

## II.1. Introduction

Un défaut se produisant en un point quelconque du réseau de distribution ne doit, en aucune façon, priver de courant électrique l'ensemble de l'installation. Il en résulte la nécessité d'isoler rapidement la partie en défaut sans priver d'énergie les autres utilisateurs; c'est le principe même de la sélectivité des déclenchements. L'élément de protection qui est placé immédiatement en amont de la partie du circuit où se produit le défaut doit, et lui seul, fonctionner, les autres protections ne devant pas déclencher. Les précédentes classiques de sélectivité ampérométrique et chronométrique permettent de répondre à cette exigence plus ou moins parfaitement. Le système de sélectivité logique, permet d'obtenir une sélectivité totale entre tous les étages d'un réseau de distribution électrique, industrielle ou tertiaire, ceci, de la haute tension à la basse tension. Par ailleurs il permet l'élimination du défaut dans un temps très réduit et indépendant de l'endroit où s'est produit l'incident. La sélectivité a pour but d'assurer d'une part la continuité de service d'alimentation en énergie électrique et d'autre part la fonction secours entre les protections.

## II.2. Sélectivité chronométrique

Elle consiste à donner des temporisations différentes aux protections à maximum de courant échelonnées le long du réseau. Ces temporisations sont d'autant plus longues que le relais est plus proche de la source [11].

### II.2.1. Mode de fonctionnement

Sur le schéma de la Figure II.1 le défaut (1) est vu par toutes les protections A, B, C, et D. La protection temporisée D ferme ses contacts plus rapidement que celle installée en C, elle-même plus rapide que celle installée en B...etc. Après l'ouverture du disjoncteur D et la disparition du courant de défaut, les protections A, B, C qui ne sont plus sollicitées, reviennent à leur position de veille. La différence des temps de fonctionnement  $\Delta T$  entre deux protections successives est l'intervalle de sélectivité, il doit tenir compte (Figure II.2) de :

- ◆ Temps de coupure  $T_c$  du disjoncteur en aval, qui inclut le temps de réponse de l'appareil à l'ouverture et le temps d'arc.
- ◆ Tolérances de temporisation  $dT$ .
- ◆ Temps de dépassement de la protection en amont  $t_r$ .
- ◆ Marge de sécurité  $m$ .



### II.2.2. Avantages de la sélectivité chronométrique

Ce système de sélectivité a les avantages suivants :

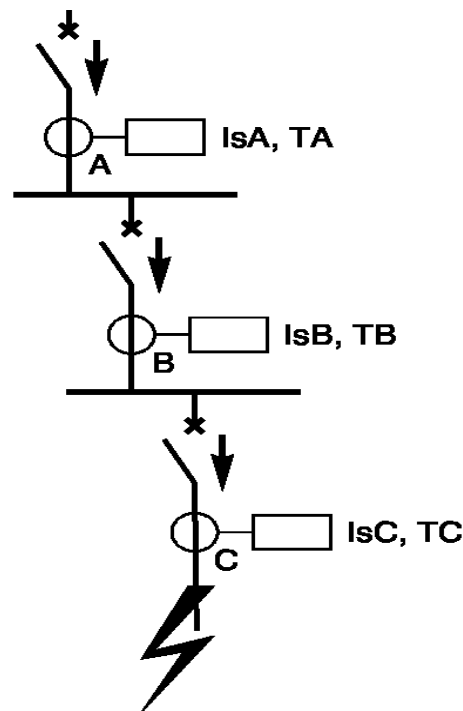
- ◆ Assure son propre secours ; par exemple si la protection D est défaillante, la protection C est activée plus tard.
- ◆ Réalisation simple.

### II.2.3. Inconvénients

Lorsque le nombre de relais en cascade est grand, du fait que la protection située le plus en amont a la temporisation la plus longue, on aboutit à un temps d'élimination de défaut prohibitif et incompatible avec la tenue des matériels au courant de court-circuit.

### II.2.4. Applications

Cette sélectivité est utilisée dans les réseaux en antenne (Figure II.3). Les temporisations déterminées pour obtenir la sélectivité chronométrique sont activées lorsque le courant dépasse les seuils des relais. Il faut donc que les réglages des seuils soient cohérents. On distingue deux cas de figure selon le type de la temporisation employée:



**Figure II.3.** Réseau en antenne avec sélectivité chronométrique.

◆ Relais à temps indépendant (Figure II.4)

Les conditions à respecter sont :  $I_{sA} > I_{sB} > I_{sC}$  et  $T_A > T_B > T_C$ .

L'intervalle de sélectivité  $\Delta T$  est 0,3 seconde.

