



Université Mohamed Khider Biskra Faculté des  
Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Electrique  
Filière : Electrotechnique  
Option : Réseaux électriques

**Mémoire de Fin d'Etudes**  
**En vue de l'obtention du diplôme:**  
**MASTER en Réseaux Électriques**

## *Thème*

**Implémentation de la technique CPL dans un système de  
protection à sélectivité *logique***

Présenté par :  
**BENDJEDOU Rahima**  
Soutenu le : 03 Juin 2015

Devant le jury composé de :

Mr. MENACER Arezki	Professeur	Président
Mr. CHERIET Ahmed	Professeur	Encadreur
Mr. GUEDIDI Salim	MC-B	Examineur

**Année universitaire : 2014 / 2015**

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Electrique  
Filière : Electrotechnique  
Option : Réseaux électriques

**Mémoire de Fin d'Etudes**  
**En vue de l'obtention du diplôme de**  
**Master en Réseaux Electriques**

## *Thème*

**Implémentation de la technique CPL dans un système de  
protection à sélectivité *logique***

**Présenté par :**

**BENDJEDOU Rahima**

**Avis favorable de l'encadreur :**

**CHERIET Ahmed**

**Signature**

**Avis favorable du Président du Jury**

**Mr. MENACER Arezki**

*Signature*

**Cachet et signature**



Université Mohamed Khider Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Electrique  
Filière : Electrotechnique  
Option : Réseaux électriques

## Thème :

# Implémentation de la technique CPL dans un système de protection à sélectivité logique

Proposé et dirigé par : **CHERIET Ahmed**

## RESUMES

### Résumé:

Les réseaux électriques est un élément essentiel de transmission de l'énergie électrique d'un endroit à un autre .Mais il y a beaucoup de problèmes que nous trouvons dans ces réseaux c'est pourquoi nous présentons quelques systèmes de protection. Les coupleurs HF constituent un moyen qui aide à utiliser les réseaux d'énergie électrique pour transmettre des signaux HF. L'objectif de ce travail consiste à exploiter cette technique pour transmettre les signaux de communication entres les différent niveaux de protection dans un réseau d'énergie électrique afin d'établir une sélectivité logique des protections.

### Mots clés :

Coupleur, signaux HF, Sélectivité logique, protection.

### ملخص

الشبكات الكهربائية هي جزء أساسي لتوصيل الطاقة الكهربائية من مكان إلى آخر لكن هناك مشاكل عديدة تواجه هذه الشبكة لذلك وجب وضع نظم حماية لها هناك عدة طرق لذلك . الموصلات ذات التردد العالي طريقة للمساعدة على استخدام شبكات الطاقة الكهربائية إلى إرسال إشارات ذات التردد العالي . الهدف من هذه المذكرة استغلال هذه التقنية إلى إرسال إشارات الاتصالات بين مستويات مختلفة من الحماية في شبكة الطاقة الكهربائية لإنشاء انتقائية منطقية للحماية

### الكلمات المفتاحية:

مقرنة، ذات التردد العالي، إشارات منطقية بالانتقائية، الحماية.



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



# Dédicace

*Parce qu'il a des choses plus faciles à écrire qu'à dire,  
je dédie ce*

*Modeste travail de fin d'étude :*

*A mes symboles d'affection et de tendresse*

*Ma chère maman et mon cher père*

*A mon frère et mes chers sœurs chacun de son nom pour leur soutien*

*moral et leurs sacrifices au long de ma formation.*

*A ma grande famille*

*A tous qui m'ont encouragé et aidé dans la réalisation de ce  
projet*

*A tous mes amis chacun de son nom*

*A tous mes collègues de promotion 2015*

*A tous les enseignants de ma période d'étude*

*A tous ceux que j'aime et m'aiment.*

*RAHIMA*

## Remerciements

*Je remercie et loue DIEU qui m'a donné la force, La patience et la volonté tout au long des Années de mes études, et m'a honoré de sa science pour la réalisation de ce travail de recherche.*

*Je tiens, au terme de ce travail, à exprimer mon plus grand remerciement à Monsieur :*

*CHERJET Ahmed, qui a suivi de près et qui a accepté de diriger mon travail avec patience et beaucoup d'intérêt, pour ses conseils judicieux, ses observations et son assistance.*

*Je lui exprime vivement mon grand respect.*

*Mes vifs remerciements vont aussi à Monsieur MENACER Arezki qui m'a honoré d'avoir accepté de présider mon jury.*

*Aussi je tien à remercier Monsieur GUEDIDI Salim pour l'honneur qu'il m'a donné en étant l'examineur de mon mémoire.*

*Je ne saurai oublier les responsables du Laboratoire Génie Electrique pour leur précieuse aide.*

*Sans oublier les professeurs du département de Génie Electrique pour leurs efforts et leurs sincérités.*

**RAHIMA**

## Listes des figures

Figure I.1. Schéma bloc d'un réseau électrique.....	5
Figure I.2. Différentes étages d'un réseau électrique.....	8
Figure I.3 Court-circuit triphasé.....	10
Figure I.4. Court-circuit biphaséisolé.....	10
Figure I.5. Court-circuit monophaséterr.....	11
Figure I.6. Court-circuit biphasé.....	11
Figure I.7. Schéma équivalent du réseau au court-circuit.....	11
Figure I.8. Décomposition du courant de court-circuit.....	12
FigureI.9. Perturbation impulsive positive causée par une décharge électrostatique.....	14
Figure I.10. Perturbation oscillatoire.....	14
Figure I.11. La foudre.....	16
Figure I.12. Surtensions directes.....	17
Figure I.13. Surtensions indirectes.....	17
Figure I.14. Principe du Paratonnerre à tige.....	18
Figure I.15. Exemple de protection d'un Transformateur par éclateur à tiges.....	19
Figure I.16. Filtre passe-bas .....	22
Figure I.17. Filtre passe-haut.....	22
Figure II.1. Constitution d'un système de protection.....	26
Figure II.2 Transformateur de courant type tore .....	27
Figure II.3. Transformateur de tension avec double secondaire .....	28
Figure II.4. Les Types des relais .....	29
Figure II.5. Décomposition d'un intervalle de sélectivité .....	30
Figure II.6. Principe de la sélectivité chronométrique .....	31
Figure II.7. Sélectivité chronométrique avec relais à temps indépendant.....	31
Figure II.8 Sélectivité chronométrique avec relais à temps dépendant.....	32
Figure II. 9. Fonctionnement d'une sélectivité ampérométrique. ....	34
Figure II.10. Exemple d'utilisation de la sélectivité logique .....	35

Figure II.11 Protection à temps indépendant. ....	37
FigureII.12 Protection à temps dépendant.....	37
Figure II.13 Transformateur de courant. ....	38
Figure II.14 Protection directionnelle .....	39
Figure II.15 schéma unifilaire du système TT .....	41
Figure II.16 schéma unifilaire du système TN .....	41
Figure II.17 Schéma unifilaire du système IT .....	42
Figure II.18 Schéma unifilaire du système IT.....	43
Figure III.1. Principe de fonctionnement du CPL. ....	48
Figure III.2. Réseau Indoor. ....	49
Figure III.3. Réseau Outdoor.....	51
Figure III.4. Perturbation du signal, l'atténuation et la distorsion. ....	52
Figure IV.1. Schéma de principe d'une protection à max de courant.....	50
Figure IV.2. Schéma de simulation du relais. ....	51
Figure IV.3 Simulation du système de protection à max du courant sous Matlab/Simulink. ...	52
Figure IV.4. Schéma du capteur de courant de la ligne . ....	53
FigureIV. 5 signale de command .....	54
Figure IV. 6. Tension de la charge .....	54
Figure IV. 7. Schéma de la protection a max de courant réalisé.....	55
Figure IV. 8. Schémat de capteur de courant.....	56
FigureIV.9.Redressement et filtrage de courant secondaire du TC. ....	57
Figure IV.10. Caractéristique du capteur. ....	57
Figure IV.11. Montage du système de protection réalisé au laboratoire.....	58
Figure IV.12. Schéma de simulation de coupleurs.....	59
Figure IV.13.Circuit bouchon pour 50Hz : émetteur .....	59
Figure IV.14. Filtre de second ordre : coupleur récepteur .....	60
Figure IV. 15. TensionHF :80kHz .....	61
Figure IV.16 .Courant de la ligne : 50Hz+80kHz .....	61
Figure IV.17 Tension de la ligne.....	62
Figure IV. 18.Tension HF récupérée.....	62
Figure IV.19.Schéma du coupleur d'injection (condensateur de couplage) .....	63
Figure IV.20. Montage du coupleur d'injection réalisé au laboratoire. ....	64
Figure IV.21. Schéma du coupleur de récupération.....	65



Figure IV.22. Montage du coupleur de récupération réalisé au laboratoire.....	66
Figure IV.23. Simulation du système de protection à max du courant avec CPL. ....	67
Figure IV. 24. Courant de la ligne.....	68
Figure IV.25. Signal HF.....	68
Figure IV. 26. Signal de commande de l'élément de coupure .....	69
Figure IV.27. Tension de la charge .....	69
Figure IV. 28Montage de la protection à max de courant avec CPL réalisé au laboratoire ....	70
Figure IV. 29 montage de la protection a sélectivité logique sans CPL .....	71
Figure IV. 30 montage de la protection a sélectivité logique avec CPL .....	72

## Liste des tableaux

Tableau IV. 1 représente les paramètres des composants du simulation .....	53
Tableau IV.2 Paramètres du circuit pratique.....	55
Tableau IV.3.caractiristique du capteur .....	57
Tableau IV.4. Paramètres du coupleur d'injection réalisé .....	63
Tableau IV.5. Paramètres de coupleur de récupération .....	65

---

# *Symbole*

AC : Courant alternatif [A]

DC : Courant direct [A]

BT : Basse tension [V]

THT : Très haute tension [V]

HT : Haute tension [V]

HF : Haute fréquence [KHz]

MT : Moyenne tension [V]

KV : Kilo volt [KV]

TC : Transformateur de courant

TT : Transformateur de tension

JB : Jeu de barre

N : neutre

R : Résistance [ $\Omega$ ]

L : Inductance [H]

C : Capacité de la ligne [F]

In : Courant nominale [A]

I max : Courant maximale [A]

I cc : Courant de court-circuit [A]

I cc min : Courant de court-circuit minimum [A]

I cc max : Courant de court-circuit maximum [A]

t : Temporisation [sec]






CPL: courants porteurs en ligne

TDS: Temps de reta

TMS: Facteur de temporisation

---

## *Symbole Graphiques*

Symbole	Mot clé
	La terre
	Départ ou Arrivée
	Court-circuit
	contacteur
	Transformateur de puissance

# **Sommaire**

# Sommaire

## Chapitre I : Généralités

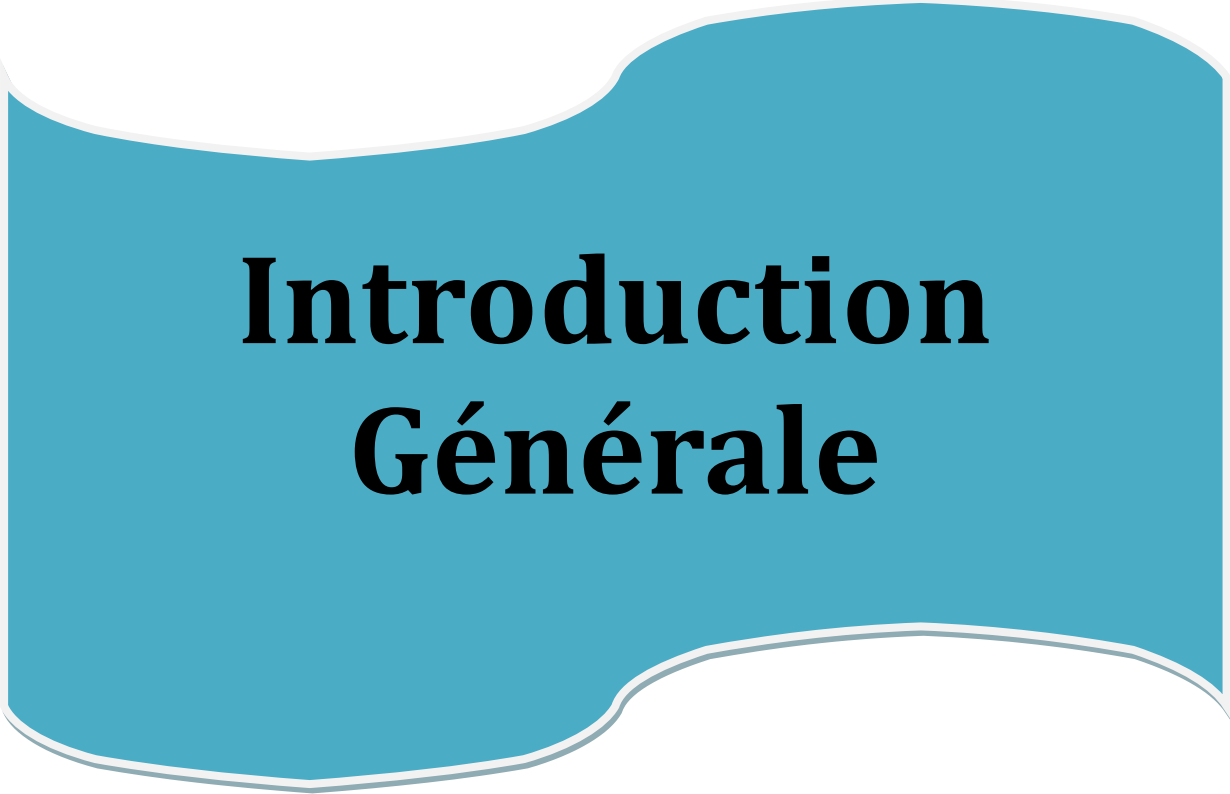
I.1.Introduction.....	1
I.2 .Système électrique.....	1
I.3. Structure de réseaux électriques.....	2
I.3 1. Réseaux de transport et d'interconnexion: .....	2
I.3.2. Réseaux de repartition.....	2
I.3.3. Réseaux de distribution .....	3
I.3.3.1. Réseaux de distribution à moyenne tension .....	3
I.3.3.2. Réseaux de distribution à basse tension .....	3
I.4. Les anomalies dans un réseau électrique.....	5
I.4.1. Courant de court-circuit.....	5
I.4.1.1. Origines d'un courant de court-circuit.....	5
I.4.1.2 Caractéristiques.....	6
I.4.1.3 Calcule d'un courant de court-circuit .....	7
I.4.2.courant de surcharge .....	9
I.4.3 Perturbations transitoires.....	9
I.4.3.1. Impulsive .....	10
I.4.3.2 .Oscillatoire.....	10
I.4.4. Les déséquilibre .....	11
I.4.5. Surtensions .....	11
I.4.6.La foudre.....	12
I.4.6.1.Effets de la foudre .....	12
I.4.6. 2. Protection contre la foudre .....	14
I.4.7.Les harmoniques.....	15
I.5. Nature d'un défaut.....	16
I.6. Statistiques sur les défauts .....	16
I.7. Conséquences des défauts sur le réseau électrique .....	17
I.8. Les filtres .....	17
I.8.1 Filtre passe-bas .....	18
I.8.2 Filtre passe-haut .....	18

I.8.3 Filtre coupe bande .....	19
I.8.4 Filtre passe bande .....	19
I.8. Conclusion : .....	19
<b>chapitre II : Les fonction de protection</b>	
II.1. Introduction .....	20
II.2. Rôle d'une protection .....	20
II.3.Schéma synoptique d'un système de protection .....	20
II.4.Eléments constitutifs d'un système de protection.....	21
II.4.1. Réducteurs de mesure .....	21
II.4.1.1. Transformateur de courant.....	22
II.4. 1.2.Transformateur de tension .....	23
II.4.2 Relais de protection .....	23
II.3. Qualité d'une protection.....	24
II.3.1. Rapidité d'élimination des défauts.....	24
II.3.2. Sélectivité d'élimination des défauts :.....	24
II.3.2.1. Sélectivité chronométrique .....	24
II.3.2.2. Sélectivité ampérométrique .....	28
II.3.2.3. Sélectivité logique.....	29
II 3.3 Protection à maximum de courant phase .....	31
II.3.1 Protection à temps indépendant .....	31
II.3.2 Protection à temps dépendant.....	32
II.4 Protection à maximum de courant terre .....	33
II.5. Protection à maximum de courant phase directionnel .....	30
II .6 Le régime du neutre.....	35
II.6.1 Types du régime du neutre .....	35
II.6.1. 1 Le régime TT.....	35
II.6.1.2 Le régime TN .....	36
II .1.6 Le régime IT :.....	37
II.7. Elimination des défauts .....	38
I.7.1. Fusible .....	39
I.7.2. Disjoncteur .....	39
Conclusion .....	40

## **Chapitre III : Investisgation du CPL**

<b>III.1. Introduction.....</b>	<b>41</b>
<b>III.2. La technologie des courants porteurs en ligne (CPL) .....</b>	<b>41</b>
III.2.1. Historique.....	41
III.2.2. Principe de fonctionnement .....	42
III.2.3. Mise en œuvre .....	43
III.2.4. Le CPL Indoor .....	43
III.2.6. Le CPL Outdoor .....	44
III.2.7. Avantages des CPL .....	45
III.2.8. Inconvénients des CPL .....	46
III.2.9. Canal de transmission.....	47
<b>III.3. Notions sur les caractéristiques du réseau électrique .....</b>	<b>47</b>
III.3.1. Caractéristiques du câble électrique .....	47
III.3.1.1. Bruits et perturbations électromagnétiques .....	48
III.3.1.2. Atténuation.....	48
<b>III.4. Conclusion .....</b>	<b>49</b>
<b>Chapitre IV : Simulation et réalisation pratique</b>	
<b>IV.1. Introduction :.....</b>	<b>50</b>
<b>IV.2. Protection à max du courant.....</b>	<b>50</b>
IV.2. 1. Schéma de principe .....	50
IV.2. 2. Simulation de la protection à max de courant .....	50
IV.2.4.Réalisation pratique de la protection à max du courant .....	53
<b>IV.3.Simulation du CPL: Test du CPL.....</b>	<b>59</b>
IV.3.2. Résultats de la simulation .....	60
IV.3.3.Réalisation pratique des coupleurs.....	62
<b>IV.4. Protection à max du courant avec CPL .....</b>	<b>67</b>
IV.4.1 Simulation du système de protection à max du courant avec CPL .....	67
IV.4.2 Résultats de simulation de la protection à max de courant avec CPL .....	68
IV.4.3Réalisation pratique de protection à max d courant avec CPL.....	70
<b>VI. 5 .Mantage de laprotection à sélectivité logique .....</b>	<b>71</b>
<b>VI.6. Application du CPL dans une protection à sélectivité logique .....</b>	<b>71</b>
<b>IV Conclusion .....</b>	<b>73</b>





# **Introduction Générale**

---

## Introduction Générale

Les investissements humains et matériels affectés aux réseaux électriques sont énormes. Pour cela, le réseau électrique doit répondre à trois exigences essentielles : stabilité, économie et surtout continuité du service.

Les lignes de transport d'énergie électrique constituent la partie essentielle du réseau électrique, elles doivent assurer la continuité de l'alimentation en électricité

Ce qui n'est pas toujours le cas, car ces lignes de transport sont souvent exposées à des incidents ou défauts qui peuvent interrompre ce service et engendrer des pertes financières importantes pour les industriels et des désagréments pour les simples consommateurs.

La majorité de ces défauts sont des courts-circuits causés souvent par la foudre, la pluie ou les surtensions créées par l'ouverture et la fermeture des disjoncteurs. Ces courts-circuits pouvant être permanents, il est donc nécessaire de les détecter et les localiser avec précision pour réparer et restaurer l'alimentation dès que possible. C'est pour cela que l'on utilise des dispositifs de protection qui assurent le bon fonctionnement des lignes de transports. Pour un bon fonctionnement du système de protection, on est amené à raccorder les organes de protection avec une procédure de sélectivité. La sélectivité des protections a pour but d'assurer la continuité de service et de garantir la fonction secours entre les différents éléments de la protection.

Parmi les sélectivités les plus répandues en termes de rapidité de déclenchement on trouve la sélectivité logique qui repose sur l'échange d'informations entre les différents niveaux de protection par « un câble pilote ». En effet, ce dernier est l'handicap majeur de la sélectivité logique à cause de la nécessité de sa maintenance en permanence et également du prix élevé de son installation. Pour surmonter ce problème, on propose de substituer le câble pilote par la technique CPL « courants porteurs en ligne, qui consiste à l'exploitation du réseau lui-même (installation existante) pour échanger l'information entre les différents niveaux des protections. C'est dans ce contexte s'inscrit notre travail qui s'intitule : Implémentation de la technique CPL dans un système de protection à sélectivité logique.

---

Afin d'implémenter la technique CPL on est amené à utiliser 'des coupleurs HF' qui constituent un moyen de couplage des signaux de commande délivrés par les relais de protection et le courant de la ligne de fréquence 50Hz.

Notre travail concerne la simulation et la réalisation pratique d'une protection à max de courant ordinaire, les coupleurs HF et l'appliqué dans un système de protection à sélectivité logique. Ce mémoire est structuré comme suit :

- ◆ Le premier chapitre illustre des généralités sur les réseaux électriques.
- ◆ Le deuxième chapitre traite la fonction de protection et les principaux éléments constitutifs.
- ◆ Le troisième chapitre est consacré à l'investigation du CPL.
- ◆ Le quatrième chapitre est consacré à la simulation par simulink/Matlab et la réalisation pratique de:
  - Protection à max de courant ordinaire
  - Coupleurs HF.
  - Protection à max de courant avec CPL

Rappelons que ces circuits sont réalisés au sein du laboratoire du département Génie Electrique. Comme application, le circuit CPL réalisé a été implémenté dans un système de protection à sélectivité logique.

# Chapitre n° I

## Généralités

---

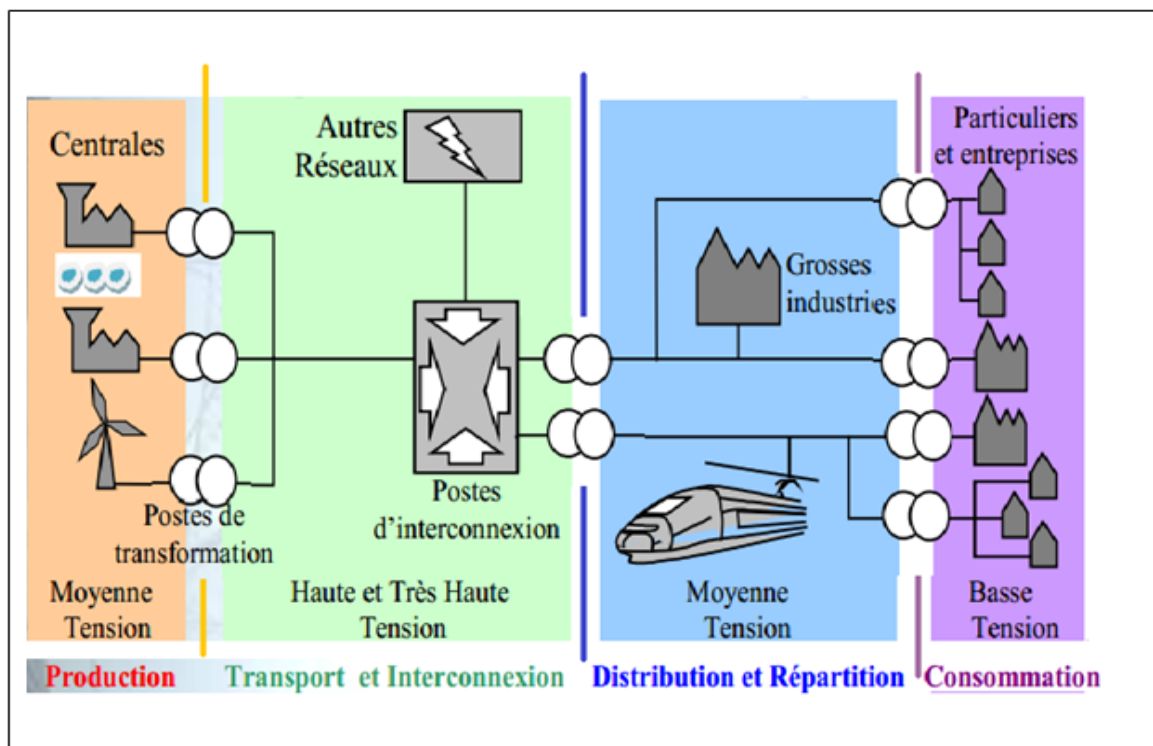


### I.1.Introduction

Dans ce chapitre on va étudier les réseaux électriques, les différents types des réseaux, les origines ainsi que les conséquences des principales perturbations qui peuvent être apparaissent dans les réseaux électriques. Sont donc étudiés la caractérisation de court-circuit, la surtension et les harmoniques. Egalement, on rappelle le calcul des courant de court-circuit et les filtres.

### I.2 .Système électrique

Un système électrique est formé par l'ensemble des parties principales, la première partie est les centres de la production d'énergie électrique « les différents types des centrales électriques » et puis les lignes qui assurent le transport de cette énergie fournier « réseaux de transport » et enfin les centres des consommateurs « les différents charges ou les clients », tout en respectant des conditions pour un raison technoeconomique. Les systèmes électriques sont interconnectés et fonctionnés dans une structure maillée très complexe [1].



**Figure I.1.** Schéma bloc d'un réseau électrique.

### I.3. Structure de réseaux électriques

Les réseaux électriques sont partagés en trois types :

#### I.3.1. Réseaux de transport et d'interconnexion

Les réseaux de transport et d'interconnexion ont principalement pour mission :

- ◆ De collecter l'électricité produite par les centrales importantes et de l'acheminer par grand flux vers les zones de consommation (fonction transport),
- ◆ De permettre une exploitation économique et sûre des moyens de production en assurant une compensation des différents aléas (fonction interconnexion),
- ◆ La tension est 150 kV, 220 kV et dernièrement 420 kV,
- ◆ Neutre directement mis à la terre,
- ◆ Réseau maillé [2].

#### I.3.2. Réseaux de repartition

Les réseaux de répartition ou réseaux Haute Tension ont pour rôle de répartir, au niveau régional, l'énergie issue du réseau de transport. Leur tension est supérieure à 63 kV selon les régions.

Ces réseaux sont, en grande part, constitués de lignes aériennes, dont chacune peut transiter plus de 60 MVA sur des distances de quelques dizaines de kilomètres. Leur structure est, soit en boucle fermée, soit le plus souvent en boucle ouverte, mais peut aussi se terminer en antenne au niveau de certains postes de transformation, en zone urbaine dense, ces réseaux peuvent être souterrains sur des longueurs n'excédant pas quelques kilomètres.

Ces réseaux alimentent d'une part les réseaux de distribution à travers des postes de transformation HT/MT et, d'autre part, les utilisateurs industriels .

- ◆ La tension est 90 kV ou 63 kV,
- ◆ Neutre à la terre par réactance ou transformateur de point neutre,
  1. Limitation courant neutre à 1500 A pour le 90 kV,
  2. Limitation courant neutre à 1000 A pour le 63 kV,
- ◆ Réseaux en boucle ouverte ou fermée [2].

