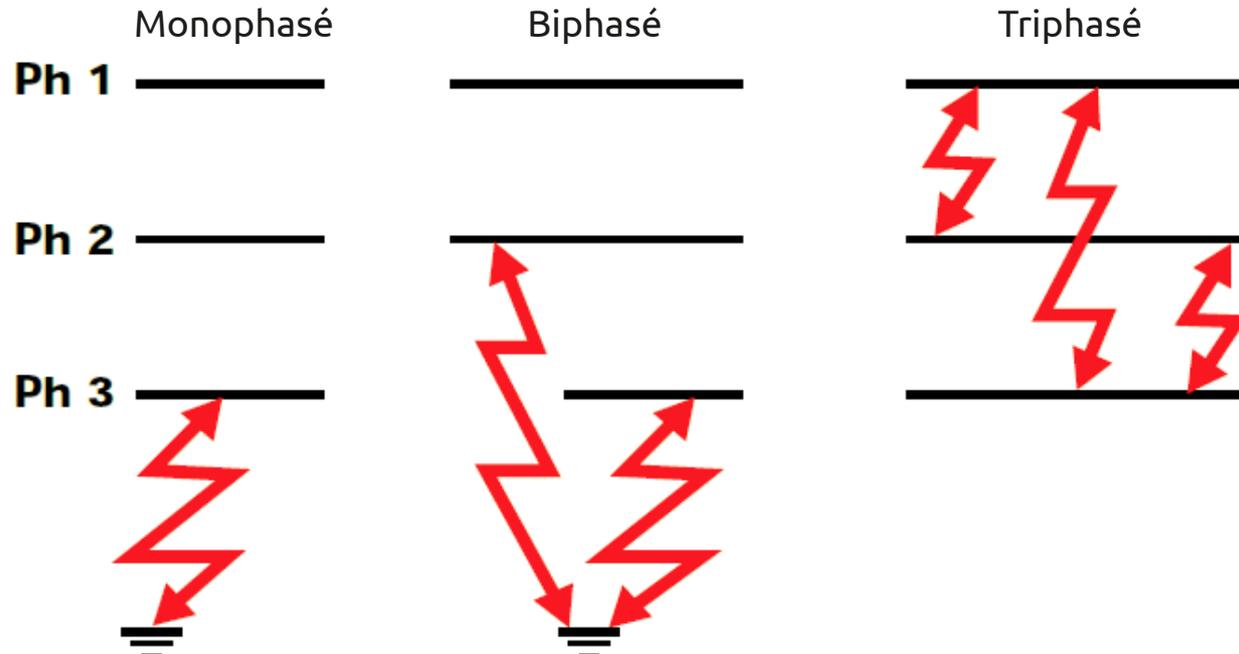
La protection contre les court-circuits se fait par fusible ou plus souvent par un disjoncteur, tous deux ayant une **courbe de déclenchement temps-courant**.

L'appareil de protection doit empêcher le courant d'atteindre la zone critique désignée par une courbe hyperbolique temps-courant.

Le courant de court-circuit permet de déterminer le **pouvoir de coupure** des appareils de protection, c'est à dire la **valeur maximale du courant qu'un appareil peut assurément couper**.



Un court-circuit peut être monophasé (80 % des cas), biphasé (15%) ou triphasé (5%).
Certains défauts peuvent évoluer : monophasé vers biphasé, biphasé vers triphasé, ...
Le type de court-circuit est imprévisible et les conséquences différentes.



Court-circuit triphasé

Dans un court-circuit triphasé, les trois phases sont reliées entre elles.
Le potentiel de court-circuit est un neutre artificiel.

Court-circuit triphasé

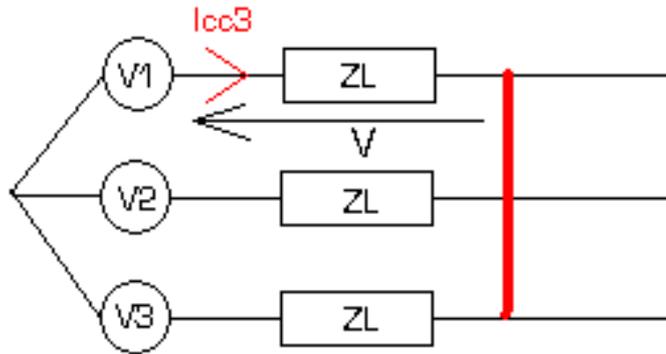
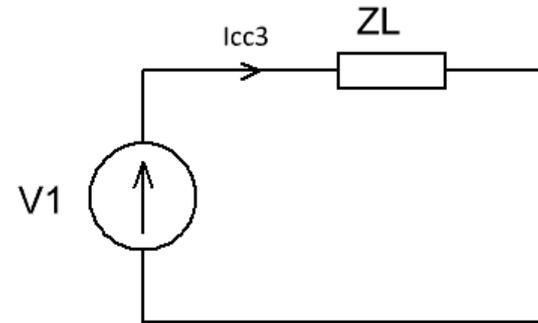


Schéma équivalent



$$I_{CC,3} =$$

Court-circuit biphase

Le court-circuit biphase correspond à la liaison de deux phases quelconques entre elles. Il n'y a qu'une seule boucle du circuit qui est court-circuitée.