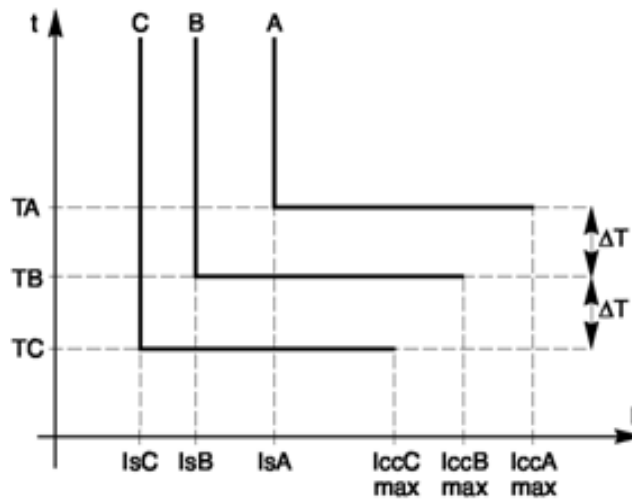


Figure II.4. Sélectivité chronométrique avec relais à temps indépendant.

◆ Relais à temps dépendant (Figure II.5)

Si les seuils sont réglés au courant assigné  $I_n$ , la protection de surcharge est assurée en même temps que la protection de court-circuit et la cohérence des seuils est assurée.

$$I_nA > I_nB > I_nC \tag{II.2}$$

$$I_{sA} = I_nA, \quad I_{sB} = I_nB, \quad \text{et} \quad I_{sC} = I_nC \tag{II.3}$$

Les temporisations sont déterminés pour obtenir l'intervalle de sélectivité  $\Delta T$  pour le courant maximum vu par la protection aval : on utilise pour cela la même famille de courbes, afin d'éviter leur croisement dans une partie du domaine [12].

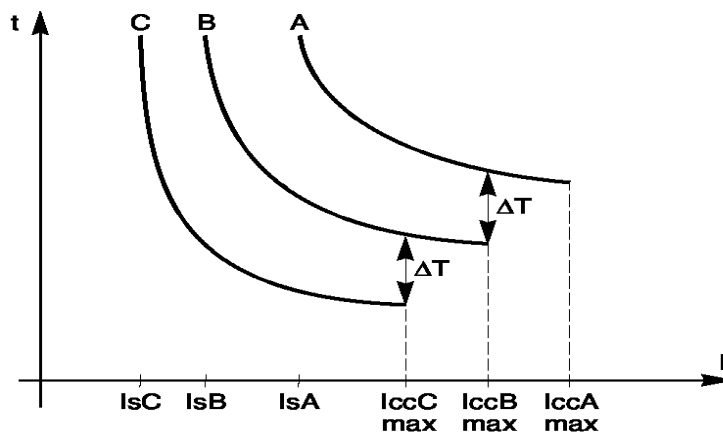


Figure II.5. Sélectivité chronométrique avec relais à temps dépendant.

### II.3. Sélectivité ampérométrique

Elle est basée sur le fait que dans un réseau, le courant de défaut est d'autant plus faible que le défaut est plus éloigné de la source [12].

#### II.3.1. Mode de fonctionnement

Une protection ampérométrique est disposée au départ de chaque tronçon : son seuil est réglé à une valeur inférieure à la valeur de court-circuit minimal provoqué par un défaut sur la section surveillée, et supérieure à la valeur maximale du courant provoqué par un défaut situé en aval au-delà de la zone surveillée.

#### II.3.2. Avantages de la sélectivité ampérométrique

Chaque protection ne fonctionne que pour les défauts situés immédiatement en aval de sa position, à l'intérieur de la zone surveillée, elle est insensible aux défauts apparaissant au-delà. Pour des tronçons de lignes séparés par un transformateur, ce système est avantageusement utilisé car il est simple, de coût réduit et rapide.

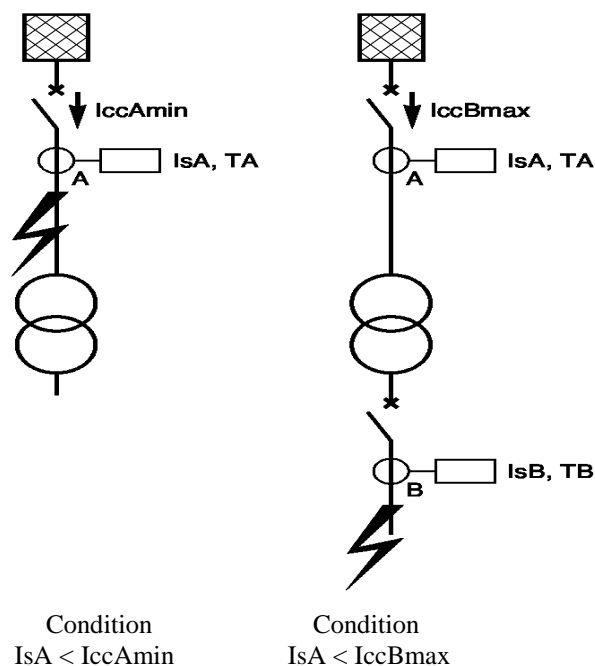
On considère l'exemple de la Figure II.6 :

$$I_{ccBmax} < I_{sA} < I_{ccAmin} \quad (II.4)$$

$I_{sA}$  : intensité de réglage.

$I_{ccB}$ : image du court-circuit maximum au secondaire.