### **I.3.3. Réseaux de distribution**

Les réseaux de distribution commencent à partir des tensions inférieures à 63 kV et des postes de transformation HTB/HTA avec l'aide des lignes ou des câbles moyenne tension jusqu'aux postes de répartition HTA/HTA. Le poste de transformation HTA/BTA constitue le dernier maillon de la chaîne de distribution et concerne tous les usages du courant électrique.

Les caractéristiques de ces réseaux sont :

#### **I.3.3.1. Réseaux de distribution à moyenne tension**

- ◆ HTA (30 et 10 kV le plus répandu),
- ◆ Neutre à la terre par une résistance,
- ◆ Limitation à 300 A pour les réseaux aériens,
- ◆ Limitation à 1000 A pour les réseaux souterrains,
- ◆ Réseaux souterrains en boucle ouverte [2].

#### **I.3.3.2. Réseaux de distribution à basse tension**

- ◆ BTA (230 / 400 V),
- ◆ Neutre directement à la terre,
- ◆ Réseaux de type radial, maillés et bouclés [2].

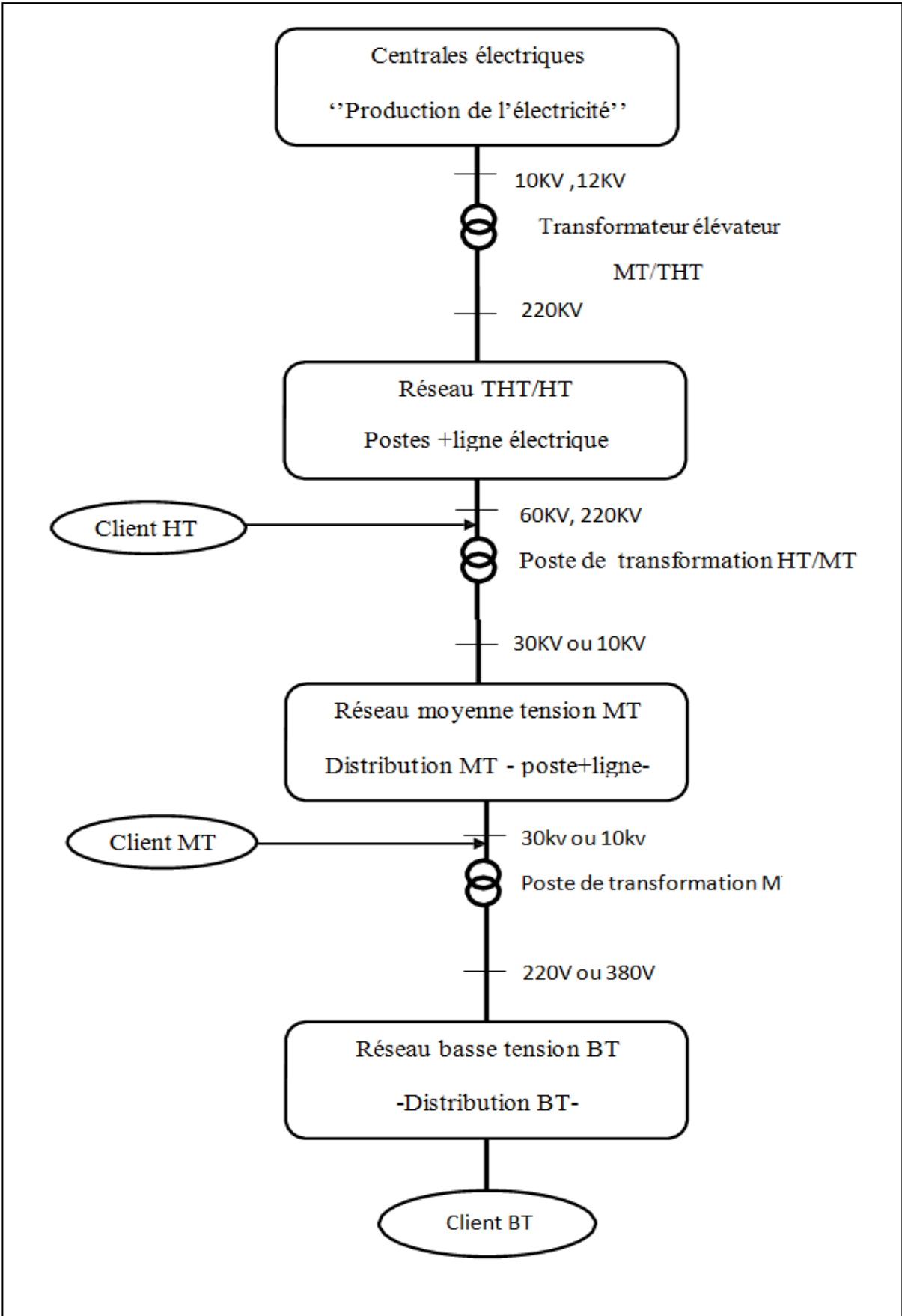


Figure I.2. Différentes étages d'un réseau électrique



#### I.4. Les anomalies dans un réseau électrique

Elles sont une gêne pour les utilisateurs et les fournisseurs de l'énergie électrique sans qu'il y ait de véritable coupure du réseau électrique. D'une façon générale, quelle que soit la perturbation, 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 [3].

##### I.4.1. Courant de court-circuit

Les courts-circuits sont des phénomènes transitoires, ils apparaissent lorsque l'isolement entre deux conducteurs de tensions différentes ou entre un conducteur sous tension et la terre est rompu. Ils engendrent des courants très importants dans les éléments constituant le réseau. Les courts-circuits sont de natures et de types différents. Le courant de court-circuit (triphase) est une donnée essentielle pour le dimensionnement des équipements électrique. Les courts-circuits peuvent provoquer des dégâts économiques importants s'ils ne sont pas éliminés rapidement par les systèmes de protection [2].

##### I.4.1.1. Origines d'un courant de court-circuit

Les causes d'un court-circuit peuvent être diverses:

- ◆ Conditions atmosphériques : coup de foudre, vent, tempête, ... etc. dans ces conditions climatique sévères, des claquages diélectriques ou la destruction partielle de matériel.
- ◆ Vieillessement du matériel: ce phénomène engendre des ruptures ou défaillances locales pouvant engendrer des courts-circuits;
- ◆ Défaut d'isolation: ce défaut est souvent l'origine des courts-circuits. Dans ce cas l'isolant n'est plus en mesure d'assurer sa fonction d'isolation conduisant à un contact entre phases ou entre spires d'un transformateur par exemple.
- ◆ Défaut de manœuvre et erreurs humaines.
- ◆ Animaux : les oiseaux sont souvent à l'origine de court-circuit. Le cas de la cigogne du Portugal est célèbre. En effet, en mai 2000, une des ailes d'une cigogne s'est coincée entre deux phases d'une ligne aérienne du réseau électrique portugais. Une

réaction inappropriée des protections a conduit à une panne électrique englobant environ la moitié des réseaux portugais [4].

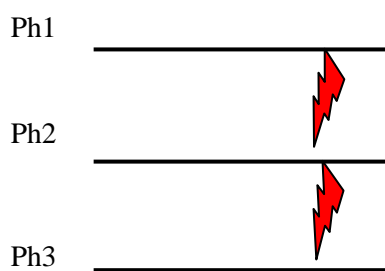
#### I.4.1.2 Caractéristiques

Plusieurs types de court-circuit peuvent se produire dans un réseau électrique :

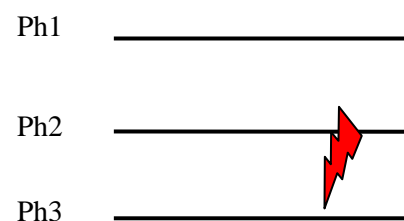
- ◆ **Court-circuit monophasé** : Il correspond à un défaut entre une phase et la terre, c'est le plus fréquent.
- ◆ **Court-circuit triphasé**: Il correspond à la réunion des trois phases, c'est le courant de CC le plus élevé.
- ◆ **Court-circuit biphasé isolé** : Il correspond à un défaut entre deux phases. Le courant résultant est plus faible que dans le cas du défaut triphasé, sauf lorsqu'il se situe à proximité immédiate d'un générateur.
- ◆ **Court-circuit biphasé terre** : Il correspond à un défaut entre deux phases et la terre [3].

Autre ces caractéristiques, les courts-circuits peuvent être:

- ◆ Mono-phasés : 80 % des cas ;
- ◆ Biphasés : 15 % des cas ;
- ◆ Triphasés : 5 % seulement dès l'origine [2].



**Figure I.3.** Court-circuit triphasé



**Figure I.4.** Court-circuit biphasé isolé

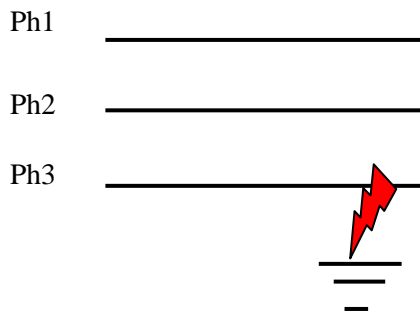


Figure I.5. Court-circuit monophasé terre

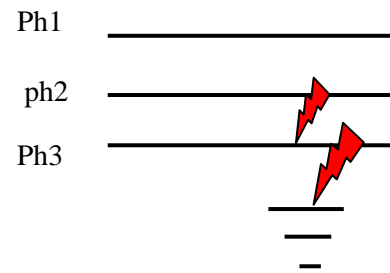


Figure I.6. Court-circuit biphasé

#### I.4.1.3 Calcul de d'un courant de court-circuit

La connaissance des valeurs des courants de court-circuit est indispensable pour le dimensionnement des matériels de protection. Pour les disjoncteurs ces valeurs sont requises pour leur dimensionnement au regard du pouvoir de coupure. Ce pouvoir de coupure doit être suffisant pour couper les courants de court-circuit les plus élevés. Le calcul des courants de court-circuit n'implique pas seulement la connaissance des ces courants au point de défaut, mais également la répartition de ces courants sur les autres lignes et phases du réseau ainsi que leurs conséquences sur les tensions.

Le réseau amont d'un court-circuit peut se mettre sous la forme d'un schéma équivalent constitué d'une source de tension alternative d'amplitude constante  $E$  et d'une impédance en série  $Z_{cc}$  (Figure I.7) Où  $Z_{cc}$  est l'impédance de court-circuit, elle est égale à l'impédance équivalente aux lignes et aux transformateurs parcourus par le courant de court-circuit :

$$Z_{cc} = \sqrt{R^2 + X^2} \quad (I.1)$$

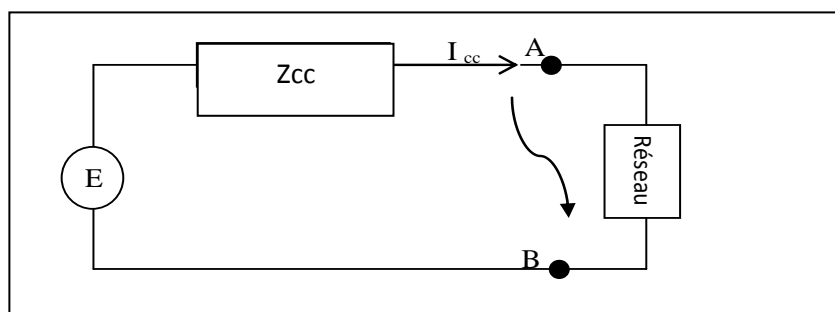


Figure I.7. Schéma équivalent du réseau au court-circuit

Lors d'un court-circuit on applique une tension :

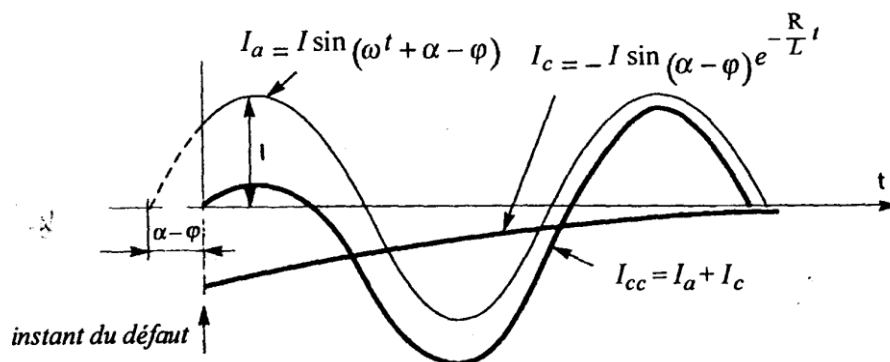
$$e = E\sqrt{2} \sin(\omega t + \alpha) \quad (\text{I.2})$$

À un circuit composé d'une réactance et d'une résistance en série.  $\alpha$  est l'angle d'enclenchement du CC, il définit la phase de la tension à l'instant d'apparition du court-circuit (**Figure .I.8**) Soit  $\varphi$  le déphasage entre la tension et le courant en régime établi :

$$\text{tg}\varphi = \frac{X}{R} \quad (\text{I.3})$$

L'expression du courant de court-circuit est :

$$I_{cc} = \frac{E\sqrt{2}}{Z_{cc}} \left[ \sin(\omega t + \alpha - \varphi) - \sin(\alpha - \varphi) e^{-\frac{R}{X}\omega t} \right] \quad (\text{I.4})$$



**Figure .I.8.** Décomposition du courant de court-circuit

Le courant  $I_{cc}$  est donc la somme des deux courants suivants :

$$I_a = \frac{E\sqrt{2}}{Z_{cc}} \sin(\omega t + \alpha - \varphi) \quad (\text{Courant sinusoïdal}) \quad (\text{I.5})$$

$$I_c = -\frac{E\sqrt{2}}{Z_{cc}} \sin(\alpha - \varphi) e^{-\frac{R}{X}\omega t} \quad (\text{Courant apériodique}) \quad (\text{I.6})$$

La valeur efficace du courant en régime établi est :

$$I_{\text{eff}} = \frac{E}{Z_{cc}} \quad (\text{I.7})$$

Plusieurs cas sont envisageables :

- ◆ 1<sup>er</sup> cas : si l'angle d'enclenchement du CC  $\alpha = \varphi$ , la composante apériodique est nulle, le régime est dit symétrique.
- ◆ 2<sup>eme</sup> cas : si  $\alpha - \varphi = \frac{\pi}{2}$ , la composante apériodique est maximale, le régime est dit asymétrique maximal. C'est la condition qui entraîne la plus grande valeur de crête du courant :

$$I_{cc} = \frac{E\sqrt{2}}{Z_{cc}} \left[ \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) - e^{-\frac{R}{X}\omega t} \right] \quad (\text{I.8})$$

Le courant atteint la valeur crête maximale (1<sup>re</sup> crête) lorsque :

$$\sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = -1 \text{ D'où } \omega t = \pi \quad (\text{I.9})$$

La valeur crête maximale du courant est :

$$\hat{I} = \frac{E\sqrt{2}}{\sqrt{R^2+X^2}} \left[ 1 + e^{-\frac{R}{X}\pi} \right] [4] \quad (\text{I.10})$$

#### I.4.2.courant de surcharge

La surcharge d'un appareil est caractérisée par un courant supérieur au courant admissible, les origines de surcharges sont :

- ◆ Les courts-circuits.
- ◆ Les reports de charge.
- ◆ Les pointes de consommation.
- ◆ L'enclenchement des grandes charges.

Les surcharges provoquent des chutes de tension importantes sur le réseau et accélère le vieillissement des équipements de réseau [2].

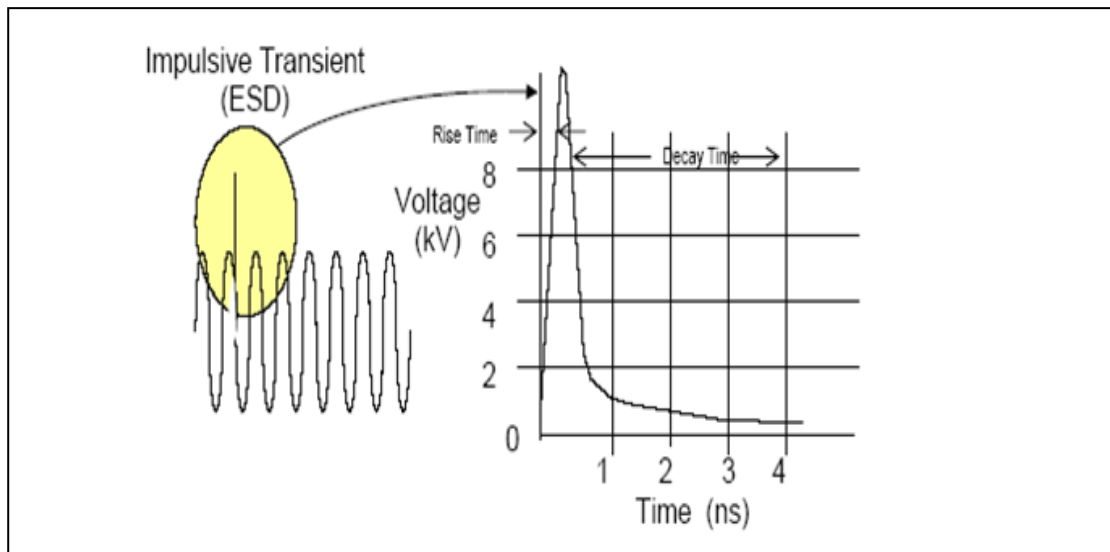
#### I.4.3 Perturbations transitoires

Les perturbations transitoires pourraient être divisées en deux catégories:

- ◆ Impulsive
- ◆ Oscillatoire

##### I.4.3.1. Impulsive

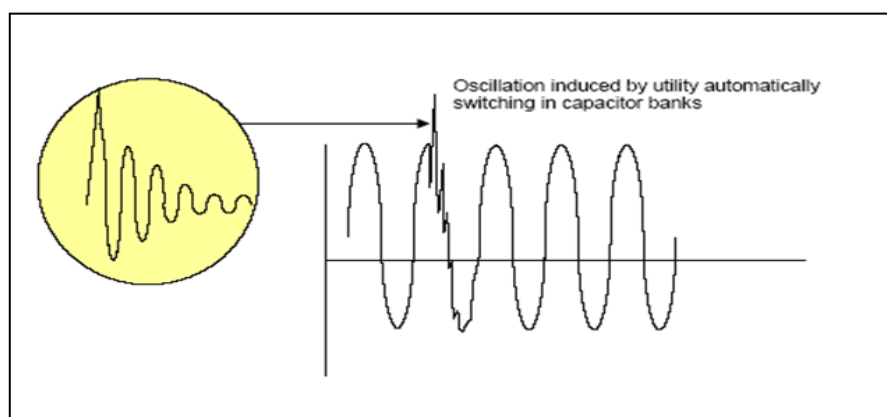
Les perturbations impulsives sont des événements soudains à pic maximaux qui élèvent le niveau du courant ou de la tension en direction positive ou négative. Ces types d'événements peuvent être catégorisés selon leur vitesse (Rapide, moyenne, et lente). Les perturbations Impulsives peuvent être des événements très rapides (5 nanosecondes)



**Figure I.9.** Perturbation impulsive positive causée par une décharge électrostatique

#### I.4.3.2 .Oscillatoire

Une perturbation oscillatoire est un changement soudain dans la condition d'état stable de la tension ou le courant ou les deux signaux en même temps aux deux limites des composantes positive et négative qui oscillent à la fréquence du système naturel. En simple terme, la perturbation oscillatoire cause un fort signal de puissance qui disparaît très rapidement. La perturbation oscillatoire se produit à la mise en service ou en hors service des charges inductives ou capacitatives car elles résistent au changement [3].



**Figure I.10.** Perturbation oscillatoire

#### I.4.4. Les déséquilibre

Les déséquilibres sont généralement dus à la mauvaise répartition des charges sur les trois phases. Ils apparaissent surtout dans les réseaux de distribution, ils donnent naissance à la composante inverse du courant, cette composante provoque :

- ◆ Des chutes de tension supplémentaires.
- ◆ Des pertes de puissance.
- ◆ Des échauffements [2].

#### I.4.5. Surtensions

Il existe deux classes des surtensions.

- ◆ Surtensions par décharges électriques atmosphériques :

Les orages sont des événements très habituels, et aussi très dangereux. On estime que sur notre planète se produisent simultanément quelques 2000 orages et qu'environ 100 coups de foudre se déchargent sur la terre chaque seconde. Au total, cela représente environ 4000 orages quotidiens et 9 millions de décharges atmosphériques chaque jour.

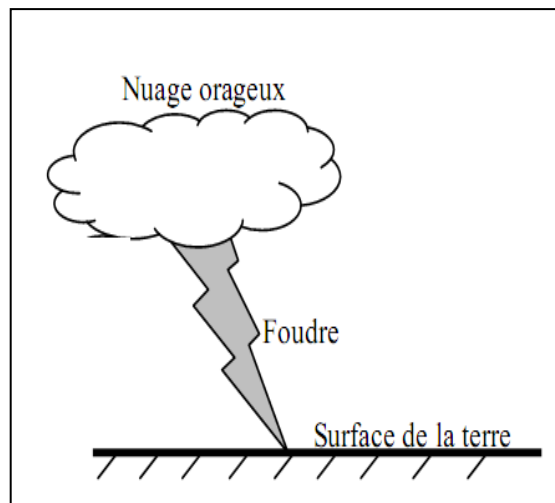
Au moment de l'impact, la foudre provoque une impulsion de courant qui arrive à atteindre des dizaines de milliers d'ampères. Cette décharge génère une surtension dans le système électrique qui peut provoquer des incendies et la destruction des équipements électriques.

- ◆ Surtensions de commutation

Ces surtensions sont générées dans les lignes électriques, principalement en raison des commutations de machines de grande puissance. Les moteurs électriques sont des charges très inductives dont la connexion et le débranchement provoque des surtensions. Il existe de même d'autres processus capables de les produire, comme par exemple l'allumage et l'extinction de la soudure à l'arc [5].

#### I.4.6. La foudre

Le coup de foudre est une décharge électrique se produisant dans un Grand intervalle dont les « électrodes » sont d'une part un nuage Orageux chargé et d'autre part la terre. L'impact de la foudre sur une installation est équivalent à un Générateur de courant très fort (10 à 100 kA et plus). Il produit une Surtension considérable [4].

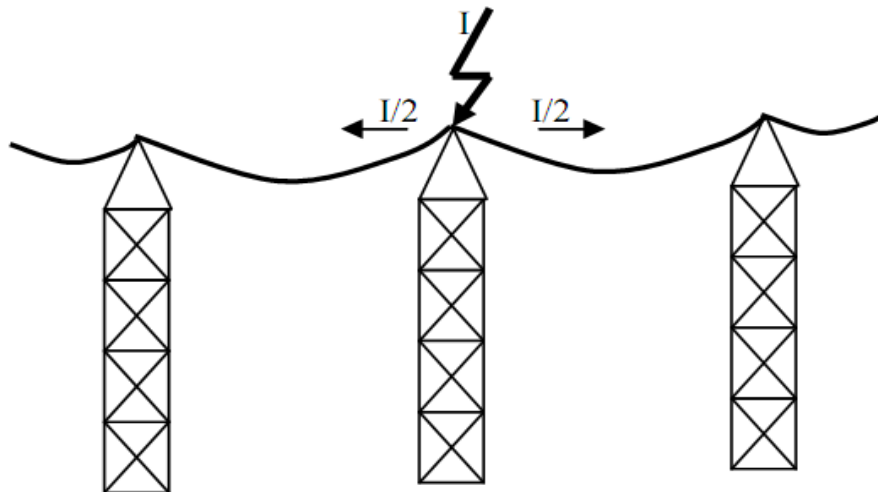


**Figure I.11.** La foudre

#### **I.4.6.1.Effets de la foudre**

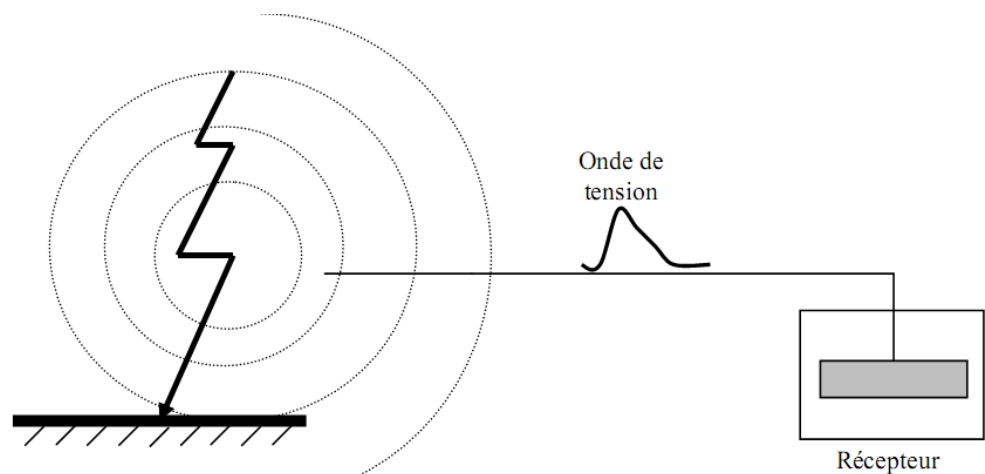
- ◆ Effets thermiques : Fusion d'éléments au point d'impact (  $30000^{\circ}\text{C}$ ) et risque d'incendie dû à la circulation d'un courant important.
- ◆ Effets électrodynamiques : Lorsque les courants de la foudre circulent dans des conducteurs parallèles, la force magnétique qui en résulte (attraction et répulsion) peut entraîner des déformations mécaniques et même des ruptures.
- ◆ Surtensions directes : L'impact direct sur une ligne électrique ou téléphonique, génère une onde de tension qui se propage. Cette onde, qui est amortie par l'effet couronne et la longueur de la ligne, est coupée soit par l'isolateur à cornes soit par les moyens de protection au poste. Comme le courant de la foudre est rarement inférieur à 10kA, et que l'impédance caractéristique d'une ligne aérienne est environ 300R, l'onde de tension atteindra 1500kV [4].





**Figure I.12.** Surtensions directes

Surtensions induites (indirectes) : Si la foudre tombe à proximité de la ligne, le courant provoque une variation extrêmement rapide du champ électromagnétique. A cause des ondes électromagnétiques générées par la foudre, des surtensions sont induites dans des conducteurs situés loin du point d'impact. Ses effets se font sentir à plusieurs centaines de mètres, voire plusieurs kilomètres [4].



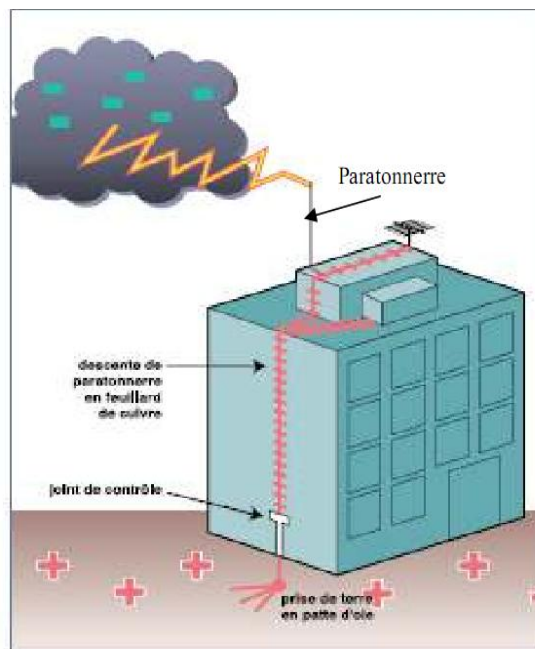
**Figure I.13.** Surtensions indirectes.

