

CHAPITRE I

INTRODUCTION A LA PROTECTION

I.1 Introduction :

Le réseau électrique comprend trois grandes étapes, la production de l'énergie électrique, le transport et la distribution. Chaque équipement est doté d'un ensemble de protections souvent de nature complémentaire et à caractère instantané ou différé.

Dans une centrale de production, les protections ont pour but d'éliminer le défaut l'action instantanée d'un relais électromagnétique ou retardée par un relais temporisé et d'éviter la détérioration des alternateurs ou transformateurs en cas de fonctionnement dans de mauvaises conditions, dues à des défaillances internes, tels que défauts d'isolement ou panne de régulation.

Le choix d'un plan de protection est directement lié au choix de la structure et du mode d'exploitation du réseau, ainsi que du régime de neutre qui lui est appliqué. Sur des matériels bien conçus, bien fabriqués, bien installés, bien entretenus et bien exploités elles n'ont à fonctionner qu'exceptionnellement, et leur défaillance peut passer inaperçue. De plus, si une protection est défaillante lors d'un incident, les dommages causés à l'alternateur ou au transformateur peuvent avoir des conséquences financières importantes, mais qui restent internes à la compagnie de production d'électricité: perte de production, qui doit être compensée par des moyens de production moins économiques, et réparation de l'appareil endommagé.

I.2 Principaux défauts pouvant survenir dans un réseau d'énergie électrique

I.2.1 Le défaut

Un défaut a toujours pour effet de modifier la tension et les intensités propres à l'appareil intéressé par le défaut. Les grandeurs agissantes sur les

protections devront être liées à ces courants et à ces tensions puisque dans le cas d'une installation triphasée, les trois tensions simples V (entre phase et terre), les trois tensions composées U (phases) et les trois courants dans les phases sont les seules quantités électriques dont on dispose pour caractériser l'état de l'installation.

Un défaut est caractérisé par son amplitude et sa durée. Dans le cas général, plus la durée d'un défaut est longue, plus les dommages sur les équipements augmentent. Les défauts peuvent être engendrés par des phénomènes externes au réseau comme le climat, ou par des défaillances des équipements suite à des surcharges excessives et répétées, au vieillissement de l'isolation...etc.

I.2. 2 Classement des défauts

Une augmentation ou une diminution anormale des grandeurs nominales dans un circuit électrique constitue un défaut ou une perturbation. Ce sont le plus souvent les variations anormales de la tension, de l'intensité et de la fréquence qui sont à l'origine de ces perturbations.

Le classement actuel des défauts se fait en fonction de la façon dont ils sont traités par les automatismes de reprise de service (réenclencheurs).

- a) Défauts auto-extincteurs** : ils disparaissent naturellement avant fonctionnement des protections.
- b) Défauts semi-permanents** : ils nécessitent le fonctionnement des protections et sont éliminés.
- c) Défauts permanents**: Ils ne sont pas éliminés par les réenclenchements et nécessitent une intervention de l'exploitant.

I.2. 3 Types de défauts

Quelle que soit le défaut, les effets peuvent être classés de deux façons différentes:

Effets instantanés : Manœuvres intempestives de contacteurs ou d'organes de protection, mauvais fonctionnement ou arrêt d'une machine. L'impact de la perturbation est alors directement remarquable sur le plan financier et technique.

Effets différés : Pertes énergétiques, vieillissement accéléré du matériel dû aux échauffements et aux efforts électrodynamiques supplémentaires engendrés par les perturbations. L'impact financier est difficilement quantifiable.

I.2. 3.1 Courant de court-circuit

Tout fonctionnement d'un réseau électrique peut être sujet à l'apparition de défauts, qui est une surintensité produite par un défaut d'impédance se manifestant souvent par des courants élevés de « court-circuit », avec de lourdes conséquences qu'il est nécessaire de savoir gérer au mieux.

Un court-circuit dans les réseaux électriques peut être :

- **Monophasé** : entre une phase et la terre ou une masse.
- **Biphasé** : entre deux phases raccordées ensemble, peut être un court-circuit biphasé mis à la terre ou biphasé isolé.
- **Triphasés** : entre trois phases de la ligne ou les trois phases et la terre.