Court-circuit biphase

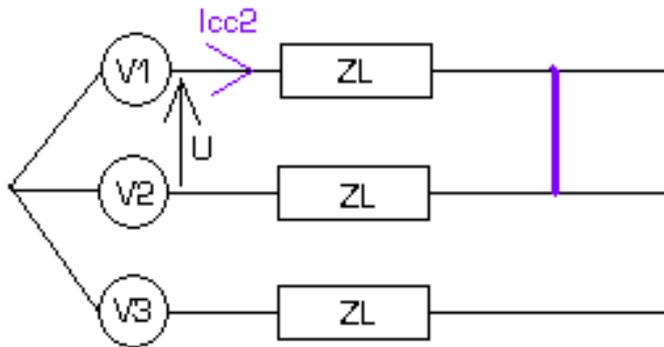
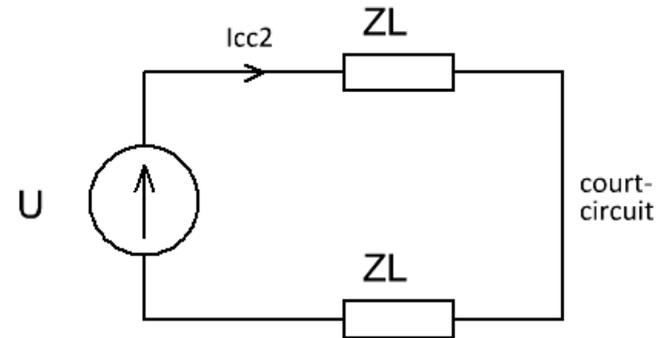


Schéma équivalent



$$I_{CC,2} =$$

Court-circuit monophasé

Le court-circuit monophasé correspond à une phase quelconque reliée à la terre.
La terre et le neutre du réseau sont souvent au même potentiel.

Court-circuit monophasé

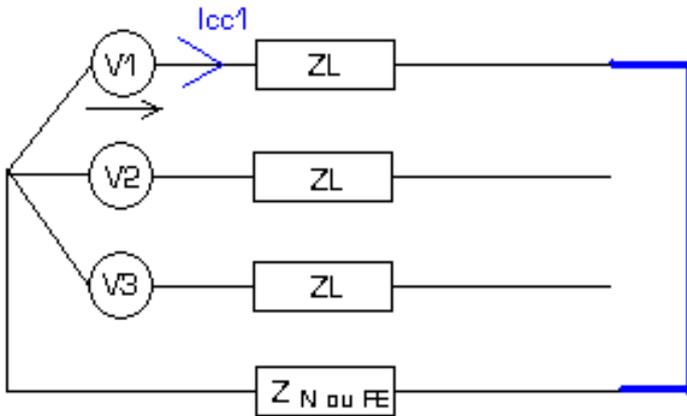
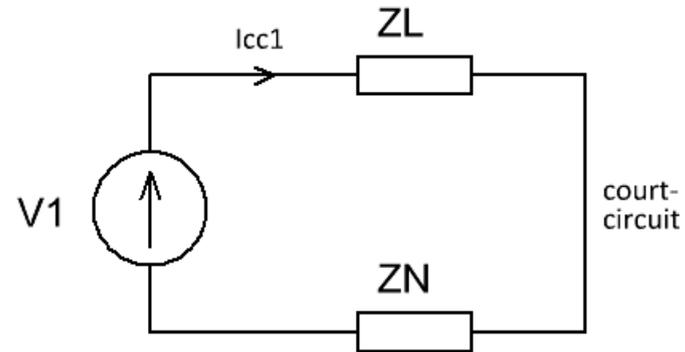


Schéma équivalent



$$I_{CC,1} =$$

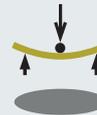
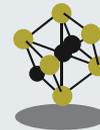
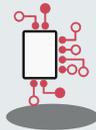
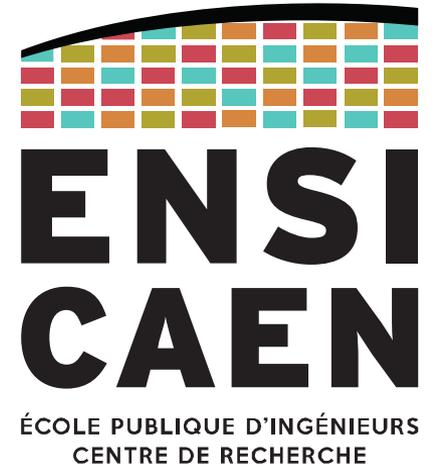
Le courant de court-circuit est donc le plus fort dans le cas d'un court-circuit triphasé !

Le courant de court-circuit $I_{CC,3}$ étant le plus intense et donc le plus difficile à couper, c'est sa valeur qui est utilisée pour dimensionner les éléments de protection.