Les ondes induites sur la ligne sont similaires en forme et en amplitude à celles obtenues par choc de foudre direct. Leur caractéristique principale est leur front très raide (de l'ordre de la microseconde), et leur amortissement très rapide. Ce rayonnement est d'autant plus important que le front de montée est raide (20 à 100 kA/Q s). Un coup de foudre tombant à proximité d'une ligne développe un champ d'induction magnétique suffisamment important pour y créer une surtension induite.

## I.4.6. 2. Protection contre la foudre

### I.4.6.2.1. Paratonnerre

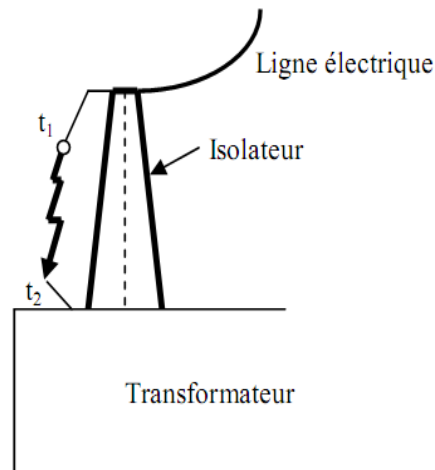
Grâce au pouvoir de pointe, une décharge créée au sommet du paratonnerre progresse à la rencontre et la capture du traceur de la foudre pour dévier le courant vers la terre.



**Figure I.14.** Principe du Paratonnerre à tige.

### I.4.6.2.2 Eclateur

Quand l'onde de tension frappe l'installation, la grande Surtension qui apparaît aux bornes de l'éclateur produit un arc électrique qui dévie le courant vers la terre, car le courant choisit le chemin le moins résistant.



**Figure. I.15.** Exemple de protection d'un Transformateur par éclateur à tiges

#### I.4.6.2.3 Parafoudre varistance

La varistance est une résistance non linéaire qui chute considérablement lorsque la tension augmente. En Fonctionnement normal en l'absence de surtension, la résistance de la varistance est très élevée et empêche le Passage du courant de la ligne vers la terre. Par contre, en régime de surtension la résistance chute subitement Pour dévier le courant, et donc la surtension, vers la terre. Quand l'onde de tension arrive par la ligne électrique, le courant de la foudre choisit le chemin le Moins résistant, celui de la varistance, et dévie ainsi vers la terre. C'est pratiquement le même principe de Fonctionnement que l'éclateur, car dans les deux cas c'est la résistance de l'équipement de protection qui Chute :pour l'éclateur grâce au claquage, pour la varistance grâce à la résistance non linéaire [6].

#### I.4.7. Les harmoniques

L'utilisation des équipements électriques comportant des convertisseurs statiques dans les installations de conversion d'énergie électrique a entraîné ces dernières années une augmentation sensible du niveau de pollution harmonique. Ils ont contribué à la détérioration de la qualité du courant et de la tension des réseaux de distribution. Les principales sources à l'origine des harmoniques sont les appareils d'éclairage fluorescent, les appareillages informatiques, les appareils domestiques (téléviseurs, appareils électroménagers en grand nombre), les arcs électriques et tous les convertisseurs statiques raccordés aux réseaux tels que les redresseurs et les onduleurs. Tous ces systèmes contribuent à la pollution harmonique

du réseau auquel ils sont connectés. En effet, ces systèmes absorbent des courants non sinusoïdaux, même s'ils sont alimentés par une tension sinusoïdale. Ces équipements électriques sont considérés comme des charges non linéaires émettant des courants harmoniques dont les fréquences sont des multiples entiers ou non entiers de la fréquence fondamentale. La présence d'harmoniques de courant ou de tension conduit à des effets néfastes sur le réseau de distribution, comme par exemple L'échauffement des conducteurs, des câbles, des condensateurs et des machines dû aux pertes cuivre et fer supplémentaires [7] .

### **I.5. Nature d'un défaut**

#### **◆ Défaut fugitif**

Ce défaut nécessite une coupure très brève du réseau d'alimentation de l'ordre de quelques dixièmes de seconde [5].

#### **◆ Défaut permanent**

Ce défaut provoque un déclenchement définitif de l'élément de protection. Il nécessite l'intervention du personnel d'exploitation.

#### **◆ Défaut auto- extincteur**

C'est le défaut qui disparu spontanément en des temps très courts sans qu'il provoque le fonctionnement de la protection.

#### **◆ Défauts semi- permanent**

Ce défaut exige une ou plusieurs coupures relativement longues de l'ordre de quelques dizaines de secondes. Il ne nécessite plus l'intervention du personnel d'exploitation. [8]

### **I.6. Statistiques sur les défauts**

Au niveau des réseaux aériens de transport de SONELGAZ, les statistiques sur les défauts sont:

- ◆ De 70 à 90% fugitifs.
- ◆ De 5 à 15% semi permanents.
- ◆ De 5 à 15% permanents.
- ◆ De 5% auto- extincteur . [8]

### **I.7. Conséquences des défauts sur le réseau électrique**

Les effets néfastes des courts-circuits sont surtout à craindre sur les réseaux électriques THT sur lesquels débitent des groupes générateurs de forte puissance. Les courts-circuits, surtout polyphasés et proches des centrales de production, entraînent une rupture de l'équilibre entre le couple moteur et le couple résistant de la machine, s'ils ne sont pas éliminés rapidement, ils peuvent conduire à la perte de stabilité de groupes générateurs et à des fonctionnements hors synchronisme [2]. Des temps d'élimination des courts-circuits de l'ordre de 100 à 150 ms sont généralement considérés comme des valeurs à ne pas dépasser sur les réseaux électriques THT.

Les défauts de court-circuit amènent à deux types de contraintes :

- ◆ **Contraintes thermiques**

Sont dues aux dégagements de chaleur par effet Joule dans les conducteurs électriques.

- ◆ **Contraintes mécaniques**

Sont dues aux efforts électrodynamiques entraînent le balancement des conducteurs aériens et le déplacement des bobinages des transformateurs. Ces efforts s'ils dépassent les limites admises sont souvent à l'origine d'avaries graves. De plus l'arc électrique consécutif à un défaut met en jeu un important dégagement local d'énergie pouvant provoquer d'important dégât au matériel [2].

### **I.8. Les filtres**

Un filtre est un circuit électronique qui réalise une opération de traitement du signal. Autrement dit, atténue certaines composantes d'un signal et en laisse passer d'autres.

Il existe plusieurs types des filtres, dont les plus connus sont

- ◆ **Filtre passe-bas**
- ◆ **Filtre passe-haut**
- ◆ **Filtre coupe bande**
- ◆ **Filtre passe bande**

### I.8.1 Filtre passe-bas

Un filtre passe-bas est un filtre qui laisse passer les basses fréquences et qui atténue les hautes fréquences, c'est-à-dire les fréquences supérieures à la fréquence de coupure. Il pourrait également être appelé filtre coupe-haut. Le filtre passe-bas est l'inverse du filtre passe-haut et ces deux filtres combinés forment un filtre passe-bande.

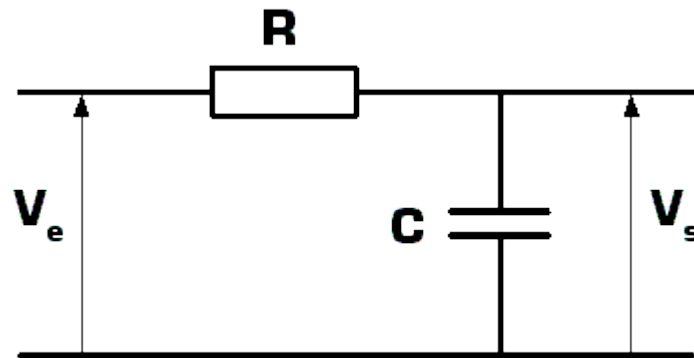


Figure I.16. Filtre passe-bas

### I.8.2 Filtre passe-haut

Un filtre passe-haut est un filtre qui laisse passer les hautes fréquences et qui atténue les basses fréquences, c'est-à-dire les fréquences inférieures à la fréquence de coupure. Il pourrait également être appelé filtre coupe-bas. Le filtre passe-haut est l'inverse du filtre passe-bas et ces deux filtres combinés forment un filtre passe-bande.

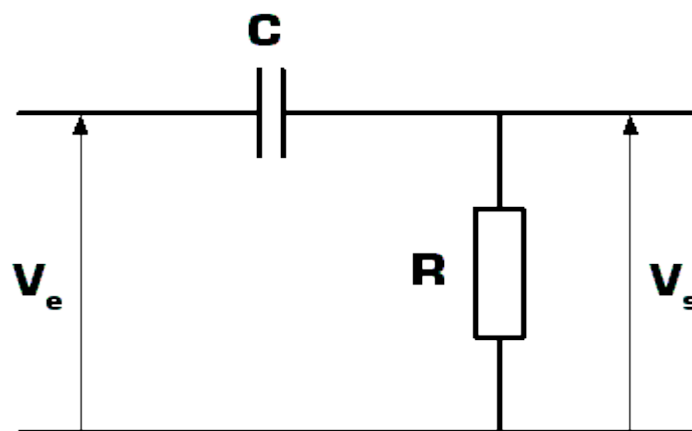


Figure I.17. Filtre passe-haut

### **I.8.3 Filtre coupe bande**

Un filtre coupe-bande aussi appelé filtre réjecteur de bande ou filtre cloche est un filtre empêchant le passage d'un intervalle de fréquences. Il est composé d'un filtre passe-haut et d'un filtre passe-bas dont les fréquences de coupure sont souvent proches mais différentes, la fréquence de coupure du filtre passe-bas est systématiquement inférieure à la fréquence de coupure du filtre passe-haut.

### **I.8.4 Filtre passe bande**

Un filtre passe-bande est un filtre ne laissant passer qu'une bande ou intervalle de fréquences compris entre une fréquence de coupure basse et une fréquence de coupure haute du filtre [9].

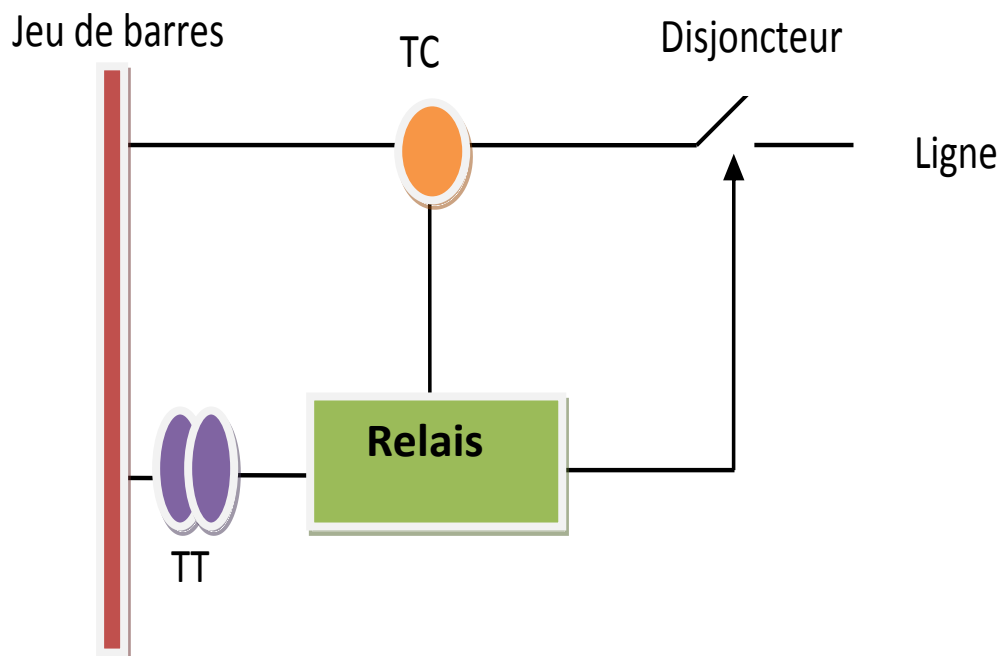
## **I.8. Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons présenté des généralités sur les différents types de réseaux électriques, les perturbations qui sont une gêne pour les utilisateurs et les fournisseurs de l'énergie électrique sans qu'il y ait de véritable coupure du réseau électrique les perturbations qui peuvent survenir au réseau électrique sont : le court-circuit, la foudre et les harmoniques, ainsi que les différents types des filtres. On note que les défauts de court-circuit sont les défauts les plus importants à l'étude par rapport aux autres types de défauts.

# Chapitre n° II

## Fonction de protection

---





### II.1. Introduction

La commission Electrotechnique Internationale (CEI) définit la protection comme ensemble des dispositions destinées pour permettre la détection des défauts et des situations anormales des réseaux afin de commander le déclenchement d'un ou de plusieurs disjoncteurs et , si nécessaire d'élaborer d'autre ordre de signalisations. Ce chapitre rapporte les principales fonctions de protection utilisées dans les réseaux électriques.

### II.2. Rôle d'une protection

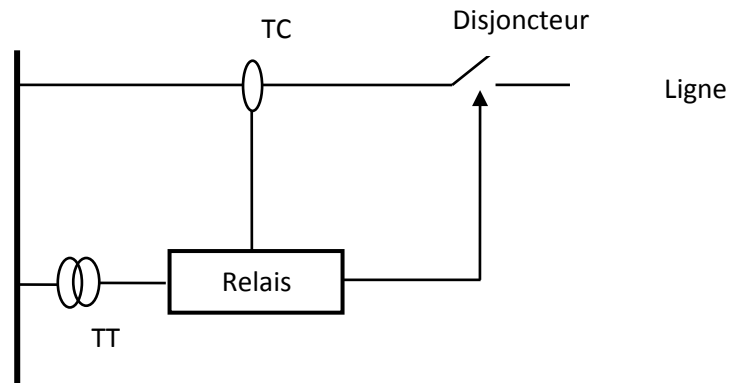
Lorsqu'un défaut ou une perturbation se produit sur un réseau électrique, il est indispensable de mettre hors tension la partie en défaut à l'aide des dispositifs de protection. Ces derniers auront pour rôle de limiter les dégâts qui peuvent être causés par le défaut.

### II.3. Schéma synoptique d'un système de protection

Quelque soit la technologie, le système de protection est composé de trois parties fondamentales :

- ◆ Des capteurs ou réducteurs de mesure qui abaissent les valeurs à surveiller à des niveaux utilisables par les protections ;
- ◆ Un système de relais de protection (Relais) ;
- ◆ Un appareillage de coupure (un ou plusieurs disjoncteurs).

Un exemple d'un système de protection pour une ligne HT est donné par la figure II.1 .L'autre extrémité de la ligne a un système de protection similaire qui protège la ligne par l'ouverture du disjoncteur de cette extrémité. Dans le cas d'un défaut, les deux relais ont besoin de fonctionner, donc les deux disjoncteurs s'ouvrent et la ligne est mise hors service [2].



**Figure II.1.** Constitution d'un système de protection.

Les relais de protection sont connectés aux transformateurs pour recevoir des signaux d'entrée et aux disjoncteurs pour délivrer des commandes d'ouverture ou de fermeture. Donc en cas de défaut, la tâche du disjoncteur est d'éliminer le défaut tandis que la tâche du système de relais de protection est de détecter ce défaut. En HT, les relais sont situés dans des sous stations [10]

Le temps d'élimination de défauts comprend :

- ◆ Le temps de fonctionnement des protections (détection du défaut).
- ◆ Le temps d'ouverture des disjoncteurs (élimination du défaut).

## II.4.Eléments constitutifs d'un système de protection

### II.4.1. Réducteurs de mesure

Pour des raisons de dimensionnement et de coût, les relais de protection sont prévus pour des courants et des tensions de valeurs réduites. De plus, pour assurer la sécurité des opérateurs, il faut interposer une séparation galvanique entre le réseau surveillé qui se trouve à tension élevée et le circuit de mesure à tension réduite mis à la terre en un point. On utilise pour cela des transformateurs de courant (TC) et des transformateurs de tension (TT). Pour assurer une bonne protection contre les défauts, la caractéristique essentielle d'un réducteur de mesure est sa précision.

### II.4.1.1. Transformateur de courant

Du point de vue électrique, les TC ont plusieurs rôles :

- ◆ Délivrer à leur secondaire une intensité, image fidèle de celle qui circule, dans le conducteur HT concerné ;
- ◆ Assurer l'isolement galvanique entre la HT et les circuits de mesure et de protection ;
- ◆ Protéger les circuits de mesure et de protection de toute détérioration lorsqu'un défaut survient sur le réseau HT.

Les transformateurs de courant utilisés permettent de réduire le niveau des courant de milliers d'Ampères vers des sorties standards de 5A ou 1A pour un fonctionnement du réseau normal. Durant le défaut, le niveau du courant du transformateur augmente. Le choix du transformateur est critique pour un fonctionnement correct du relais.

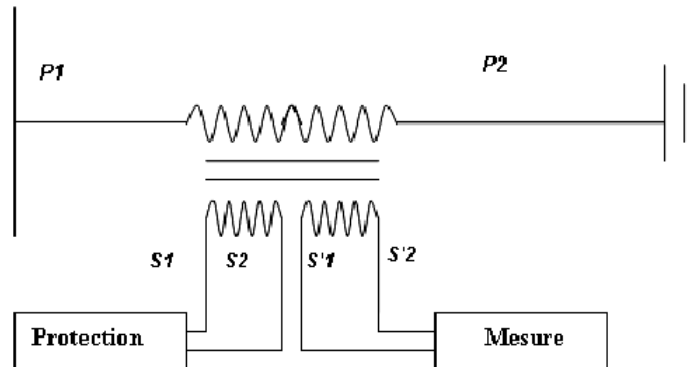
Avec cette image de l'intensité, le relais élabore à son tour un ordre de déclenchement en fonction du type de protection qu'il réalise et des valeurs auxquelles il a été préréglé (seuil(s), temporisation(s)). Cet ordre est transmis à un ou plusieurs appareils de coupure (disjoncteur, contacteur, interrupteur). Suivant le type de protection à réaliser, les TC sont associés et utilisés selon des schémas différents, ils peuvent être une partie isolée ou une partie du disjoncteur [9].



**Figure II.2** Transformateur de courant type tore

### II.4. 1.2. Transformateur de tension

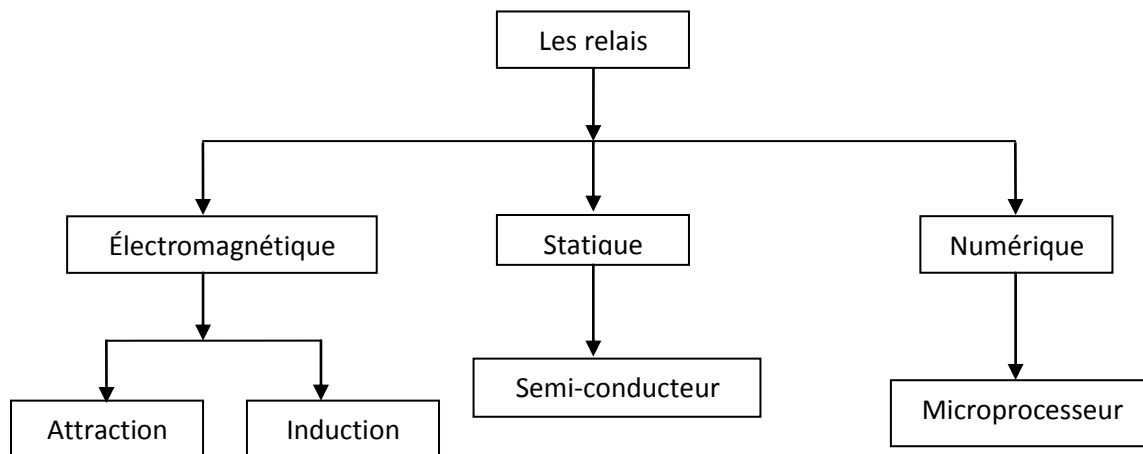
Le réducteur de tension TT est un véritable transformateur, dont le primaire reçoit la tension du réseau, et le secondaire restitue une tension image. Puisque les niveaux de tension dans le réseau sont de l'ordre de kilovolts, les transformateurs de tension sont utilisés pour abaisser les tensions à des niveaux acceptables par les relais. Ils sont fournis sous forme standard dont la tension du secondaire est 100V ou 10V (tension entre phases).



**Figure II.3.** Transformateur de tension avec double secondaire

### II.4.2 Relais de protection

Les relais de protection sont des appareils qui reçoivent un ou plusieurs informations à caractère analogique (courant, tension, puissance,... etc.) et le transmettent à un ordre de fermeture ou ouverture d'un circuit de commande lorsque ces informations reçues atteignent des valeurs supérieures ou inférieures à certaines limites qui sont fixées d'avance. En effet, le rôle des relais de protection consiste à détecter tout phénomène anormal pouvant se produire sur un réseau électrique tel que les défauts de court-circuit [11]. La figure II.4 représente les différents types de s relais.



**Figure II.4.** Les Types des relais

### II.3. Qualité d'une protection

#### II.3.1. Rapidité d'élimination des défauts

Les défauts sont donc des incidents qu'il faut éliminer le plus vite possible. Le temps d'élimination des défauts comprend deux composantes principales :

- Le temps de fonctionnement des protections.
- Le temps d'ouverture des disjoncteurs [12].

#### II.3.2. Sélectivité d'élimination des défauts :

La sélectivité consiste à isoler le plus rapidement possible la partie du réseau affectée et uniquement cette partie, en laissant sous tension toutes les parties saines du réseau. Différents modes de sélectivité peuvent être mis en œuvre :

##### II.3.2.1. 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.

◆ **Mode de fonctionnement**

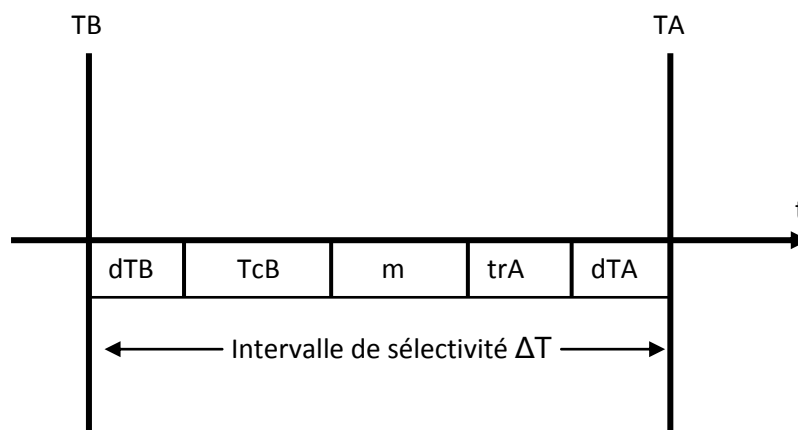
A partir de La figure II.6Le défaut représenté est vu par toutes les protections A, B, C, et D. La protection temporisée D ferme ses contacts plus rapidement que celle installée en C, elle-même plus rapide que celle installée en B...etc. Après l'ouverture du disjoncteur D et la disparition du courant 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 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  $tr$ .
- ◆ Marge de sécurité  $m$ .

$\Delta T$  doit donc satisfaire à la relation :

$$\Delta T = T_c + tr + 2dT + m \quad (\text{II.1})$$

Compte tenu des performances actuelles de l'appareillage et des relais, on adopte pour  $\Delta T$  une valeur de 0,3 s. Par exemple pour  $T_c = 95$  ms,  $dT = 25$  ms,  $tr = 55$  ms, l'intervalle de sélectivité est 300 ms, la marge de sécurité est alors de 100 ms [3].



**Figure II.5.** Décomposition d'un intervalle de sélectivité

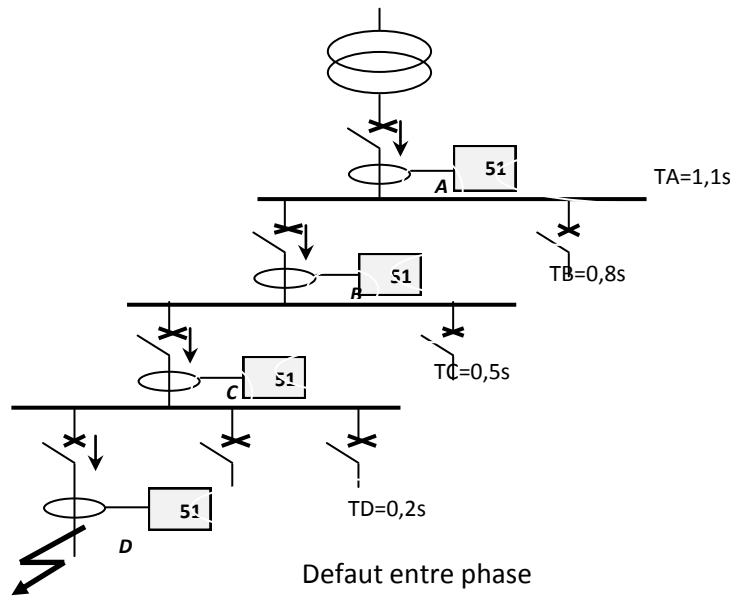


Figure II.6. Principe de la sélectivité chronométrique.

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 employé :

◆ Relais à temps indépendant Figure II.7

Les conditions à respecter sont :  $I_{sA} > I_{sB} > I_{sC}$  et  $T_A > T_B > T_C$ . (II.2)

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

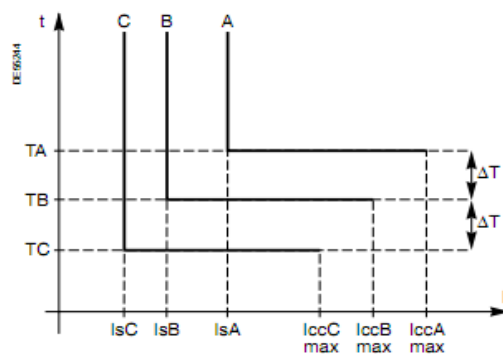


Figure II.7. Sélectivité chronométrique avec relais à temps indépendant

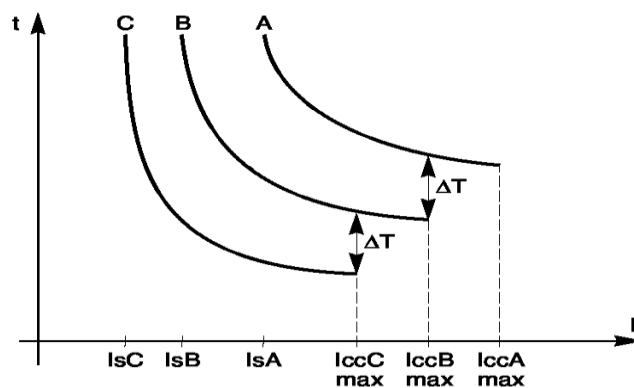
◆ **Relais à temps dépendant Figure II.8**

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.

$$I_nA > I_nB > I_nC \quad (\text{II.3})$$

$$I_sA = I_nA, \quad I_sB = I_nB, \quad \text{et} \quad I_sC = I_nC \quad (\text{II.4})$$

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.