L'étude du comportement d'un réseau en régime de court-circuit a pour but :

- **Identifier les situations à risque :**

Effet thermique : Ce phénomène est provoqué lors d'un court-circuit .il engendre un courant beaucoup plus important que le courant nominal et parmi ces conséquences, on trouve les échauffements des câbles qui conduisent à endommager l'isolant.

Effet électrodynamique : La valeur maximale crête du courant est à l'origine des efforts électrodynamiques maximaux observés dans les matériels du réseau.

Surtension temporaire : Les surtensions temporaires à la fréquence industrielle prennent naissance suite à un défaut d'isolement entre phase et terre, préjudiciable aux accrochages électriques, aux automates et équipements informatiques.

Déséquilibre : Un système triphasé est déséquilibré lorsque les trois tensions ne sont pas égales en amplitude et/ou ne sont pas déphasées les unes par rapport aux autres de 120° .

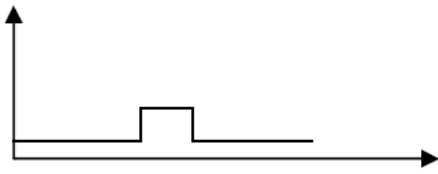
- **Aider à faire des choix de base de conception pour limiter les effets néfastes des défauts, en ce qui concerne :**
 - o Les systèmes de liaisons à la terre des Installations,
 - o Le dimensionnement approprié des matériels,
 - o Le réglage des protections, déterminé à partir du calcul des courants de défaut
- **Les dispositifs de détection réservés à cette perturbation sont :**
 - o Relais électromagnétiques
 - o Transformateur d'isolement
 - o Fusibles

I.2. 3.2 Courant de surcharge

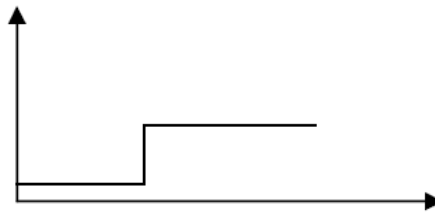
Le courant de surcharge est une élévation de l'intensité de 1 à 10 I_n de nature progressive qui se produit dans un circuit sain suite à une augmentation de la charge due par exemple à une surabondance des récepteurs. Les surcharges sont de courte ou de longue durée

La surcharge est une demande de puissance plus importante pour un circuit électrique. On distingue deux types de surcharges.

Surcharge temporaire



Surcharge prolongée



▪ **Conséquences du au courant de surcharge :**

- Surintensité
- Echauffement lent et progressif des parties actives.
- Déséquilibre.
- Des masses métalliques des isolants.
- Chute de fréquence

▪ **Moyens de protection :**

- Relais thermique.
- fusible déclencheur thermique du disjoncteur.

I.2. 3.3 Surtension

La surtension est une augmentation soudaine et importante de la tension due par exemple à un coup de foudre, à un contact entre HTA et BTA.

▪ **Conséquences du à la surtension :**

- Claquage des isolants.
- Courant de court-circuit.
- Mauvais fonctionnement du disjoncteur.

▪ **Moyens de protection :**

- Limiteur de surtension.
- relais de surtension.
- parafoudre

I.2. 3.4 Chute ou manque de tension

La chute de tension, trop importante dans un réseau, déséquilibre d'un réseau triphasé de distribution.

- **Conséquences du à la chute de tension :**
 - Mauvais fonctionnement des récepteurs
- **Moyens de protection :**
 - Relais à minimum de tension.
 - Alimentation autonome.

I.2 3.5 Déséquilibre de courant et de tension

C'est quand un récepteur triphasé qui n'est pas équilibré et que l'on alimente par un réseau triphasé équilibré conduit à des déséquilibres de tension dus à la circulation de courant non équilibré dans les impédances du réseau.

- **Conséquences du déséquilibre de courant et de tension:**
 - Le dysfonctionnement des appareils base tensions.
 - Le fonctionnement d'une charge en présence de déséquilibre entraine l'apparition de composantes harmoniques non caractéristiques, plus spécifiquement les harmoniques de rang multiple de trois.