Les temporisations  $T_A$  et  $T_B$  sont indépendantes, et  $T_A$  peut être plus courte que  $T_B$ .



**Figure II.6.** Fonctionnement d'une protection à sélectivité ampérométrique.

### II.3.3. Inconvénients

La protection située en amont (A) n'assure pas le secours de la protection située en aval (B). De plus, en pratique, il est difficile de définir les réglages de deux protections en cascade, tout en assurant une bonne sélectivité, lorsque le courant ne décroît pas de façon notable entre deux zones voisines, ceci est le cas en moyenne tension sauf pour des tronçons avec transformateur.

### II.3.4. Applications

L'exemple de la figure II.6 concerne la protection ampérométrique d'un transformateur entre deux tronçons de câble. Le réglage  $I_s$  de la protection à maximum de courant (la figure II.7) vérifie la relation :

$$1,25 I_{ccBmax} < I_{sA} < 0,8 I_{ccAmin}$$

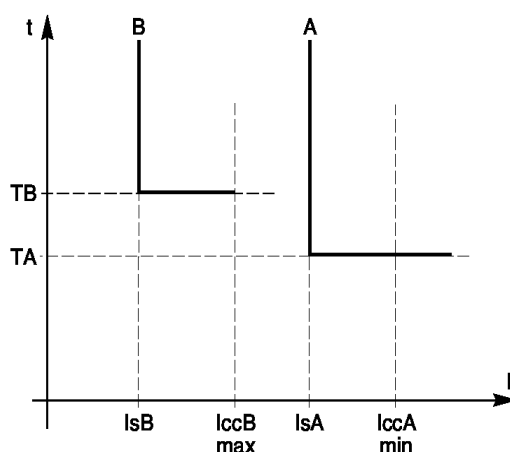


Figure II.7. Caractéristique de la Sélectivité ampérométrique.

## II.4. Sélectivité logique

### II.4.1. Principe de la sélectivité logique

Lorsqu'un défaut se produit dans un réseau en antenne, le courant de défaut parcourt le circuit situé entre la source et le point de défaut.

- ◆ Les protections en amont du défaut sont sollicitées.
- ◆ Les protections en aval du défaut ne sont pas sollicitées.
- ◆ Seule la première protection en amont du défaut doit agir.

A chaque disjoncteur est associée une protection apte à émettre et recevoir un ordre d'attente logique. Lorsqu'une protection est sollicitée par un courant de défaut elle émet un ordre d'attente logique et elle provoque le déclenchement du disjoncteur associé. La Figure II.8 décrit de façon simplifiée une distribution en antenne [13], [14].

**◆ Fonctionnement lorsqu'un défaut apparaît au point A (Figure II.8)**

Dans ce cas, les protections N°1 , N°2, N°3 ,...etc., sont sollicitées. La protection N°1 émet un ordre d'attente logique vers l'amont et un ordre de déclenchement au disjoncteur D1. Les protections N°2, N°3,...etc., émettent un ordre d'attente logique de l'aval vers l'amont, et reçoivent un ordre d'attente logique qui les empêchent de donner l'ordre de déclenchement aux disjoncteurs D2, D3...etc., associés. Le disjoncteur D1 élimine le défaut A au bout du temps :  $T_{D1} = T_1^1 + t_1$ .  $T_1^1$  est la temporisation de la protection N°1 et  $t_{cD1}$  est le temps de coupure du disjoncteur D1.

**◆ Fonctionnement lorsqu'un défaut apparaît au point B (Figure II.8)**

Pour le défaut B, la protection N°1 n'est pas sollicitée et les protections N°2, N°3,...etc., sont sollicitées et émettent un ordre d'attente logique vers l'amont. Seule la protection N°2 ne reçoit pas d'ordre d'attente logique et émet un ordre de déclenchement. Le disjoncteur D2 élimine le défaut B au bout du temps :  $T_{D2} = T_2^1 + t_2$ . Où  $T_2^1$  est la temporisation de la protection N°2 et  $t_{cD2}$  le temps de coupure du disjoncteur D2.

L'utilisation du système de sélectivité logique conduit à un temps d'élimination des défauts très réduit et indépendant du nombre de niveaux des protections. La fonction de l'attente logique correspond à une augmentation de la temporisation propre à la protection amont. Par souci de sécurité, la durée de l'attente logique est limitée ce qui permet à la protection amont de fonctionner en secours de la protection aval défaillante.