**Figure II.8** Sélectivité chronométrique avec relais à temps dépendant.

◆ **Avantages**

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.
- Realization simple.

◆ **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.3.2.2. Sélectivité ampérométrique

Elle est basée sur le fait que le courant de défaut est d'autant plus faible que le défaut est plus éloigné de la source. Les réglages de telle sélectivité sont donnés par l'exemple de la Figure. II.7.

L'exemple concerne la protection ampérométrique d'un transformateur. Le réglage  $I_s$  de la protection à maximum de courant vérifie la relation :

$$1,25 I_{ccBmax} < I_s < 0,8 I_{ccAmin} \quad (II.5)$$

#### ◆ **Avantage**

Chaque protection ne fonctionne que pour les défauts situés immédiatement en aval de sa position et à l'intérieur de la zone surveillée. La protection est insensible aux défauts apparaissant au-delà de la zone surveillée.

#### ◆ **Inconvénients**

La protection située en amont (A) n'assure pas le secours de la protection située en aval (B)  
[3]

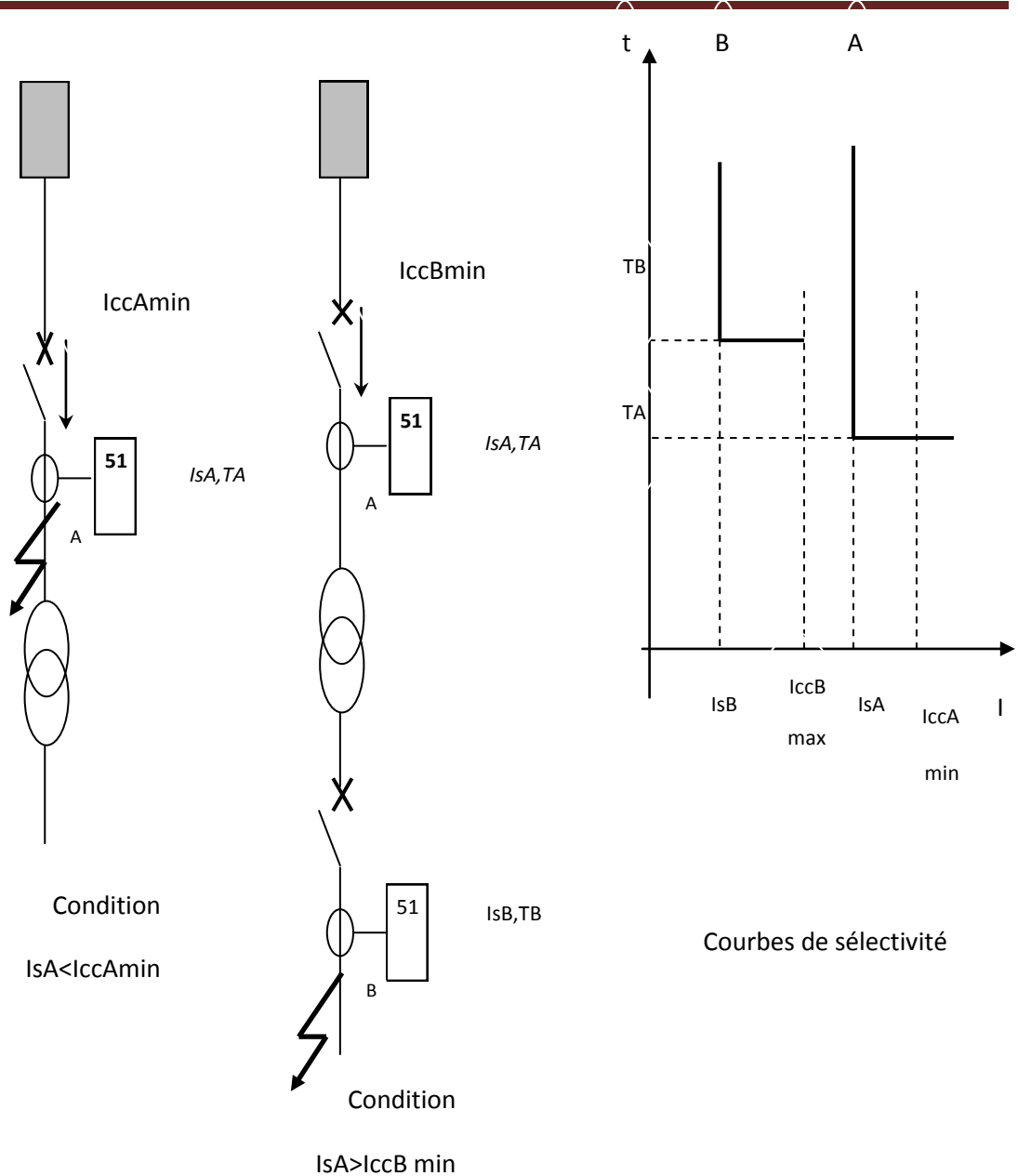


Figure II. 9. Fonctionnement d'une sélectivité ampérométrique.

### II.3.2.3. Sélectivité logique

#### ◆ 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 suivante décrit de façon simplifiée une distribution en antenne.

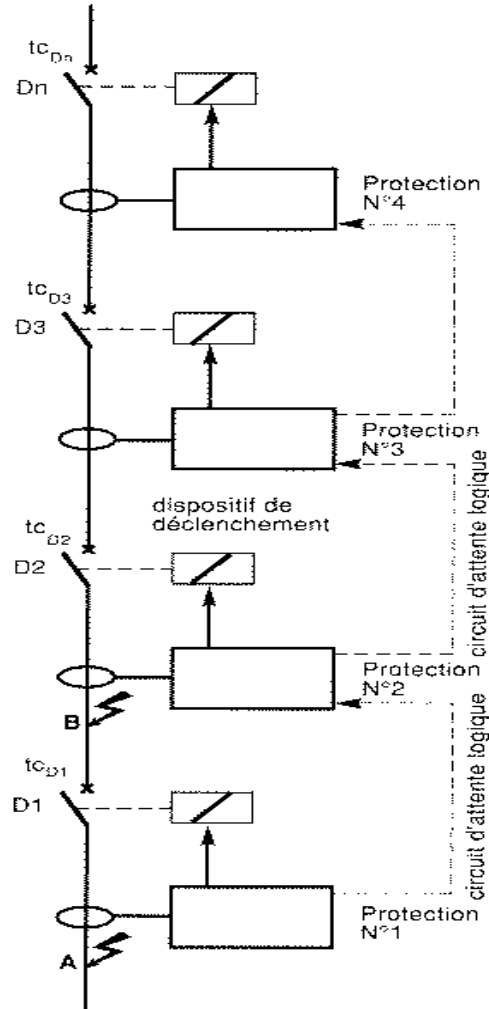


Figure II.10. Exemple d'utilisation de la sélectivité logique

◆ **Fonctionnement lorsqu'un défaut apparaît au point A :**

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  $t_{c_{D1}}$  est le temps de coupure du disjoncteur D1.

**◆ Fonctionnement lorsqu'un défaut apparaît au point B :**

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 [3].

**II 3.3 Protection à maximum de courant phase**

Elle a pour fonction de détecter les surintensités monophasées, biphasées ou triphasées. La protection est activée si un, deux ou trois des courants concernés dépassent la consigne correspondant au seuil de réglage. Cette protection peut être temporisée, dans ce cas elle ne sera activée que si le courant contrôlé dépasse le seuil de réglage pendant un temps au moins égal à la temporisation sélectionnée. Cette Temporisation peut être à temps indépendante ou à temps dépendant [8].

**II.3.1 Protection à temps indépendant**

Dans ce cas la temporisation est constante, elle est indépendante de la valeur du courant mesuré Figure II.11. Le seuil de courant et la temporisations ont généralement réglables par l'utilisateur.

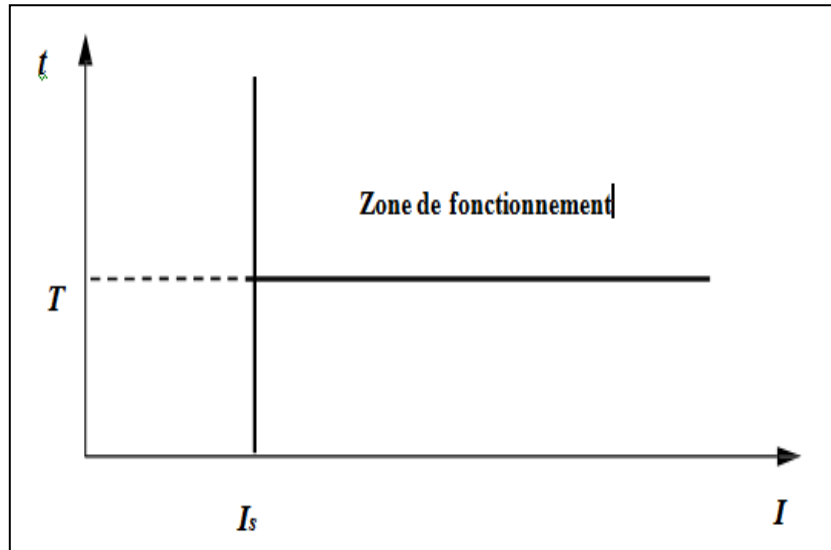


Figure II.11 Protection à temps indépendant.

$I_s$  : seuil de réglage

$T$  : retard de fonctionnement de la protection (temporisation).

**II.3.2 Protection à temps dépendant**

La temporisation dépend du rapport entre le courant mesuré et le seuil de fonctionnement.

Plus le courant est élevé plus la temporisation est faible Figure II.12

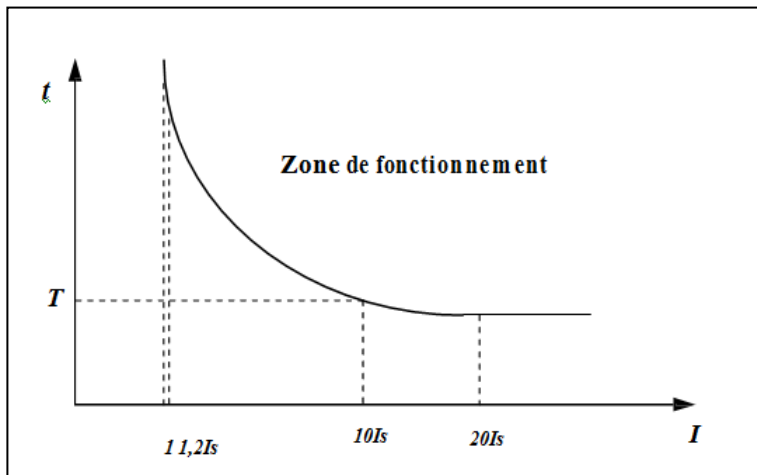


Figure II.12 Protection à temps dépendant.

$I_s$ : seuil de fonctionnement en courant correspondant à l'asymptote verticale de la courbe

T: temporisation pour  $10I_s$ .

#### II.4 Protection à maximum de courant terre

Elle est utilisée pour détecter les défauts à la terre. La protection est activée si le courant résiduel défini par  $I_{rsd} = I_1 + I_2 + I_3$ , dépasse le seuil de réglage pendant une durée égale à la temporisation choisie. En l'absence de défaut à la terre, la somme des trois phases est toujours nulle. Le courant résiduel donne la mesure du courant passant par la terre lors d'un défaut [8]

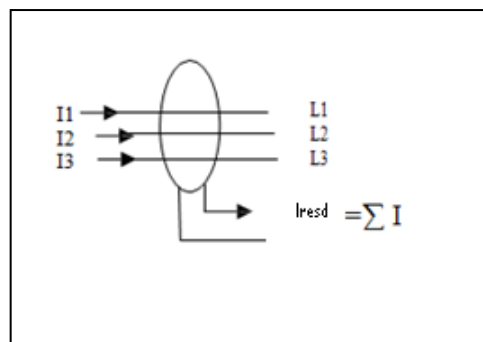


Figure II.13 Transformateur de courant.

#### II.5. Protection à maximum de courant phase directionnel

Elle possède une fonction à maximum de courant phase définie associée à une détection du sens du courant. Pour analyser son fonctionnement, nous allons montrer un exemple d'utilisation de cette protection. Considérons un jeu de barres alimenté par deux sources Figure II.14

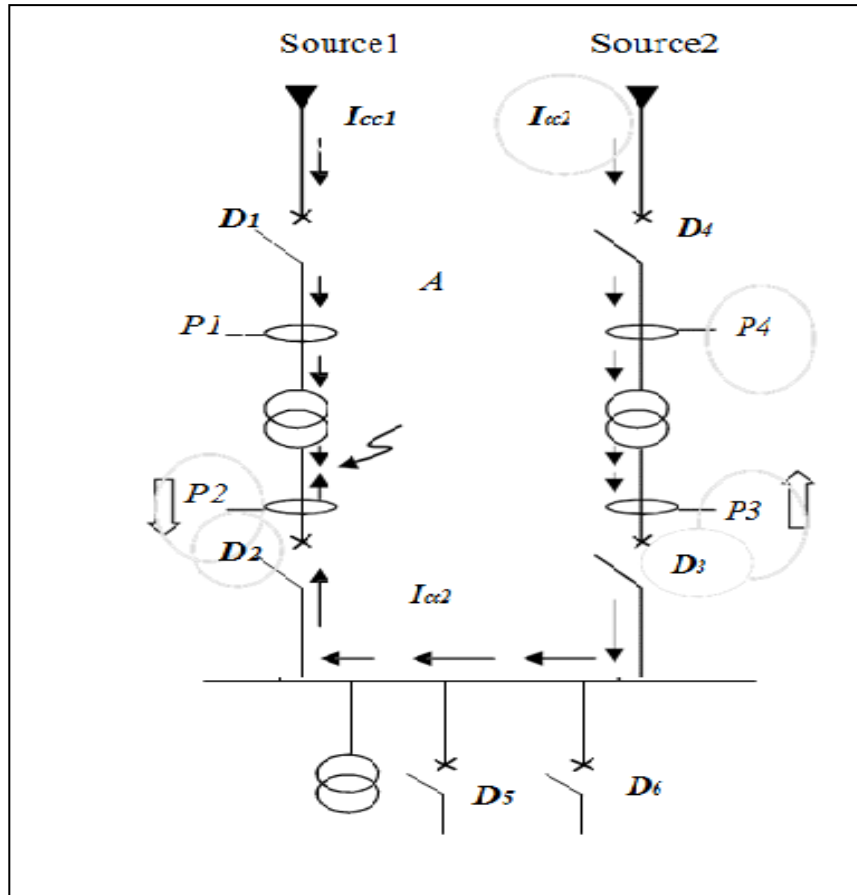


Figure II.14 Protection directionnelle

→ Circulation du courant de court-circuit.

↑ Sens de détection de la protection directionnelle.

$P1, P4$  : Protection à maximum de courant phase.

$P2, P3$  : Protection à maximum de courant phase directionnel.

$I_{cc1}$  : Courant de court-circuit alimenté par source 1.

$I_{cc2}$  : Courant de court-circuit alimenté par source 2.

Lors d'un défaut en A, les deux courants de court-circuit  $I_{cc1}$  et  $I_{cc2}$  s'établissent simultanément. Les quatre protections P1, P4, P2 et P3 sont traversées par un courant de court-circuit. Pour éliminer le défaut sans coupure l'alimentation seuls les disjoncteurs D1 et D2 doivent déclencher. Pour y parvenir, on installe des protections à maximum de courant phase directionnelle en P2 et P3. Le système de protection se comporte alors de la façon suivante :

- ◆ P3 n'est pas activée car elle est traversée par un courant circulant dans un sens opposé à son sens de détection.
- ◆ P2 est activée car elle est traversée par un courant circulant dans le sens de sa détection. Elle provoque le déclenchement du disjoncteur D2.
- ◆ Ensuite déclenchement de D1.
- ◆ P4 n'est activée car elle est temporisée.
- ◆ Le tronçon en défaut est donc isolé.

On dit que la protection détecte le sens du courant, mais en réalité, elle détecte le signe de la puissance active [8].

## II.6 Le régime du neutre

Dans un réseau, le régime du neutre joue un rôle très important. Lors d'un défaut d'isolement, ou de la mise accidentelle d'une phase à la terre, les valeurs prises par les courants de défaut, les tensions de contact et les surtensions sont étroitement liés au mode de raccordement du neutre à la terre d'après les études comparatif (EDF) de régime de neutre on constaté que le plus fiable ce que utilise le neutre mise à la terre par impédance de limitation.

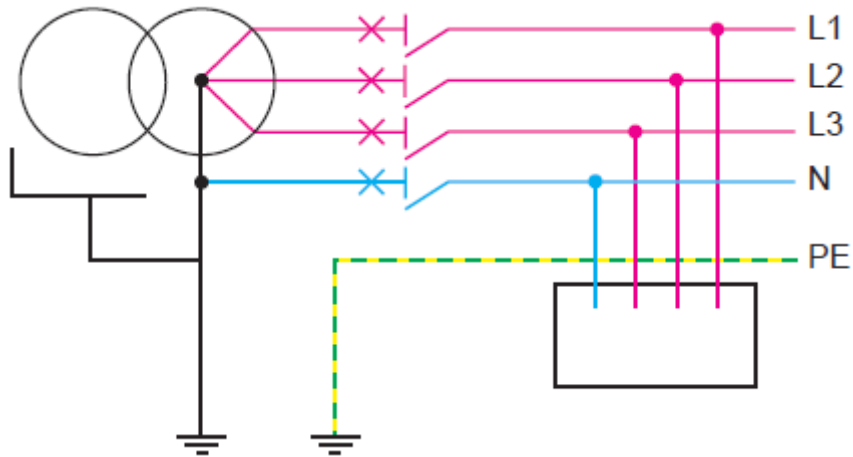
### II.6.1 Types du régime du neutre

#### II.6.1.1 Le régime TT

Description : Le neutre du secondaire du transformateur HT/BT est relié à la terre (T). Les masses de l'installation sont reliées à la terre (T) par une prise de terre différente de celle du transformateur.

Contrainte d'exploitation : La coupure s'effectue au premier défaut d'isolement par un dispositif différentiel.



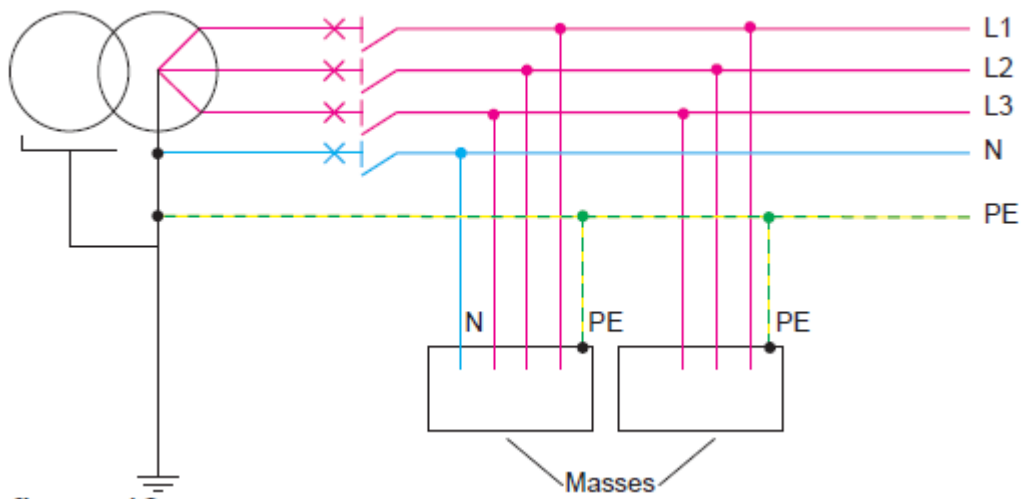


**Figure II.15** schéma unifilaire du système TT

### II.6.1.2 Le régime TN

Description : Le neutre du secondaire du transformateur HT/BT est relié à la terre (T). Les masses de l'installation sont reliées au neutre par le conducteur de protection (N -C ou N- S) .

Contrainte d'exploitation: La coupure s'effectue au premier défaut par les protections contre les surintensités.

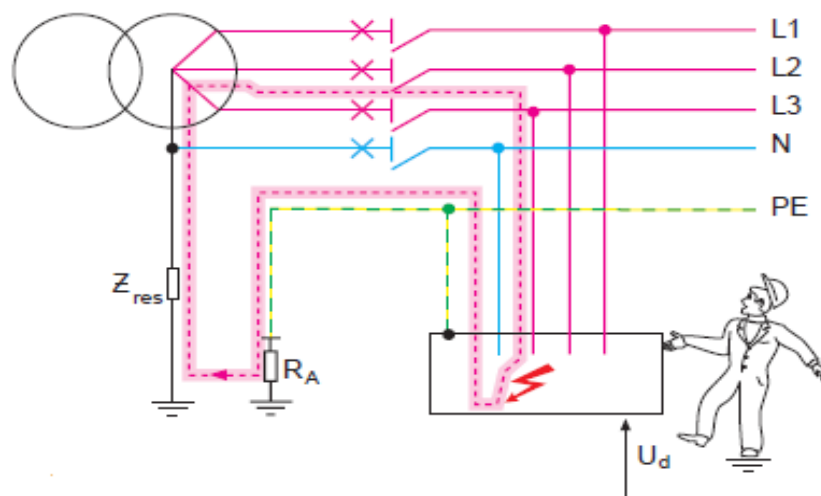


**Figure II.16** schéma unifilaire du système TN

**II .1.6 Le régime IT :**

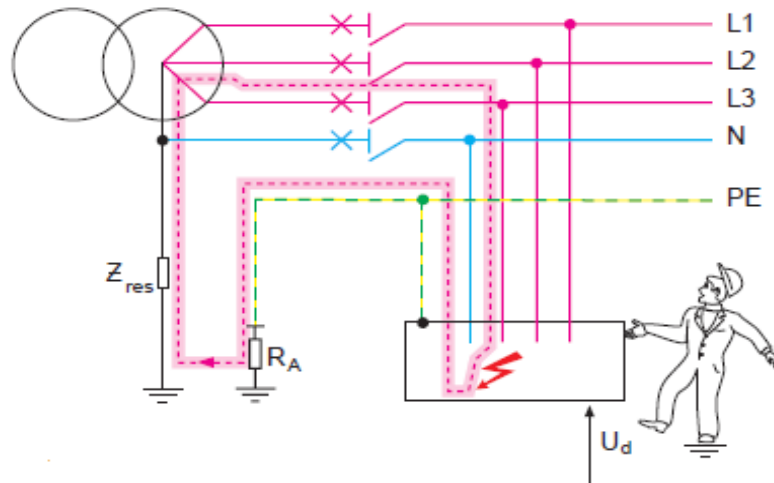
Description : Le neutre du secondaire du transfo est isolé ou relié à la terre par une grande impédance (I). Les masses de l'installation sont reliées et mises à la terre (T) par une prise de terre différente de celle du transformateur.

Contrainte d'exploitation: la surveillance du premier défaut est assurée par le contrôleur permanent d'isolement.



**Figure II.17** Schéma unifilaire du système IT

La recherche et l'élimination du premier défaut assure la continuité du service. La coupure se fait au second défaut d'isolement par les dispositifs de protection contre les courts-circuits [2].



**Figure II.18** Schéma unifilaire du système IT

### II.7. Elimination des défauts

Les courts circuits sont donc des incidents qu'il faut éliminer le plus vite possible, Il s'avère que la rapidité d'élimination d'un défaut est essentielle pour réduire les risques. Lorsqu'un court circuit apparaît sur un ouvrage, les protections provoquent le déclenchement des disjoncteurs encadrant cet ouvrage. Si cette fonction est correctement exécutée, les disjoncteurs des autres ouvrages ne doivent pas être déclenchés. Dans le cas contraire, les disjoncteurs d'autres ouvrages doivent être déclenchés, pour assurer l'élimination du défaut, mais en nombre aussi réduit que possible.

Dans la plupart des réseaux de transport, c'est le maintien de la stabilité transitoire de fonctionnement des groupes générateurs qui impose le temps maximal d'élimination des défauts, essentiellement des défauts polyphasés qui sont les plus contraignants. Ce temps maximal se situe le plus souvent dans la fourchette 100 à 200 ms, des valeurs plus basses de l'ordre de 60 à 80 ms peuvent être nécessaires dans des situations de réseau contraignantes. Le temps fonctionnement des disjoncteurs modernes (ouverture des pôles et coupure du courant) étant de l'ordre de 30 à 50 ms. Ces exigences sur les temps d'élimination des défauts, imposent aux protections les plus rapides de fonctionner en un temps de 20 à 30 ms. Aujourd'hui, les défauts électriques sont automatiquement éliminés par des fusibles et des disjoncteurs sophistiqués.

### I.7.1. Fusible

Les fusibles permettent d'interrompre automatiquement un circuit parcouru par une surintensité pendant un intervalle de temps donné. L'interruption du courant est obtenue par la fusion d'un conducteur métallique calibré. Ils sont surtout efficaces pour la protection contre les courts circuits, vis-à-vis desquels ils agissent, le plus souvent, en limiteurs de la valeur crête du courant de défaut [11].

Le fusible est ainsi un excellent dispositif pour l'élimination des défauts mais il présente un certain nombre d'inconvénients qui limitent son utilisation :

- ◆ Ils sont assez souvent générateurs de surtensions à la coupure ;
- ◆ Ils exigent malheureusement d'être remplacés après chaque fonctionnement ;
- ◆ En régime triphasé, ils n'éliminent que les phases parcourues par un courant de défaut, ce qui peut présenter un danger pour le matériel et le personnel ;
- ◆ Leur calibre doit être bien adapté pour éviter un fonctionnement intempestif en cas de surcharge momentanée.

Les fusibles sont des appareils monophasés, pour pallier cet inconvénient potentiel, les fusibles peuvent être associés à des interrupteurs ou à des contacteurs avec lesquels ils constituent des combinés capables d'assurer automatiquement la coupure des phases saines lors du fonctionnement de l'un d'eux de façon à éviter la marche monophasée dangereuse. Les combinés présentent, en outre, l'avantage d'interrompre en triphasé en cas de fusion d'un seul ou de deux fusibles.

### I.7.2. Disjoncteur

Un disjoncteur est destiné à établir, supporter et interrompre des courants, sous sa tension assignée (tension maximale du réseau), dans les conditions normales et anormales du réseau. Il est très généralement associé à un système de protection (relais), détectant un défaut et élaborant des ordres au disjoncteur pour éliminer automatiquement le défaut ou pour remettre en service un circuit lorsque le défaut a été éliminé par un autre disjoncteur ou dans le cas où le défaut présente un caractère fugitif.

Sa fonction principale est d'interrompre le flux de courant détecté lors d'un défaut. Le principe de base de tous les disjoncteurs est d'essayer de détecter le passage du courant par la valeur zéro et d'interrompre le flux de courant à ce moment là (où le niveau d'énergie à

interrompre est à son minimum). C'est l'appareil de protection capable d'une totale capacité d'intervention sans provoquer de surtension excessive sur le réseau.