I.3 Appareils de mesures et réduction des grandeurs électriques

Les grandeurs, tension et courant, présents sur le réseau, ne sont pas directement utilisables, et on passe, là aussi, par des réducteurs de mesure. Au secondaire de ces réducteurs se trouvent connectés des capteurs qui élaborent les grandeurs nécessaires à la conduite du réseau, à savoir la puissance active et la puissance réactive sur les ouvrages, et la tension efficace sur les barres, et les transmettent aux équipements de tél éconduite sous forme de courants continus proportionnels à ces grandeurs.

I.3.1 Transformateurs de mesures

Les systèmes de protections sont alimentés par des transformateurs de mesure (transformateur de tension, transformateur de courant). Les transformateurs de mesure sont destinés à ramener les tensions et les courants sur les circuits électriques à des valeurs plus faibles.

I.3.1.1 Transformateur de courant

Le transformateur de courant (Current transformer CT) est utilisé pour baisser le niveau de courant réel à des valeurs standards (1 à 5 A, selon la norme IEC 60044) utilisés par les relais. Une protection fiable dépend de la précision de mesure du CT.

La notion de transformateur de courant est un abus de langage, mais elle a été popularisée dans l'industrie. L'expression « transformateur d'intensité » est sans doute plus exacte. On utilise fréquemment les abréviations TC ou TI. Un transformateur de courant ou d'intensité aussi appelé transformateur série, permet la réduction du courant et doit être capable supporter le courants de court circuit maximale pendant 1 seconde.

Les transformateurs de courant ont deux fonctions essentielles :

- Adapter la valeur du courant MT du primaire aux caractéristiques des appareils de mesure ou de protection en fournissant un courant secondaire d'intensité proportionnelle réduite.
- Isoler les circuits de puissance du circuit de mesure et/ou de protection.

D'assurer des fonctions annexes.

Un CT doit être capable supporter le courants de court circuit maximale pendant 1 seconde.

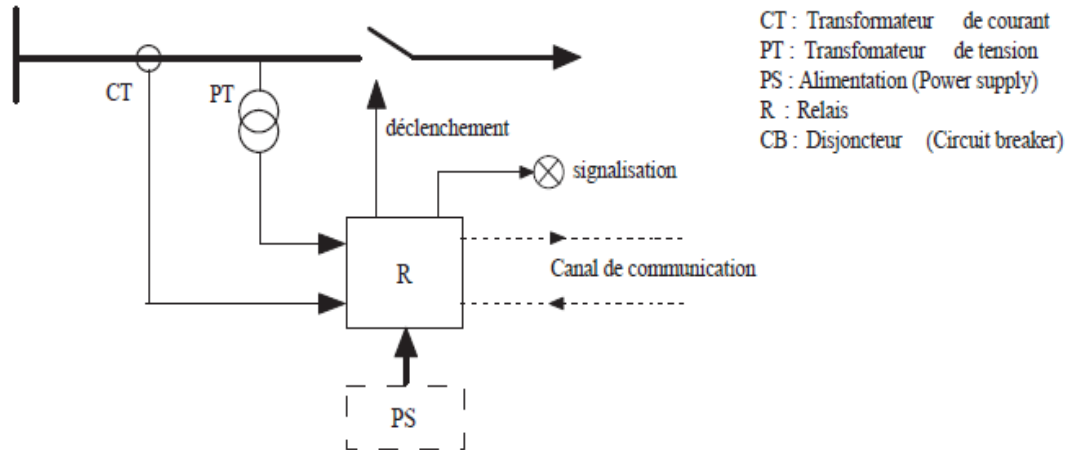


Figure I.1 : Connexion des CT.

I.3.1.2 Transformateur de tension

Les transformateurs de tension, (potential transformer PT, appelés aussi capacitor coupling voltage transformer CVT) sont utilisés pour baisser le niveau de tension à des valeurs typiques de 100 ou 110 V entre phase, (Norme IEC 60186).