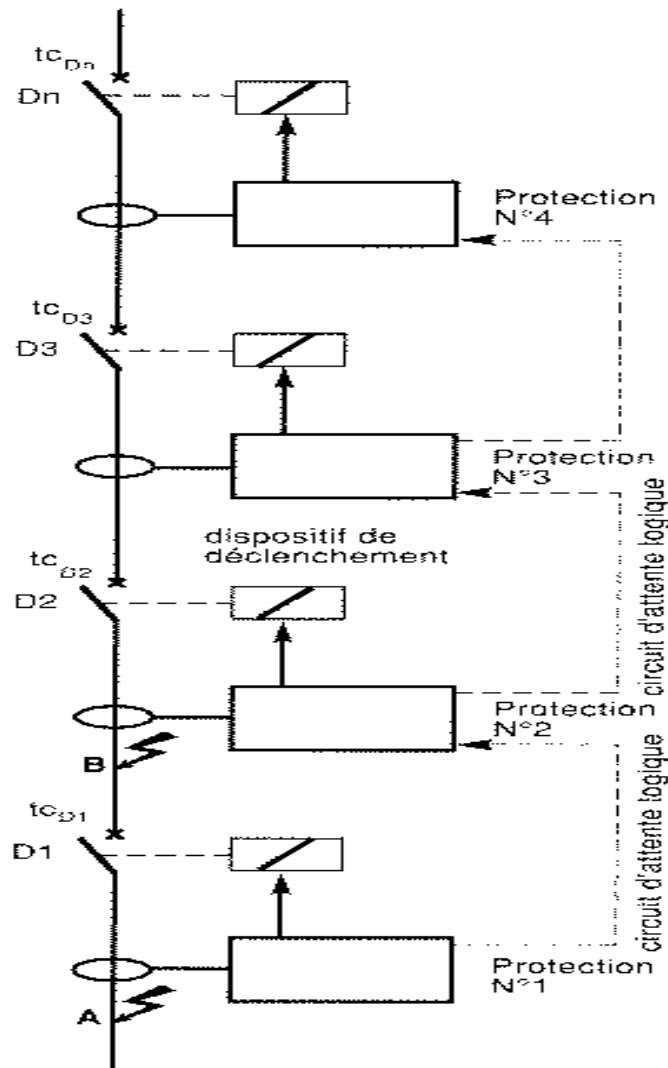


Figure II.8. Exemple d'utilisation de la sélectivité logique.

#### II.4.2. Avantages de la sélectivité logique

La sélectivité logique des protections est caractérisée par la rapidité d'isolement d'un éventuel défaut en particulier les courts-circuits. Elle permet donc de réduire les exigences sur la tenue au court-circuit des canalisations, de l'appareillage, des transformateurs de courant, ...etc.

Le procédé est très sûr, il consiste qu'au relais aval d'augmenter intelligemment la temporisation propre du disjoncteur amont. Une défaillance ne peut en aucun cas affecter l'ensemble des protections.

Elle est caractérisée par une mise en œuvre peu complexe. La sélectivité logique s'adapte sans difficulté aussi bien aux installations en études qu'aux installations existantes. En effet elle autorise des extensions sans modification des réglages, et ne nécessite qu'une simple liaison par fil pilote entre tableaux aval et tableau amont pour transmettre les informations logiques. Elle est indépendante du nombre de niveaux protégés [14].



### II.4.3. Inconvénients

Ce dispositif nécessite la transmission des signaux logiques entre les différents étages de protection, donc l'installation de filerie supplémentaire ; cette contrainte est forte lorsque les protections sont éloignées, par exemple dans le cas de liaisons longues (plusieurs centaines de mètres). Aussi peut-on tourner la difficulté en faisant de la combinaison de fonctions : sélectivité logique au niveau de tableaux proches, et sélectivité chronométrique entre zone éloignées.

## II.5. Sélectivité par protection différentielle

### II.5.1. Principe

Ces protections comparent les courants aux deux extrémités du tronçon de réseau surveillé (Figure II.9).

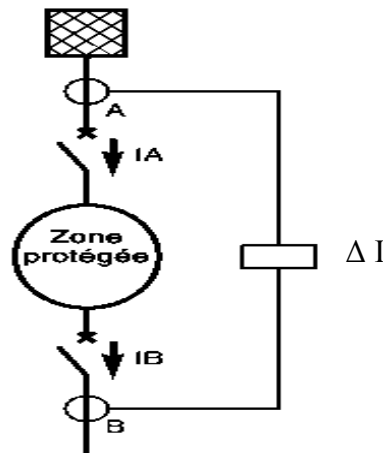


Figure II.9. Principe de la protection différentielle.

### II.5.2. Mode de fonctionnement

Toute différence d'amplitude et de phase entre ces courants signale la présence d'un défaut : la protection ne réagit qu'aux défauts internes à la zone couverte et est insensible à tout défaut externe. Elle est donc sélective par nature [13].

Le fonctionnement est possible à condition d'utiliser des transformateurs de courant spécifiquement dimensionnés, rendant insensible la protection aux autres phénomènes.

La stabilité de la protection différentielle est sa capacité à rester insensible s'il n'y a pas de défaut interne à la zone protégée, même si un courant différentiel est détecté :

- ◆ courant magnétisant de transformateur,
- ◆ courant capacitif de ligne,
- ◆ courant d'erreur dû à la saturation des capteurs de courant.