Le disjoncteur ne réussit pas souvent à interrompre le courant durant la première tentative, plusieurs cycles de la fréquence fondamentale du courant sont nécessaires pour une interruption complète du flux de courant, ce qui affecte la vitesse du disjoncteur. Les disjoncteurs rapides utilisés dans la HT sont d'un cycle, par contre ceux utilisés dans la BT prennent 20 à 50 cycles pour ouvrir. Dans le cas des lignes électriques, beaucoup de défauts sont temporaires. Pour distinguer entre un défaut permanent et un défaut temporaire le concept d'auto-enclenchement est utilisé. Quand le disjoncteur déclenche il reste ouvert un certain temps ensuite il ferme automatiquement. Cette action permet au relais de vérifier si le défaut continu d'exister, et dans ce cas de déclencher de nouveau. Si le défaut a disparu, le relais ne fonctionne pas et la ligne va rester en service [6].

Le disjoncteur permet d'établir ou d'interrompre le courant, par rapprochement et séparation des contacts jusqu'aux valeurs les plus élevées des courants de défaut. Le disjoncteur HT est caractérisé essentiellement par la technique utilisée pour la coupure.

Les types de disjoncteurs les plus répandus sont [7]:

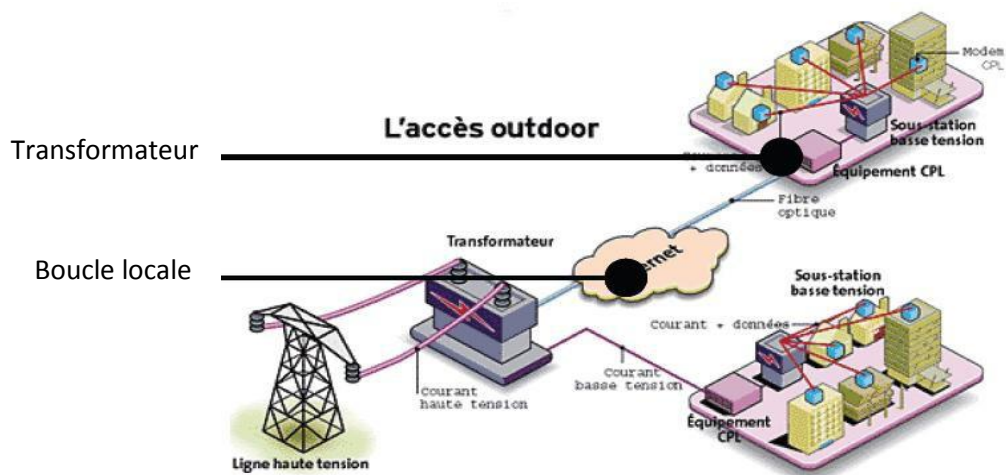
- ◆ Les disjoncteurs à l'huile.
- ◆ les disjoncteurs à air comprimé.
- ◆ les disjoncteurs au gaz SF<sub>6</sub>.
- ◆ les disjoncteurs à vide.

### **Conclusion**

On s'intéresse dans ce chapitre par le rôle et la fonction du système de protection. On a commencer par donner une description des éléments qui constituent un système de protection puis la qualité et les différentes types de sélectivités d'élimination de défaut, il est nécessaire de définir une sélectivité entre les différents organes de protection. Le prochain chapitre sera consacré à investigation de la technique CPL.

# Chapitre n° III

## Investigation du CPL



### III.1. Introduction

Nous consacrerons ce troisième chapitre à la présentation des divers aspects théoriques qui constituent les bases de nos travaux. Nous aborderons dans un premier temps les courants porteurs en ligne (CPL), Après un petit historique, nous étudierons le principe de fonctionnement du CPL ainsi que ses deux architectures possibles à savoir le CPL Indoor et le CPL Outdoor.

### III.2. La technologie des courants porteurs en ligne (CPL)

Les CPL constituent une technique qui utilise le réseau d'énergie électrique pour transmettre tous les services de télécommunication.

Le CPL permet de faire passer de l'information numérique (Signal, Donnée, Image) sur le réseau électrique par différentes techniques, sans aucune perturbation électrique. Il devient ainsi possible de réaliser simplement un réseau haut débit dans un local commercial, un bureau, un immeuble, un appartement, en utilisant le support du réseau de distribution d'énergie électrique.

#### III.2.1. Historique

La technique des CPL n'est pas récente dans son principe. Dès 1838, en Angleterre, Edward Davy a proposé une solution permettant de mesurer à distance les niveaux de batterie des sites éloignés du système télégraphique entre Londres et Liverpool. En 1897, il présentait le premier brevet d'une technique de mesure à distance des compteurs du réseau électrique communiquant sur les câbles électriques. Appelés Ripple Control, les premiers systèmes CPL ont été élaborés puis déployés sur les réseaux électriques moyenne tension et basse tension en 1950. La fréquence porteuse était alors comprise entre 100 Hz et 1 kHz. Il s'agissait d'établir des communications monodirectionnelles via des signaux de commande pour l'allumage et l'extinction à distance des éclairages publics ou encore pour des changements tarifaires [2].

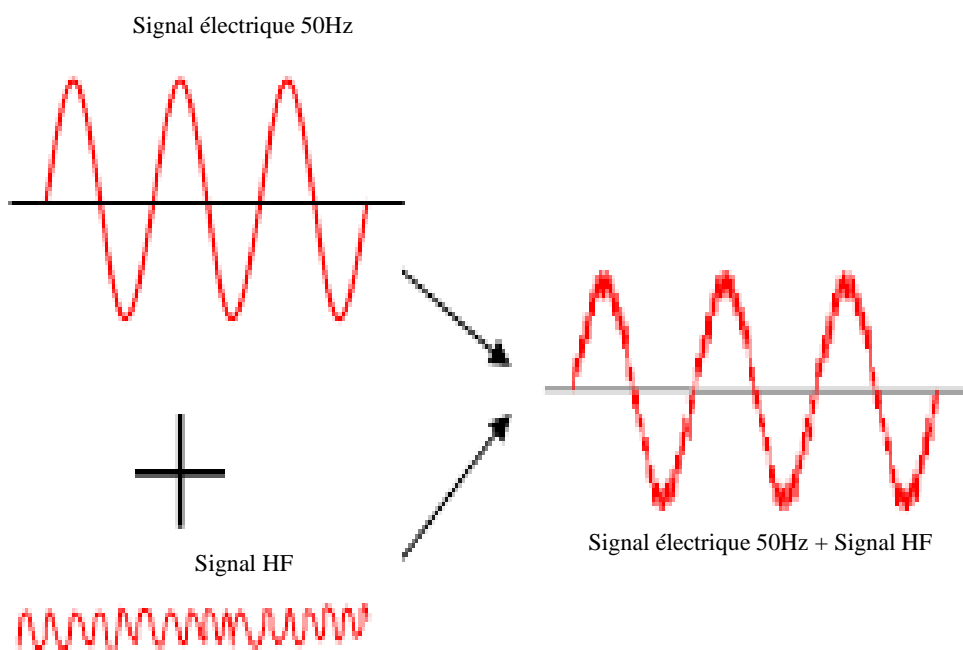
L'expression " courants porteurs en ligne ", communément abrégée CPL, est apparue à la fin de la seconde guerre mondiale, en 1945. À l'époque, beaucoup de lignes téléphoniques et électriques étaient détruites, mais il restait davantage de lignes électriques d'infrastructure que de lignes téléphoniques. Pour des besoins de communication, des systèmes ont été conçus afin de transmettre des données sur les câbles haute tension ou moyenne tension.

Les premiers systèmes industriels sont apparus en France en 1960 sous le nom de Pulsadis. Ce n'est qu'ensuite qu'apparurent les premiers systèmes CPL de la bande dite Cenélec, s'étendant de 3 à 148,5 kHz et permettant des communications bidirectionnelles sur le réseau électrique basse tension (BT) afin, par exemple, de pratiquer des relevés de compteurs (télérelève), ainsi que bon nombre d'applications relevant du domaine de la domotique (alarme d'intrusion, détection d'incendie, détection fuite de gaz, etc.) [2].

### III.2.2. Principe de fonctionnement

En effectuant la technologie CPL à haut débit, il est possible de faire passer des données informatiques sur le réseau électrique, et ainsi étendre un réseau local existant ou partager un accès Internet existant via les prises électriques grâce à la mise en place de boîtiers spécifiques.

Le principe des CPL consiste à superposer au signal électrique de 50 Hz un autre signal à plus haute fréquence (bande 1 à 30 MHz) et de faible énergie. Ce deuxième signal se propage sur l'installation électrique et peut être reçu et décodé à distance. Ainsi le signal CPL est reçu par tout récepteur CPL qui se trouve sur le même réseau électrique [12] .



**Figure.III.1.** Principe de fonctionnement du CPL.



Un coupleur intégré en entrée des récepteurs CPL élimine les composantes basses fréquences avant le traitement du signal.

Il existe deux architectures du réseau CPL : l'indoor et l'outdoor. Nous allons détailler chacun de ces réseaux.

### III.2.3. Mise en œuvre

L'implémentation d'un réseau local basé sur les CPL repose sur un principe simple : il suffit d'intégrer un coupleur (passerelle) CPL entre la connexion Internet existante (modem ADSL par exemple) et le réseau électrique.

Ensuite, il est possible de se connecter à Internet via n'importe quelle prise électrique du réseau électrique local en branchant un adaptateur CPL (branché sur le port Ethernet ou USB, le paramétrage informatique dépendant alors du type d'adaptateur choisi) entre ordinateur et prise électrique [13]. A noter que le coupleur CPL n'est pas indispensable : il est en effet possible d'utiliser 2 adaptateurs CPL, l'un connecté de manière permanente au modem ADSL pour faire le lien entre l'accès Internet et le réseau électrique, et l'autre permettant de relier l'ordinateur à n'importe quelle prise électrique du bâtiment.

### III.2.4. Le CPL Indoor

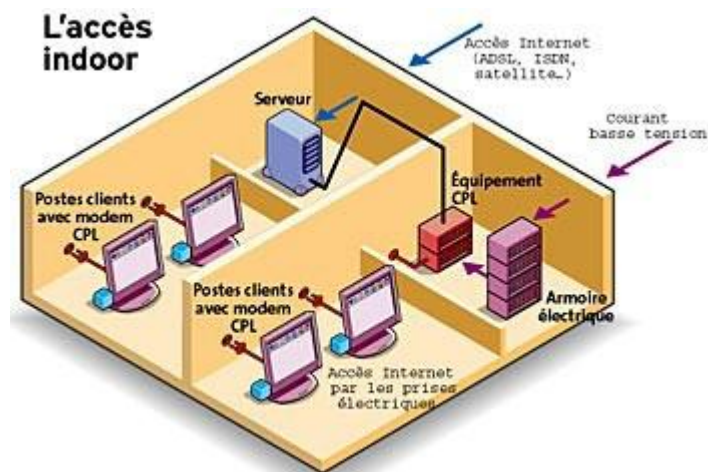


Figure III.2. Réseau Indoor.

Les solutions CPL commercialisées à ce jour, de type Homeplug pour l'indoor, sont des solutions parfaites pour étendre le réseau local et partager l'accès Internet haut débit existant, notamment à la maison ou en petite entreprise, avec une mise en œuvre simple.

Les boîtiers CPL se présentent en général avec un port Ethernet ou USB suivant le modèle choisi, et une connexion vers la prise électrique.

La mise en œuvre d'une solution CPL en intérieur demande au niveau informatique comme configuration minimum un PC avec carte Ethernet ou une prise USB selon le choix du boîtier. Attention tout de même à la disponibilité des drivers (pour les modèles en USB) selon le système d'exploitation.

- ◆ Pour la mise en place d'un boîtier Ethernet, l'installation est équivalente à celle d'un réseau local Ethernet filaire.

- ◆ Pour la mise en place d'un boîtier USB, la configuration se fait via le pilote fourni, une carte réseau virtuelle est alors à configurer comme la carte Ethernet en réseau local.

Au niveau électrique, l'installation ne pose aucun souci à l'intérieur d'un logement derrière un compteur monophasé dans la mesure où les adaptateurs se branchent directement sur les prises électriques. En revanche l'intégration est plus complexe dans les immeubles, que ce soit en résidentiel avec une arrivée triphasée et différents compteurs, ou bien dans les bâtiments de grande taille, tels que des collèges, des hôpitaux ou immeubles administratifs. La mise en œuvre d'une solution CPL « étendue » nécessite alors une double compétence : expertise en réseau électrique et en réseau informatique, ainsi que l'utilisation de matériel différent des boîtiers Homeplug vendus pour l'indoor [13].

### III.2.6. Le CPL Outdoor

Des expérimentations sont en cours pour des installations extérieures, avec un couplage entre l'arrivée Internet haut débit et le réseau électrique via un transformateur HTA/BT pour la création d'une boucle locale électrique.

En effet, pour des raisons juridiques, en France, le CPL outdoor est encore au stade de l'expérimentation. L'activité de transport de données relève des télécommunications et nécessite une licence d'opérateur de réseaux et télécoms ce qui n'est pas le cas d'EDF.

La France contrairement à l'Allemagne qui commercialise déjà des offres haut débit via CPL devra attendre la privatisation d'EDF.

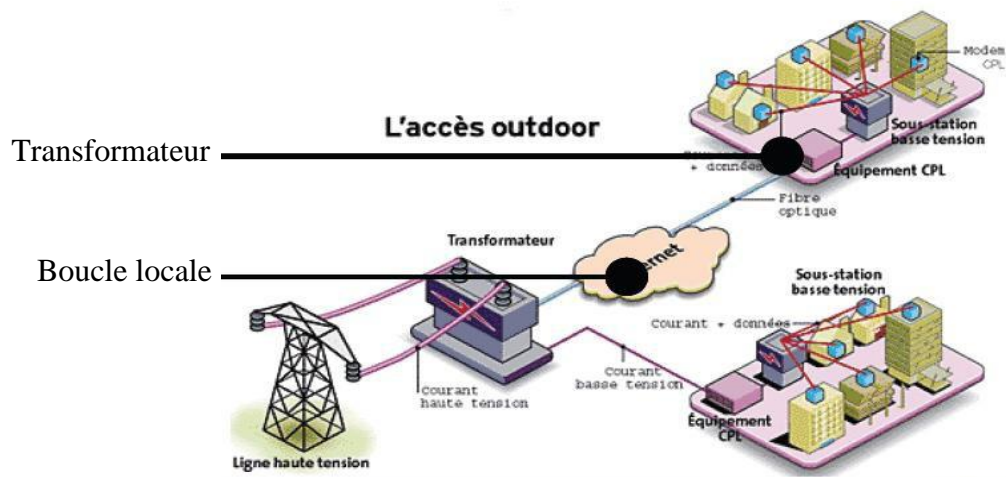
L'accès Outdoor peut-il constituer une solution pour les collectivités locales ?

Dans de nombreuses parties du territoire, les opérateurs télécoms ont jugé non rentable l'ADSL et la mise en place de câblages classiques représente un investissement trop lourd.

Le réseau haut débit semble réservé aux habitants de zones urbaines relativement densément peuplées, ainsi des zones d'activité économique importantes ne peuvent accéder à cette

technologie pourtant essentielle à leur développement. Une possibilité pour les collectivités locales et les entreprises concernées est d'utiliser la technologie CPL afin d'acheminer un flux haut débit depuis un point d'accès préexistant. La capillarité extrêmement fine du réseau électrique permet en effet d'atteindre virtuellement l'ensemble du territoire, et en particulier les zones rurales qui semblaient jusqu'à présent exclues de la « révolution » haut débit.

Concrètement, les CPL sont complémentaires d'une technologie haut débit déjà installée et viennent remplacer la boucle locale qui n'a pas été mise en place pour cause de non rentabilité économique. Les CPL sont une plate-forme particulièrement flexible, qui peut se déployer suivant les cibles visées, par grappes au niveau d'un transformateur, et en complément avec d'autres infrastructures.



**Figure.III.3.** Réseau Outdoor.

### III.2.7. Avantages des CPL

Comme la plupart des systèmes, les CPL présentent des avantages par rapport aux technologies concurrentes (ADSL, WIFI), mais également des inconvénients. Un des atouts majeurs des CPL est l'utilisation du réseau électrique préexistant. Aucun câblage supplémentaire n'est requis, ce qui rend cette technologie particulièrement attractive.

Les principaux avantages des CPL sont les suivants :

- ◆ Utilisation du réseau électrique existant, ce qui implique une couverture potentielle de la totalité du pays considéré,
- ◆ Déploiement rapide, pas de câblage supplémentaire,

- ◆ Facilite l'installation de l'Internet dans les régions sans réseau de télécommunication (Outdoor),
- ◆ Facilite les connexions des services de télécommunication dans les bâtiments résidentiels (Indoor),
- ◆ Les investissements et les coûts d'exploitation sont similaires à xDSL et plus faible que dans les services de câblodistribution.

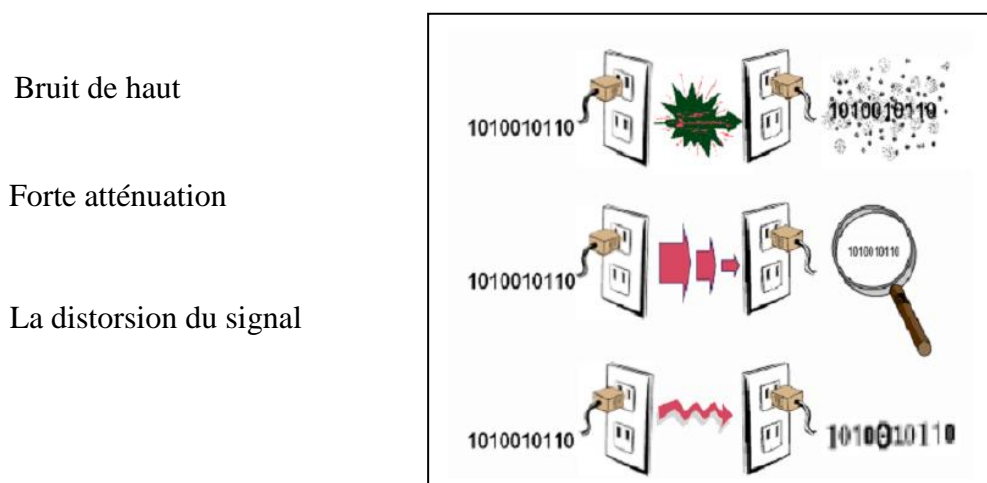
Les pays qui ne disposent pas de réseau téléphonique très densifié sont très intéressés par cette technologie [14].

### III.2.8. Inconvénients des CPL

Parmi les inconvénients des CPL, citons les problèmes liés :

- ◆ à l'émission de bruit électromagnétique qui peut interférer avec la radio publique,
- ◆ à l'établissement de limites pour le courant mené dans l'équipement et des champs rayonnés par le réseau,
- ◆ l'absence de définition de méthodes de mesure sur le terrain,
- ◆ le problème de l'immunité du réseau aux perturbations externes et internes,
- ◆ au partage des flux de données entre les utilisateurs desservis par le même transformateur électrique,
- ◆ à l'identification des applications distribuées,
- ◆ à la distance à couvrir qui limite le débit disponible.
- ◆ au problème des différentes phases.

La figure III.4 ci-dessous, montre certains désavantages de cette technologie [15].



**Figure III.4.** Perturbation du signal, l'atténuation et la distorsion.

### III.2.9. Canal de transmission

Le support du réseau électrique n'a pas été étudié pour transporter des signaux haute fréquence (HF). Il faut donc prendre en compte les contraintes de ce support pour assurer une bonne transmission de ces signaux HF sans pour autant perturber les appareils environnants, ni les fréquences de la bande 1-30 MHz par rayonnement, certaines fréquences de cette bande étant réservées à l'armée ou bien aux radioamateurs.

Tout ceci doit enfin être étudié pour donner un débit suffisant à l'utilisateur en bout de ligne. Tout le problème consiste ainsi à limiter la puissance de fonctionnement des courants porteurs tout en assurant un débit suffisant, et limiter les effets du bruit et de la distorsion sur la ligne. La solution : allier un traitement du signal le plus performant possible et effectuer un couplage optimal du réseau CPL au réseau électrique.

Il existe deux méthodes de couplage : couplage capacitif en parallèle sur le réseau électrique ou couplage inductif via un tore de ferrite. En ce qui concerne les installations en intérieur (indoor), le couplage capacitif est fait par défaut lorsqu'on branche l'équipement CPL sur la prise électrique, le problème ne se pose donc que pour les installations en extérieur (outdoor), beaucoup plus complexes à réaliser.

### III.3. Notions sur les caractéristiques du réseau électrique

Cette partie du chapitre présente un certain nombre des propriétés physiques du réseau afin de faire mieux comprendre les capacités (avantages et limitations) qu'offre ce support à la transmission de données.

#### III.3.1. Caractéristiques du câble électrique

Le support de communication utilisé dans les technologies CPL est le câble électrique, qui n'est pas, au départ, conçu pour transporter des données, et dont les caractéristiques physiques sont avant tout adaptées au transport du signal 230 V/50 Hz.

Un câble électrique présente une impédance complexe  $Z$  (valeur des composantes résistives, inductives et capacitives des éléments du réseau électrique). L'impédance ( $Z$ ) d'un circuit électrique est composée d'une partie résistive ( $R$ ), d'une partie inductive ( $L$ ) et d'une partie capacitive ( $C$ ), qui le caractérisent complètement du point de vue électrique. Ces caractéristiques influent sur le comportement global du réseau électrique en fonction des niveaux de courant électrique circulant dans ce réseau.

Ces caractéristiques se traduisent par une modélisation particulière de la couche physique c.à.d du câble électrique, afin d'obtenir la meilleure qualité possible du canal de transmission.

### III.3.1.1. Bruits et perturbations électromagnétiques

Le canal de transmission récolte un certain bruit des différents équipements électriques connectés ou à proximité du câble électrique. Les différents types de bruits qui peuvent être perçus sur et autour du câble électrique sont les suivants :

- ◆ bruits impulsionnels dus aux arrêts/démarrages des appareils électriques,
- ◆ bruits blancs à large bande, dont la densité spectrale de puissance est la même pour toutes les fréquences,
- ◆ bruits périodiques à plusieurs fréquences,
- ◆ bruits harmoniques, composés des multiples fréquences utilisées par les équipements électriques branchés sur le réseau et qui sont, par exemple, des multiples de 50 Hz (300, 600, etc.).

Ces bruits sont exprimés globalement par le rapport signal sur bruit, ou SNR (Signal to Noise Ratio), généralement mesuré en décibels (dB). En plus des bruits sur le support électrique, les appareils électriques connectés ou déconnectés du réseau électrique engendrent un certain nombre de perturbations sur le canal de transmission qui peuvent être sujets à la CEM (compatibilité électromagnétique). De nombreux groupes de travail du Cenélec (européen) et de la CEI (international) ont mis en place des règles fixant les limites des perturbations autorisées pour chaque classe d'équipement électrique, y compris les équipements CPL. De leur côté, les organismes de standardisation et de normalisation des télécommunications ETSI (européen) et ITU (international) travaillent sur les seuils de perturbation afin d'optimiser le canal de transmission et les techniques de traitement du signal à mettre en œuvre pour obtenir les meilleures performances des CPL. Les perturbations CEM reçues et provoquées par les CPL font l'objet de nombreux autres travaux et études en vue d'harmoniser les niveaux d'émission de chaque appareil et d'obtenir un canal de transmission efficace avec ces niveaux d'émission.

### III.3.1.2. Atténuation

Le signal électrique perd de sa puissance et subit une atténuation en fonction de la distance parcourue. Il est important de prendre en compte cette caractéristique du câble électrique pour offrir les meilleures performances au réseau CPL [16]

Les différences d'impédances sur le réseau électrique provoquent des effets tels que les multi trajets, qui entraînent des nochers, ou pics d'amplitude du signal CPL, importants à certaines fréquences. Dans un habitat domestique, l'atténuation du signal sur le câble électrique est de

l'ordre de 20 à 60 dB, en fonction de la charge réseau. L'atténuation minimale de l'ensemble compteur/disjoncteurs est de 30 dB pour un équipement émettant un signal à une fréquence supérieure à 20 MHz. Pour les fréquences situées en dessous de 20 MHz, la valeur moyenne de l'atténuation est d'environ 50 dB. Un coupleur CPL de bonne qualité permet toutefois de réduire l'atténuation de 10 à 15 dB pour certaines fréquences.

#### **III.4. Conclusion**

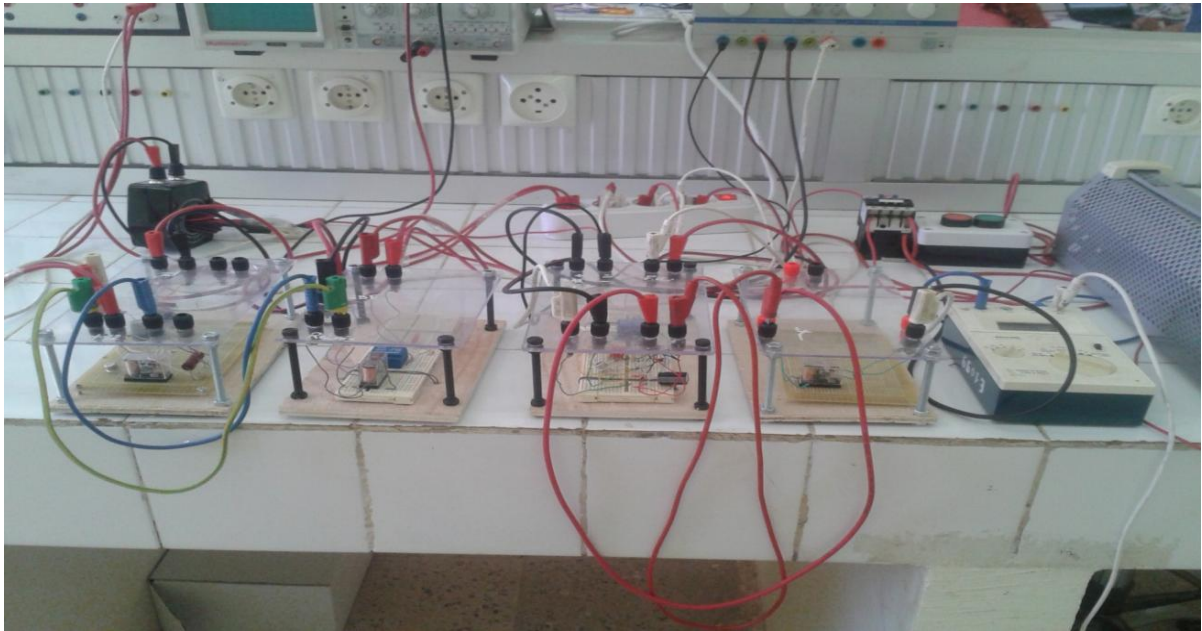
Dans ce chapitre, nous avons présenté la technologie CPL en donnant les différents aspects qui lui sont associés : son principe, son historique, ces avantages et ces inconvénients. Ensuite nous avons définis le canal de transmission en fin on a donné quelques définitions sur les caractéristique de réseaux électrique afin de savoir le rôle de CPL que nous avons besoin dans la protection de réseaux électrique.