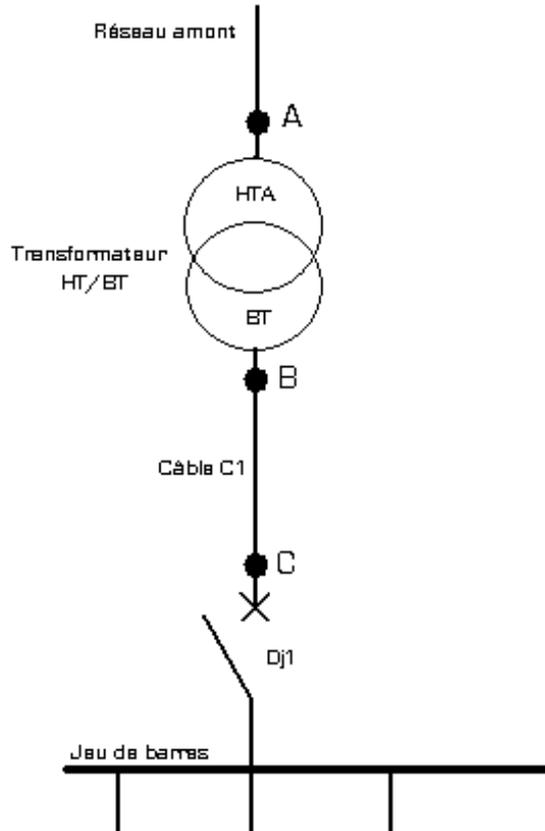
Attention toutefois :

Un calcul complet doit être réalisé afin de vérifier que les organes de protection se déclenchent également pour des courants de court-circuits $I_{CC,1}$ et $I_{CC,2}$, qui restent des courants également néfastes pour l'installation électrique !

CALCUL DU COURANT DE COURT-CIRCUIT



Emplacement du court-circuit



Pour un court-circuit côté BT :

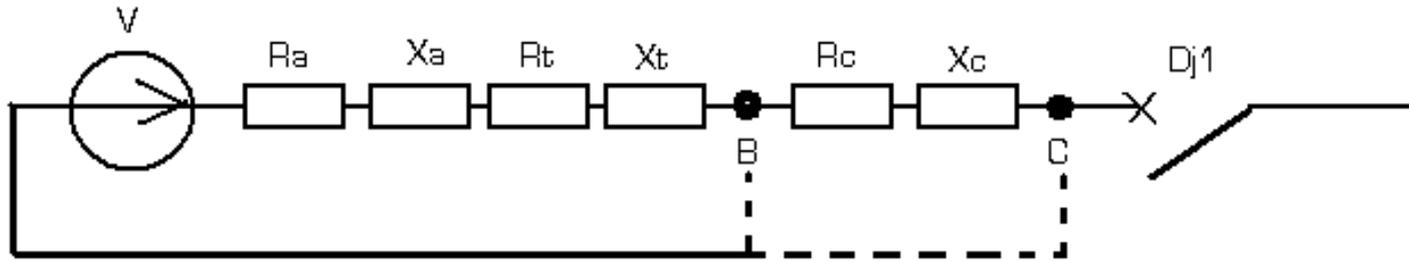
Au point B, le courant $I_{CC,B}$ est limité par l'impédance interne du transformateur et celle du réseau amont ramenées au secondaire du transformateur.

Au point C, Le courant $I_{CC,C}$ est limité par l'impédance interne du transformateur et celle du réseau amont ramenées au secondaire du transformateur et celle du câble C1.

Conclusion : $I_{CC,B} > I_{CC,C}$

Plus le court-circuit est situé proche de la source d'énergie, plus il est élevé (et dangereux).

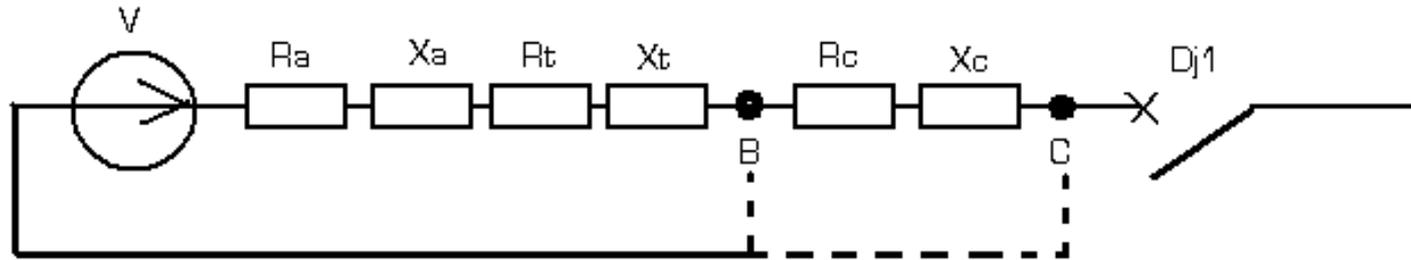
Schéma équivalent pour une phase :



- V Tension simple au secondaire du transformateur
- R_a Résistance du réseau amont ramenée au secondaire
- X_a Réactance du réseau amont ramenée au secondaire
- R_t Résistance du transformateur ramenée au secondaire
- X_t Réactance du transformateur ramenée au secondaire
- R_c Résistance d'une phase du câble C1
- X_c Réactance d'une phase du câble C1

Schéma équivalent

Schéma équivalent pour une phase :



Court-circuit en B : $I_{CC,B} = \frac{V}{Z_B}$ avec $Z_B =$

Court-circuit en C : $I_{CC,C} = \frac{V}{Z_C}$ avec $Z_C =$

Le pouvoir de coupure de Dj1 doit être supérieur à $I_{CC,C}$.