Ils sont caractérisés par :

- o Le rapport de transformation
- o La classe de précision
- o La puissance d'échauffement

Les transformateurs de tension sont couplés soit en étoile soit en V (figure I.2).

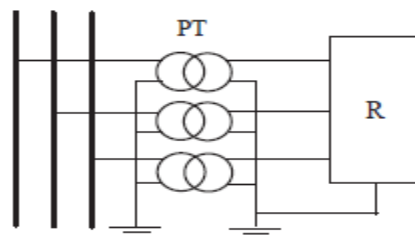


Figure I.2 : Connexion des PT en étoile.

I.3.2 Réducteur de courant

Cet appareil est destiné à alimenter les protections et les équipements de mesure et de comptage.

Les performances requises sont très différentes, suivant qu'il s'agit d'alimenter une protection contre les courts-circuits ou un autre équipement: la première doit recevoir une image correcte d'un courant dont la valeur peut être très élevée, et qui peut comporter une composante transitoire, alors que les autres doivent recevoir une image précise d'un courant permanent inférieur ou égal au courant nominal. C'est pourquoi le réducteur de courant comprend au minimum deux enroulements, sur deux noyaux distincts.

Le réducteur de courant est un système à contre réaction totale, et son étude complète est assez complexe, surtout si on veut tenir compte de phénomènes non linéaires, tels que la saturation et l'hystérésis.

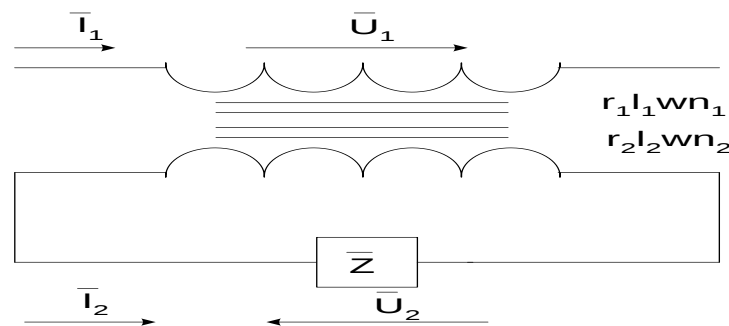


Figure I.3 : Schéma de branchement d'un transformateur de courant

Le transformateur de courant ou d'intensité aussi appelé transformateur série, permet la réduction du courant

$$\begin{aligned} I_1 &= \frac{n_2}{n_1} I_2 \\ \bar{U}_2 &= R\bar{I}_2 + j\bar{X}_2 \\ \bar{E}_2 &= \bar{U}_2 + r_2\bar{I}_2 + jl_2\omega\bar{I}_2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{I}_1 &= \bar{I}_{10} + \frac{n_2}{n_1} \bar{I}_2 \\ \bar{E}_1 &= \frac{n_1}{n_2} \bar{E}_2 \\ \bar{U}_1 &= \bar{E}_1 + r_1 \bar{I}_1 + j l_1 \omega \bar{I}_1\end{aligned}$$

Dans la pratique, les valeurs nominales de courant primaire vont de 100 A à 3000 A, et le courant nominal secondaire vaut 1 A ou 5 A, donc les transformateurs de courant qui ne seature pas au courant de défaut maximal de façon que le courant secondaire, image du courant primaire ne soit pas déformé.

I.3.3 Réducteur de potentiel

C'est un véritable transformateur, dont le primaire reçoit la tension du réseau, et le secondaire restitue une tension image égale à 100 V entre phases lorsque la tension primaire est égale à la tension nominale.

Le réducteur de tension est un appareil utilisé pour la mesure de fortes tensions électriques. Il sert à faire l'adaptation entre la tension élevée d'un réseau électrique HTA ou HTB (jusqu'à quelques centaines de kilovolts) et l'appareil de mesure (voltmètre, ou wattmètre par exemple) ou le relais de protection, qui eux sont prévus pour mesurer des tensions de l'ordre de la centaine de volts.

Les transformateurs de tension (TT ou TP) sont constitués de deux enroulements, primaire et secondaire, couplés par un circuit magnétique, les raccordements peuvent se faire entre phases ou entre phase et terre (Figure I.4).