# Chapitre n° IV

## Simulations et réalisation pratique

---





### IV.1. Introduction :

Le programme Simulink est l'extension graphique de MATLAB permettant de représenter les fonctions mathématiques et les systèmes sous forme de diagramme en blocs et de simuler le fonctionnement de ces systèmes. Ce chapitre est consacré à la simulation par simulink/Matlab et la réalisation pratique de :

- ◆ Protection à max de courant ordinaire
- ◆ Coupleurs HF.
- ◆ Protection à max de courant avec CPL

Rappelons que ces circuits sont réalisés au sein du laboratoire du département Génie Electrique. Comme application, le circuit CPL réalisé a été implémenté dans un système de protection à sélectivité logique.

### IV.2. Protection à max du courant

#### IV.2. 1. Schéma de principe

La Figure IV.1 représente le schéma synoptique d'une protection à max de courant.

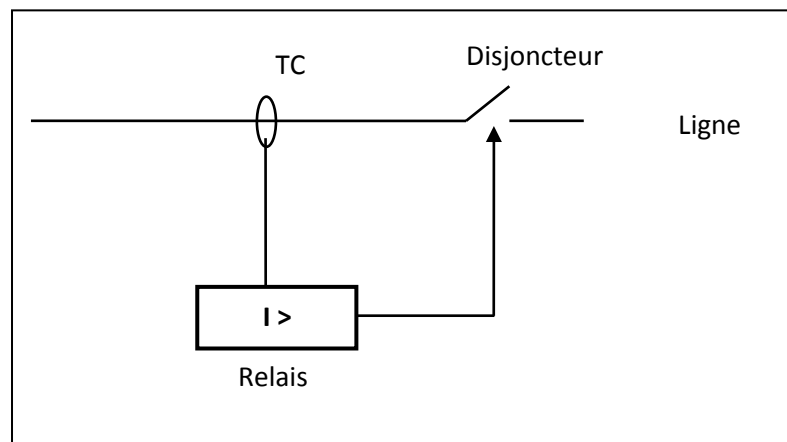


Figure IV.1. Schéma de principe d'une protection à max de courant

IV.2. 2.Simulation du relais à max de courant

La Figure IV.2 représente le schéma simulink du relais à max de courant.

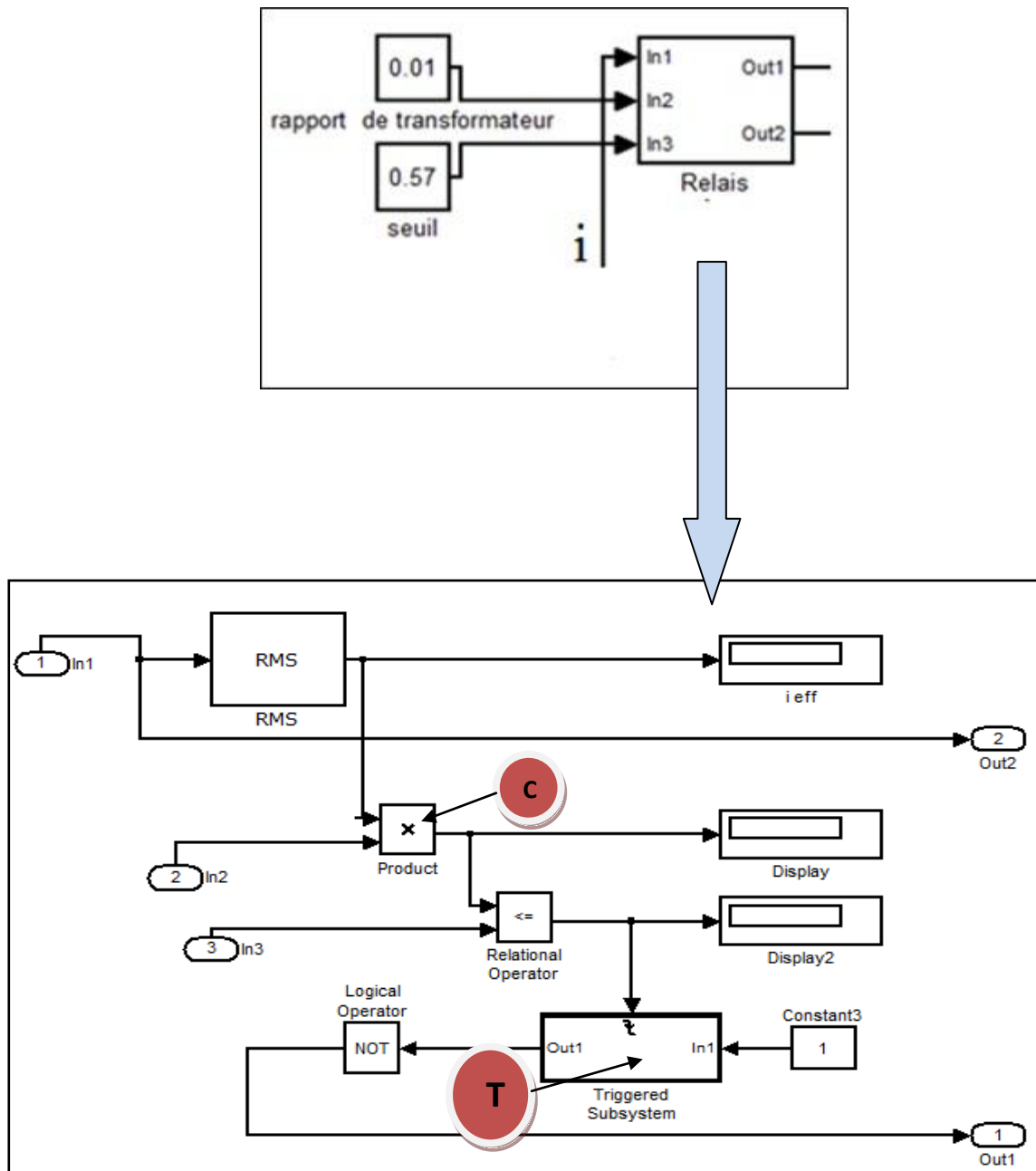


Figure IV.2. Schéma de simulation du relais.

La fonction de base de ce relais consiste à mesurer le courant de la ligne, en suite il fait une comparaison de cette valeur (i) avec le seuil de déclenchement.

C : comparateur

T : Elément de mémoire du signal

IV.2.3 Simulation du système de protection à max du courant.

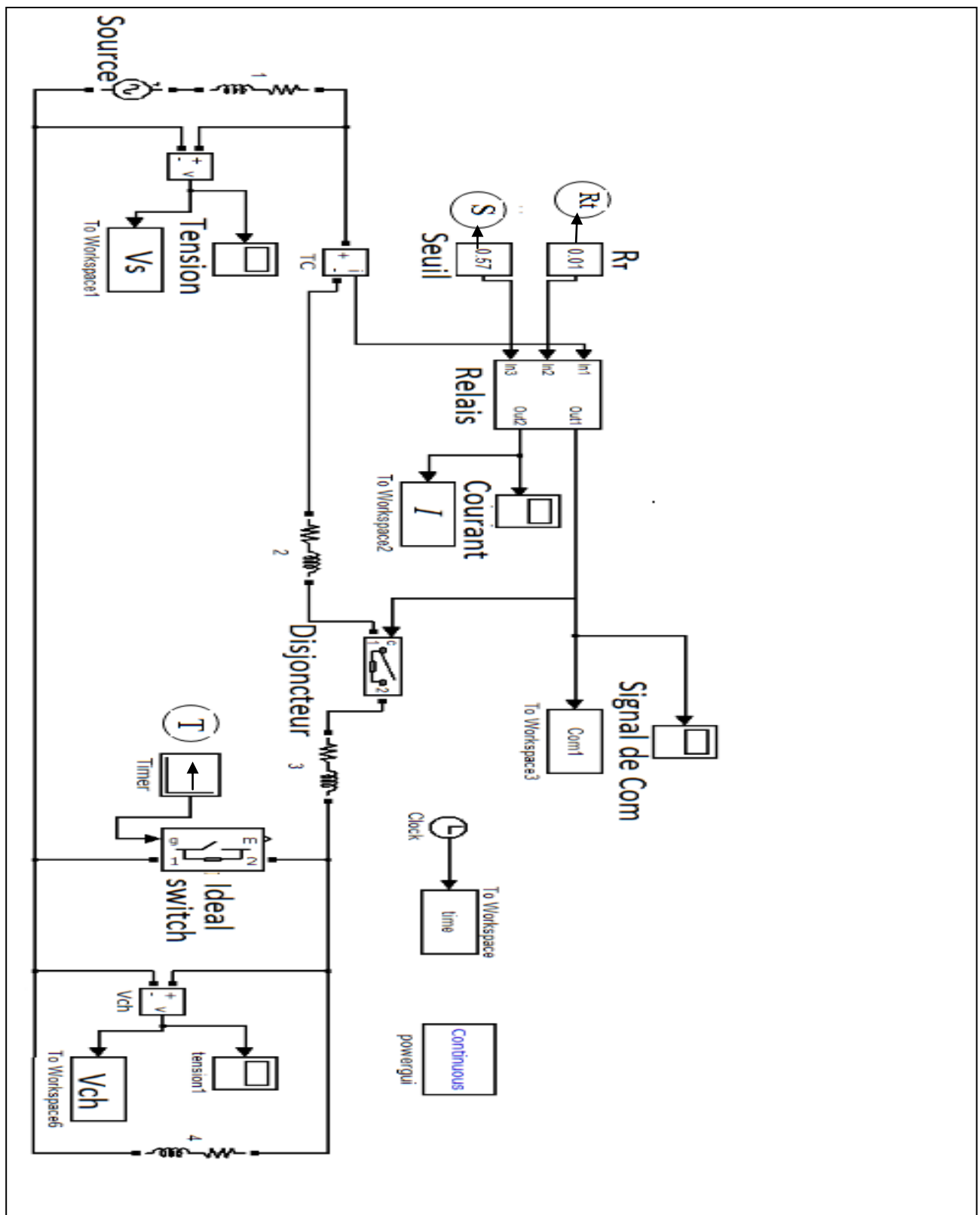


Figure IV.3. Simulation d'une protection à max de courant.

Données :

- Source = 314 V , $f=50$  Hz
- **T** : Elément de temporisation de déclenchement
- **S** : Seuil de déclenchement  $I_d=0.57A$
- **Rt** : rapport de transformation du TC  $R_t =0.01$ .

Le Tableau IV. 1 représente les valeurs des composants de RL.

Les Résistances [ $\Omega$ ]	Les inductances [mH]
<b>R1=1</b>	<b>L1=10</b>
<b>R2=1</b>	<b>L2=0.01</b>
<b>R3=1</b>	<b>L3=10</b>
<b>R4=100</b>	<b>L4=10</b>

Tableau IV. 1 les valeurs des éléments de RL.

### IV.2.3 .Résultats de la simulation

D'après les résultats de la simulation (Figure IV.4, Figure IV.5, Figure IV.6), on remarque que le courant de la ligne passe par trois phases .La première phase concerne le fonctionnement normal du circuit et elle est réalisée dans l'intervalle( 0-0.04s).

Dans la deuxième phase (0.04s-0.06) se manifeste un courant de court-circuit suite à l'appariation d'un défaut de cc réalisé par l'élément Idéal Switch+ Timer (Figure IV.3).

Dés l'instant 0.06s ,le dépassement du courant de la ligne provoque le déclenchement de la protection.

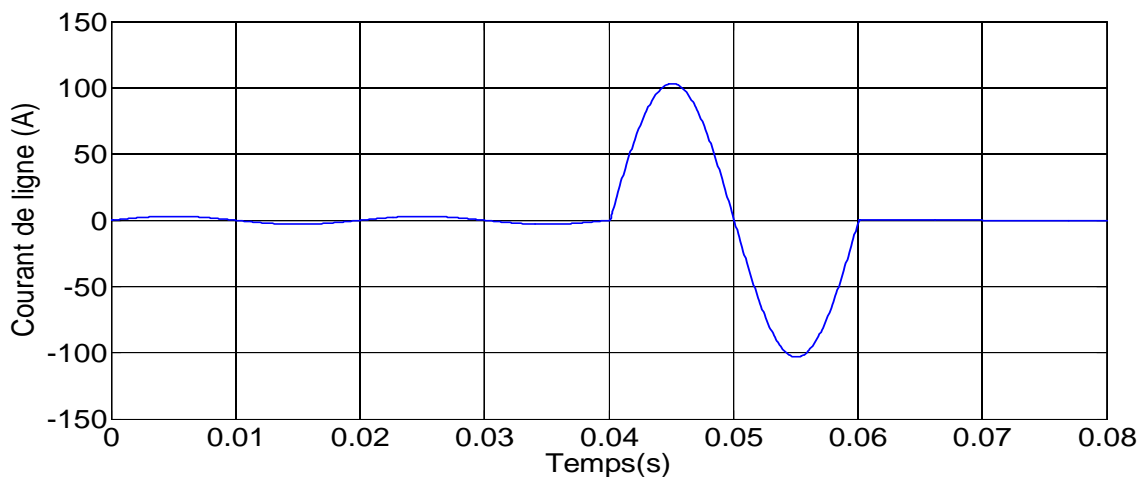


Figure IV.4 Courant de la ligne

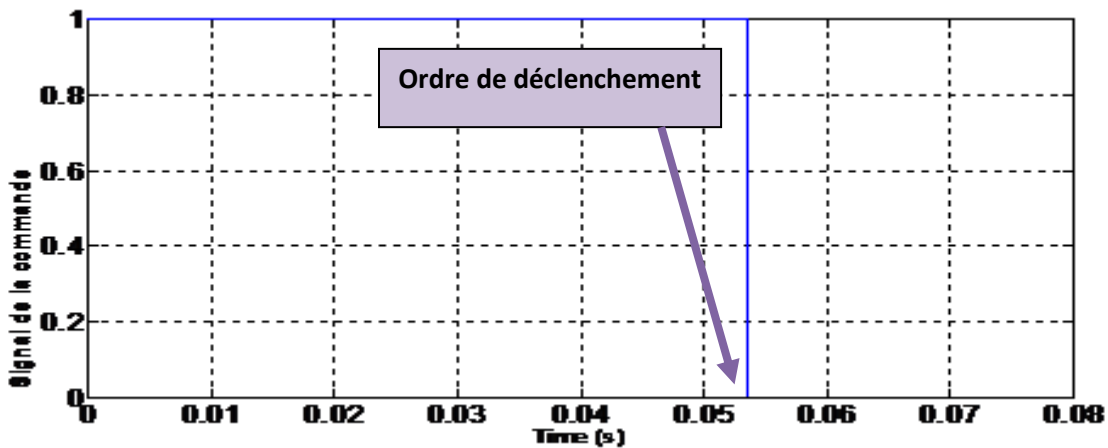


Figure IV.5 Signal de commande de l'élément de coupure.

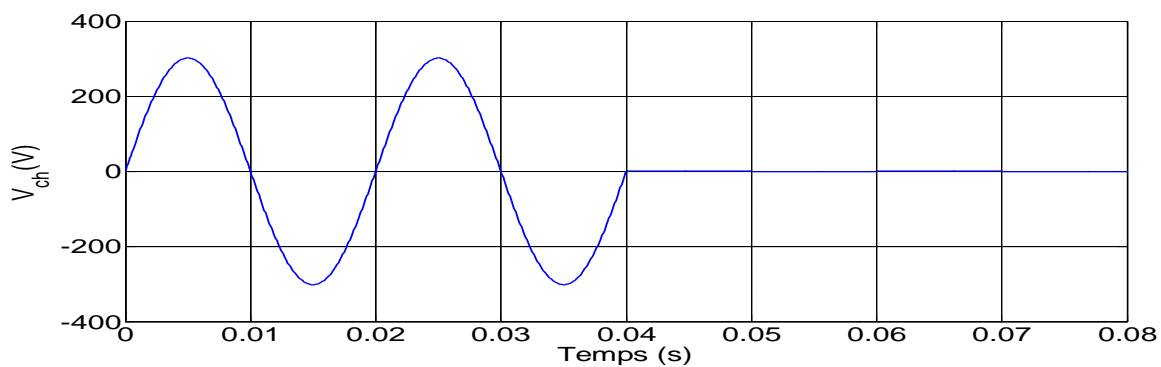


Figure IV.6 Tension de la charge.

**IV.2.4.Réalisation pratique de la protection à max du courant**

La Figure IV.7 représente le circuit électronique de la protection à max de courant réalisé au sein du laboratoire. Dans cette figure Ud représente la tension de commande de l'élément de coupure (contacteur).

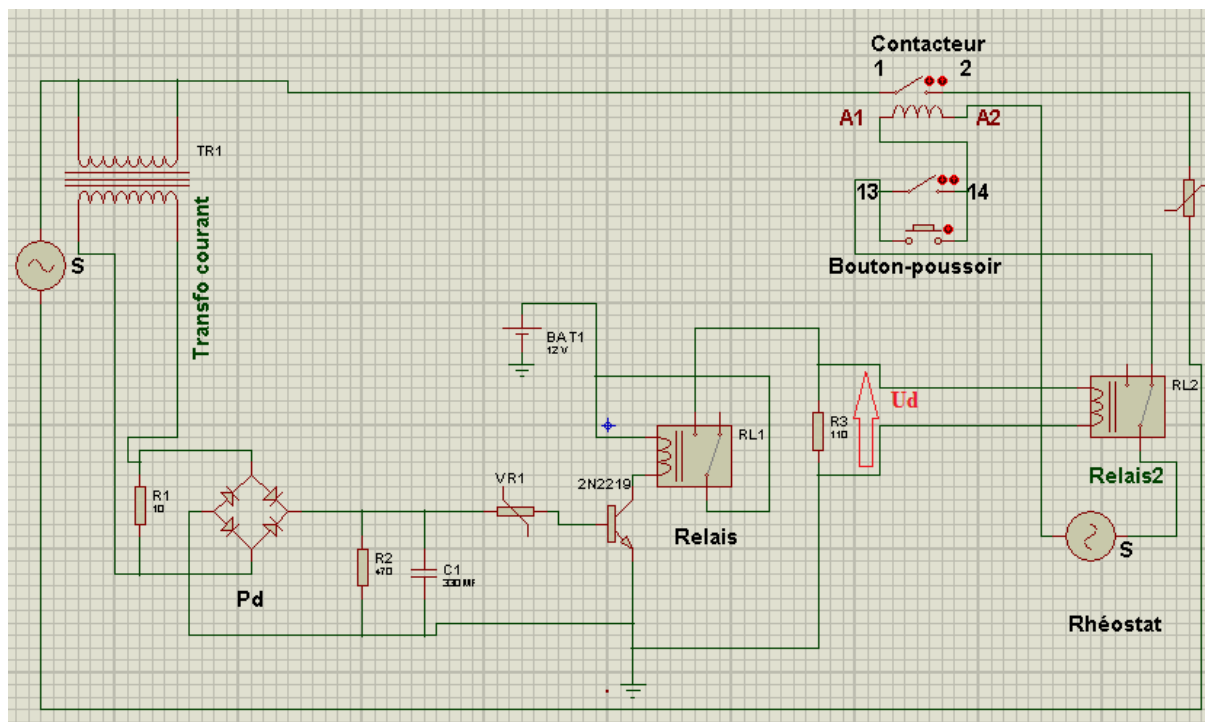
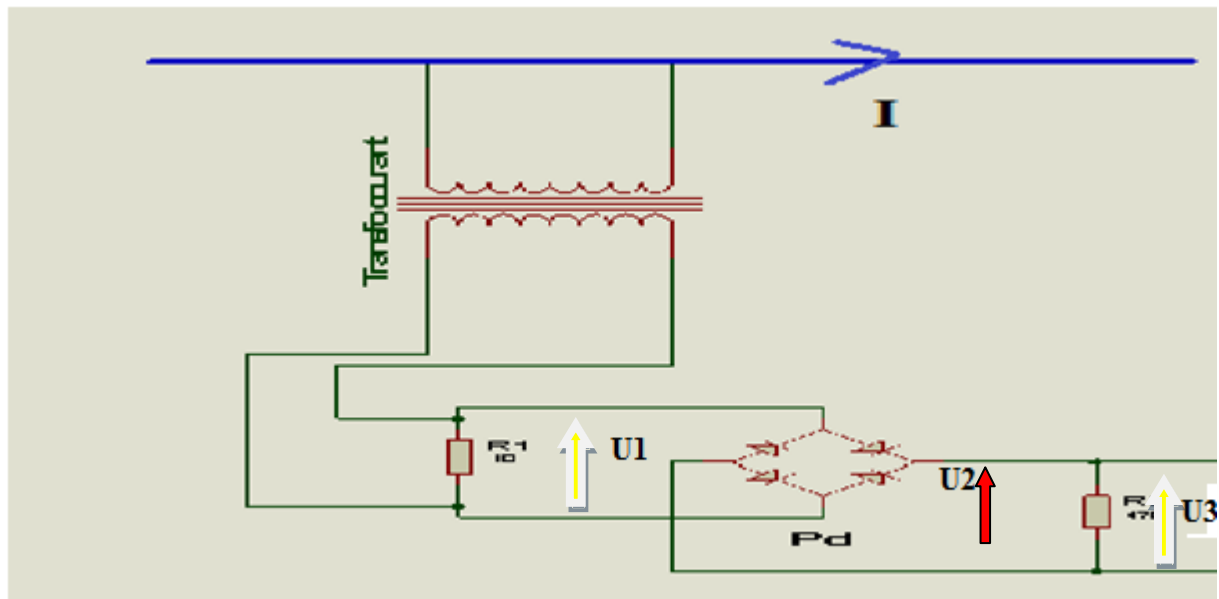


Figure IV.7. Schéma de la protection à max de courant réalisé

Le Tableau IV. 2 représente les paramètres du circuit pratique.

Les Résistances [Ω]	Autres
<b>R1=10</b>	<b>C1=330μF</b>
<b>R2=470</b>	<b>Pd : pont-diodes KBL06</b>
<b>R3=110</b>	<b>Transistor 2N2219</b>
<b>VR1=1400</b>	<b>Bouton –poussoir :Marche</b>
	<b>Relais ; Rhéostat ; Contacteur.</b>
	<b>TC :transformateur de courant de rapport 15/100</b>

La Figure IV.8 représente Schéma du capteur de courant.



FigureIV.8. Schéma du capteur de courant.

La figure IV.9,représente les formes d'ondes de la tension secondaire du TC

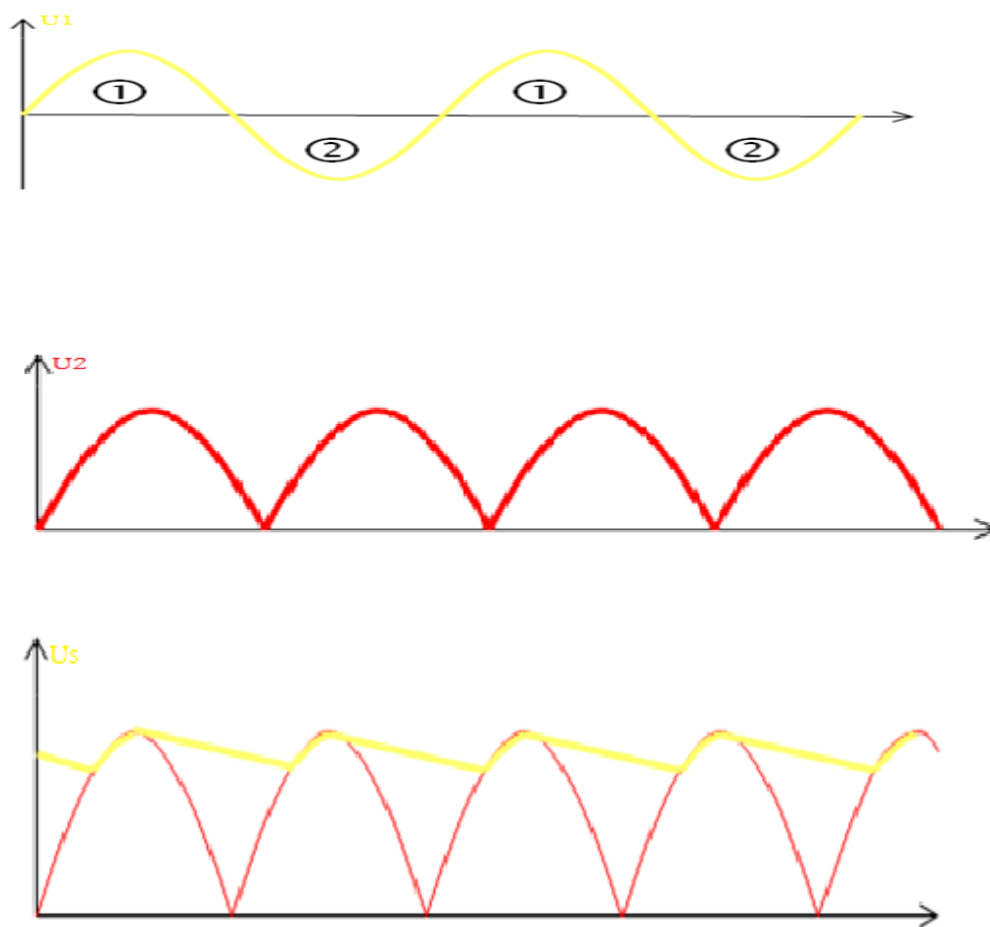


Tableau IV. 3 représente la caractéristique du capteur de courant.

I(A)	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2
U3(V)	0.10	0.27	0.47	0.68	0.90	1.16	1.35

Tableau IV. 3 Tableau caractéristique du capteur

La Figure IV.10 représente la caractéristique du capteur : la tension de sortie aux bornes du capteur figure IV.8 en fonction du courant de la ligne (I).

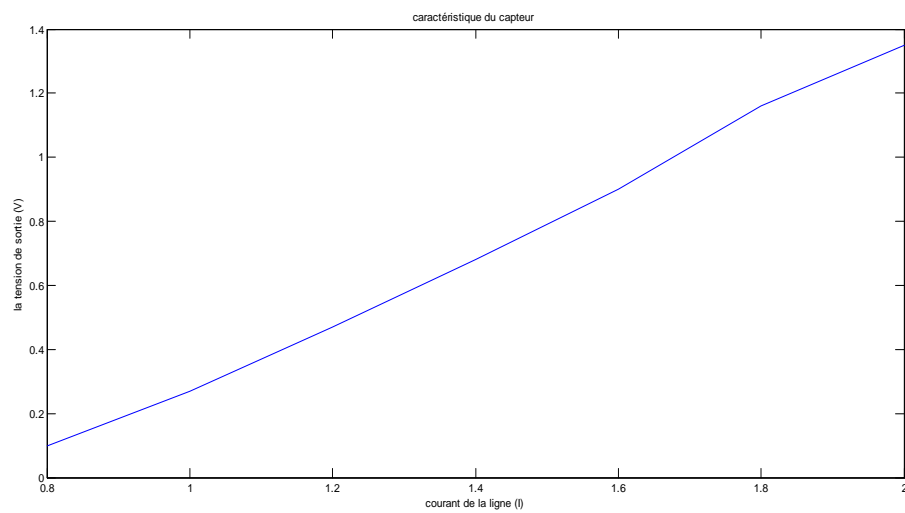


Figure. IV.10 Caractéristique du capteur.



La Figure IV.11 représente le montage du système de protection réalisé au laboratoire.