Le courant $I_{CC,B}$ sera éliminé par les protections en amont du transformateur.

Impédance du réseau amont

Le réseau amont est caractérisé par sa puissance de court-circuit S_{CC} .

L'impédance Z_a du réseau HT ramenée au secondaire du transformateur peut être obtenue auprès du fournisseur d'énergie ou par calcul à partir de S_{CC} .

$$Z_a = \frac{U_{sec}^2}{S_{CC}}$$

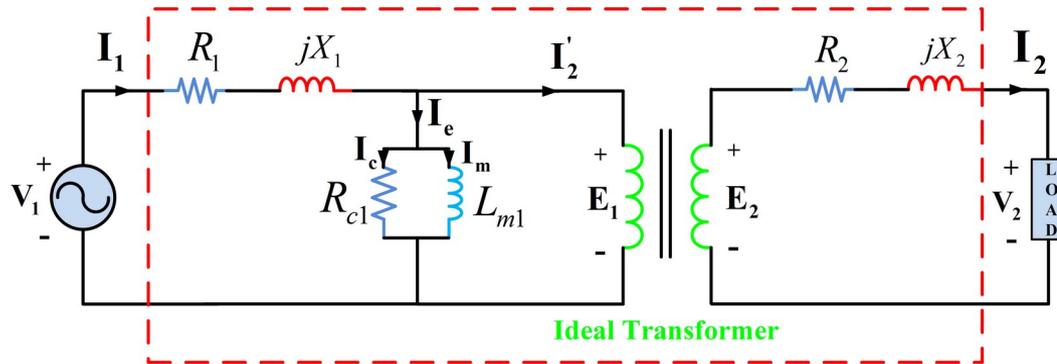
La résistance R_a et la réactance X_a se déduisent à partir de R_a/Z_a en HT par :

1. $R_a / Z_a \approx 0,3$ en 6 kV
2. $R_a / Z_a \approx 0,2$ en 20 kV
3. $R_a / Z_a \approx 0,1$ en 150 kV

} sachant que : $X_a = \sqrt{Z_a^2 - R_a^2}$

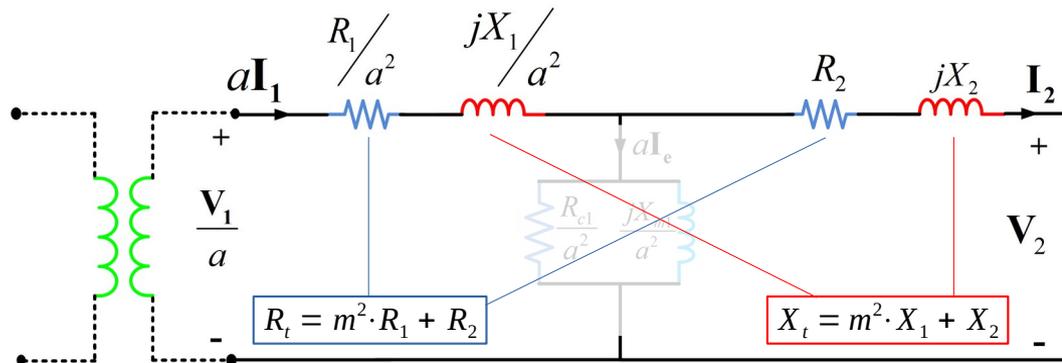
Impédance du transformateur

Tuto : ramener l'impédance du transformateur au secondaire



Il n'est pas aisé d'étudier le modèle de base du transformateur (fig. en haut).

Il est plus simple de ramener toutes les impédances du même côté du transformateur (fig. en bas) pour ensuite n'étudier qu'un côté du transformateur.



Pour passer une impédance du primaire au secondaire, on la multiplie par le carré du rapport de transformation m (ici $m = 1/a$).

Rappel : $m = N_2/N_1 = U_2/U_1$

De plus, l'hypothèse de Kapp permet de négliger R_{c1} et L_{m1} (impédance magnétisante considérée trop élevée, c'est-à-dire que $I_e \ll I_1$).

Impédance du transformateur

Déterminons l'impédance totale du transformateur ramenée au secondaire.

Nous avons besoin de connaître les caractéristiques du transformateur :

- Sa tension nominale au secondaire U_2
- Sa tension de court-circuit U_{cc} (en %)
- Sa puissance apparente nominale S_n
- Ses pertes cuivre P_{cu}

$$\rightarrow S_n = U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2$$

Tension de court circuit : tension qu'il faut appliquer au primaire pour que le secondaire soit parcouru par l'intensité nominale I_2 , les bornes du secondaire étant court-circuitées. On la note U_{cc} et elle est exprimée en %.