Avec: $m = \frac{V_1}{V_2}$ rapport de transformation de TT.

C'est le même enroulement qui fournit la tension aux protections et aux autres équipements.

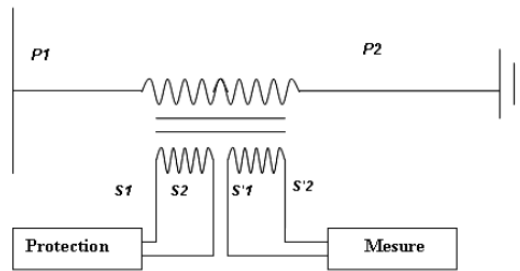


Figure I.4 : Transformateur de tension avec double secondaire

Il existe trois technologies existantes pour le transformateur de tension :

- o Transformateur de tension inductif
- o Transformateur de tension capacitif
- o Transformateur de tension optique

I.4 Généralités sur la protection

Les réseaux de transport d'énergie sont constitués d'ouvrages triphasés, à savoir: des lignes aériennes, des canalisations souterraines, des transformateurs de puissance, et des jeux de barre (Figure I.5).

La protection est un ensemble d'organes destinés au rôle déconnecté (isoler) un équipement ou une partie du réseau qui se trouve en défaut, afin de protéger les équipements et le personnel opérateur. Ce rôle consiste aussi, à éviter la propagation d'un défaut à d'autres parties du réseau qui ne sont pas en défaut.

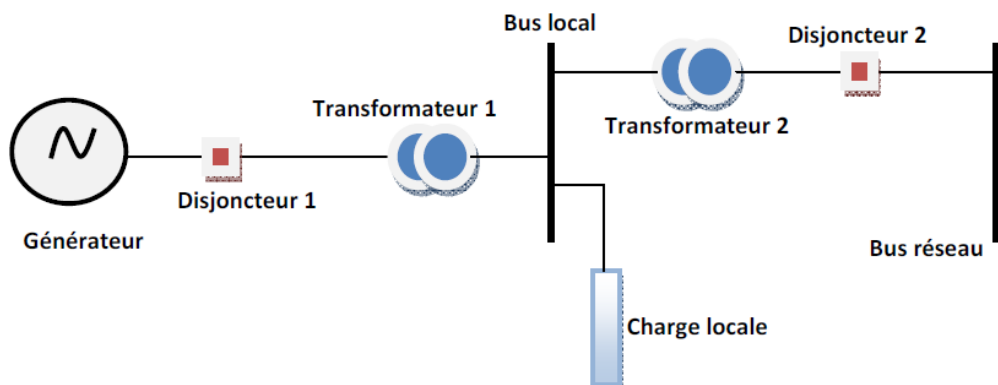


Figure I.5 : Schéma unifilaire un réseau triphasé

I.4.1 Objectifs :

Un système de protection doit :

- Préserver la sécurité des personnes et des biens.
- Déterminer les mesures à prendre, assurant ainsi la protection des personnes, des matériels et la disponibilité de l'énergie
- Eviter la destruction partielle ou totale des matériels.
- Assurer la meilleure continuité de fourniture possible.

I.4.2 Qualités principales d'un système de protection :

Pour atteindre ces objectifs, il est nécessaire d'obtenir le meilleur compromis entre :

- **Rapidité** : Les courts-circuits sont donc des incidents qu'il faut éliminer le plus vite possible pour réduire les conséquences néfastes des courts-circuits, c'est le rôle des protections dont la rapidité de fonctionnement et des performances prioritaires ;
- **Fiabilité** : qui est l'aptitude des protections à éviter les déclenchements intempestifs (sécurité) et à assurer le bon fonctionnement en cas de défaut (sûreté) ;
- **Sélectivité** : La sélectivité est une capacité d'un ensemble de protections à faire la distinction entre les conditions pour lesquelles une protection doit fonctionner de celles où elle ne doit pas fonctionner.