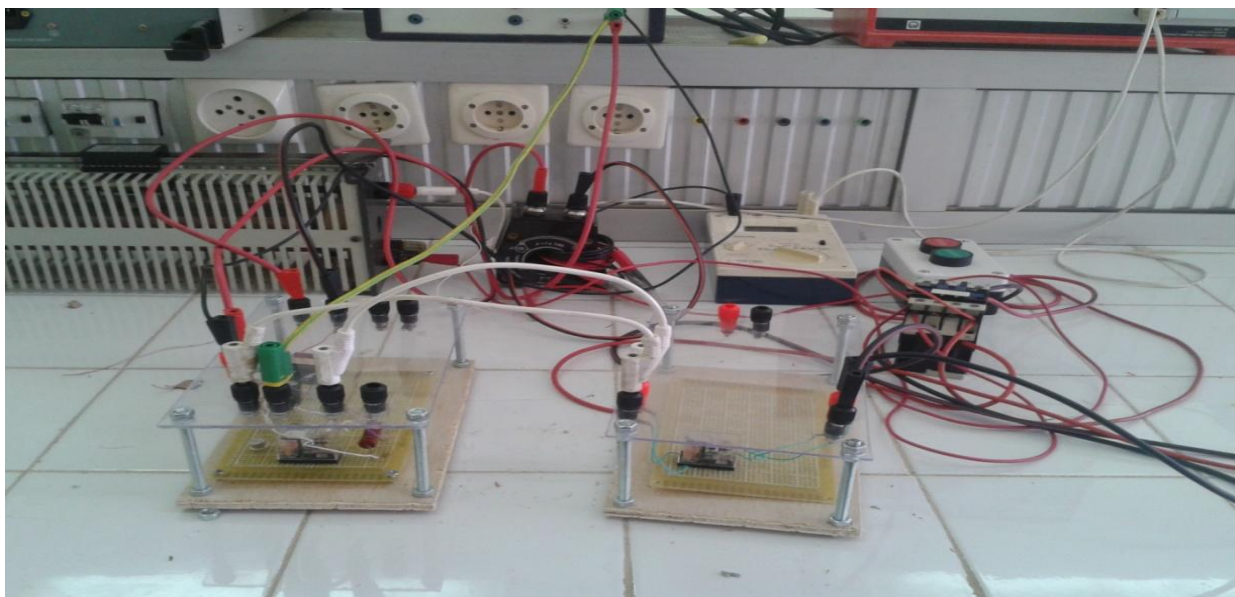
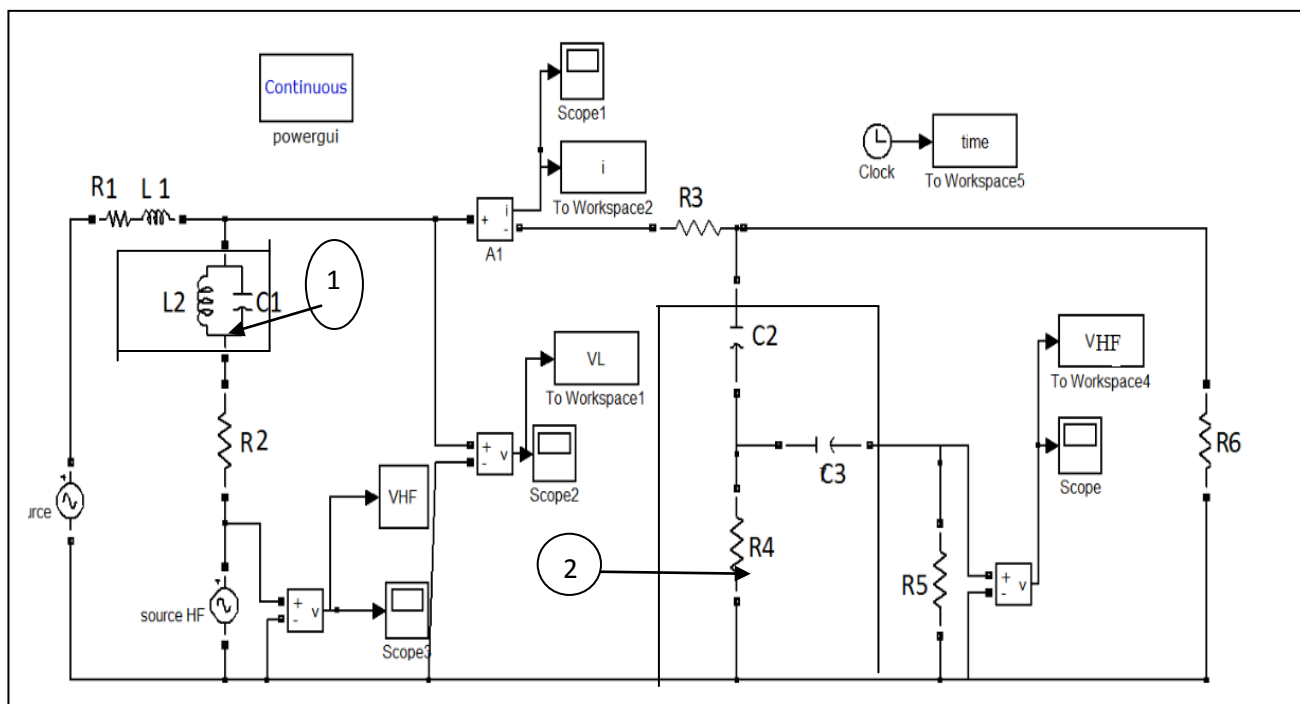


Figure. IV.11 Montage du système de protection réalisé au laboratoire.

Pour un courant de charge  $I=0.7A$  aucun ordre de déclenchement envoyé par le relais (fonctionnement normal du circuit). Pour un courant élevé  $I=1A$  (représente un courant de défaut réduit), un ordre de déclenchement est envoyé du relais vers l'élément de coupure .

Plusieurs tests ont été effectués. Ces tests montrent l'efficacité de la protection réalisée.

### IV.3.Simulation du CPL: Test du CPL



## IV.12. Schéma de simulation du CPL

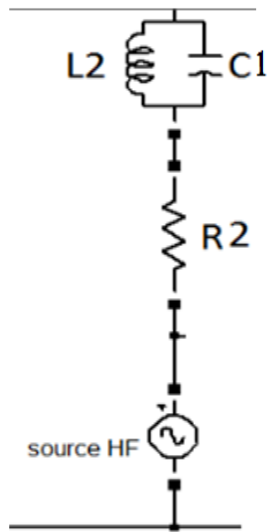


Figure IV.13. Coupleur pour l'injection du signal HF

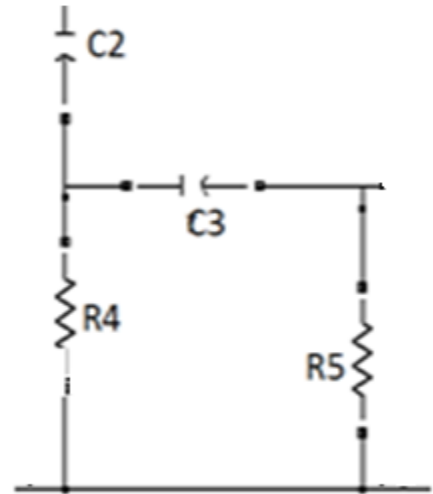


Figure IV.14. Coupleur pour la récupération du signal HF.

La figure IV.12 représente le schéma de simulation du CPL. Le coupleur d'injection du signal HF est un filtre bouchon réglé pour la fréquence de 50Hz (Figure IV.13). La fréquence de coupure étant donnée par la relation :

$$F_c = 1/2\pi L_2 C_1$$

Avec :  $L_2 = 0,1 \text{ H}$  et  $C_1 = 100 \mu\text{F}$ .

Le coupleur de récupération du signal HF est un filtre passe-haut second ordre.

La fréquence de coupure choisie est 25KHz.

La fréquence de coupure est définie par la relation suivante

$$F_c = 1/\sqrt{R_4 C_2 R_5 C_3}$$

Avec  $R_4 = R_5 = 1\text{k}\Omega$

$C_2 = 10\text{nF}$

$C_3 = 4.7\text{nF}$

IV.3.2. Résultats de la simulation

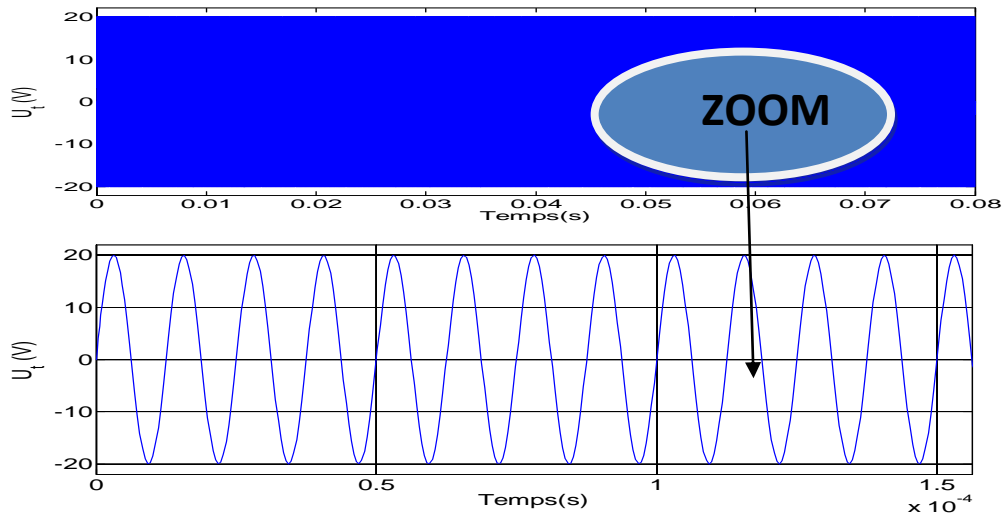


Figure IV. 15. Tension HF :(80kHz) Injectée don le réseau

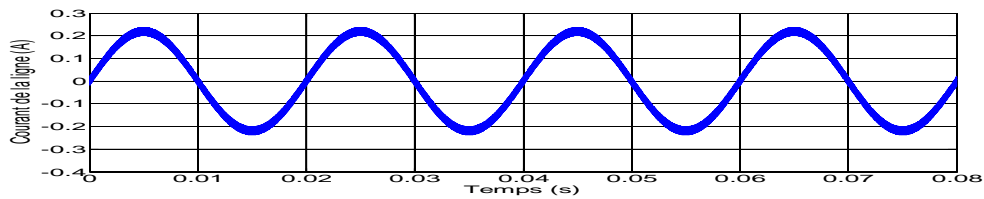


Figure IV.16.Courant de la ligne : 50Hz+80kHz

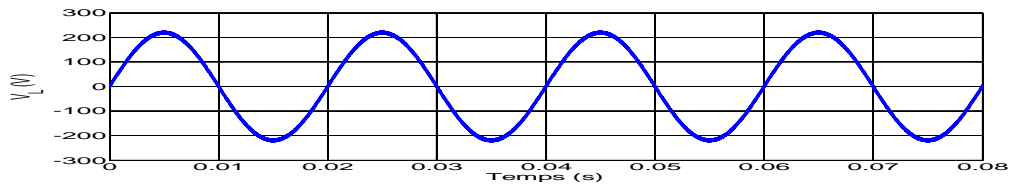


Figure IV.17 Tension de la ligne

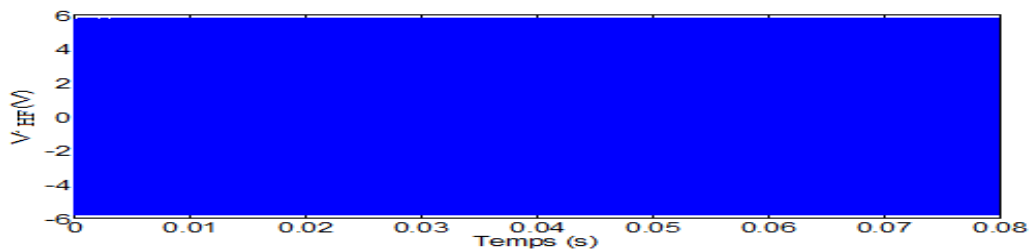


Figure IV. 18. Tension HF récupérée

On a injecté un signal HF par le biais du coupleur d'injection qu'est un filtre bouchon. En suite le signal est récupéré par le biais du filtre passe –haut du second ordre.

### IV.3.3.Réalisation pratique des coupleurs

#### A. Schéma du circuit réalisé : coupleur d'injection

La Figure IV.19 représente Schéma du coupleur d'injection

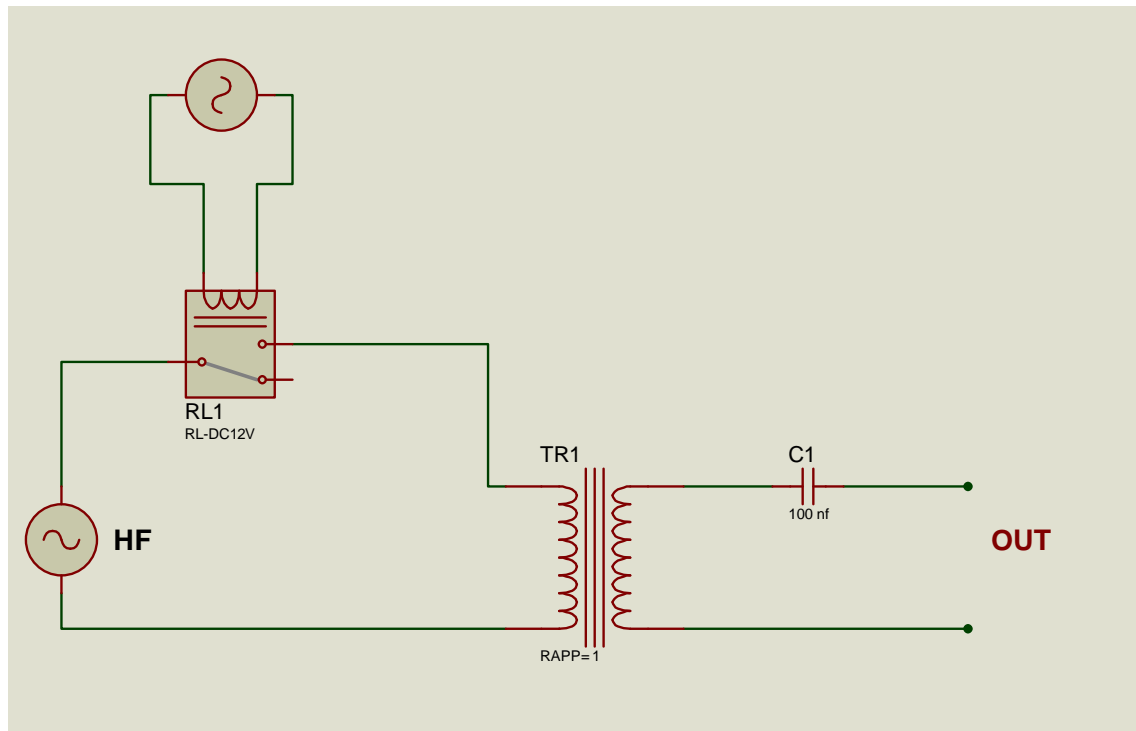


Figure IV.19.Schéma du coupleur d'injection (condensateur de couplage)

Le Tableau IV. 4 représente les paramètres des composants du coupleur d'injection réalisé

Les composants	Valeurs
transformateur d'isolation.	RAP P=1
Relais	Dc12V
Condensateur	10nF

Tableau IV.4 Elements du coupleur d'injection réalisé.

La Figure IV.20 représente le montage du coupleur d'injection réalisé au laboratoire.

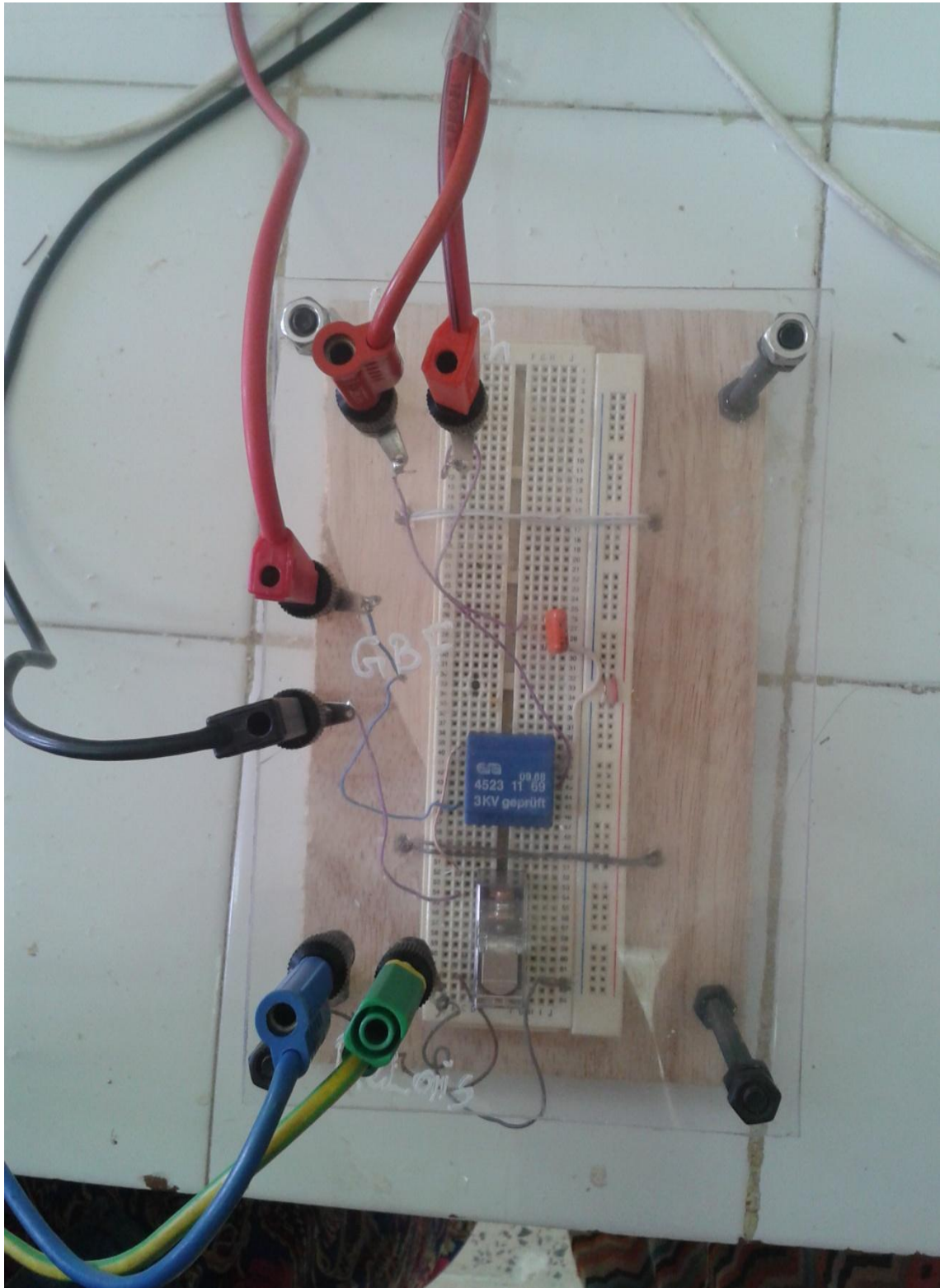


Figure. IV.20 représente le montage du coupleur d'injection réalisé au laboratoire.

**B. Schéma du circuit réalisé : coupleur de récupération**

La Figure IV.21 représente Schéma du coupleur de récupération

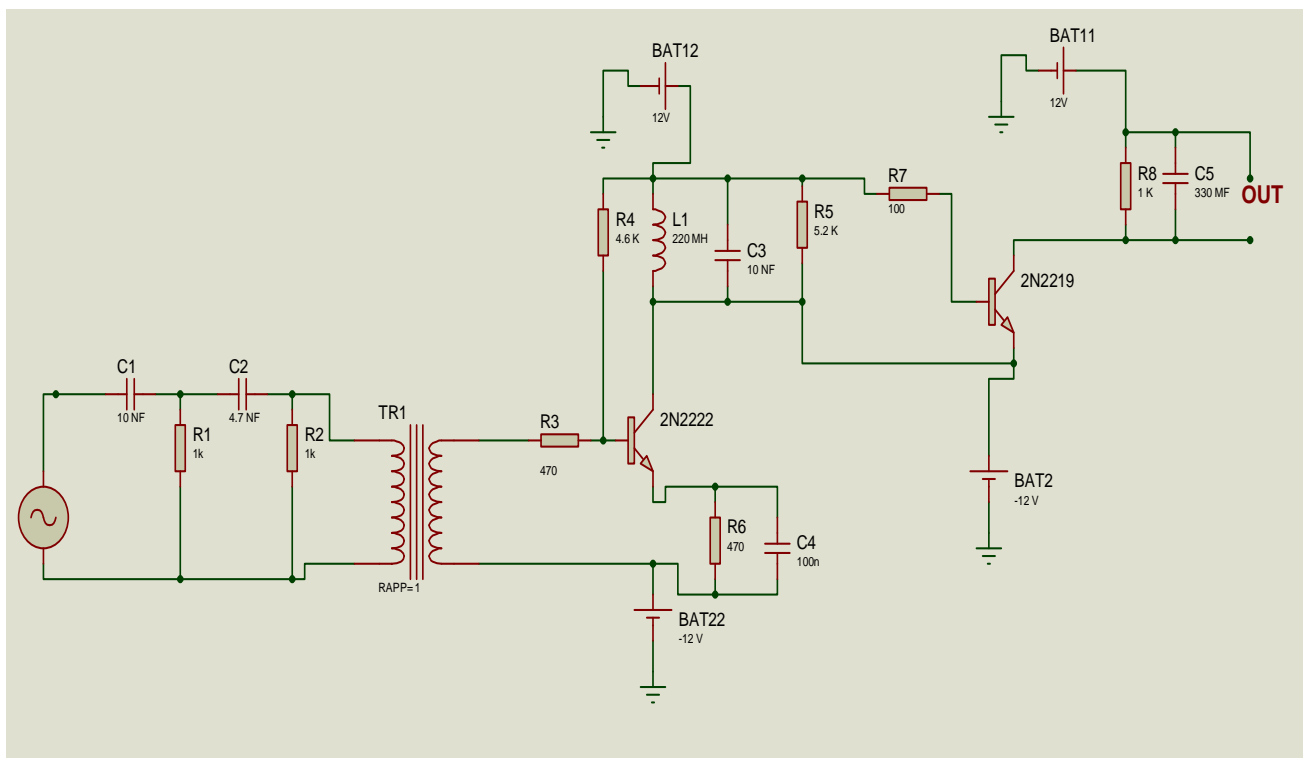


Figure IV.21. Schéma du coupleur de récupération

Le Tableau IV. 5 représente les éléments du coupleur de récupération réalisé

Les Résistances [ $\Omega$ ]	Autres
<b>R1=1000</b>	<b>C1=10nF</b>
<b>R2=1000</b>	<b>C2=4.7µF</b>
<b>R3=470</b>	<b>C3=10nF</b>
<b>R4=4600</b>	<b>C4=100nF</b>
<b>R5= 5200</b>	<b>C5=330µF</b>
<b>R6=470</b>	<b>L=220µH</b>
	<b>Transistor 2N2219</b>
<b>R7=100</b>	<b>Transistor 2N2222</b>
<b>R8=1000</b>	<b>transformateur d'isolation.</b>

Tableau IV. 5 Eléments de coupleurs de récupération pratique.



La Figure IV.22 représente le montage du coupleur de récupération réalisé au laboratoire.

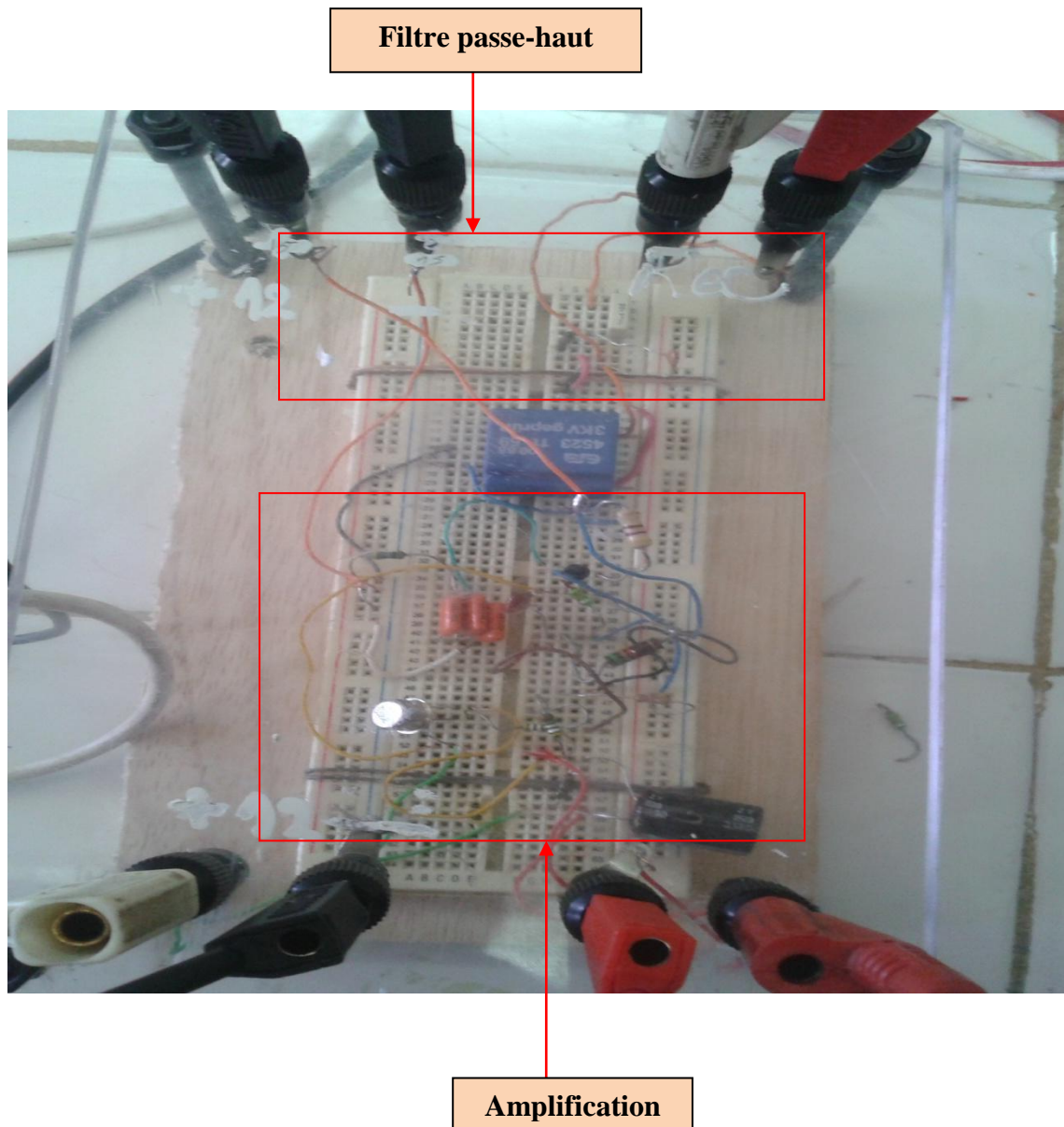


Figure IV.22. Montage du coupleur de récupération réalisé au laboratoire.