Puissance du transformateur HTA/BT(en kVA)	≤ 630	800	1000	1250	1600	2000
Tension de court-circuit u_{cc} (en %)	4	4,5	5	5,5	6	7

Fig. 13 : tension de court-circuit u_{cc} normalisée pour les transformateurs HTA / BT de distribution publique.

Impédance du transformateur

Déterminons l'impédance totale du transformateur ramenée au secondaire.

En imposant $U_1 \times U_{cc}/100$ au primaire, on obtient $U_2 \times U_{cc}/100$ au secondaire. On retrouve facilement :

$$U_2 \times \frac{U_{cc}}{100} = I_2 \cdot Z_t \quad \rightarrow$$

On peut obtenir la résistance du transformateur ramenée au secondaire à partir des pertes cuivre :

$$P_{Cu} = R_t \cdot I_2^2 \quad \rightarrow$$

Et enfin déterminer la réactance du transformateur ramenée au secondaire à partir des valeurs précédentes :

$$X_t = \sqrt{Z_t^2 - R_t^2}$$

Impédance de la ligne

Il reste à déterminer l'impédance du câble

La résistance du câble dépend de sa géométrie et du matériau utilisé :

$$R_c = \rho \frac{L}{S}$$

La résistivité sera fixée à $\rho_{Cu} = 22,5 \text{ m}\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ et $\rho_{Al} = 36,0 \text{ m}\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$.

Il s'agit d'une valeur pondérée par un coefficient 1,25 des valeurs de résistivité à 20 °C (respectivement 18 et 29 mΩ·mm²/m).

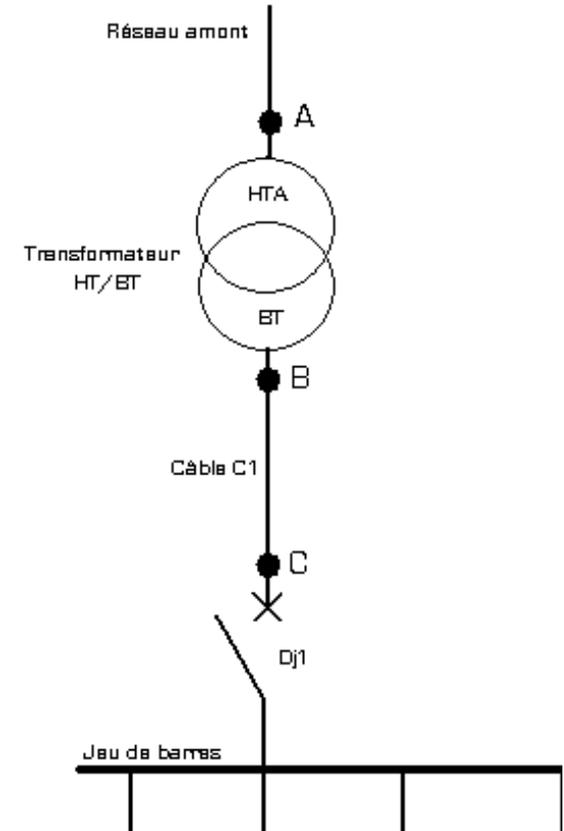
La réactance linéique dépend du mode de pose des câbles :

Mode de pose	Jeux de barres	Câble triphasé	Câbles unipolaires espacés	Câbles unipolaires serrés en triangle	3 câbles en nappe serrée
Schéma					
Réactance linéique valeurs moyenne (en mΩ/m)	0,15	0,08	0,15	0,085	0,095

A.N. : Caractéristiques de l'installation

- Réseau amont
 - $S_{cc} = 500$ MVA
- Transformateur
 - $U_1 = 20$ kV / $U_2 = 410$ V
 - $S_n = 400$ kVA
 - $P_{Cu} = 5$ kW
- Câble C1
 - 3 phases x 150 mm²
 - Longueur 30 m

Calculer les courants de court-circuits $I_{CC,B}$ et $I_{CC,C}$ respectivement aux points B et C.



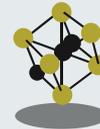
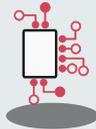
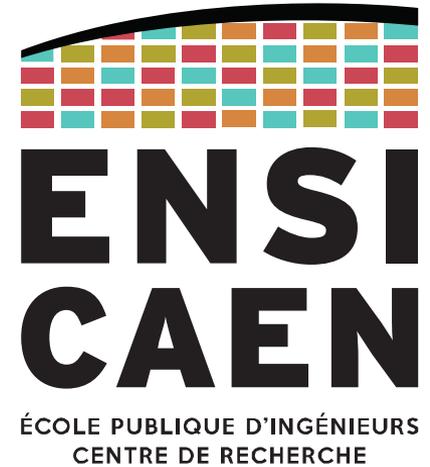
CALCUL DU COURANT DE COURT-CIRCUIT

Application numérique

CALCUL DU COURANT DE COURT-CIRCUIT

Application numérique

COUPER LE COURT-CIRCUIT



Type	Causes	Élimination	Fréquence
<i>Auto extincteurs</i>		Automatique (quelques ms : trop court pour déclencher la protection)	5%
<i>Fugitifs</i>	Amorçage d'un arc	Disparaît après une coupure de l'ordre de 300 ms	70 à 80%
<i>Semi permanents</i>	Branche, surtension	Disparaît après une coupure de quelques secondes	5 à 15%
<i>Permanents</i>	Accident	Nécessite une intervention sur site après coupure	5 à 15 %

Les lignes aériennes HTA sont essentiellement touchées par les défauts non permanents, ce qui ne dégrade que très peu la continuité de service.