Les différents moyens qui peuvent être mis en œuvre pour assurer une bonne sélectivité dans la protection d'un réseau électrique, les plus importants sont les trois types suivants:

- o Sélectivité ampermétrique par les courants,
- o Sélectivité chronométrique par le temps,

o Sélectivité par échange d'informations, dite sélectivité logique.

- **Sensibilité :** La notion de sensibilité d'une protection est fréquemment de détecter la moindre variation de grandeur à surveiller pour lequel la protection est capable de fonctionner.
- **Coût du système :** Elle doit être réduite.

I.4.3 Mode de sélectivité

Les protections choisies lors de l'élaboration du plan de protection ont un impact direct sur la sélectivité. Une protection est dite sélective si un défaut survenu en un point quelconque du circuit est éliminé par l'appareil de protection.

Dans cette partie, sont rapidement évoqués les différents types de sélectivité et de protection.

I.4.3.1 Sélectivité ampèremétrique

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

Ainsi réglée, chaque protection ne fonctionne que pour les courts-circuits situés immédiatement en aval de sa position, à l'intérieur de la zone surveillée, elle est insensible aux court-circuit apparaissant au-delà.

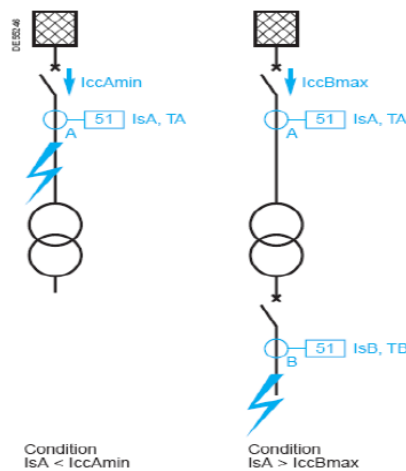


Figure I.6 : Sélectivité ampermétrique.

I.4.3.2 Sélectivité chronométrique

Sélectivité dans laquelle les protections sollicitées sont organisées pour fonctionner de manière décalée dans le temps. La protection la plus proche de la source a la temporisation la plus longue.

Ainsi, sur le schéma (Figure I.7), le court-circuit représenté est vu par toutes les protections (en 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.

Après l'ouverture du disjoncteur D et la disparition du courant de court-circuit, les protections A, B, C qui ne sont plus sollicitées, reviennent à leur position de veille.

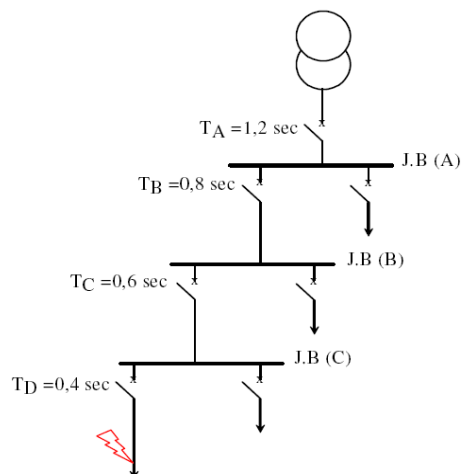


Figure I.7 : Sélectivité chronométrique

I.4.3.3 Sélectivité logique

Ce type de sélectivité est aussi appelé Système de Sélectivité Logique ou SSL. Il fait l'objet d'un brevet déposé par Merlin Gerin et met en œuvre des échanges d'informations entre les unités de protection.

Ce principe est utilisé lorsqu'un temps court d'élimination de défaut est exigé. L'échange de données logiques entre des protections consécutives élimine les intervalles de sélectivité. Dans des réseaux en antenne, les protections situées en amont du point de défaut sont activées alors que celles situées en aval ne le sont pas ; ceci permet de localiser clairement le point de défaut et le disjoncteur à déclencher.

I.4.4 Protections ampermétriques et voltmétriques

I.4.4.1 Protections ampermétriques

Cette protection permet d'éviter les surintensités dangereuses en valeur et en temps.

Le relais thermique protège le système contre les courants de surcharge.

Le relais électromagnétique intervient pour protéger le système contre les courants de court-circuit.