**II.5.3. Avantages de la sélectivité différentielle**

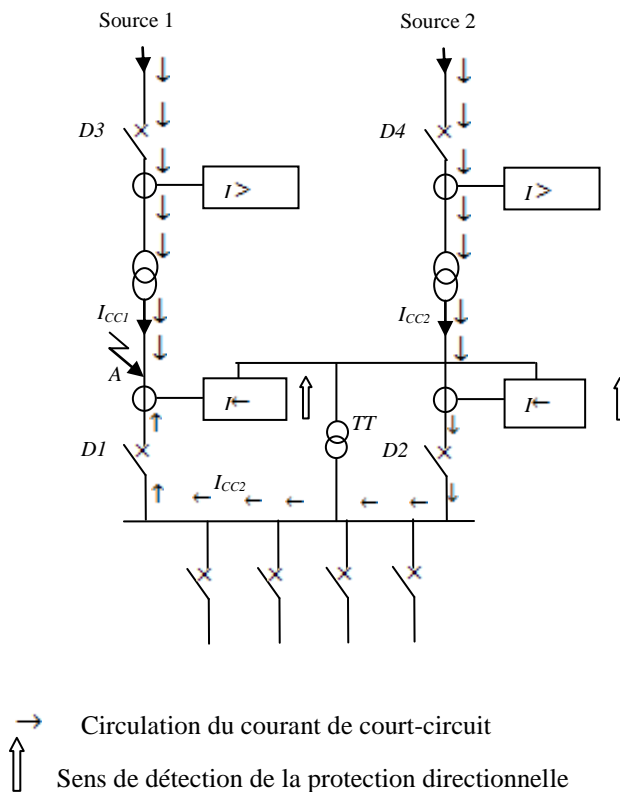
- ◆ Protection sensible à des valeurs de courants de défaut inférieures au courant nominal de l'élément protégé.
- ◆ Protection de zone qui peut déclencher instantanément.

**II.5.4. Inconvénients**

- ◆ Le coût de l'installation est important.
- ◆ La mise en œuvre du dispositif est délicate.
- ◆ Il faut prévoir une fonction de secours à maximum de courant.

**II.6. Sélectivité directionnelle**

Dans un réseau bouclé, ou un défaut est alimenté par les deux extrémités, il faut utiliser des protections sensibles au sens de circulation du courant de défaut, pour pouvoir le localiser et l'éliminer de façon sélective. On utilise pour cela des protections à maximum de courant directionnel. Nous allons étudier un exemple de sélectivité directionnelle pour les défauts entre phases d'un réseau à deux arrivées en parallèle (Figure II.10)



**Figure II.10.** Sélectivité directionnelle pour les défauts entre phases d'un réseau à deux arrivées en parallèle.

Les disjoncteurs D1 et D2 sont équipés de protection à maximum de courant de phase directionnel, D3 et D4 sont équipés de protection à maximum de courant de phase [15].

Lorsqu'un défaut apparaît en A :

- ◆ les courants de court-circuit ICC1 et ICC2 s'établissent simultanément;
- ◆ la protection directionnelle en D2 n'est pas activée car elle est traversée par un courant circulant dans un sens de détection;
- ◆ la protection directionnelle en D1 est activée car elle est traversée par un courant circulant dans le sens de sa détection. Elle provoque le déclenchement du disjoncteur D1, le courant ICC2 est coupé;
- ◆ la protection en D4 n'est plus activée.

Le tronçon en défaut est isolé.

La sélectivité entre la protection directionnelle en D1 et la protection en D4 est chronométrique. De même, la sélectivité entre la protection directionnelle en D2 et la protection en D3 est chronométrique.

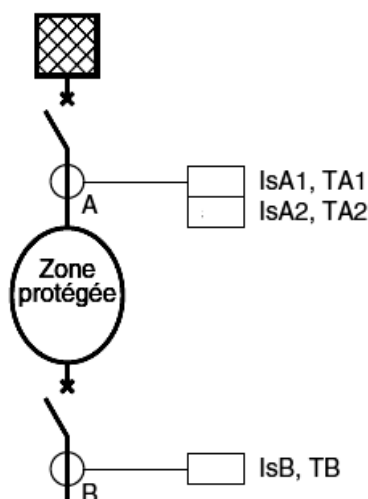
## II.7. Sélectivité combinée

### II.7.1. Sélectivité ampérométrique + chronométrique

L'exemple montre que l'on définit à la fois [16] :

- ◆ Une sélectivité ampérométrique entre A1 et B,
- ◆ Une sélectivité chronométrique entre A2 et B.

On obtient alors une sélectivité totale, et la protection en A assure le secours de la protection B



**Figure II.11.** Sélectivités ampérométrique + chronométrique

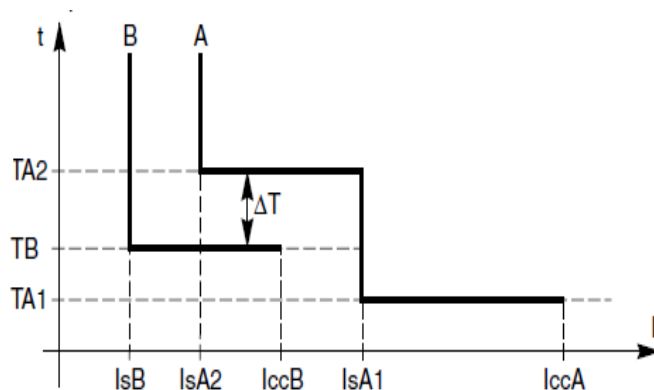


Figure II.12. Courbes de la sélectivité ampérométrique + chronométrique

**II.7.2. Sélectivité logique + chronométrique**

L'exemple montre que l'on définit à la fois :

- ◆ Une sélectivité logique entre A1 et B,
- ◆ Une sélectivité chronométrique entre A2 et B.