Défaut auto extincteur

Si le défaut dure plus de 100 ms, la protection doit réagir

Fugitif

La durée de mise hors tension est d'environ 300 ms pour permettre l'extinction de l'arc qui a pu se former.

Défaut semi-permanent

Si le défaut réapparaît à la remise sous tension, l'automatisme réagit de la manière suivante :

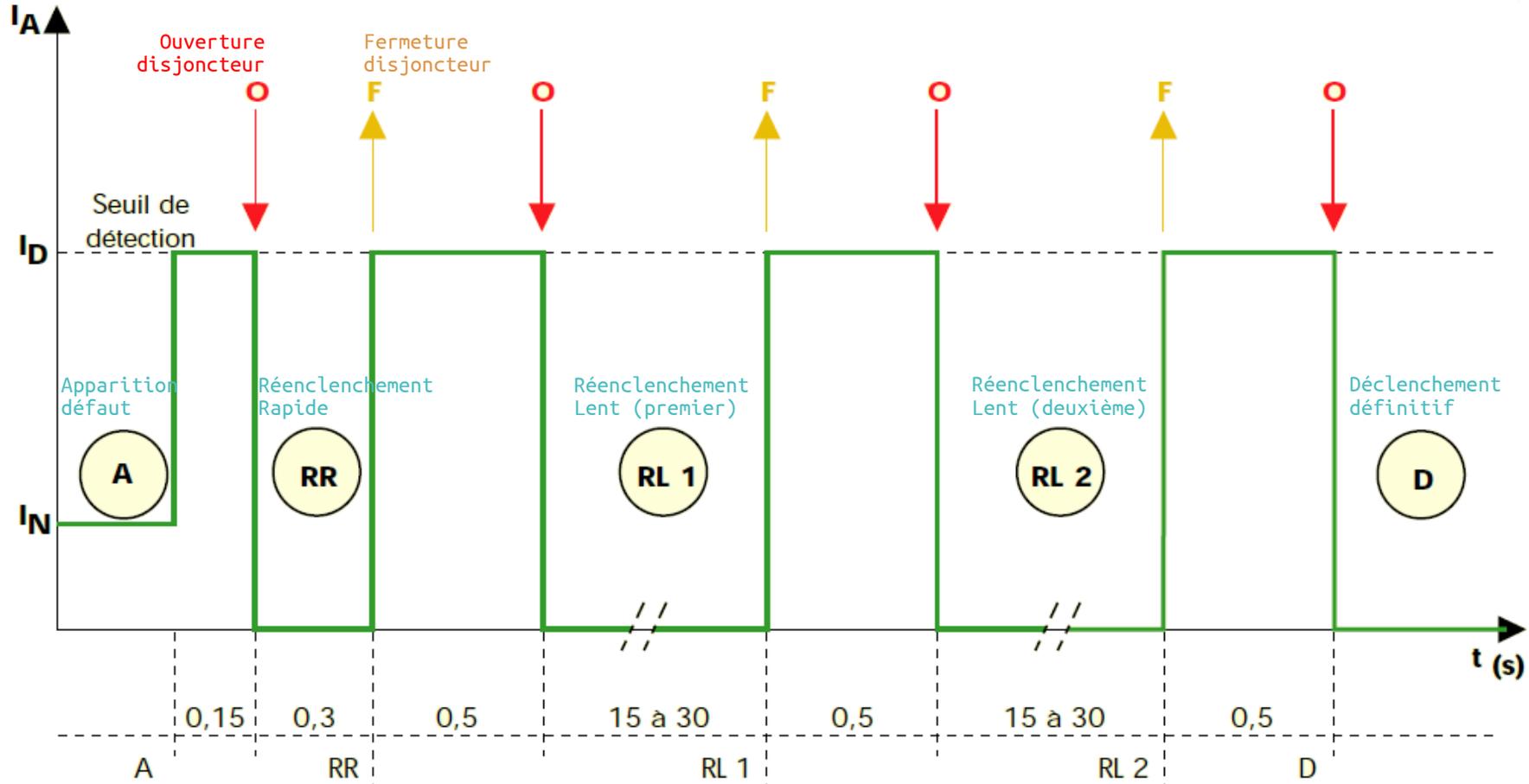
1. un deuxième déclenchement a lieu 0,5 s environ après la réapparition
2. la coupure a alors une durée de 15 à 30 s, ce cycle peut être répété

Défaut permanent

Si le défaut persiste encore, le disjoncteur déclenche définitivement. La ligne reste alors hors tension jusqu'à la fin de l'intervention nécessaire (recherche de défaut, visite de ligne, dépannage).