Cette protection est réalisée au laboratoire du département de Génie électrique

IV.4. Protection à max du courant avec CPL

IV.4.1 Simulation du système de protection à max du courant avec CPL

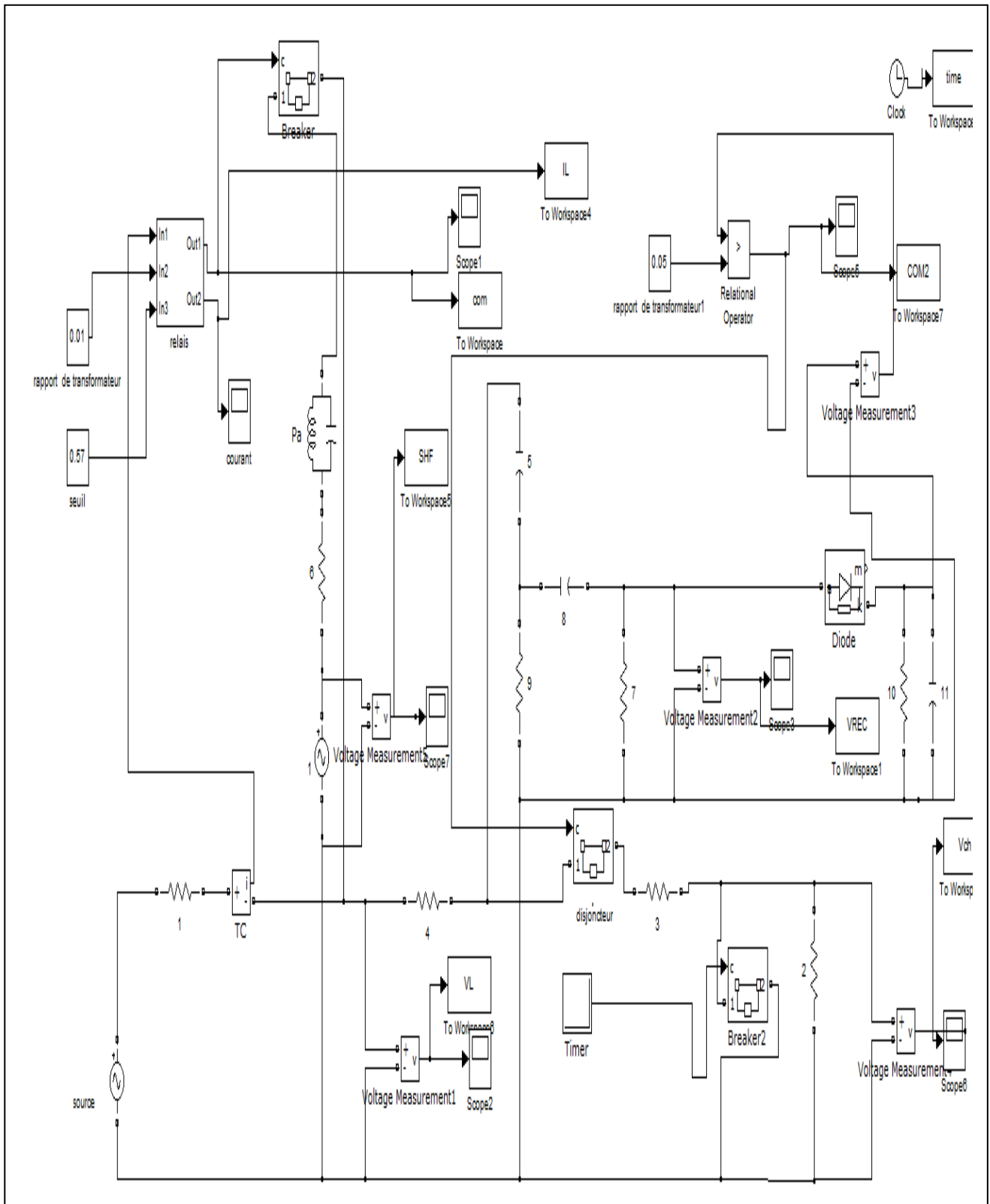


Figure IV.23. Simulation du système de protection à max du courant avec CPL.



C1 : coupleur d'injection (filtre bouchon).

C : coupleur de récupération (filtre passe haut).

M : modulation d'amplitude (transformation du signal de commande 1,0 en signal HF de fréquence 80 kHz). Cette transformation est réalisée par un simple interrupteur idéal.

### IV.3.2 Résultats de simulation de la protection à max de courant avec CPL

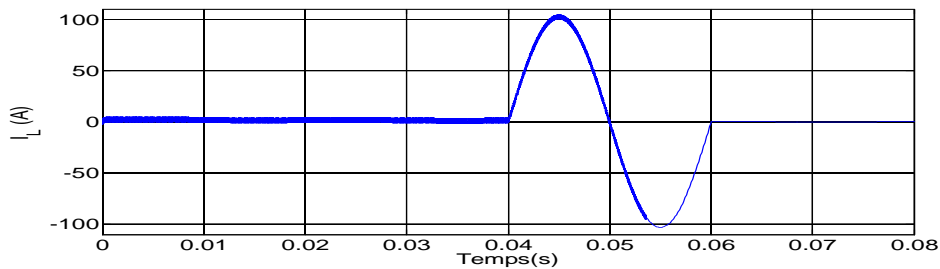


Figure IV. 24. Courant de la ligne

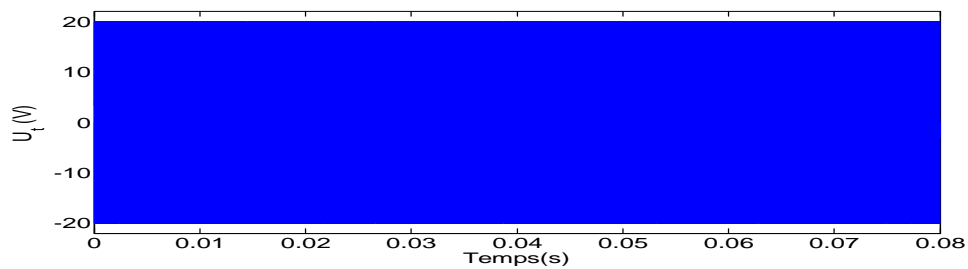


Figure IV.25. Signal HF

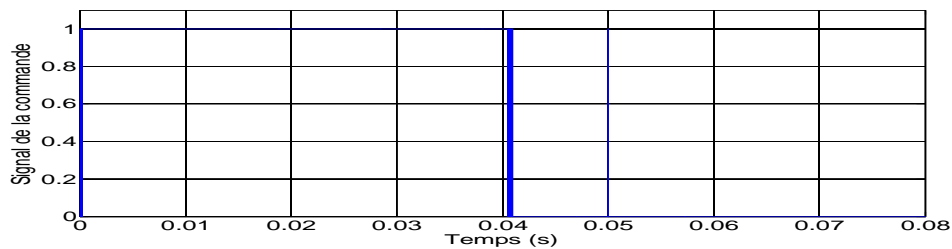


Figure IV. 26. Signal de commande de l'élément de coupure

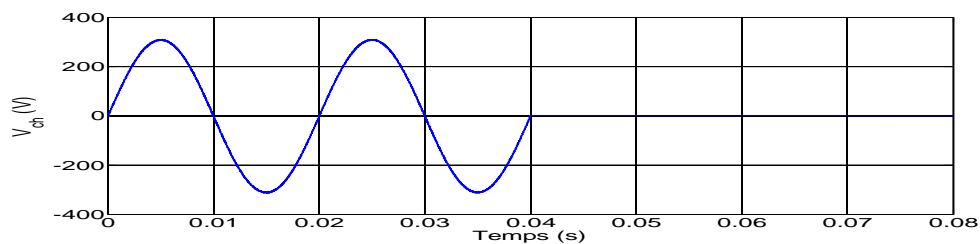


Figure IV.27. Tension de la charge

## IV.4.1. Réalisation pratique de protection à max d courant avec CPL

La Figure IV.28 Montage de la protection à max de courant avec CPL réalisé au laboratoire.

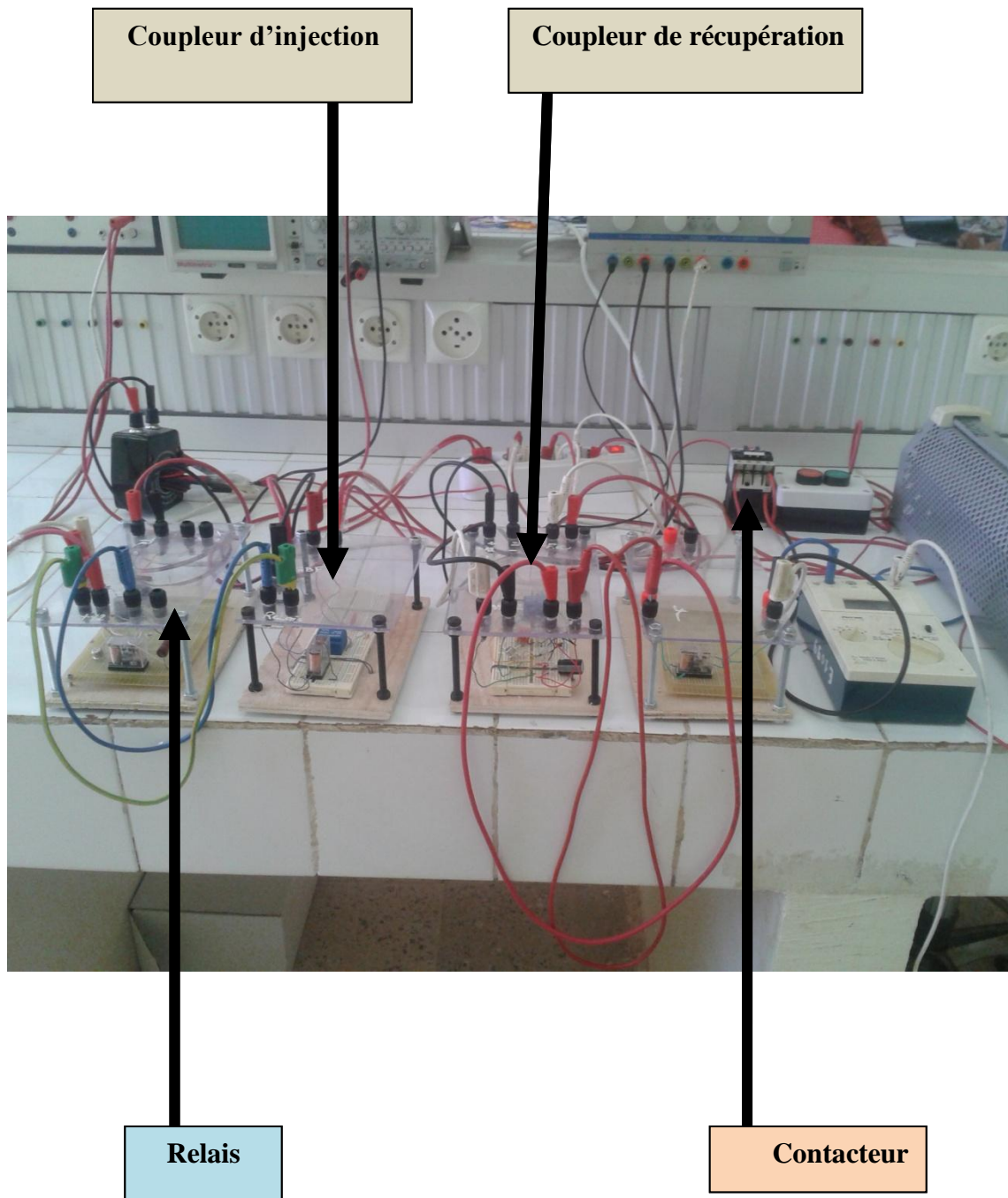


Figure. IV.28 Montage de la protection à max de courant avec CPL réalisé au laboratoire

VI. 5 .Application du CPL dans une protection à sélectivité logique

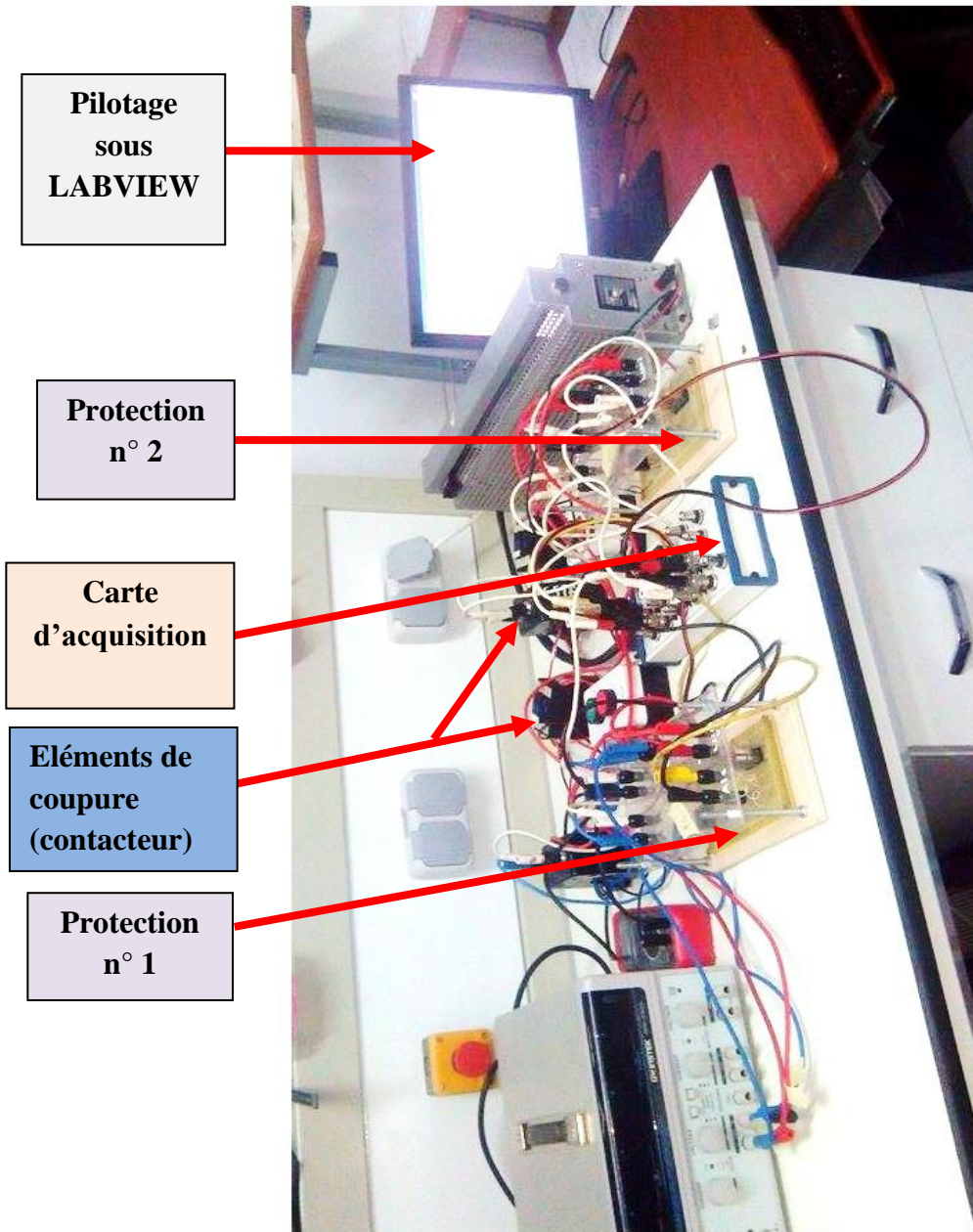


Photo [Mémoire master Houhou Badr Eddine 2015]

Figure. IV.29 Montage de la protection à sélectivité logique sans CPL

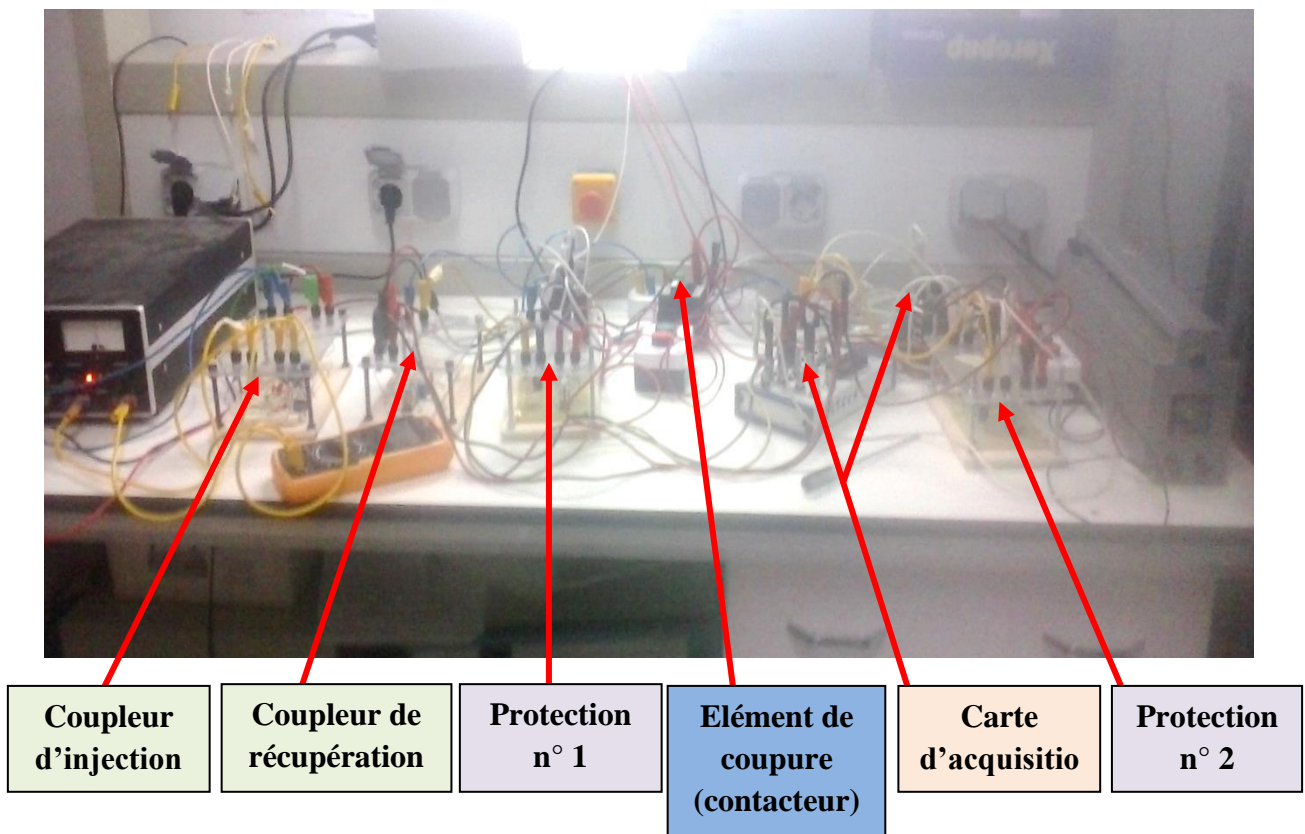


Figure. IV.30. Montage de la protection à sélectivité logique avec CPL

**IV Conclusion**

Ce chapitre a été consacré à la simulation et la réalisation pratique de :

- ◆ Protection à max de courant ordinaire
- ◆ Coupleurs HF.
- ◆ Protection à max de courant avec CPL

Ces protections ont été réalisées au sein du laboratoire du département Génie Electrique. Comme application, le circuit CPL réalisé a été implémenté dans un système de protection à sélectivité logique. Les résultats de la simulation ainsi que les tests pratiques montrent le bon fonctionnement de systèmes de protection proposés.

# **Conclusion**

---

## Conclusion Générale

Le rôle des réseaux électriques dans la société moderne est très important. Cependant les réseaux électriques subissent de temps en temps des pannes dues essentiellement aux équipements quand les pannes se produisent ; la protection des réseaux a une signification vitale pour minimiser les dégâts et garder le fonctionnement du réseau en sûreté. Le travail présenté dans ce mémoire concerne l'étude et l'implémentation de la technique CPL dans une protection à max de courant.

La sélectivité logique avec CPL est une nouvelle technique qui permet de protéger le réseau électrique elle est moins cher que la sélectivité logique à câble pilote.

Une partie de ce travail a concerné la réalisation pratique au laboratoire de l'électrotechnique, d'une protection à max de courant avec coupleurs. Le coupleur d'injection choisi est un filtre bouchon tandis que le filtre de récupération est un filtre « passe haut » de second ordre.

La simulation a été effectuée sous l'environnement Simulink de Matlab, afin de vérifier le fonctionnement de système nous avons effectué plusieurs tests: sans CPL et avec CPL.

Grace à l'implémentation de la technique CPL nous avons pu contourner le câble pilote tout en gardons la bonne efficacité du système de protection à sélectivité logique qui constituait un handicap.



# BIBLIOGRAPHIE

---

[1] Khamed Okba .mémoire master. «dispatching économique dynamique des réseaux électriques par les Méthodes méta-heuristique». Université de Biskra 2013.

[2] BOUGHAZALA Mohammed Salah. Mémoire Magister « Etude et simulation d'un coupleur de signaux HF pour réseaux d'énergie électrique sélectivité logique des protections » Université de Biskra 2013.

[3] DERFALOU Azzedine. Mémoire master. « coordination des relais de protection directionnel dans les réseaux électriques». Université de Biskra 2014.

[4] Zaaboubi khaled .Mémoire master. « Pilotage sous LabView d'un système de protection à max de courant» . Université de Biskra.2014.

[5] cahiers technique 2 de Schneider, Pierre Bertrand, « les protections directionnelles »,

[6] documente technique « Généralités sur la haute tension » et Philippe Dunand «Protection des installations électriques contre la foudre ». Paris 2003.

[7] Thèse Docteur de l'Université Henri Poincaré, Nancy-I 1 . 29 mai 2008.

[8] SAYAD Samir .Mémoire master. « Simulation d'un Relais a max de courant a trois cycle de ré enclenchement » . Université de Biskra.2012.

[9] SAAD Gherbiya ; Walid Benkherara . Mémoire licence « Beeper par courant porteur ». Université de Biskra.2013.

[10] P.Cristophe, « protection des réseaux électriques », Paris, 1998.

[11] Houssam Yahiaoui «Protection d'un poste à deux arrivées et plusieurs départs par la sélectivité directionnelle» .Université de Biskra 2012

[13] Tran anh tuan , «Modélisation de la propagation des signaux HF dans le réseau d'énergie électrique " , Thèse de doctorat de Lyon.2006.

---



---

[14] Xavier Carcelle , «Réseaux CPL par la pratique" , éditions eyrolles. Paris :EYROLLES, 2006

[15] P. Malathi, P. T. Vanathi, «Power Line Communication using OFDM and OGA", AIML Journal, pp.23-31, Vol.7, Issue 1, Jun. 2007

[16] C. J. Kim, M. F. Chouikha, «Attenuation Characteristics of High Rate Home-Networking PLC Signals", IEEE Trans. on power delivery, Vol. 17, No. 4, pp.945-950, Oct. 2002

---



## Listes des figures

Figure I.1. Schéma bloc d'un réseau électrique.....	1
Figure I.2. Différentes étages d'un réseau électrique.....	4
Figure I.3 Court-circuit triphasé.....	6
Figure I.4. Court-circuit biphasé isolé.....	6
Figure I.5. Court-circuit monophasé terre.....	7
Figure I.6. Court-circuit biphasé.....	7
Figure I.7. Schéma équivalent du réseau au court-circuit.....	7
Figure I.8. Décomposition du courant de court-circuit.....	7
Figure I.9. Perturbation impulsive positive causée par une décharge électrostatique.....	10
Figure I.10. Perturbation oscillatoire.....	10
Figure I.11. La foudre.....	12
Figure I.12. Surtensions directes.....	13
Figure I.13. Surtensions indirectes.....	13
Figure I.14. Principe du Paratonnerre à tige.....	14
Figure I.15. Exemple de protection d'un Transformateur par éclateur à tiges .....	15
Figure I.16. Filtre passe-bas.....	18
Figure I.17. Filtre passe-haut .....	18
Figure II.1. Constitution d'un système de protection.....	21
Figure II.2 Transformateur de courant type tore.....	22
Figure II.3. Transformateur de tension avec double secondaire .....	23
Figure II.4. Les Types des relais .....	24
Figure II.5. Décomposition d'un intervalle de sélectivité.....	25
Figure II.6. Principe de la sélectivité chronométrique .....	26
Figure II.7. Sélectivité chronométrique avec relais à temps indépendant .....	26
Figure II.8 Sélectivité chronométrique avec relais à temps dépendant.....	27
Figure II. 9. Fonctionnement d'une sélectivité ampérométrique.....	29
Figure II.10. Exemple d'utilisation de la sélectivité logique .....	30

Figure II.11 Protection à temps indépendant. ....	32
Figure II.12 Protection à temps dépendant .....	32
Figure II.13 Transformateur de courant. ....	33
Figure II.14 Protection directionnelle .....	34
Figure II.15 schéma unifilaire du système TT .....	36
Figure II.16 schéma unifilaire du système TN.....	36
Figure II.17 Schéma unifilaire du système IT.....	37
Figure 1 : III.1. Principe de fonctionnement du CPL.....	42
Figure III.2. Réseau Indoor. ....	43
Figure III.3. Réseau Outdoor. ....	45
Figure III.4. Perturbation du signal, l'atténuation et la distorsion. ....	46
Figure IV.1. Schéma de principe d'une protection à max de courant.....	50
Figure IV.2. Schéma de simulation du relais. ....	51
Figure IV.3 Simulation du système de protection à max du courantsous Matlab/Simulink...	52
Figure IV.4. Schéma du capteur de courant de la ligne . ....	53
Figure IV. 5 signale de commend .....	54
Figure IV. 6. Tension de la charge .....	54
Figure IV. 7. Schéma de la protection a max de courant réalisé.....	55
Figure IV. 8. Schémat de capteur de courant.....	56
FigureIV.9.Redressement et filtrage de courant secondaire du TC. ....	57
Figure IV.10. Caractéristique du capteur. ....	57
Figure IV.11. Montage du système de protection réalisé au laboratoire. ....	58
Figure IV.12. Schéma de simulation de coupleurs .....	59
Figure IV.13.Circuit bouchon pour 50Hz : émetteur .....	59
Figure IV.14. Filtre de second ordre : coupleur récepteur .....	60
Figure IV. 15. TensionHF :80kHz .....	61
Figure IV.16 .Courant de la ligne : 50Hz+80kHz.....	61
Figure IV.17 Tension de la ligne .....	62
Figure IV. 18.Tension HF récupérée .....	62
Figure IV.19.Schéma du coupleur d'injection (condensateur de couplage) .....	63
Figure IV.20. Montage du coupleur d'injection réalisé au laboratoire. ....	64
Figure IV.21. Schéma du coupleur de récupération.....	65
Figure IV.22. Montage du coupleur de récupération réalisé au laboratoire. ....	66