La coupe circuit à fusible est un appareil de connexion capable de protéger le système contre les surintensités

- Cartouches gI, gII sont à usage général (Protègent le système contre tous les types de surintensités)
- Cartouches aM assurent la protection du système contre les surintensités fortes.

Protection à maximum de courant à temps constant

Elle fonctionne instantanément ou avec temporisation quand le courant dans le circuit à protéger atteint ou dépasse une valeur déterminée (réglage).

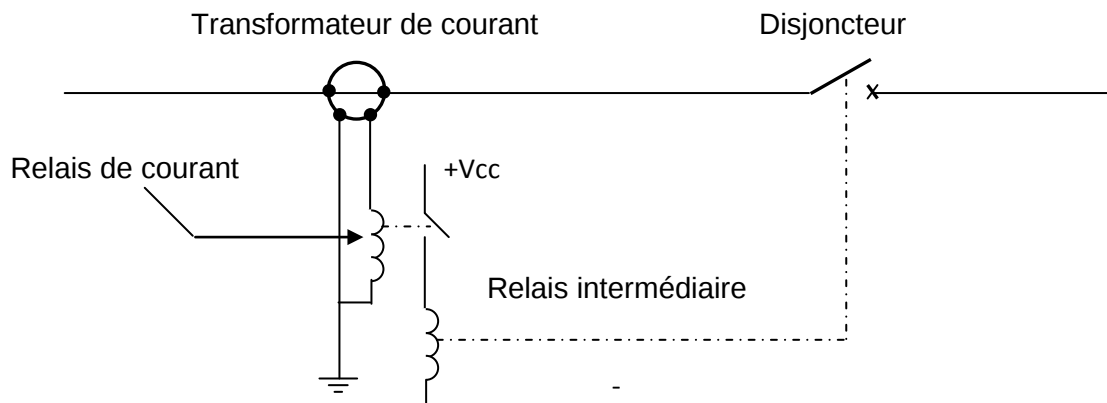


Figure I.8 : Protection à maximum de courant à temps constant
(Schéma d'une phase)

I.4.4.2 Protection voltmétrique

Elle fonctionne instantanément ou avec temporisation quand la tension dans le circuit à protéger atteint ou dépasse une valeur déterminée (réglage). Les transformateurs de tension assurent l'isolement galvanique et l'adaptation aux circuits de mesures.

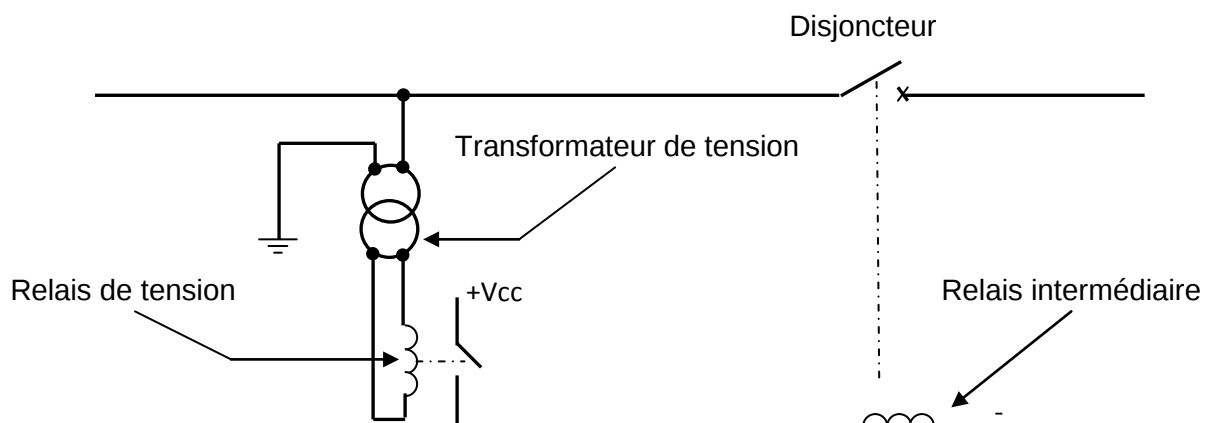


Figure I.9 : Protection voltmétriques (schéma d'une phase)