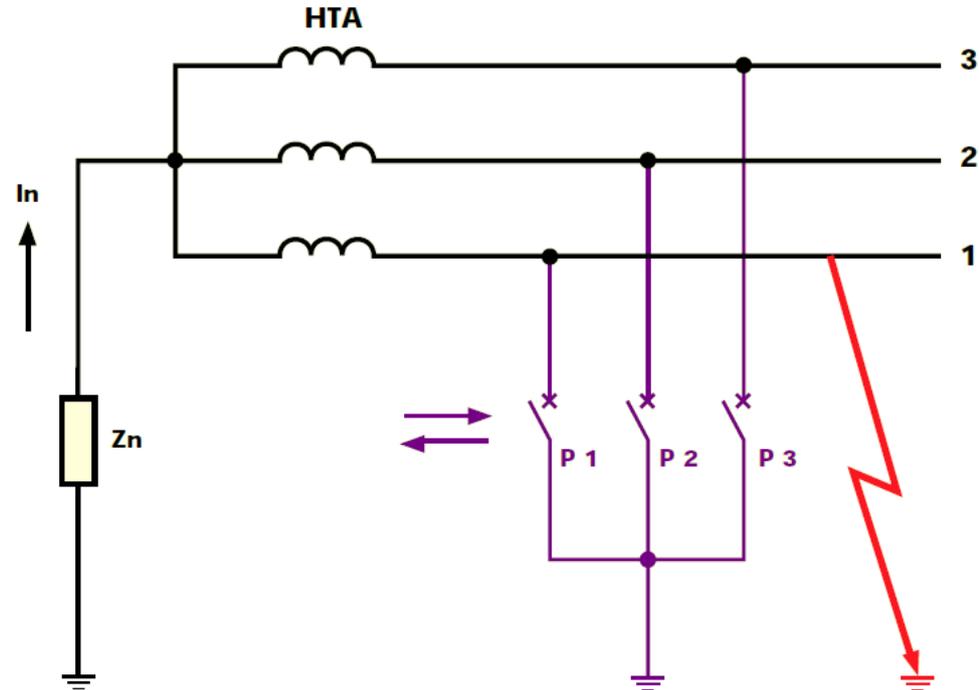
COUPER LE COURT-CIRCUIT

Cycle de ré-enclenchement du disjoncteur



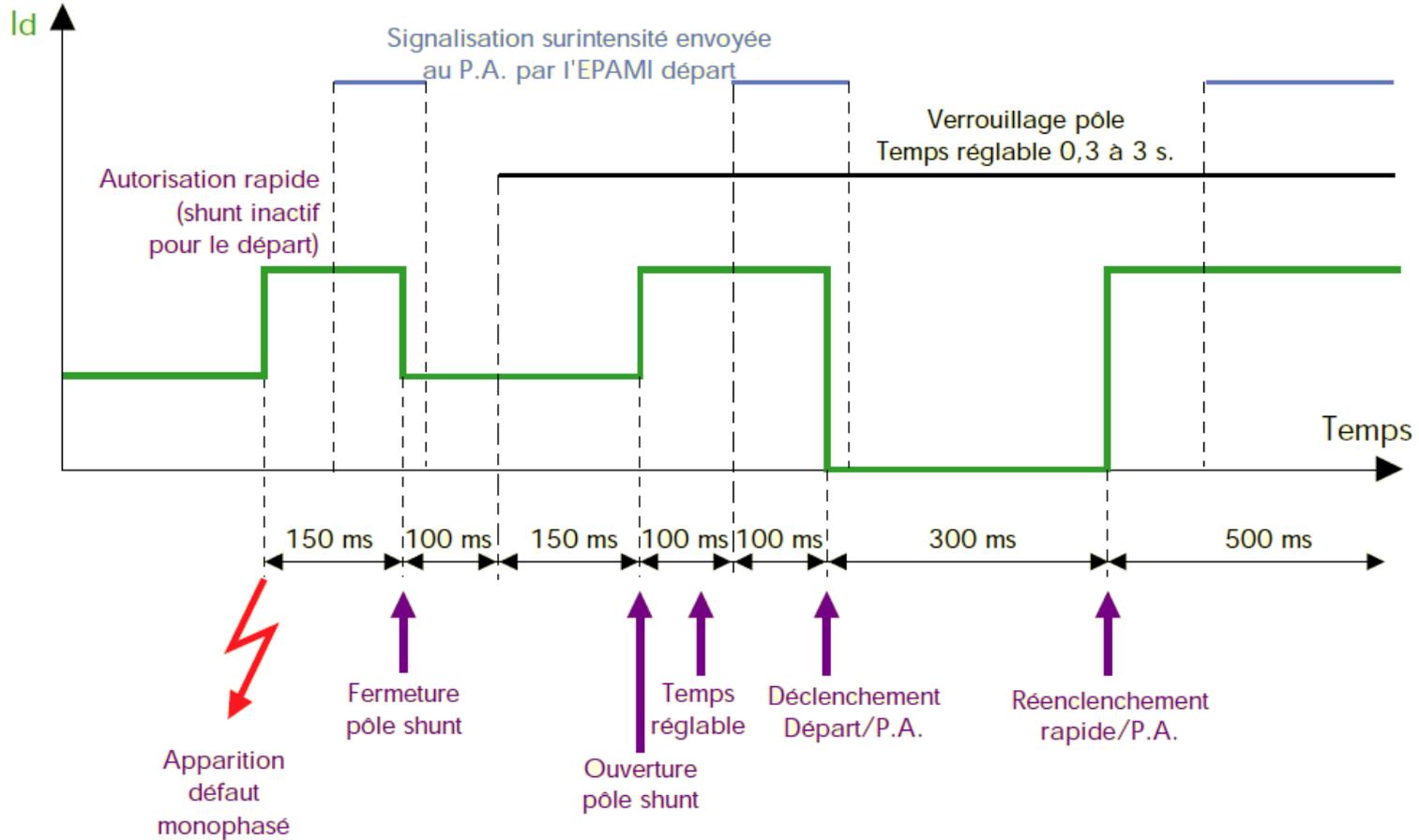
Le fonctionnement de l'automatisme ré-enclencheur lent présente l'inconvénient de provoquer des coupures sur le réseau. Le disjoncteur shunt permet d'éviter ces coupures, pour environ 80 % des défauts monophasés fugitifs.