La protection A2 assure alors un secours de la protection A1, si celle-ci est défaillante du fait d'un défaut d'attente logique (ordre d'attente permanent).

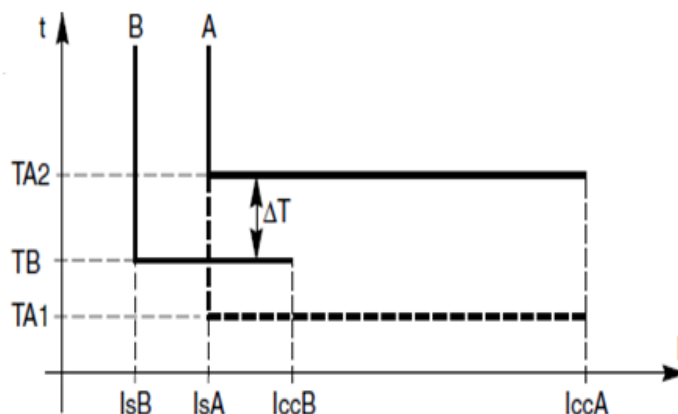


Figure II.13. Courbes de la sélectivité logique + chronométrique

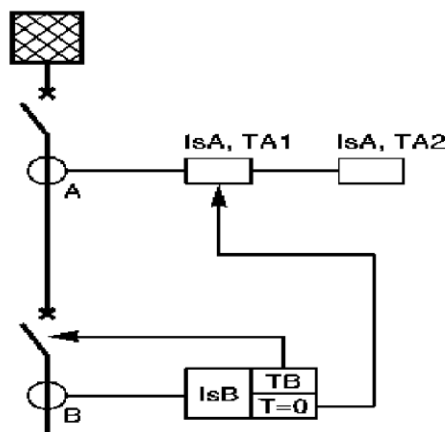


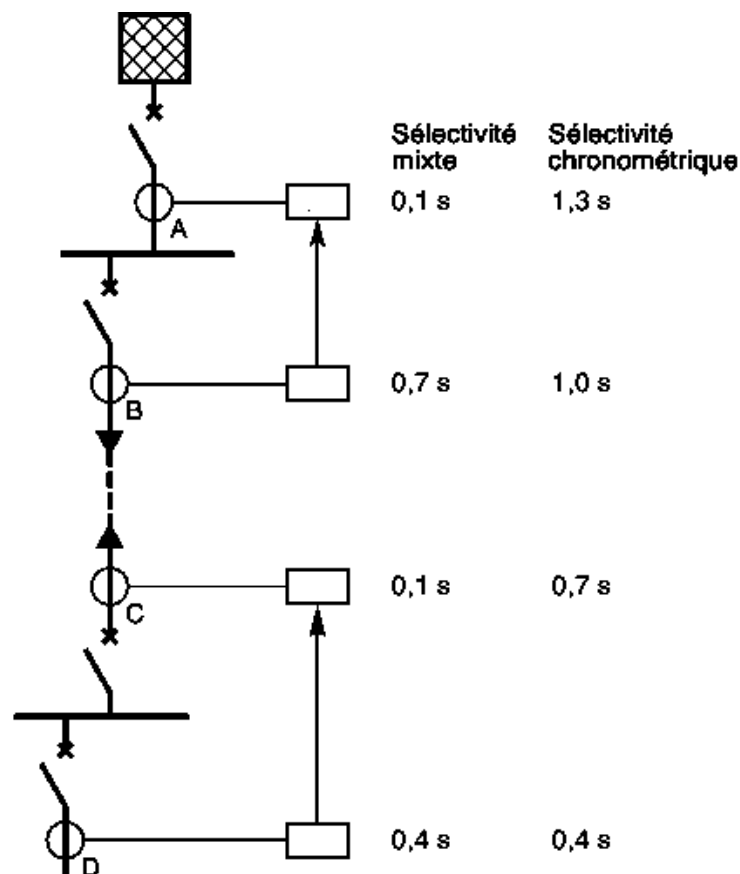
Figure II.14. Sélectivité logique + chronométrique.

L'exemple montre que l'on définit à la fois :

- ◆ Une sélectivité logique à l'intérieur d'un tableau (A et B d'une part, C et D d'autre part),
- ◆ Une sélectivité chronométrique entre les deux tableaux B et D, avec  $T_B = T_D + DT$ .

Il n'est pas nécessaire d'installer une liaison de transmission de signaux logiques entre deux tableaux éloignés. Les temporisations des déclenchements sont réduites par comparaison à une simple sélectivité chronométrique (Figure II.15).