Chaque phase peut être mise à la terre par un disjoncteur fonctionnant à pôles séparés, ce qui permet d'éteindre l'arc en le court-circuitant.



COUPER LE COURT-CIRCUIT

Cycle du disjoncteur shunt



Vidéo complète (20 min) – Monsieur Bidouille

À l'intérieur d'un des plus gros laboratoires haute tension d'Europe - d'EDF lab

Test disjoncteur (4:59 à 5:35)

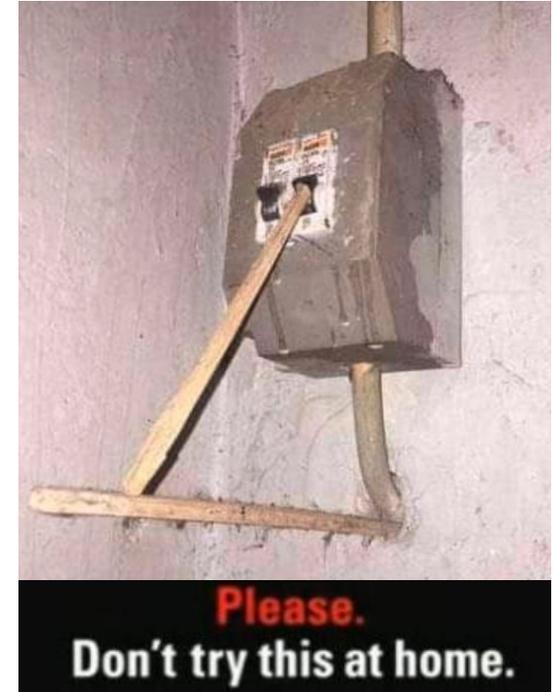
<https://www.youtube.com/watch?v=QnEIZgFFYmQ&t=299s>

Test de câble en court-circuit (6:25 à 6:32)

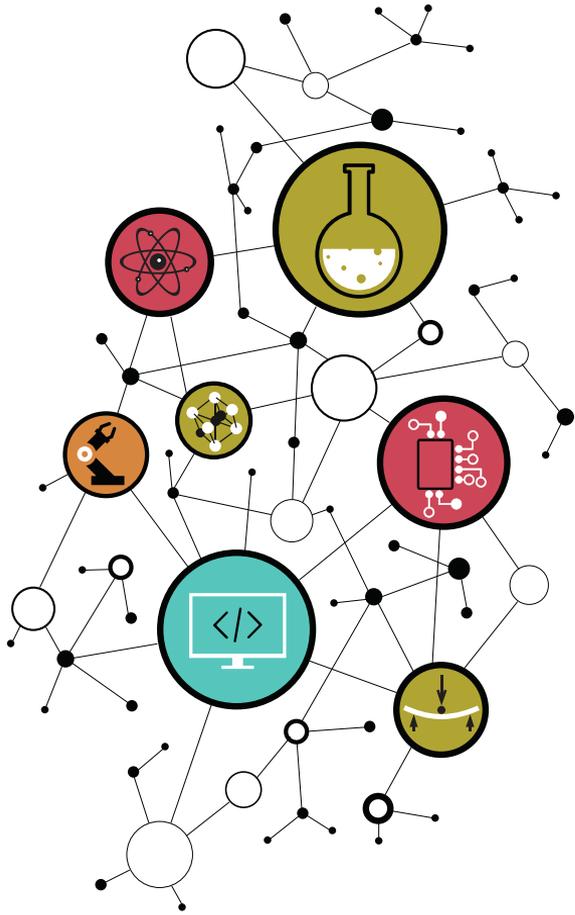
<https://www.youtube.com/watch?v=QnEIZgFFYmQ&t=385s>

Déformation de câbles sous fort courant (6:52 à 7:48)

<https://www.youtube.com/watch?v=QnEIZgFFYmQ&t=412s>



CONTACT



Dimitri Boudier – PRAG ENSICAEN

dimitri.boudier@ensicaen.fr

Avec l'aide précieuse de :

- Ahmed Aouchar (ex-PRAG ENSICAEN)



Except where otherwise noted, this work is licensed under
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>