- ◆ De plus, il faut prévoir un secours chronométrique en A et C (se reporter au paragraphe ci-dessus).



**Figure II.15.** Comparaison des temps de déclenchement entre la sélectivité mixte et la sélectivité chronométrique.

## II.8. Sélectivité fusible – disjoncteur

Deux problèmes différents de sélectivité existent selon que le fusible est situé en amont ou en aval du disjoncteur [16].

### II.8.1. Fusible en aval d'un disjoncteur

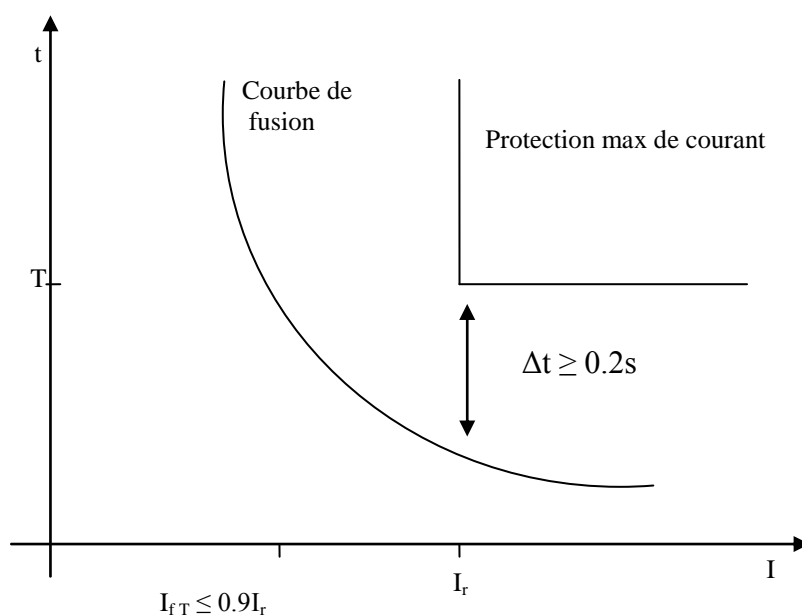
On considère un fusible HTA et un disjoncteur HTA équipé d'une protection à maximum de courant. Les courbes de fonctionnement et de fusion doivent respecter les conditions indiquées sur la Figure II.16 pour une protection à temps indépendant ou sur la Figure II.16 pour une protection à temps dépendant.

Compte tenu de l'allure des courbes de fonctionnement et de fusion :

- ◆  $\frac{I_f}{I_d}$  est minimale pour  $I_d = I_r$ .
- ◆  $\Delta t$  est minimal pour  $I = I_{cc} \cdot \max$ .

Il suffit alors de vérifier que :

- ◆  $I_f \leq 0.8 I_d$  pour  $I_d = I_r$ .
- ◆  $\Delta t \geq 0.2s$  pour  $I = I_{cc} \cdot \max$ .

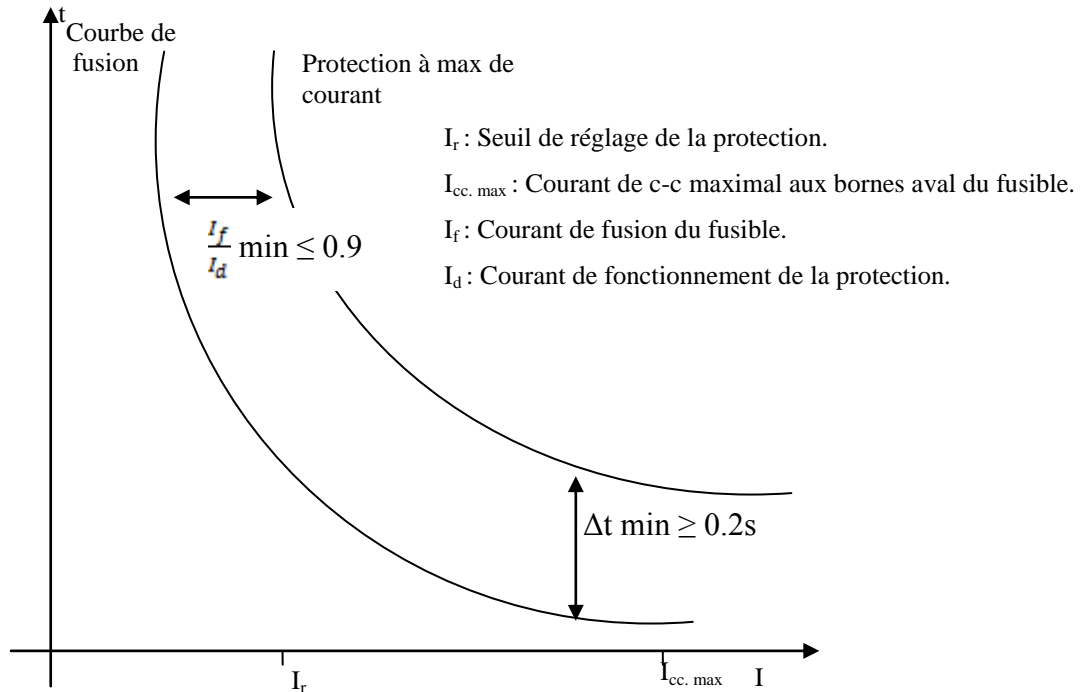


$T$  : Temporisation de la protection.

$I_r$  : Seuil de réglage de la protection.

$I_{fT}$  : Valeur du courant pour laquelle le fusible coupe en un temps  $T$

**Figure II.16.** Sélectivité entre un fusible et une protection à temps indépendant.



**Figure II.17.** Sélectivité entre un fusible et une protection à temps dépendant.

$\frac{I_f}{I_d} \min$  : Point où le courant de fusion du fusible est le plus proche du courant activant la protection.

$\Delta t \min$  : Point pour laquelle la différence entre le temps d'activation de la protection et le temps de fusion est minimale : pour  $I$  compris entre  $I_n$  et  $I_{cc. max}$ .

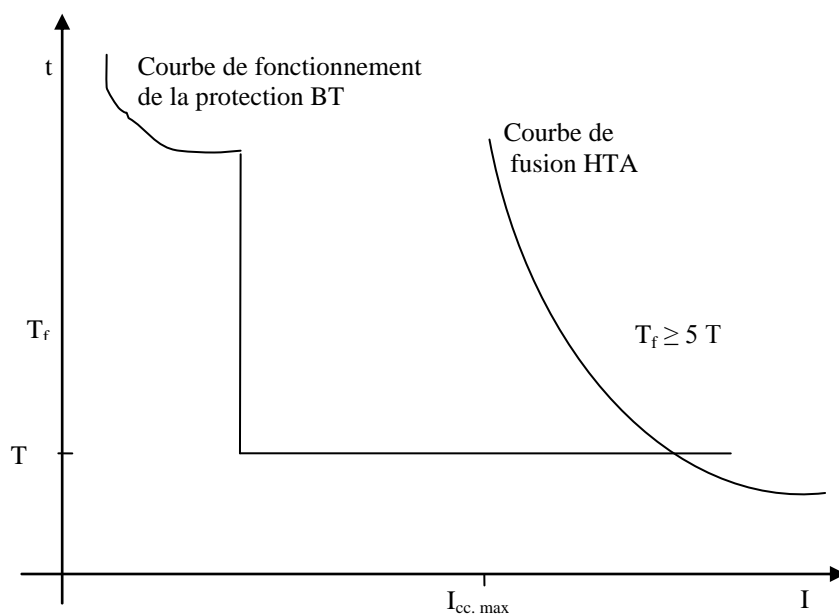
### II.8.2. Fusible en amont d'un disjoncteur

Ce cas se produit entre l'interrupteur – fusible HTA de la protection amont d'un transformateur et le disjoncteur BT en aval. La norme concernant les combinés interrupteurs – fusible impose que le courant de court-circuit triphasé aux bornes du secondaire du transformateur provoque la coupure des fusibles en un temps inférieur au temps d'ouverture de l'interrupteur provoqué par la fusion des fusibles [16].

Il en résulte que pour des courts-circuits basse tension à proximité du transformateur le temps de fusion des fusibles est inférieur à environ 36ms. Il n'est donc pas possible d'obtenir la sélectivité entre le disjoncteur du tableau principal situé à proximité du transformateur et le fusible. Si les disjoncteurs du réseau BT sont temporisés, seuls ceux situés suffisamment loin du transformateur peuvent être sélectifs avec le fusible. En effet, le courant de court-circuit est alors suffisamment faible pour que le temps de fusion soit supérieur à la temporisation. Pour que la sélectivité soit totale et sans risque d'altération du fusible, il faut que le temps de fusion

du fusible soit supérieur à 5 fois la temporisation du disjoncteur pour le courant de court-circuit maximal aux bornes de celui-ci (Figure II.18).

Le non sélectivité du fusible avec les disjoncteurs BT proches du transformateur est un désavantage important par rapport à la solution de protection par disjoncteur HTA [16] .



$T$  : Temporisation du disjoncteur.

$I_f$  : Courant de fusion du fusible pour  $I_{cc. max}$ .

$I_{cc. max}$  : Courant de c-c maximal vu par le disjoncteur.

**Figure II.18.** Sélectivité entre un fusible HTA amont et un disjoncteur BT aval.

## II.9. Conclusion

Le bon fonctionnement du réseau électrique exige l'implémentation d'un ensemble d'organes de protection qui doivent, dans le cas échéant, être définis par un type de sélectivité. Dans ce chapitre, nous avons présenté les modes de sélectivité les plus utilisés dans les installations électriques à savoir la sélectivité ampérométrique, la sélectivité chronométrique et la sélectivité logique et les sélectivités combinées. La sélectivité logique qui constitue le sujet de ce travail possède l'avantage que doit répondre un système de protection : rapidité à isoler un défaut en assurant la continuité de service pour les parties saines. La simulation par Simulink de Matlab de la sélectivité logique est le sujet du quatrième chapitre.